УДК 547.541.2 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.020

К МЕТОДАМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ

© Нагиева Мехрибан Видади гызы (a), Салманова Чимназ Кафар гызы (a), Расулов Чингиз Князь оглу (a), Гейдарли Гюнай Заман гызы (a) Гаджиева Гюльсум Фариз гызы (a), Гасымова Фатима Иса гызы (a)

(a) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования

Аннотация. Фенольные соединения представляют собой весьма обширный и разнообразный тип органических соединений, широко распространеных в природе. Биологическое значение биоактивных фенольных природных вторичных метаболитов огромно и имеет важное значение. Известно, что фенольные соединения проявляют различную биологическую активность, такую как антимикробные, антиоксидантные и противовоспалительные свойства. Некоторые химические свойства, такие как кислотность и образование радикалов, напрямую связаны с их важной и ключевой биологической активностью, такой как антиоксидантные свойства. В связи с высоким потенциалом фенольных соединений для применения в различных отраслях промышленности, таких как фармацевтическая и пищевая промышленность, весьма актуальным представляется поиск разработки эффективных методов их синтеза, а также современных и точных методов их обнаружения и анализа. Учитывая их многообразие в растительном мире, являющегося ключевым источником их получения, наиболее эффективным методом их выделения является применение физико-химических методов анализа экстрактов растительных организмов. В текущей работе показано значение фенольных соединений для различных отраслей народного хозяйства, рассмотрены наиболее основные методы выделения этих соединений и отмечены перспективы их использования в органической химии и других сферах производства.

Ключевые слова: фенольные соединения, флаваноиды, фенольные кислоты, растительные организмы, антиоксидантная активность, шикиматный путь.

TO THE METHODS OF EXTRACTING PHENOLIC COMPOUNDS FROM PLANT ORGANISMS

© Naghiyeva Mehriban Vidadi (a), Salmanova Chimnaz Qafar (a), Rasulov Chingiz Knyaz(a), Heydarli Gunay Zaman (a), Aliyeva Kenul Shirin (a), Qasymova Fatima Isa (a)

(a) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education

Abstract. Phenolic compounds are a very large and diverse type of organic compounds that are widespread in nature. The biological significance of bioactive phenolic natural secondary metabolites is enormous and of great importance. Phenolic compounds are known to exhibit various biological activities such as antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory properties. Some chemical properties such as acidity and radical formation are directly related to their important and key biological activities such as antioxidant properties. Due to the high potential of phenolic compounds for use in various industries such as pharmaceutical and food industries, it is highly relevant to search for the development of effective methods for their synthesis, as well as modern and accurate methods for their detection and analysis. Given their diversity in the plant kingdom, which is a key source for their production, the most effective method for their isolation is the use of physicochemical methods for analyzing plant extracts. The current work shows the importance of phenolic compounds for various sectors of the national economy, considers the most basic methods for isolating these compounds, and notes the prospects for their use in organic chemistry and other areas of production.

Key words: phenolic compounds, flavonoids, phenolic acids, plant organisms, antioxidant activity, shikimate pathway.

Фенольные соединения представляют собой группу биоактивных веществ, встречающихся в растениях, и обладающих антиоксидантными, антибактериальными и противовоспалительными свойствами. Они содержат ароматическое кольцо с гидроксильной группой и могут быть простыми фенолами или полифенолами, состоящими из нескольких фенольных единиц. В этой связи фенольные соединения классифицируют по количеству фенольных колец в молекуле (простые фенолы или полифенолы), а также по типу структуры (флавоноиды, фенольные кислоты, танины и др.). Эти соединения широко распространены в растительном мире, особенно в плодах, овощах, злаках, корнеплодах и листьях. Фенольные соединения играют важную роль в защите растений от окислительного стресса, ультрафиолетового излучения и патогенов. Кроме того, они обладают антиоксидантной активностью, что помогает защитить организм от повреждений свободными радикалами, а также могут иметь антибактериальные, противовоспалительные и противораковые свойства. Фенольные соединения используются в пищевой промышленности (в качестве антиоксидантов, консервантов и пищевых добавок), в фармацевтике (в качестве лекарственных средств и биоактивных веществ) и в косметологии [1-3]. Некоторые примеры фенольных соединений включают флавоноиды (антоцианы, катехины), фенольные кислоты (галовая кислота, кумаровая кислота), танины и лигнаны.

Процесс биосинтеза фенольных соединений в растениях, а также классификация этих соединений по функциям, которые они выполняют в орагнизмах, хоршо были освещены в работе [4]. Авторы работы сообщают, что существует 3 основных пути формирования фенольных соединений в организмах растений:

А) шикиматный путь - это путь синтеза фенольных и других ароматических соединений, в котором промежуточным метаболитом является шикимовая кислота

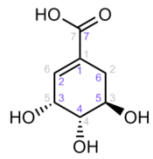

Рис. 1. Шикимовая кислота

Целевым звеном этого пути является замыкание (zip-сборка) ароматических систем за счет внутримолекулярной кротоновой конденсации.

Б) пентозофосфатный путь - этот путь предусматривает альтернативный путь окисления глюкозы и включает в себя несколько последовательных этапов как окислительного, так и неокислительного типа. Его также называют путь Варбурга-Диккенса-Хорекера в честь авторов, которые смогли его разработать.

В) фенилпропаноидный путь - в этом пути основным исходным источником является аминокислота фенилаланин; под действием ферментов фенилаланин в конечном счете превращается в активированное производное (гидрокси)коричной кислоты, циннамат 4-гидроксилазы и 4-кумарата: кофермента А лигазы, а также специфические ответвления путей для образования монолигнолов/лигнина, кумаринов, бензойных кислот, стильбенов и флавоноидов/изофлавоноидов.

Растительные фенольные соединения могут действовать как антиоксиданты, структурные полимеры (лигнин), аттрактанты (флавоноиды и каротиноиды), УФ-экраны (флавоноиды), сигнальные соединения (салициловая кислота и флавоноиды) и химические вещества защитной реакции (танины и фитоалексины) [4].

