

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 3567/6.



ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность)

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-04-2023 и учебного плана БГУ № 6-5.5-43/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Ф.С.Пашковский, доцент кафедры органической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.В.Барановский, заведующий лабораторией физико-химических методов исследования Института биоорганической химии НАН Беларуси, доктор химических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой органической химии БГУ
(протокол № 14 от 13.06.2025);

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

Заведующий кафедрой



И.П.Антоневич

 А.В.Зуреаев

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Низкомолекулярные природные соединения, большинство которых относят к вторичным метаболитам – небольшие органические молекулы, продуцируемые живыми организмами для формирования структуры их клеток и тканей, поддержания гомеостаза путем регулирования всех жизненных процессов, для их адаптации к внешним условиям среды и коммуникации, имеют огромное значение для человека. Более 50% зарегистрированных лекарственных препаратов в качестве действующих веществ содержат природные соединения, их полусинтетические модификации либо синтетические аналоги с улучшенными характеристиками. Низкомолекулярные природные соединения и их биологически активные аналоги также широко используются в сельском хозяйстве, пищевой, косметической и парфюмерной промышленности, для мониторинга и регуляции экосистем.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цели учебной дисциплины

1. Сформировать представления студентов о многообразии структур природных соединений, о методах их выделения из природных источников в индивидуальном состоянии, о методах установления структуры природных соединений, а также о современных подходах к полному химическому синтезу природных соединений и их биоактивных аналогов.

2. Систематизировать и углубить знания студентов о важнейших классах природных биологически активных соединений, структурных особенностях каждого отдельного класса, а также об их биогенетической связи (путях биосинтеза), освещаемых в рамках преподавания учебных дисциплин «Органическая химия» и «Основы биохимии».

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов с основными методами выделения, очистки и установления структуры ранее не описанных природных соединений;

2. Рассмотреть строение основных представителей наиболее важных классов низкомолекулярных природных соединений, показать связь между их структурой и биологическими свойствами;

3. Продемонстрировать принципиальное сходство и различия в протекании химических процессов в живых организмах и в органическом синтезе.

4. Рассмотреть основные пути биосинтеза наиболее важных классов низкомолекулярных природных соединений, ключевые природные «строительные блоки», типы и механизмы химических реакций, лежащих в основе метаболических процессов;

5. Продемонстрировать, как понимание биосинтетических процессов используется в химическом синтезе природных соединений.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Дополнительные главы углубленного школьного курса химии» компонента учреждения образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей и программ по дисциплинам: «Органическая химия», «Основы биохимии», «Инструментальные и хроматографические методы анализа», «Физические методы исследования».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Химия природных соединений» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Универсальные компетенции:

Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации.

Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности.

Базовые профессиональные компетенции:

Характеризовать состав, строение и свойства представителей основных классов органических соединений, механизмы важнейших органических реакций, планировать и осуществлять эксперимент по синтезу простых органических веществ с использованием методических указаний и литературных источников.

Осуществлять поиск и анализ данных по изучаемой проблеме в научной литературе, составлять аналитические обзоры, готовить научные статьи, сообщения, рефераты, доклады и материалы к презентациям.

Специализированные компетенции:

Дополнять содержание курса химии в учреждениях среднего образования с учетом понимания взаимосвязи между различными разделами химии, последовательности изложения основных законов и концепций химической науки, методик проведения химических расчетов.

Анализировать актуальные направления развития химической науки, устанавливать междисциплинарные связи, использовать представления нанохимии, биохимии, координационной химии, химии материалов в научно-педагогической деятельности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- методы выделения и установления структуры природных соединений;
- принципы их систематизации;
- основные пути биосинтеза наиболее важных классов низкомолекулярных природных соединений и структуру участвующих в них ключевых биосинтетических блоков;
- основные современные подходы к химическому синтезу природных соединений и их аналогов.

уметь:

- относить соединение к определенному классу природных соединений на основании его химической структуры и предсказывать его свойства;

- перечислять в логической последовательности основные этапы установления структуры впервые выделенного природного соединения;
- выделять в структуре основных классов природных соединений биосинтетические «строительные блоки» и предлагать возможные пути их биосинтеза.

иметь навык:

- описания химических свойств и механизмов образования природных соединений на основе теоретических представлений органической химии;
- установления структуры простейших природных соединений на основе совокупности данных физико-химических методов исследования.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Химия природных соединений» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов, лекции – 22 часа, практические занятия – 14 часов.

Из них:

Лекции – 22 часа, практические занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Основные понятия и методы химии природных соединений

Тема 1.1. Введение

Химия природных соединений, ее предмет и взаимосвязь с другими химическими и биологическими дисциплинами. Роль природных соединений и их аналогов в современной фармацевтике, сельском хозяйстве и экологии. Принципы классификации природных соединений: по структурным признакам, путям их биосинтеза, их биологической роли, природным источникам. Первичные и вторичные метаболиты.

Тема 1.2. Методы выделения природных соединений

Общие принципы выделения из биологического сырья и последующей очистки индивидуальных природных соединений. Традиционные методы (экстракция, перегонка с водяным паром). Хроматографические методы разделения и очистки: адсорбционная, распределительная, ионообменная и афинная хроматография.