Количественная оценка фенольных соединений в глобальных биомах важна для мониторинга биологического разнообразия и экосистемных процессов [5]. Однако наше понимание фенольных соединений листвы остается ограниченным, особенно в отношении того, как они различаются среди умеренных видов деревьев и можно ли оценить их вариации и особенности поглощения с помощью спектроскопии на уровне листьев. В этой работе авторы изучили взаимосвязи между спектральными свойствами свежих листьев умеренных видов деревьев и двумя экологически важными фенольными соединениями (т. е. общим фенолом и танином). Авторы взяли образцы листьев четырех доминирующих видов деревьев (т. е. дуба черешчатого, бука европейского, ели норвежской и сосны обыкновенной) на двух участках европейских умеренных лесов. Удаление континуума было применено к спектрам листьев для улучшения оценки тонких особенностей поглощения, которые коррелируют с содержанием фенолов. Общие концентрации фенола и танина оценивались путем сравнения производительности двух эмпирических методов, а именно регрессии частичных наименьших квадратов (PLSR) и регрессии гауссовых процессов (GPR). Полученные результаты показали большой диапазон вариаций общего содержания фенола и танина между видами деревьев умеренного климата ($p < 0,05$). Спектральный анализ выявил устойчивые и отчетливые особенности поглощения фенолов вблизи 1666 нм в спектрах дуба черешчатого, ели норвежской и бука европейского, тогда как сосна обыкновенная продемонстрировала более слабую особенность поглощения вблизи 1653 нм. Результаты регрессии показали, что как PLSR, так и GPR точно оценивали общее содержание фенола и танина среди видов деревьев умеренного климата, причем информативные полосы для прогнозирования этих двух признаков хорошо соответствовали

между двумя использованными моделями. Эти результаты также показали, что общее содержание фенола в целом было предсказано точнее, чем содержание танина, независимо от используемых методов. Это исследование расширяет понимание особенностей поглощения фенольных соединений в обычных умеренных видах деревьев и демонстрирует потенциал обобщенной спектроскопической модели для прогнозирования лиственных фенольных соединений в умеренных лесах.

Исследование [6] показало, что этанольные экстракты из коры *Acacia confusa* проявили сильную антиоксидантную активность. Среди всех фракций этанольных экстрактов коры, растворимая в EtOAc фракция проявила наилучшую антиоксидантную эффективность. Кроме того, после хроматографического анализа 11 чистых фенольных соединений были выделены и идентифицированы из этанольных экстрактов.

Черная вишня (*Prunus serotina Ehrh.*) широко распространена в Европе [7]. Целью этой работы было изучение подробного профиля фенольных соединений из экстрактов листьев и цветков *P. serotina*. Были получены три типа экстрактов *P. serotina*. Экстракты были проанализированы на предмет различий в содержании фенолов на основе различных методов экстракции. Для идентификации фенольных соединений использовали метод HPLC-MSn, а для их количественной оценки — HPLC–DAD. Результаты показывают, что разные методы экстракции приводят к разнице в количестве экстрагируемых веществ. Флаванолы являются основной группой идентифицированных соединений как в листьях, так и в цветках. Более высокая эффективность экстракции приводит к большему количеству фенольных соединений в цветах по сравнению с листьями (49,8 против 36,5 г/кг сухого веса). Не было обнаружено никакой разницы в количестве фенольных соединений между водными экстрактами листьев и цветов. Каждый экстракт можно считать богатым фенольными соединениями. Эта работа показывает, что листья и цветы *P. serotina* являются богатым источником фенольных соединений. Наилучшие выходы при экстракции гидроксикоричных кислот, флаванолов и общих фенолов из цветков черной вишни были получены с 40% этанола, а самые плохие — с водой. Содержание общих фенолов на 30% выше из листьев при использовании метанола вместо воды.

Плоды *Paulownia coreana Uyeki* собирали, экстрагировали смесью ацетон-вода (7:3, об./об.), фракционировали *н*-гексаном, метиленхлоридом и этилацетатом, затем высушивали вымораживанием, получая темно-коричневый порошок [8]. Растворимую в этилацетате смесь хроматографировали на колонке Sephadex LH-20 с использованием ряда водных смесей метанола и этанола с гексаном в качестве элюентов. Спектрометрический анализ, такой как ЯМР и МС, включая ТСХ, был проведен для установления структур выделенных соединений. Из фракции этилацетата были выделены и идентифицированы одна фенольная кислота и пять флавоноидов. Антиоксидантная активность была протестирована на выделенных соединениях, сырых и фракционированных экстрактах методом удаления радикалов DPPH. Результат показал, что кофейная кислота, кемпферол, лютеолин, кверцетин и растворимая в EtOAc фракция проявили более высокую активность, чем токоферол и BHT.

Calophyllum inophyllum известен как часть мангровых лесов [9]. Этот вид распространен в основном в прибрежных районах Индонезии и Африки. Он богат биоактивными соединениями и использовался в качестве традиционного лекарства. В этой работе использовалась одна повторность метода эксперимента «один фактор за раз» для

исследования оптимальных условий, что привело к самому высокому фенольных соединений. Тремя изученными факторами были тип органического растворителя (ацетон, этанол и метанол), концентрация органического растворителя в воде (50–100%, об./об.) и температура экстракции (30–60 °C). Экстракция проводилась методом перколяции. Результат показывает, что тип органического растворителя, концентрация органического растворителя в воде и температура экстракции значительно влияют на фенольные соединения и выход полученного сырого экстракта. Самый высокий выход фенольных соединений (289,12 мг GAE/г остатка листьев *C. inophyllum*) был достигнут с 80% метанолом в воде при 30 °C в течение 48 часов. При этом условии были достигнуты выход 2,41% и значение IC_{50} 0,054 мкг/мл. Кроме того, в экстракте впервые обнаружен бис(2-этилгексил) фталат.

Дополнительный подход с использованием жидкостного хроматографического-масс-спектрометрического анализа был предложен для характеристики фенольных соединений из метанол-водных экстрактов *K. ivorensis A. Chev* [10]. Два дополнительных метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) были использованы для определения фенольных соединений из коры, заболони и сердцевины *K. ivorensis*. Применяемые методы включали прямой анализ после фильтрации на 0,20 мкм с использованием колонки RP C18 и детектирования UV-VIS/ESI-FTMS. Используемые методы отличались градиентом элюирования и позволяли анализировать химический состав трех частей экстрактов африканского красного дерева. В этом исследовании 22 фенольных соединения и производных из *K. ivorensis* были разделены, определены или предварительно охарактеризованы впервые на основе их масс-спектров метанол/вода/муравьиная кислота. Разница градиентов элюировала различные соединения, 8 были получены с помощью первого метода и 14 - со вторым. Основными продуктами были гидроксибензойная кислота и ее производные, резорцин, этерифицированные соединения, маннит, кверцетин и его производные, дигидроксифлаван и тригидроксифлаван.

В Венесуэле посевы какао сорта *Криолло* распространены в разных регионах (восточном, центральном и западном) и в разных системах эксплуатации, и в каждом из этих регионов существует уникальность материалов с характеристиками, связанными с внутренним, дифференциальным качеством, которое может потенциально влиять на качество шоколада. Эти регионы имеют присущий им климат, который существенно отличается; однако отсутствует последовательная техническая информация о реальном влиянии факторов окружающей среды на органолептическое качество какао. Поэтому настоящая работа направлена на оценку содержания важных компонентов какао, таких как фенольные соединения, лигнин, аминокислоты и углеводы, в шести клонах *Theobroma cacao L*, выращенных в трех различных агроклиматических местах: влажных, полувлажных и сухих тропических лесах. Было обнаружено, что производство фенольных соединений и лигнина различается в клонах в зависимости от их местоположения, при этом самые высокие значения обнаружены во влажном лесу, а самые низкие — в сухом климате. Неструктурные углеводы, с другой стороны, были обнаружены в больших количествах в образцах из сухого леса. Наибольшее производство пролина было обнаружено во влажном лесу для большинства клонов, что подразумевает, что высокие уровни влажности способствуют производству аминокислот, шаблон, которому следует и содержание

фенольных соединений. Результаты, представленные в этом исследовании, указывают на то, что существует зависящее от климата производство важных метаболитов, которые играют важную роль в органолептических свойствах какао, и это может потенциально транслироваться в различные уровни устойчивости к стрессу и болезням.

Фрукты из Атлантического леса вызывают все больший интерес, поскольку они содержат высокие уровни биоактивных соединений с заметными функциональными свойствами [12]. Состав каротиноидов и фенольных соединений из фруктов, найденных в Атлантическом лесу (джуссара, увайя, араса и грумиксама), был определен с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с детекторами диодной матрицы и масс-спектрометрии. Увайя показала самые высокие уровни каротиноидов (1306,6 мкг/100 г свежего вещества (с.в.)). Галловая кислота была основным фенольным соединением в арасе (12,2 мг ГАЭ/100 г с.в.) и увайе (27,5 мг ГАЭ/100 г с.в.). В грумиксаме было обнаружено восемь производных кверцетина; основные каротиноиды включали полностью транс-β-криптоксантин (286,7 мкг/100 г с.в.) и полностью транс-лютеин (55,5 мкг/100 г с.в.). Увайя и грумиксама содержат большое количество каротиноидов, в то время как джуссара показала более высокий уровень фенольных соединений (415 мг GAE/100 г с.в.), особенно антоцианов (цианидин 3-рутинозид: 179,60 мг/100 г с.в.; цианидин 3-глюкозид: 47,93 мг/100 г с.в.).

Авторы работ [13,14] сообщают, что мед в основном состоит из глюкозы и фруктозы от 80 до 85 %, которые поступают из нектара, собранного пчелами; поэтому он считается отличным источником калорий. Настоящее исследование направлено на оценку влияния цвета на химический состав и биоактивные свойства полифлорного меда, собранного в разных географических регионах штата Герреро, Мексика. Образцы меда урожая 2018 года были проанализированы для определения их общего содержания фенольных соединений и флавоноидов, а также их антиоксидантной и антимикробной активности. Содержание фенольных соединений и флавоноидов значительно варьировалось, и самые высокие значения были получены для темно-янтарных медов. Аналогичным образом, темно-янтарные меды показали более высокую антиоксидантную активность. Антибактериальная активность была более эффективна против грамположительных бактерий, чем против грамотрицательных бактерий; также результаты показали, что грибы были менее восприимчивы, чем бактерии. Была обнаружена положительная корреляция между цветом и антиоксидантной способностью. Корреляция существовала также между цветом и содержанием фенольных соединений, содержанием флавоноидов или между фенольными и флавоноидными.

Хвоя сеянцев *Larix gmelinii*, выращенных при различной освещенности (100, 52 и 26 % естественного солнечного света), собиралась с июня по август 2009 года [15]. Содержание фенольных соединений и конденсированных танинов в хвое сильно зависело от различной освещенности. Самое высокое содержание фенольных кислот наблюдалось при самой низкой освещенности. Хлорогеновая кислота и сиреневая кислота были обнаружены только в тени. Напротив, хвоя при полной освещенности показала самое высокое содержание конденсированных танинов.

Фенольные соединения играют важную роль в качестве вторичных метаболитов из-за их существенной биологической активности и медицинской ценности. Эти соединения присутствуют в различных частях видов растений [16]. Это исследование было

сосредоточено на твердо-жидкостной экстракции для извлечения общих фенольных соединений из листьев *Azadirachta indica*. Экспериментальный дизайн был основан на массиве Taguchi L16 с учетом четырех независимых факторов: времени экстракции, температуры, размера частиц и соотношения твердого вещества и растворителя. Среди этих факторов размер частиц оказывал максимальное влияние. Размер частиц обратно пропорционально влияет на выход общего фенольного содержания (TPC), в то время как температура, время и соотношение твердого вещества и жидкости оказывают прямое влияние. Затрагиваемые факторы процесса были исследованы как экспериментально, так и с помощью методов машинного обучения. Алгоритмы опорной векторной регрессии (SVR) и метода случайного леса (RFM) использовались для прогнозирования TPC, в то время как генетический алгоритм (GA) использовался для получения оптимальных параметров процесса. GA прогнозирует оптимальные факторы экстракции, обеспечивая максимальный TPC. В ходе данного исследования эти факторы были следующими: размер частиц 0,15 мм, время экстракции 40 мин, соотношение твердого вещества к жидкости 1:25 г/мл и температура 55 °C с прогнозируемым значением 23,039 мг GAE/г растительного материала. Примечательно, что в данном исследовании значения SVR выхода TPC близко соответствовали экспериментальным значениям для обучающего и тестового набора данных при сравнении со значениями метода случайного леса.