Тема 1.3. Этапы и методы установления структуры низкомолекулярных природных соединений

Предварительный сбор аналитических данных. Критерии индивидуальности природного вещества. Определение молекулярной формулы (брутто-формулы) соединения, установление структуры углеродного скелета, природы и взаимного расположения функциональных групп в молекуле физико-химическими методами исследования: масс-спектрометрия высокого разрешения, одномерная спектроскопия ЯМР на ядрах ^1H , ^{13}C , ^{15}N и двумерная спектроскопия ЯМР (COSY, NOESY, HMBC), ИК- и УФ-спектроскопия. Рентгеноструктурный анализ. Определение относительной и абсолютной конфигурации. Понятие о хироптических методах: поляриметрии, дисперсии оптического вращения, круговом дихроизме. Химические методы в установлении структуры. Встречный химический синтез.

Тема 1.4. Химическая организация клетки. Особенности биосинтетических реакций

Элементный состав живых организмов. Химическая организация клетки. Углерод как фундаментальный элемент органических веществ клетки. Органогены. Биологическая роль воды. Ферментативный катализ – основная особенность протекания биохимических реакций. Классификация и принципы действия ферментов. Активные и аллостерические центры ферментов. Коферменты и простетические группы. Витамины как структурные компоненты коферментов и простетических групп. Основные биосинтетические реакции: образование оснований Шиффа, реакция Манниха, переаминирование, декарбоксилирование, альдольная реакция и конденсация Кляйзена, окислительно-восстановительные реакции, алкилирование, гликозилирование, диеновый синтез, перегруппировки Вагнера-Меервейна, Кляйзена и Лоссена. Биомиметический подход к химическому синтезу природных соединений.

Раздел 2. Углеводы

Тема 2.1. Классификация углеводов. Моносахариды

Нахождение в природе и классификация углеводов. Биологически важные функции углеводов. Моносахариды, их классификация и основные представители. Виды изомерии моносахаридов. Статическая структурная (межклассовая) изомерия. Стереои́зомерия: конфигурационная (оптическая) и конформационная изомерия. Динамическая межклассовая кольчато-цепная (цикло-оксо-) изомерия (таутомерия) моносахаридов. Цикло-оксо-таутомерия D-глюкозы, D-рибозы и D-фруктозы. Мутаротация. Проекционные формулы Фишера и Колли-Толленса. Перспективные формулы Хеуорса. Формулы Миллза. Наиболее важные реакционные центры моносахаридов.

Тема 2.2. Образование моносахаридов фотосинтезом

Световая и темновая (светонезависимая) фазы фотосинтеза. Пигменты световой фазы фотосинтеза – хлорофиллы, каротиноиды и фикобилины. Продукты световой фазы биосинтеза и их роль в темновой фазе. Представление о цикле Кальвина. Фермент РуБисКо – ключевой фермент цикла Кальвина. Биологически важные реакции углеводов: карбоксилирование, альдолазная, транскетолазная, фосфатазная реакции. Гликолиз как бескислородный этап клеточного дыхания. Образование пировиноградной кислоты в процессе гликолиза. Молочнокислое и спиртовое брожение сахаров. Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты. Синтез ацетилкоэнзима А и вовлечение его в цикл Кребса. Катаболическая и анаболическая функции цикла Кребса. Амфиболические реакции.

Тема 2.3. Образование О-гликозидной связи. Дисахариды и полисахариды

Гликозил-гликозидная и гликозил-гликозная связь. Восстанавливающие и невосстанавливающие дисахариды. α - и β -Гликозидные связи. Важнейшие представители дисахаридов: лактоза, мальтоза, целлобиоза, сахароза. Важнейшие представители полисахаридов – крахмал (амилоза и амилопектин), гликоген, целлюлоза, инулин, хитин. Образование хитозана из хитина. Применение хитозана в медицине и сельском хозяйстве.

Тема 2.4. Гликозиды, восстановленные и окисленные формы сахаров

O-, N-, S- и C-Гликозиды. Некоторые представители O-гликозидов: цианогенный гликозид амигдалин, рутин, сердечные гликозиды. O-Гликозиды аминокислот: противоопухолевые антибиотики доксорубицин и даунорубицин, гентамицины, стрептомицин. Важнейшие представители N-гликозидов и их биохимические функции: нуклеозиды и нуклеотиды, кофермент А, АТФ и АДФ, циклический аденозинмонофосфат (ц-АМФ). S-Глюкозиды (глюкозинолаты). Горчичные масла.

Восстановленные формы сахаров: сорбит, маннит, рибит. Инозиты. Окисленные формы сахаров: альдоновые, альдаровые и урановые кислоты. Условия их получения из сахаров. Аскорбиновая кислота. Химический синтез аскорбиновой кислоты из D-глюкозы. Азасахара.

Раздел 3. Липиды, жирные кислоты и поликетиды. Ацетатно-малонатный путь биосинтеза

Тема 3.1. Липиды, жирные кислоты и их роль в организме. β -Окисление и биосинтез жирных кислот

Липиды, в структуру которых входят остатки жирных кислот: воски, триацилглицерины (нейтральные жиры), фосфолипиды, сфинголипиды, холестериды. Биохимическая номенклатура жирных кислот. Природные насыщенные, моноеновые и полиеновые жирные кислоты. Семейства полиеновых кислот млекопитающих. Незаменимые (эссенциальные) жирные кислоты. Жирные кислоты с разветвленной цепью. Ацетиленовые и другие функционализированные жирные кислоты. Жирные кислоты как источник энергии: β -окисление жирных кислот. Особенности окисления ненасыщенных жирных кислот. Ацетатно-малонатный путь биосинтеза жирных кислот в организме.