В работе [17] показано, что асаи — популярный бразильский фрукт, однако он уже стал частью здорового питания в мире благодаря своим антиоксидантным свойствам. Целью исследования было определение влияния растворителя на экстракцию фенольных соединений с антиоксидантным потенциалом из *асаи жусара* (*Euterpe edulis Mart.*) с использованием полностью рандомизированного дизайна (CRD). Профиль фенольных соединений был количественно определен с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), а набор данных был проанализирован с помощью анализа главных компонентов (PCA). PCA был применен для доказательства взаимосвязи между концентрацией фенольных соединений и растворителями. Кроме того, антиоксидантная активность также была определена с помощью методов 2,2’-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH), 2,2’-азино-бис (3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты) (ABTS) и антиоксидантной способности железа (FRAP). Растворитель этанол: вода 70% оказался более эффективным в извлечении фенольных соединений с высокой антиоксидантной активностью. В этом экстракте была обнаружена салициловая кислота в высоких концентрациях, а также катехин, эпикатехин и кумаровая кислота. Исходя из консенсуса о том, что фенольные соединения связаны с наиболее мощными антиоксидантными свойствами фруктов, *асаи джусара* из Атлантического леса является потенциальным источником полифенолов. Их можно использовать в качестве натуральных антиоксидантов для применения в пищевой и фармацевтической промышленности с целью замены синтетических антиоксидантов.

Тропические торфяные болотные леса (TPSF) являются глобально значимыми хранилищами углерода, в основном связывающими углерод в виде фенольных полимеров и фенольных соединений (в частности, лигнина и его производных) в слоях торфа, в растениях и в кислых черных водах [18]. Предыдущие исследования показывают, что растения TPSF имеют особенно высокие уровни фенольных соединений, которые ингибируют разложение органического вещества и, таким образом, способствуют

накоплению торфа. Таким образом, исследования фенольных соединений имеют решающее значение для дальнейшего понимания того, как функционируют TPSF в отношении связывания углерода. В этой работе авторы представляют исследование круговорота фенольных соединений в пяти лесах на Борнео, различающихся по питанию и кислотности, выщелачиванию фенольных соединений из стареющих листьев *Macaranga pruinosa* и поглощению фенолов саженцами *M. pruinosa*. Результаты исследования показывают, что общее содержание фенолов (TPC) в почве и листьях трех видов *Macaranga* было самым высоким в TPSF, за которым следуют пресноводный болотный лес и лес с известняком, за которыми следуют участки засушливых земель. Самые высокие значения TPC были связаны с кислотностью (в TPSF) и заболачиванием (в лесах с заболоченными землями). Более того, фенольные соединения быстро выщелачиваются из опавших стареющих листьев и могут быть повторно поглощены корнями деревьев и преобразованы в более сложные фенольные соединения в листьях. Экстремальные условия — заболачивание и кислотность — могут способствовать поглощению и синтезу защитных фенольных соединений, которые необходимы для затрудненного разложения органического вещества в TPSF. Напротив, продолжающееся осушение и деградация TPSF, особенно для преобразования в плантации масличной пальмы, меняют условия, необходимые для накопления торфа и связывания углерода.

Разложение подстилки является важным процессом в круговороте питательных веществ в наземных экосистемах [19]. Фенольные кислоты оказывают аллелопатическое воздействие на естественную регенерацию рододендроновых лесов, что недавно наблюдалось в рододендроновых лесах на юго-западе Китая. Авторы работы исследовали распределение фенольных кислот и их связь с питательными веществами почвы во время разложения подстилки, чтобы обеспечить справочную информацию для последующего искусственного управления рододендроновыми лесами. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) использовалась для анализа содержания шести фенольных кислот в слое подстилки, слое гумуса и слое почвы во время разложения подстилки. В течение первых трех месяцев быстрое разложение подстилки двух видов рододендронов с ранним цветением высвобождало большое количество фенольных кислот, а нижний слой подстилки быстро разлагался. Кроме того, общее содержание фенольных кислот в подстилке снизилось на 257,60 мкг/г (*Rhododendron siderophyllum*) и 53,12 мкг/г (*Rhododendron annae*) за первые три месяца. При последующем разложении подстилки содержание протокатеховой кислоты в подстилках *Rhododendron siderophyllum* варьировалось от 20,15 мкг/г до 39,12 мкг/г, а содержание феруловой кислоты составляло от 10,70 мкг/г до –33,79 мкг/г. Содержание протокатеховой кислоты и феруловой кислоты в подстилке *Rhododendron annae* находилось в диапазонах 10,88—19,68 мкг/г и 10,75—18,00 мкг/г соответственно. Содержание этих двух фенольных кислот и тенденция разложения отличались от таковых для галловой кислоты, хлорогеновой кислоты, кофейной кислоты и сиреневой кислоты. Распределение фенольных кислот зависело от органического вещества почвы (SOM), аммонийного азота почвы (NH_4^+), нитратного азота почвы (NO_3^-) и доступного фосфора почвы (AP). Результаты указывают на сезонные колебания высвобождения фенольных кислот во время разложения подстилки. Количество фенольной кислоты в подстилке снизилось после 18 месяцев разложения, но вернулось к

прежнему уровню в почве и гумусе после различных тенденций. Необходимы дополнительные исследования метаболизма фенольных кислот.

Содержание и тип экстрактивных веществ значительно различаются среди древесных пород в тропических лесах бассейна реки Конго [20]. Они влияют на естественную долговечность древесины в отношении деградации грибками и насекомыми. Виды, содержащие большее количество экстрактивных веществ и лигнина Класона, как правило, менее восприимчивы к грибковой колонизации. Фенольные экстрактивные вещества с большой противогрибковой и высокой антиоксидантной активностью были основным химическим семейством соединений, извлеченных из тестируемых видов, что предполагает потенциальную химическую валоризацию этих экстрактивных веществ. Несколько древесных пород из бассейна реки Конго известны своей естественной долговечностью, но причины этой естественной долговечности не всегда полностью выяснены. Это особенно касается устойчивости к белой гнили, вызываемой грибками. Химический состав, а также антиоксидантная активность экстрактивных веществ сердцевины нескольких видов были количественно определены и соотнесены со способностью различных грибов колонизировать древесные опилки, чтобы лучше понять их устойчивость к гниению. Химический скрининг экстрактов проводился с использованием колориметрических методов. Определялось количество лигнина, экстрактов и общих фенольных соединений, а также антиоксидантная активность. Экстрагированные и неэкстрагированные опилки сердцевины подвергались воздействию двух грибов белой гнили для оценки влияния экстрактивных веществ на их колонизацию.

Содержание экстрактивных веществ и лигнина варьировалось от 2,7 до 16,0 % и от 26,5 до 35,9 % соответственно. Антиоксидантная активность была напрямую связана с общим содержанием фенольных соединений. Фитохимический скрининг выявил наличие различных химических групп во всех экстрактах. Устойчивость к грибкам коррелировала с количеством экстрактивных веществ и в большинстве случаев с содержанием лигнина. Фенольные соединения, связанные с антиоксидантной активностью, влияли на естественную устойчивость сердцевины.

Исследования в области изучения методов выделения фенольных соединений также были объектом исследований в работах [21-28].

Таким образом, «растительные фенолы» и «полифенолы» являются вторичными природными метаболитами, возникающими биогенетически либо из шикиматного/фенилпропаноидного пути, который напрямую обеспечивает фенилпропаноиды, либо из «поликетидного» ацетатного/малонатного пути, который может производить простые фенолы, или из обоих, производя мономерные и полимерные фенолы и полифенолы, которые выполняют очень широкий спектр физиологических функций в растениях. Высшие растения синтезируют несколько тысяч известных различных фенольных соединений. Способность синтезировать фенольные соединения была отобрана на протяжении всей эволюции в различных растительных линиях, что позволяет растениям справляться с постоянно меняющимися экологическими проблемами в течение эволюционного времени. Растительные фенолы считаются играющими ключевую роль в качестве защитных соединений, когда экологические стрессы, такие как яркий свет, низкие температуры, патогенная инфекция, травоядные и дефицит питательных веществ, могут

привести к увеличению производства свободных радикалов и других окислительных видов в растениях.

К основным классам фенольных соединений относятся:

- флаваноиды (антоцианы, катехины, изофлавоны и др.)
- фенольные кислоты (галловая, бензойная, кофеиновая и др.)
- танины (полимеры фенольных соединений, придающие горький вкус)
- лигнаны (полимеры, содержащиеся в древесине и других органах растений)
- кумарины и др.

На протяжении последних двух десятилетий в лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» проводятся широкие исследования в области синтеза и изучения свойств фенолов и их функционально-замещенных соединений [29-41]. Учитывая высокую значимость фенольных соединений, исследования в области их синтеза и разработки эффективных методов выделения представляет важный как научный, так и практический интерес. В этой связи проведение систематических исследований для создания эффективных методики выделения фенольных соединений из состава растительных организмов представляет актуальность для Азербайджана, но и для всего мира в целом. Поэтому необходимо проведение дальнейших исследований в этой области и применение новых технологических методик для выделения фенольных соединений из экстрактов растительных организмов и лесных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Albuquerque B.R., Heleno S.A., Oliveira M.B., Barros L. Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges // Food and function. 2021. Vol. 12. N 1. Pp. 14-29.
2. Bachir R., Mohamed B. Phenolic compounds: structures and activities // Journal of Medical Cornvus. 2021. Vol. 2. N 5. Pp. 6-24.
3. Rahman M., Saidur R., Rezaul I., Mithi F. Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current Knowledge and Future Prospects // Molecules. 2021. Vol. 27. N 1. Pp. 233-247.
4. Dixon R.A., Achnine L., Kota P., Chang L. The phenylpropanoid pathway and plant defence—a genomics perspective // Molecular Plant Pathology. 2002. Vol. 3. N 5. Pp. 371-390.
5. Xie R., Darvishzadeh R., Skidmore A.K., Meer F.D. Characterizing foliar phenolic compounds and their absorption features in temperate forests using leaf spectroscopy // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2024. Vol. 212. Pp. 338-356.
6. Tung Y-T., Horng J-W., Kuo Y-H., Chang Sh-T. Antioxidant activities of natural phenolic compounds from Acacia confusa bark // Bioresource Tecnhology. 2007. Vol. 98. Pp. 1120-1123.
7. Brozdoüski J., Waliszewska B., Gacnik S., Hudina M. Phenolic composition of leaf and flower extracts of black cherry (*Prunus serotine* Ehrh.) // Annals of Forest Science. 2021. Vol. 78. Pp. 66-74.
8. Chuan-Ling S., Jin-Kyu K., Dong-Joo K., Houng-Soo B. Phenolic Compounds from the Fruits of Paulownia coreana Uyeki // Journal of the Korean Wood Science and Technology. 2006. Vol. 34. N 1. Pp. 79-85.