Тема 3.2. Оксигенированные производные жирных кислот (оксилипины)

Эйкозаноиды (простагландины, лейкотриены, липоксины) и их биосинтетические предшественники. Роль простагландинов как локальных клеточных гормонов, ключевые виды их биологического действия. Структура и классификация простагландинов. Представление о циклооксигеназном пути биосинтеза простагландинов. Синтонный подход в химическом синтезе простагландинов. Лактон Кори. Конвергентный трехкомпонентный синтез простагландинов и их аналогов. Представление о липоксигеназном пути биосинтеза лейкотриенов. Оксилипины неферментативного перекисного окисления полиненасыщенных жирных кислот – изопростаны, нейропростаны и фитопростаны. Липостатин и орлистат.

Тема 3.3. Поликетиды

Общая схема биосинтеза разнообразных поликетидных структур. Неполиеновые и полиеновые макролидные антибиотики, полиэфирные антибиотики, ацетогенины, антрахиноны, тетрациклины. Ловастатин. Биосинтез ловастатины через ферментативную внутримолекулярную реакцию Дильса-Альдера.

Раздел 4. Изопrenoиды

Тема 4.1. Строение молекул изопреноидов и пути их биосинтеза

Принципы построения молекул изопреноидов. Изопреновое правило Ружички. Классификация изопреноидов. Мевалонатный и немевалонатный (метилэритритолфосфатный) пути биосинтеза мономерных изопреноидных звеньев («активных изопренов»). Закономерности конденсации «активных изопренов» с образованием основных классов изопреноидов. Варианты «архитектурных преобразований» изопреноидных цепочек. Биологическая роль

терпенов: эфирные масла растений, феромоны, аттрактанты и репелленты насекомых, фитогормоны.

Тема 4.2. Монотерпены, сесквитерпены и дитерпены

Ациклические монотерпены: гераниол, цитраль, линалоол, мирцен, ипсенол, ипседиенол. Моноциклические терпены: лимонен, тимол, ментол, грандизол, хризантемовая кислота. Иридоиды, пиретрины и пиретроиды. Типы углеводородных остовов бициклических монотерпенов. α -, β - и δ -Пинены, туйоны, камфора. Камфеновые перегруппировки. Перегруппировка Вагнера-Мейервейна.

Ациклические сесквитерпены: фарнезол, ювенильные гормоны насекомых. Отдельные типы структур циклических сесквитерпенов: абсцизовая кислота, хамазулен, ледол. Сесквитерпеновый лактон артемизинин – высокоэффективное средство лечения тропической малярии.

Биохимически важные ациклические дитерпены геранил-гераниол и фитол. Трициклические дитерпены: смоляные кислоты. Полициклические дитерпены: стевиол, гибберелловая кислота, таксол, форбол, гинкголид. Понятие о меротерпеноидах.

Тема 4.3. Тритерпены и стероиды

Биосинтетическая последовательность геранилпирофосфат – фарнезилпирофосфат – сквален – ланостерин – холестерин. Биологическая роль холестерина.

Структурные особенности углеродного скелета стероидов. Стерины – предшественники витаминов группы D. Химический синтез витамина D₃ из холестерина. Желчные кислоты. Стероидные гормоны. Кортикостероиды (глюкокортикоиды и минералокортикоиды). Половые гормоны: андрогены, эстрогены и гестагены. Полигидроксистероиды: brassinosteroids и экистероиды. Сердечные гликозиды. Стероидные сапонины. Стероидные алкалоиды растительного и животного происхождения. Полный и частичный химический синтез стероидов. Линейные и конвергентные схемы синтеза стероидов. Полный синтез эстрогена по Торгову. Биомиметический синтез прогестерона с использованием реакции катионной полиеновой циклизации.

Тема 4.4. Тетратерпены и каротиноиды

Каротиноиды. Биосинтетическая последовательность геранил-геранилпирофосфат – фитоин – ликопин – α -, β - и ϵ -каротины. Биологическая роль каротина. Витамин A. Химический синтез ретинола ацетата. Ксантофилы.

Раздел 5. Фенольные вещества растений

Тема 5.1. Общая характеристика фенольных веществ растений

Химическая классификация и биологическая роль фенольных соединений растений. Растительные пигменты, дубильные вещества, полифенольные антиоксиданты.

Тема 5.2. Фенольные соединения ацетатно-малонатного (поликетидного) пути биосинтеза

Примеры фенольных соединений поликетидного пути биосинтеза: орселлиновая кислота, антрахиноны (эмодин, эмодин-антрон, гиперидин). Тетраценовые антибиотики. Депсиды.

Тема 5.3. Фенольные соединения шикиматного и смешанного путей биосинтеза

Шикимовая, хоризмовая, префеновые кислоты как предшественники фенолокислот и жирноароматических аминокислот. [3,3]-Сигмагруппная перегруппировка Кляйзена в биохимической трансформации хоризмовой кислоты в префеновую. Салициловая, *n*-гидроксibenзойная, галловая кислоты. Фенилпировиноградная кислота, фенилаланин и тирозин. Фенилпропаноиды. Коричная и гидроксикоричные кислоты. Лигнаны. Фенилпропены. Ванилиновая кислота и ванилин. Кумарины и фурукумарины. Понятие об антикоагулянтах. Стилбены. Халконы. Флавоноиды, изофлавоноиды и их гликозиды: кверцетин, дигидрокверцетин, рутин, гесперидин, катехины, генистеин, антоцианидины и антоцианы, ауруны. Биосинтез флавоноидов. Витамины группы Р. Значение флавоноидов и изофлавоноидов в питании человека. Токоферолы. Госсипол как полифенольное соединение мевалонатного пути биосинтеза терпенов, особенности структуры, таутомерия и атропоизомерия.

Тема 5.4. Природные хиноны

Природные 1,4-бензохиноны: убихиноны (коферменты Q), пластохиноны и их биохимическая роль. Природные 1,4-нафтохиноны: филлохиноны и менахиноны (витамины группы K).

Раздел 6. Аминокислоты, биогенные амины, алкалоиды

Тема 6.1. Структура, классификация и биологическая роль аминокислот.

Химическая классификация аминокислот. Протеиногенные и непротеиногенные аминокислоты. Заменяемые и незаменимые α -аминокислоты. Посттрансляционная модификация аминокислотных остатков в пептидах и белках. Некодируемые α -аминокислоты: гидроксизин, 3- и 4-гидроксипролины, цистин. Кислотно-основные свойства и стереохимия α -аминокислот. Изoeлектрическая точка. Биохимические семейства протеиногенных аминокислот. Шикиматный путь биосинтеза фенилаланина, тирозина и триптофана. Энантиоселективный химический синтез α -аминокислот.

Тема 6.2. Биологически важные реакции α -аминокислот. Биогенные амины

Дезаминирование и трансаминирование α -аминокислот. Механизм трансаминирования. α -Декарбоксилирование аминокислот и их производных. Механизм α -декарбоксилирования. β -Аланин и γ -аминомасляная кислота. (S)-Аденозилметионин, его роль в биосинтезе биогенных аминов и полиаминов. Биогенные амины: дофамин, адреналин, норадреналин, триптамин, серотонин, мелатонин, гистамин. Таурин. Биогенные полиамины: кадаверин, путресцин, спермидин и спермин. Биологическая роль биогенных аминов и полиаминов.

Образование пептидной связи. Понятие о нейропептидах и пептидных антибиотиках. Глутатион.

Тема 6.3. Алкалоиды

«Истинные алкалоиды», протоалкалоиды и псевдоалкалоиды. Биогенетические предшественники «истинных алкалоидов» и протоалкалоидов. Общие представления о путях биосинтеза алкалоидов в растениях. Ботаническая и химическая классификация алкалоидов. Алкалоиды пирролидинового и пиперидинового ряда: гигрин, кониин, лобелин. Алкалоиды пиридинового ряда: никотин, анабазин. Никотиноиды и неоникотиноиды. Алкалоид пирролизидинового ряда платифиллин. Тропановые алкалоиды: кокаин, атропин, гиосциамин, скополамин. Биомиметический одностадийный синтез тропинона по Робинсону. Алкалоиды пуринового ряда: кофеин, теofilлин и теобромин. Индольные алкалоиды: иохимбин, резерпин, стрихнин, лизергиновая кислота. Имидазол-содержащий алкалоид пилокарпин. Изохинолиновые алкалоиды. Алкалоиды опия (группа морфина) – морфин, кодеин, тебаин. Алкалоиды опия папаверин, наркотин и их синтетические аналоги (но-шпа). Группа тубокурарина. Протоалкалоиды: эфедрин, капсаицин, колхицин и колхамин. Типы биологического действия алкалоидов и их применение в медицинской практике.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Основные понятия и методы химии природных соединений							
1.1	Введение	2						
1.2	Методы выделения природных соединений							
1.3	Этапы и методы установления структуры низкомолекулярных природных соединений							
1.4	Химическая организация клетки. Особенности биосинтетических реакций							Устный опрос (по темам 1.1-1.4)
2	Углеводы							
2.1	Классификация углеводов. Моносахариды	2						
2.2	Образование моносахаридов фотосинтезом							

2.3	Образование О-гликозидной связи. Дисахариды и полисахариды	2						
2.4	Гликозиды, восстановленные и окисленные формы сахаров		2				1	Контрольная работа № 1 (по темам 2.1-2.4)
3	Липиды, жирные кислоты и поликетиды. Ацетатно-малонатный путь биосинтеза							
3.1	Липиды, жирные кислоты и их роль в организме. β -Окисление и биосинтез жирных кислот	3						
3.2	Оксигенированные производные жирных кислот (оксипирины)							
3.3	Поликетиды	1	2				1	Контрольная работа № 2 (по темам 3.1-3.3)
4	Изопреноиды							
4.1	Строение молекул изопреноидов и пути их биосинтеза	2						
4.2	Монотерпены, сесквитерпены и дитерпены							
4.3	Тритерпены и стероиды	2						
4.4	Тетратерпены и каротиноиды		2				1	Контрольная работа № 3 (по темам 4.1-4.4)
5	Фенольные вещества растений							

5.1	Общая характеристика фенольных веществ растений	2						
5.2	Фенольные соединения ацетатно-малонатного (поликетидного) пути биосинтеза							
5.3	Фенольные соединения шикиматного и смешанного путей биосинтеза	2						
5.4	Природные хиноны		2				1	Контрольная работа № 4 (по темам 5.1-5.4)
6	Аминокислоты, биогенные амины, алкалоиды							
6.1	Структура, классификация и биологическая роль аминокислот	3						
6.2	Биологически важные реакции α -аминокислот. Биогенные амины							
6.3	Алкалоиды	1	2					Устный и письменный опрос (по темам 6.1-6.3)
	ИТОГО	22	10				4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Селивестрова, Т.С. Органическая химия. Гетерофункциональные природные соединения: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по направлению образования «Химическая промышленность» и специальностям «Биоэкология», «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции»: в 2 кн. / Т.С. Селивестрова, М.А. Кушнер, В.С. Безбородов. – Минск: БГТУ, 2021. – Кн. 1: 161 с., Кн. 2: 115 с.