9. Hapsan S., Yohed I., Kristianita R., Hakun N. Phenolic and flavonoid compounds extraction from Calophyllum inophyllum leaves // Arabian Journal of Chemistry. 2022. Vol. 15. N 3. Pp. 103666-103672.
10. Athomo B., Anris E., Tchiama R.S., Arnandguilhem E.C. Identification of Phenolic Compounds from *K. ivorensis* by Selected Chromatographic and Spectrometric Techniques // Journal of Renewable Materials. 2021. Vol. 13. Pp. 626-634.
11. Alvarez-Barreto J.F., Quintero D., Rodriques M., Sosa D. Evaluation of phenolic compounds, lignin, amino acids and carbohydrates in theobroma cacao L. From three different climate regions in Venezuela // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2018. Vol. 30. N 6. Pp. 522-530.
12. Silva N., Rodriques E., Mercadante A.Z., Rosso V. Phenolic Compounds and Carotenoids from Four Fruits Native from the Brazilian Atlantic Forest // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2014. Vol. 62. N 22. Pp. 5072-5084.
13. Mendoza-Bacilio C., Epifanio-Gomez R., Yam-puc A., Avila-Caballero L. Color influence on phenolic compounds and bioactive properties of honey from Guerrero, Mexico // Biotecnia. 2022. Vol. 24. N 2. Pp. 19-36.
14. Miranda R., Ancona D.B., Ordonez Y.M. Influence of phenolic compounds and flavonoids on the colour and antioxidant activity of Melipona beecheii honey from deciduous forest of Yucatan, Mexico // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2023. Vol. 36. N 12. Pp. 1-10.
15. Yan J.X., Lu Y.F., Han S.C. The effects of irradiance on the production of phenolic compounds and condensed tannins in *Larix gmelinii* needles // Biologia Plantarum. 2018. Vol. 58. Pp. 159-163.
16. Patil S., Deshannavar U.B., Gadekar-Shinde Sh., Gadagi A.H. Optimization studies on batch extraction of phenolic compounds from *Azadirachta indica* using genetic algorithm and machine learning techniques // Heliyon. 2023. Vol. 9. N 11. Pp. 21991-21999.
17. Silva L.D., Sari R., Diedrich C., Pereira C. Extraction, characterization and antioxidant properties of phenolic compounds in açaí juçara (*Euterpe edulis* Mart.) from Atlantic Forest // Braz. J. Food Technol. 2021. Vol. 24. Pp. 19320-10327.
18. Yule C.M., Lim Y., Yuen L. Recycling of phenolic compounds in Borneo's tropical peat swamp forests // Carbon Balance Manage. 2018. Vol. 13. N 3. Pp. 1-14.
19. Yumeng Zh., Jian L., Quan W., Chaochan L. Distribution of six phenolic acids and soil nutrient relationships during litter decomposition in *Rhododendron* forests // Front. For Glob. Change. 2023. Vol. 6. Pp. 1-12.
20. Mounguengui S., Tchinda J-B., Ndikontar M-K., Dumarcay S. Total phenolic and lignin contents, phytochemical screening, antioxidant and fungal inhibition properties of the heartwood extractives of ten Congo Basin tree species // Annals of Forest Science. 2016. Vol. 73. Pp. 287-296.
21. Evensen P.C., Solheim H., Hoiland K., Stenersen J. Induced resistance of Norway spruce, variation of phenolic compounds and their effects on fungal pathogens // Forest Pathology. 2000. Vol. 30. N 2- Pp. 97-108.
22. Castilho P. Analysis of phenolic compounds in leaves from endemic trees from Madeira Island. A contribution to the chemotaxonomy of Laurisilva forest species // Industrial CArops and Products. 2015. N 3. Pp. 312-318.

23. Vastrad J., Badanayak P., Goudar G. Phenolic Compounds in Tea: Phytochemical, Biological, and Therapeutic Applications // Chapter in book Phenolic Compounds - Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications. 2021. 372 p.
24. Clocchiatti A., Hannula S.E., Berg M., Hundscheid M.P. Evaluation of Phenolic Root Exudates as Stimulants of Saptrophic Fungi in the Rhizosphere // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12. Pp. 127-132.
25. Nakao S., Clark C., Tang P., Sato K. Secondary organic aerosol formation from phenolic compounds in the absence of NO_x // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. Vol. 11. N 20. Pp. 10649-10660.
26. Nascimento M.S., Santana A.L., Maranhao C.A., Oliveira L.S. Phenolic Extractives and Natural Resistance of Wood // Chapter in book Biodegradation - Life of Science. 2013. 138 p.
27. Park E-J., Lee W-Y. Tryptophan Enhanced Accumulation of Phenolic Compounds via Chorismate Mutase Activation in the Ganoderma neo-japonicum // Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry. 2010. Vol. 53. N 3. Pp. 364-370.
28. Aristo B., Sunarti S. Phenolics content and antioxidant activity of wood extractives from three clones of acacia hybrid // Maderas Glencia y Technologla. 2021. Vol. 23. N 28. Pp. 1-12.
29. Мирзоев В.Г., Аббасов В.М., Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Багирзаде Р.З., Меджидов Э.А. Селективное каталитическое алкилирование и циклоалкилирование фенола алкил- и алкенилциклогексенами // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. 2017. Т. 18. № 4. С. 341-350
30. Рустамов С.Т., Азимова Р.К., Набиев Ф.А., Азизов А.Г., Расулов Ч.К. Реакция фенолов с метилциклоалкенами в присутствии катализатора КУ-23 // Журнал Прикладной Химии. 2011. Т.84. № 12. С. 78-83
31. Гусейнова Г.А. Некоторые особенности реакции взаимодействия 1-метилциклоалкилфенолов с пиперидином // Химические проблемы. 2020. № 2. С. 151-156
32. Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Нагиева М.В., Амиров Ф.А. Некоторые особенности реакции аминометилирования пространственно затрудненных циклоалкилфенолов аминоэтилнонилимидоазолином // Мир нефтепродуктов. 2019. № 3. С. 20-25
33. Расулов Ч.К., Нагиева М.В., Гасанова Г.Д., Гейдарли Г.З. Алкилирование фенолов циклическими олефинами // ППОР. 2025. Vol. 25. - № 1. С. 112-130
34. Rasulov Ch.K., Chalyshkan M.M., Salmanova Ch.K., Aliyev B.M. Synthesis of 2-hydroxy-5-(3-methylcyclohexyl) aceto- and benzophenones // Azerb. Chem. Zhurnal. 2014. No. 3. Pp. 63-67.
35. Hasanov A.A., Heydarli G.Z., Rasulov Ch.K., Nagieva M.V., Kurbanli U.R. Synthesis and properties of 2-hydroxy-3(3(4)-methylcycloheken-3-yl-isopropyl)-5-arylalkylacetophenone // Journal of the D.I. Mendeleev Russian Chemical Society. 2022. Vol. 66. No. 4. Pp. 664-666.
36. Rasulov Ch.K., Geidarli G.Z., Ismaylova A.S., Gasanova G.D. Some regularities of the acylation reaction of phenols and their derivatives // Bulletin of the KNI RAS. 2023. No. 4. Pp. 90-99.