2. Биоорганическая химия: учебное пособие для студ. учреждений высшего образования по спец. "Лечебное дело", "Медико-профилактическое дело", "Медико-диагностическое дело" / Е. Г. Тюлькова, А. К. Довнар, Ж. Н. Громыко [и др.]. - Минск: Адукацыя і выхаванне, 2024. - 319 с. Гриф РБ.

3. Миронович, Л.М. Гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами: учебное пособие для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования уровня бакалавриат, магистратура и специалитет по направлению подготовки "Химия" и специальности "Фундаментальная и прикладная химия" / Л. М. Миронович. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург; Москва ; Краснодар : Лань, 2022. - 206 с.

4. Галочкин, А. И. Органическая химия. Книга 4. Гетерофункциональные и гетероциклические соединения: учебное пособие для вузов / Галочкин А. И., Ананьина И. В.; Галочкин А. И. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 292 с.

Дополнительная литература

1. Племенков, В.В. Введение в химию природных соединений: для хим., биол. и мед. спец. ВУЗов и университетов / В.В. Племенков. – Казань: [б. и.], 2001. – 376 с.

2. Липсон, В.В. Химия природных низкомолекулярных соединений: учебное пособие / В.В. Липсон. – Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2013. – 344 с.

3. Семенов, А.А. Очерк химии природных соединений / А.А. Семенов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 664 с.

4. Музычкина, Р.А. Основы химии природных соединений / Р.А. Музычкина, Д.Ю. Корулькин, Ж.А. Абилов. – Алматы: ЦДК «Глобус», 2014. – 564 с.

5. Природные биологически активные вещества. Прикладная органическая химия / под. ред. Солдатенкова А.Т. – Ханой: Знания, 2016. – 376 с.

6. Румянцев, Е.В. Химические основы жизни / Е.В. Румянцев, Е.В. Антипа, Ю.В. Чистяков. – М.: Химия, КолосС, 2007. – 560 с.

7. Dewick, P.M. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach / P.M. Dewick. – 3rd ed. – J. Wiley & Sons, Ltd, 2009. – 546 p.

8. Shenvi, R.A. Natural Product Synthesis in the 21st Century: Beyond the Mountain Top / R.A. Shenvi // ACS Central Science. – 2024. – Vol. 10, № 3. – P. 519–528.

9. Hu, L.-J. Strategies and Advances in the Biomimetic Synthesis of Natural Products / L.-J. Hu [et. al.] // Engineering. – 2025. – Vol. 44. – P. 30-36.

10. Newman, D.J. Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019 / D.J. Newman, G.M. Cragg // J. Nat. Prod. – 2020. – Vol. 83, № 3. – P. 770-803.

11. Овчинников, Ю.А. Биоорганическая химия / Ю.А. Овчинников. – Москва: "Просвещение", 1987. – 816 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций рекомендуется использовать следующие средства текущей аттестации:

1. Устный и письменный опрос (тесты) на аудиторных занятиях.
2. Написание аудиторных контрольных работ.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Химия природных соединений» учебным планом предусмотрен зачет.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Примерный перечень вопросов по теме «**Основные понятия и методы химии природных соединений**».

1) Какие признаки положены в основу классификации природных соединений. Что такое первичные и вторичные метаболиты.

2) Какие методы выделения из природных источников и очистки природных соединений вы знаете.

3) Какие физико-химические методы исследования используют для установления структуры природных соединений. Какую информацию о структурных особенностях вещества дает каждый перечисленный вами метод.

4) Почему углерод является основой природных соединений и в чем заключается биологическая роль воды.

5) В чем заключаются специфические особенности ферментов как биокатализаторов. Что такое активный центр фермента.

6) Что такое коферменты, простетические группы и какова их роль. Какие структурные компоненты входят в состав коферментов (простетических групп).

7) Перечислите известные вам основные типы биосинтетических реакций.

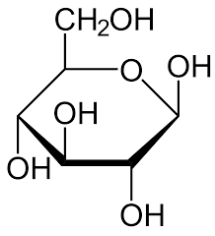
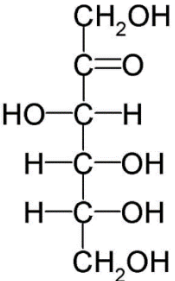
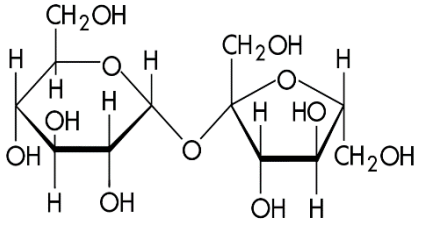
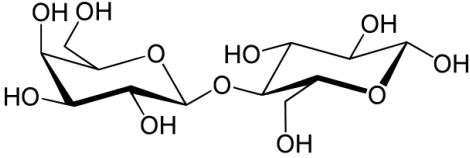
8) По какому принципу классифицируют ферменты. Перечислите классы ферментов. Какие реакции катализирует каждый из перечисленных вами класс.

Форма контроля – устный опрос.

Решение заданий по теме «**Углеводы**».

1. *Задание, формирующее достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:*

Дайте тривиальные названия соединениям А, Б, Д и Е. Изобразите формулу соединения А в конформации «кресла». Нарисуйте проекционную формулу Фишера раскрытой формы соединения А. Какие из приведенных в таблице природных соединений дают реакцию «серебряного зеркала» с реагентом Толленса. Обоснуйте ваши ответы.

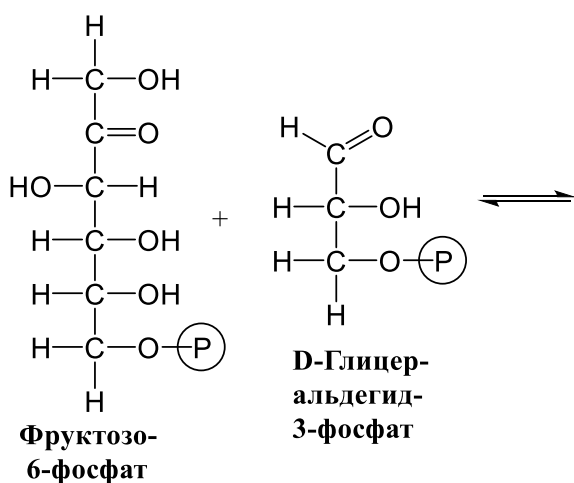
 <p style="text-align: center;">А</p>	 <p style="text-align: center;">Б</p>	<p style="text-align: center;">Муравьиная кислота В</p>
<p style="text-align: center;">Уксусная кислота Г</p>	 <p style="text-align: center;">Д</p>	 <p style="text-align: center;">Е</p>

2. Задание, формирующее компетенции на уровне воспроизведения:

Приведите фрагмент схемы биосинтеза глюкозы в темновой фазе фотосинтеза, включающий стадии карбоксилирования и восстановления.

3. Задание, формирующее компетенции на уровне применения полученных знаний:

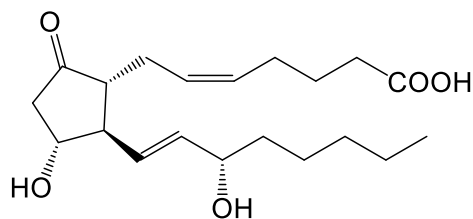
Нарисуйте структурные формулы продуктов транскетолазной реакции между фруктозо-6-фосфатом и D-глицеральдегид-3-фосфатом. К какому классу относится катализирующий эту реакцию фермент. Какая простетическая группа присутствует в этом ферменте.



Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Решение заданий по теме «**Липиды, жирные кислоты и поликетиды.**
Ацетатно-малонатный путь биосинтеза.».

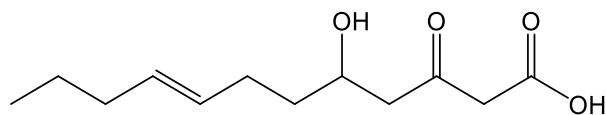
1. *Задание, формирующее достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:*



К какому классу соединений относится данное вещество? Какова его биологическая роль? Из какого биосинтетического предшественника (жирной кислоты) оно образуется?

2. *Задание, формирующее компетенции на уровне воспроизведения:*
Приведите общую схему биосинтеза разнообразных поликетидных структур.

3. *Задание, формирующее компетенции на уровне применения полученных знаний:*



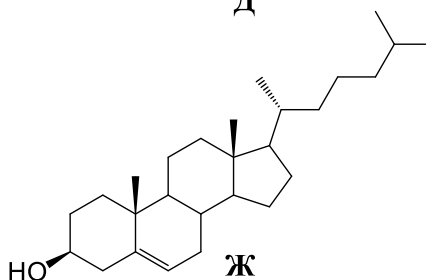
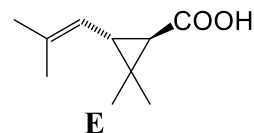
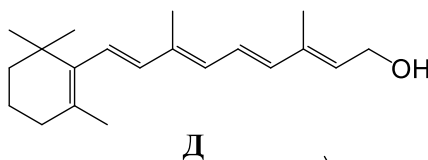
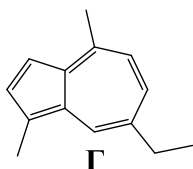
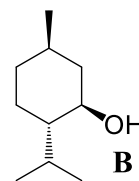
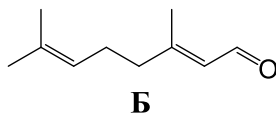
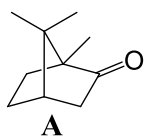
Предложите последовательность стадий биосинтеза изображенного на рисунке поликетид.

Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Решение заданий по теме «**Изопреноиды.**».

1. *Задание, формирующее достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:*

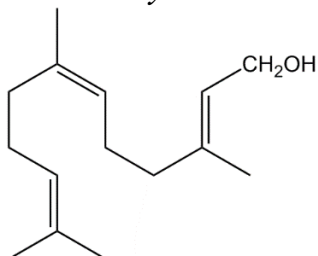
Дайте тривиальные названия приведенным ниже соединениям. Укажите, к какому классу терпенов (*геми-, моно-, сескви-* и т.д.) относится каждое из них. Какую биологическую роль играют соединения (Д) и (Ж), назовите их биосинтетические предшественники.



2. Задание, формирующее компетенции на уровне воспроизведения:

Приведите схему биосинтеза мевалоновой кислоты и из нее – двух «активных изопренов».

3. Задание, формирующее компетенции на уровне применения полученных знаний:



Предложите схему биосинтеза изображенного вещества из «активных изопренов». Дайте тривиальное название указанному веществу. К какому классу терпеноидов оно относится?

Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Решение заданий по теме «Фенольные вещества растений».