37. Rasulov Ch.K., Geidarli G.Z., Gasanova G.D., Gurbanova S.Sh. Acylation of phenols with acetic acid and its anhydride // Bulletin of the Tula State University. Series Natural Sciences. 2023. No. 4. Pp. 18-27.
38. Rasulov Ch.K., Agamaliev Z.Z., Gasimova F.I., Nagieva M.V. Synthesis and properties of 2-hydroxy-5-[1(3)-methylcycloalkyl] benzylaminoethylimidazolines // Bulletin of Higher Education Institutions. Chemistry and Chemical Technology. 2021. Vol. 64. No. 4. Pp. 79-84.
39. Gasymova F.I., A] ha, aliyev Z.Z., Rasulov Ch.Q., Gasanova G.J. Some features of cycloalkylation reactions of phenol with 1-methylcyclopentene // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. Pp. 726-732.
40. Rustamov S.T., Azimova R.K., Nabiev F.A., Azizov A.G., Rasulov Ch.K. Interaction of phenols with methylcyclenes in the presence of the catalyst KU-23 // Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 84. No. 12. Pp. 2016-2021.
41. Rustamov S.T., Dzhafarov R.P., Nabiyev F.A., Azizov A.N., Rasulov Ch.K. Mathematical description and study of the process of catalytic cycloalkylation of para-hexylphenol with 1-methylcyclohexene in the presence of KU-23 on a regression model // Chemical Journal of Georgia. 2011. Vol. 4. No. 11. Pp. 279-283.

REFERENCES

1. Albuquerque B.R., Heleno S.A., Oliveira M.B., Barros L. Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges // Food and function. 2021. Vol. 12. N 1. Pp. 14-29.
2. Bachir R., Mohamed B. Phenolic compounds: structures and activities // Journal of Medical Cornvus. 2021. Vol. 2. N 5. Pp. 6-24.
3. Rahman M., Saidur R., Rezaul I., Mithi F. Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current Knowledge and Future Prospects // Molecules. 2021. Vol. 27. N 1. Pp. 233-247.
4. Dixon R.A., Achnine L., Kota P., Chang L. The phenylpropanoid pathway and plant defence—a genomics perspective // Molecular Plant Pathology. 2002. Vol. 3. N 5. Pp. 371-390.
5. Xie R., Darvishzadeh R., Skidmore A.K., Meer F.D. Characterizing foliar phenolic compounds and their absorption features in temperate forests using leaf spectroscopy // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2024. Vol. 212. Pp. 338-356.
6. Tung Y-T., Horng J-W., Kuo Y-H., Chang Sh-T. Antioxidant activities of natural phenolic compounds from Acacia confusa bark // Bioresource Tecnhology. 2007. Vol. 98. Pp. 1120-1123.
7. Brozdoüski J., Waliszewska B., Gacnik S., Hudina M. Phenolic composition of leaf and flower extracts of black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) // Annals of Forest Science. 2021. Vol. 78. Pp. 66-74.
8. Chuan-Ling S., Jin-Kyu K., Dong-Joo K., Houng-Soo B. Phenolic Compounds from the Fruits of Paulownia coreana Uyeki // Journal of the Korean Wood Science and Technology. 2006. Vol. 34. N 1. Pp. 79-85.

9. Hapsan S., Yohed I., Kristianita R., Hakun N. Phenolic and flavonoid compounds extraction from Calophyllum inophyllum leaves // Arabian Journal of Chemistry. 2022. Vol. 15. N 3. Pp. 103666-103672.
10. Athomo B., Anris E., Tchiama R.S., Arnandguilhem E.C. Identification of Phenolic Compounds from *K. ivorensis* by Selected Chromatographic and Spectrometric Techniques // Journal of Renewable Materials. 2021. Vol. 13. Pp. 626-634.
11. 11.Alvarez-Barreto J.F., Quintero D., Rodriques M., Sosa D. Evaluation of phenolic compounds, lignin, amino acids and carbohydrates in theobroma cacao L. From three different climate regions in Venezuela // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2018. Vol. 30. N 6. Pp. 522-530.
12. Silva N., Rodriques E., Mercadante A.Z., Rosso V. Phenolic Compounds and Carotenoids from Four Fruits Native from the Brazilian Atlantic Forest // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2014. Vol. 62. N 22. Pp. 5072-5084.
13. 13.Mendoza-Bacilio C., Epifanio-Gomez R., Yam-puc A., Avila-Caballero L. Color influence on phenolic compounds and bioactive properties of honey from Guerrero, Mexico // Biotecnia. 2022. Vol. 24. N 2. Pp. 19-36.
14. Miranda R., Ancona D.B., Ordonez Y.M. Influence of phenolic compounds and flavonoids on the colour and antioxidant activity of Melipona beecheii honey from deciduous forest of Yucatan, Mexico // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2023. Vol. 36. N 12. Pp. 1-10.
15. Yan J.X., Lu Y.F., Han S.C. The effects of irradiance on the production of phenolic compounds and condensed tannins in *Larix gmelinii* needles // Biologia Plantarum. 2018. Vol. 58. Pp. 159-163.
16. Patil S., Deshannavar U.B., Gadekar-Shinde Sh., Gadagi A.H. Optimization studies on batch extraction of phenolic compounds from *Azadirachta indica* using genetic algorithm and machine learning techniques // Heliyon. 2023. Vol. 9. N 11. Pp. 21991-21999.
17. 17.Silva L.D., Sari R., Diedrich C., Pereira C. Extraction, characterization and antioxidant properties of phenolic compounds in açaí juçara (*Euterpe edulis* Mart.) from Atlantic Forest // Braz. J. Food Technol. 2021. Vol. 24. Pp. 19320-10327.
18. Yule C.M., Lim Y., Yuen L. Recycling of phenolic compounds in Borneo's tropical peat swamp forests // Carbon Balance Manage. 2018. Vol. 13. N 3. Pp. 1-14.
19. Yumeng Zh., Jian L., Quan W., Chaochan L. Distribution of six phenolic acids and soil nutrient relationships during litter decomposition in *Rhododendron* forests // Front. For Glob. Change. 2023. Vol. 6. Pp. 1-12.
20. Mounguengui S., Tchinda J-B., Ndikontar M-K., Dumarcay S. Total phenolic and lignin contents, phytochemical screening, antioxidant and fungal inhibition properties of the heartwood extractives of ten Congo Basin tree species // Annals of Forest Science. 2016. Vol. 73. Pp. 287-296.
21. Evensen P.C., Solheim H., Hoiland K., Stenersen J. Induced resistance of Norway spruce, variation of phenolic compounds and their effects on fungal pathogens // Forest Pathology. 2000. Vol. 30. N 2. Pp. 97-108.
22. Castilho P. Analysis of phenolic compounds in leaves from endemic trees from Madeira Island. A contribution to the chemotaxonomy of Laurisilva forest species // Industrial CArops and Products. 2015. N 3. Pp. 312-318.

23. Vastrad J., Badanayak P., Goudar G. Phenolic Compounds in Tea: Phytochemical, Biological, and Therapeutic Applications // Chapter in book Phenolic Compounds - Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications. 2021. 372 p.
24. Clocchiatti A., Hannula S.E., Berg M., Hundscheid M.P. Evaluation of Phenolic Root Exudates as Stimulants of Saptrophic Fungi in the Rhizosphere // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12. Pp. 127-132.
25. Nakao S., Clark C., Tang P., Sato K. Secondary organic aerosol formation from phenolic compounds in the absence of NO_x // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. Vol. 11. N 20. Pp. 10649-10660.
26. Nascimento M.S., Santana A.L., Maranhao C.A., Oliveira L.S. Phenolic Extractives and Natural Resistance of Wood // Chapter in book Biodegradation - Life of Science. 2013. 138 p.
27. Park E-J., Lee W-Y. Tryptophan Enhanced Accumulation of Phenolic Compounds via Chorismate Mutase Activation in the Ganoderma neo-japonicum // Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry. 2010. Vol. 53. N 3. Pp. 364-370.
28. Aristo B., Sunarti S. Phenolics content and antioxidant activity of wood extractives from three clones of acacia hybrid // Maderas Glencia y Technologla. 2021. Vol. 23. N 28. Pp. 1-12
29. Мирзоев В.Г., Аббасов В.М., Расулов Ч.К.. Агамалиев З.З., Багирзаде Р.З., Меджидов Э.А. Селективное каталитическое алкилирование и циклоалкилирование фенола алкил- и алкенилциклогексенами // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. 2017. Т. 18. № 4. С. 341-350.
30. Рустамов С.Т., Азимова Р.К., Набиев Ф.А., Азизов А.Г., Расулов Ч.К. Реакция фенолов с метилциклоалкенами в присутствии катализатора КУ-23 // Журнал Прикладной Химии. 2011. Т.84. № 12. С. 78-83.
31. Гусейнова Г.А. Некоторые особенности реакции взаимодействия 1-метилциклоалкилфенолов с пиперидином // Химические проблемы. 2020. № 2. С. 151-156.
32. Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Нагиева М.В., Амиров Ф.А. Некоторые особенности реакции аминометилирования пространственно затрудненных циклоалкилфенолов аминоэтилнонилимидоазолином // Мир нефтепродуктов. 2019. № 3. С. 20-25.
33. Расулов Ч.К., Нагиева М.В., Гасанова Г.Д., Гейдарли Г.З. Алкилирование фенолов циклическими олефинами // ППОР. 2025. Vol. 25. № 1. С. 112-130.
34. Rasulov Ch.K., Chalyshkan M.M., Salmanova Ch.K., Aliyev B.M. Synthesis of 2-hydroxy-5-(3-methylcyclohexyl) aceto- and benzophenones // Azerb. Chem. Zhurnal. 2014. No. 3. Pp. 63-67.
35. Hasanov A.A., Heydarli G.Z., Rasulov Ch.K., Nagieva M.V., Kurbanli U.R. Synthesis and properties of 2-hydroxy-3(3(4)-methylcycloheken-3-yl-isopropyl)-5-arylalkylacetophenone // Journal of the D.I. Mendeleev Russian Chemical Society. 2022. Vol. 66. No. 4. Pp. 664-666.
36. Rasulov Ch.K., Geidarli G.Z., Ismaylova A.S., Gasanova G.D. Some regularities of the acylation reaction of phenols and their derivatives // Bulletin of the KNI RAS. 2023. No. 4. Pp. 90-99.

37. Rasulov Ch.K., Geidarli G.Z., Gasanova G.D., Gurbanova S.Sh. Acylation of phenols with acetic acid and its anhydride // Bulletin of the Tula State University. Series Natural Sciences. 2023. No. 4. Pp. 18-27.
38. Rasulov Ch.K., Agamaliev Z.Z., Gasimova F.I., Nagieva M.V. Synthesis and properties of 2-hydroxy-5-[1(3)-methylcycloalkyl] benzylaminoethylimidazolines // Bulletin of Higher Education Institutions. Chemistry and Chemical Technology. 2021. Vol. 64. No. 4. Pp. 79-84.
39. Gasymova F.I., A] ha, aliyev Z.Z., Rasulov Ch.Q., Gasanova G.J. Some features of cycloalkylation reactions of phenol with 1-methylcyclopentene // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. Pp. 726-732.
40. Rustamov S.T., Azimova R.K., Nabiev F.A., Azizov A.G., Rasulov Ch.K. Interaction of phenols with methylcyclenes in the presence of the catalyst KU-23 // Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 84. No. 12. Pp. 2016-2021.
41. Rustamov S.T., Dzhafarov R.P., Nabiyev F.A., Azizov A.N., Rasulov Ch.K. Mathematical description and study of the process of catalytic cycloalkylation of para-hexylphenol with 1-methylcyclohexene in the presence of KU-23 on a regression model // Chemical Journal of Georgia. 2011. Vol. 4. No. 11. Pp. 279-283.