1. Задание, формирующее достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:

Приведите тривиальные названия указанных фенольных соединений и укажите путь их биосинтеза в растениях (ацетатно-малонатный, шикиматный, смешанный):

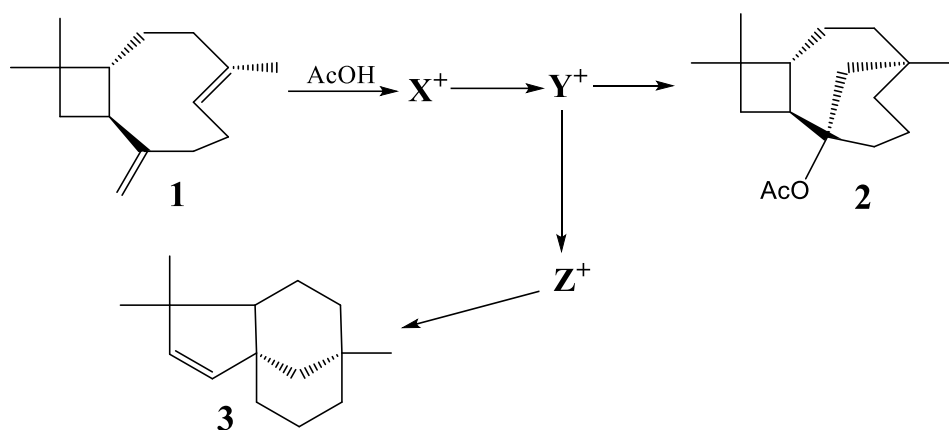
<p style="text-align: center;">A</p>	<p style="text-align: center;">B</p>	<p style="text-align: center;">C</p>
<p style="text-align: center;">D</p>	<p style="text-align: center;">E</p>	<p style="text-align: center;">F</p>

2. Задание, формирующее компетенции на уровне воспроизведения:

Напишите схему превращения хоризмовой кислоты в префеновую и превращение последней в коричную.

3. Задание, формирующее компетенции на уровне применения полученных знаний:

Нарисуйте структуру интермедиатов X^+ , Y^+ и Z^+ , образующихся при катализируемой уксусной кислотой трансформации бициклического сесквитерпена β -кариофиллена (1) в производные (2) и (3).



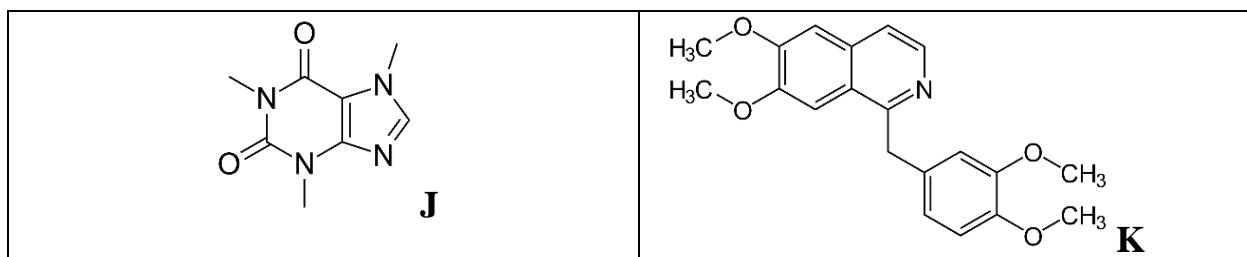
Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Решение заданий по теме «**Аминокислоты, биогенные амины, алкалоиды**».

1. Задание, формирующее достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания:

Проанализируйте приведенные ниже структуры природных соединений и отметьте, к какому классу веществ (алкалоиды, аминокислоты, биогенные амины) относится каждое из них. Приведите тривиальные названия этих соединений. Приведите названия азотистых гетероциклов, входящих в состав структуры соединений **A-F**, **H-K**.

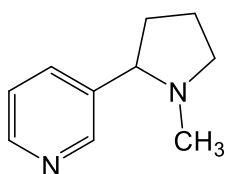
<p>A</p>	<p>B</p>	<p>C</p>
<p>D</p>	<p>E</p>	<p>F</p>
<p>G</p>	<p>H</p>	<p>I</p>



2. Задание, формирующее компетенции на уровне воспроизведения:

Напишите схему образования фенилаланина и тирозина из шикимовой кислоты. Почему тирозин не относят к незаменимым аминокислотам?

3. Задание, формирующее компетенции на уровне применения полученных знаний:



Предложите возможную схему биосинтеза изображенного алкалоида, зная, что биосинтетическим предшественником его пиридинового фрагмента являются аспарагиновая кислота. Дайте тривиальное название этому алкалоиду. Предложите схему химического синтеза витамина PP (В₃) из него.

Форма контроля – устный и письменный опрос (тест).

Примерный перечень практических работ

1. **Практическая работа № 1.** Углеводы. Моно-, ди- и полисахариды. Гликозиды.
2. **Практическая работа № 2.** Жирные кислоты и их оксигенированные производные. Поликетиды. Ацетатно-малонатный путь биосинтеза.
3. **Практическая работа № 3.** Изопреноиды. Моно-, сескви-, ди- и тритерпеноиды, стероиды.
4. **Практическая работа № 4.** Фенольные вещества растений. Ацетатно-малонатный, шикиматный и смешанный пути биосинтеза.
5. **Практическая работа № 5.** Аминокислоты, биогенные амины, алкалоиды.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются **методы учебной дискуссии**, а также **методы и приемы технологии развития критического мышления**.

Метод учебной дискуссии предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методы и приемы технологии развития критического мышления представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по заданной проблеме курса;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- решение домашних упражнений к практическим занятиям.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Принципы систематизации органических соединений живых организмов. Ключевые строительные блоки природных органических соединений.
2. Классификация, строение и принципы работы ферментов. Витамины как структурные компоненты коферментов и простетических групп. Основные биосинтетические реакции.
3. Моносахариды, их классификация и виды изомерии. Мутаротация. Наиболее важные реакционные центры моносахаридов.
4. Стереохимия углеводов. Проекционные формулы Фишера и Колли-Толленса. Перспективные формулы Хеуорса. Формулы Миллза.
5. Образование моносахаридов фотосинтезом. Представление о цикле Кальвина. Биологически важные трансформации углеводов в темновой фазе фотосинтеза.
6. Образование O-гликозидной связи и ее типы. Важнейшие представители ди- и полисахаридов.
7. O-, N-, S- и C-гликозиды. Примеры некоторых простейших представителей. Агликоны.
8. Аскорбиновая кислота и ее биологическая роль. Химический синтез аскорбиновой кислоты из D-глюкозы.
9. Классы липидов, в структуру которых входят остатки жирных кислот.
10. Природные насыщенные, моноеновые и полиеновые жирные кислоты. Семейства полиеновых кислот млекопитающих. Незаменимые (эссенциальные) жирные кислоты.
11. Жирные кислоты как источник энергии: β -окисление жирных кислот. Особенности окисления ненасыщенных жирных кислот.

12. Биосинтез жирных кислот в организме.
13. Важнейшие представители эйкозаноидов, их биосинтетические предшественники и биологическая роль.
14. Структура, классификация и ключевые виды биологического действия простагландинов. Представление о пути их биосинтеза в организме.
15. Лактон Кори и его применение в химическом синтезе простагландинов. Трехкомпонентный химический синтез простагландинов и их аналогов.
16. Оксипирины неферментативного перекисного окисления полиненасыщенных жирных кислот (изопростаны, нейпростаны и фитопростаны) и их биологическая роль.
17. Ацетатно-малонатный (поликетидный) путь биосинтеза, общая схема и продукты этого биосинтетического пути.
18. Принципы построения молекул изопреноидов. Изопреновое правило. Классификация изопреноидов. Мевалонатный и немевалонатный (метилэритритолфосфатный) пути биосинтеза.
19. Биосинтетическая последовательность «*активный изопрен – гераниол – фарнезол – геранилгераниол – полипренолы*». Основные пути скелетных преобразований ключевых изопреноидных структур.
20. Монотерпены и монотерпеноиды: основные представители, их биосинтез и биологическая роль.
21. Бициклические монотерпены: типы структур, биосинтез и химические свойства.
22. Сесквитерпены и сесквитерпеноиды: биосинтез, отдельные представители, биологические функции.
23. Дитерпены: геранилгераниол и фитол, отдельные типы структур циклических дитерпенов. Смоляные кислоты.
24. Биосинтетическая последовательность «*геранилпирофосфат – фарнезилпирофосфат – сквален – ланостерин – холестерин*». Биологическая роль холестерина.
25. Классификация стероидных соединений, характеристика особенностей структуры и биологических функций наиболее важных групп.
26. Полный и частичный химический синтез стероидов. Линейные и конвергентные схемы синтеза стероидов. Биомиметический синтез. Полный синтез эстрогена по Торгову.
27. Биосинтетическая последовательность *геранил-геранилпирофосфат – фитонин – ликопин – α-, β- и ε-каротины*. Биологическая роль каротинов. Ксантофилы.
28. Витамин А, его источники для организма и биологическая роль. Химический синтез ретинола ацетата.
29. Фенольные вещества растений, классификация (с примерами соединений) и биологические функции.
30. Ацетатно-малонатный (поликетидный) путь биосинтеза фенольных веществ растений.
31. Шикиматный путь биосинтеза фенольных соединений.

32. Фенилпропаноиды: коричная кислота, гидроксикоричные кислоты и спирты, кумарины. Общие принципы биосинтеза лигнанов из гидроксикоричных спиртов.
33. Фенольные соединения растений смешанного пути биосинтеза.
34. Флавоноиды, их классификация, биосинтез и биологические функции.
35. Природные хиноны: убихиноны, пластохиноны и их биохимическая роль. Филлохиноны и менахиноны.
36. Строение, классификация и биологическая роль аминокислот. Кислотно-основные свойства и стереохимия α -аминокислот.
37. Биологически важные реакции α -аминокислот: дезаминирование, трансаминирование, декарбоксилирование и продукты этих трансформаций.
38. Механизм трансаминирования α -аминокислот, роль пиридоксаль-фосфата (витамина В₆).
39. Биохимические семейства аминокислот.
40. Биогенные амины и полиамины (с примерами соединений), их биосинтез и биологическая роль.
41. «Истинные алкалоиды», протоалкалоиды и псевдоалкалоиды. Биогенетические предшественники «истинных алкалоидов» и протоалкалоидов, ботаническая и химическая классификация алкалоидов.
42. Алкалоиды пирролидинового, пиперидинового, пирролизидинового и тропанового рядов. Биомиметический синтез тропинона по Робинсону.
43. Пуриновые алкалоиды: кофеин, теofilлин, теобромин. Индольные алкалоиды: иохимбин, стрихнин, лизергиновая кислота.
44. Алкалоиды – производные хинолина/хинуклидина и изохинолина.
45. Пиридиновые алкалоиды: никотин, анабазин. Биологическое действие и применение. Никотиноиды и неоникотиноиды.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
органической химии
кандидат химических наук

И.П.Антоневич

13.06.2025

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
