

DOI 10.54596/2958-0048-2026-2-109-124

УДК 577

МРНТИ 34.35.51

**ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЭТАНОЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ  
ЛИСТЬЕВ ЭНДЕМИЧНЫХ ВИДОВ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ  
(*CRATAEGUS DSUNGARICA*, *ROSA WEBBIANA*, *BERBERIS HETEROPODA*)  
И ИХ ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПО ДАННЫМ ГХ-МС АНАЛИЗА**

**Кыдырбаева А.К.<sup>1</sup>, Шалахметова Т.М.<sup>1</sup>, Айкешев Б.М.<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2\*</sup>Международный университет Астана, Астана, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [Aikeshev@gmail.com](mailto:Aikeshev@gmail.com)

**Аннотация**

Лекарственные растения рассматриваются как перспективные источники природных геропротекторных агентов благодаря способности снижать окислительный стресс, подавлять хроническое воспаление и замедлять развитие возраст-ассоциированных патологий. В настоящем исследовании был проведен сравнительный анализ соединений, выделенных из этанольных экстрактов листьев трех эндемичных видов флоры Зайлийского Алатау – *Crataegus dsungarica* Zabel. ex Lange., *Rosa webbiana* Wall. ex Royle и *Berberis heteropoda* Schrenk. ex Fisch. & C.A.Mey. с использованием газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Разделение компонентов осуществлялось на капиллярной колонке DB-WaxEtr с использованием гелия в качестве газа-носителя, идентификация соединений проводилась на основе спектральных библиотек Wiley 7-го издания и NIST'02. Среди идентифицированных соединений доминировали сесквитерпеноид азулен-4,7-диол (27,42 %) и фитол (5,77 %), известные своими антиоксидантными и противовоспалительными свойствами. В листьях *Crataegus dsungarica* обнаружены терпеновые спирты - неофитадиен и фитол, а также высшие алканы. В экстракте листьев *Berberis heteropoda* преобладает фитол (44,58%), дополненный неофитадиеном (7,47%) и 1,2,3,5-циклогексантетролом (16,55%). Совокупность выявленных соединений - терпеноидов, фенольных соединений, ненасыщенных жирных кислот и их производных - свидетельствует о перспективности их геропротекторного действия; для его верификации необходимы дальнейшие экспериментальные исследования, направленные на изучение антиоксидантных эффектов, митохондриальной защиты и регуляции липидного метаболизма.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, антиоксиданты, геропротекторный потенциал, барбарис, боярышник, шиповник.

**ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ ЭНДЕМИКАЛЫҚ ТҮРЛЕРІ (*CRATAEGUS DSUNGARICA*,  
*ROSA WEBBIANA*, *BERBERIS HETEROPODA*) ЖАПЫРАҚТАРЫНЫҢ  
ЭТАНОЛДЫ ЭКСТРАКТЫЛАРЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ПРОФИЛІ ЖӘНЕ  
ОЛАРДЫҢ ГЕРОПРОТЕКТОРЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ GC-MS ТАЛДАУ ДЕРЕКТЕРІ  
БОЙЫНША**

**Кыдырбаева А.К.<sup>1</sup>, Шалахметова Т.М.<sup>1</sup>, Айкешев Б.М.<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2\*</sup>Астана Халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

\*Хат-хабарларға жауапты автор: [Aikeshev@gmail.com](mailto:Aikeshev@gmail.com)

**Аңдатпа**

Дәрілік өсімдіктер тотығу стрессін төмендету, созылмалы қабінуды бәсеңдету және жасқа байланысты патологиялардың дамуын баяулату қабілетінің арқасында перспективалы геропротекторлардың табиғи көздер ретінде қарастырылады. Бұл зерттеуде Іле-Алатау флорасының үш эндемикалық түрі – *Crataegus dsungarica* Zabel. ex Lange., *Rosa webbiana* Wall. ex Royle және *Berberis heteropoda* Schrenk. ex Fisch. &

С. А. Меу зерттелді. Жапырақтарының этанол сығындыларындағы қосылыстардың салыстырмалы талдауы газ хроматографиясы-масс-спектрометриясын (GC-MS) қолдану арқылы DB-WaxEtr бағанының компоненттері капиллярлық бағанда тасымалдаушы газ ретінде гелийді қолдану арқылы бөлінді; қосылыстар Wiley (7-ші басылым) және NIST'02 кітапханалары негізінде анықталды. Зерттеу барысында антиоксидантты және қабынуға қарсы белсенділігі бар сесквитерпеноидты қосылыс (азулен-4,7-диол, 27,42%) және фитол (5,77%) басым компоненттер анықталды. *Crataegus dsungarica* жапырақтарында терпен спирттері-неофитадиен және фитол, сондай-ақ жоғары алкандар кездескені анықталды. *Berberis heteropoda* жапырақ сығындысында неофитадиен (7,47%) және 1,2,3,5-циклогексантиетрол (16,55%) фитол (44,58%) басым. Анықталған қосылыстардың жиынтығы – терпеноидтар, фенолдық қосылыстар, қанықпаған май қышқылдары және олардың туындылары – олардың геропротекторлық әсерінің болашағын көрсетеді; оны тексеру үшін антиоксиданттық әсерлерді, митохондриялық қорғанысты және липидтер алмасуын реттеуді зерттеуге бағытталған қосымша эксперименттік зерттеулер қажет.

**Кілт сөздер:** дәрілік өсімдіктер, антиоксиданттар, геропротекторлық әлеуеті, бөріқарақат, долана, итмұрын.

**PHYTOCHEMICAL PROFILE OF ETHANOLIC LEAF EXTRACTS  
OF ENDEMIC TRANS-ILI ALATAU SPECIES (*CRATAEGUS DSUNGARICA*,  
*ROSA WEBBIANA*, *BERBERIS HETEROPODA*) AND THEIR  
HEPATOPROTECTIVE POTENTIAL AS DETERMINED BY GC-MS ANALYSIS**

**Kydyrbayeva A.K.<sup>1</sup>, Shalakhmetova T.M.<sup>1</sup>, Aikeshev B.M.<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2\*</sup>*Astana International University, Astana, Kazakhstan*

*\*Corresponding author: [Aikeshev@gmail.com](mailto:Aikeshev@gmail.com)*

**Abstract**

Medicinal plants are considered promising sources of natural geroprotective agents due to their ability to reduce oxidative stress, suppress chronic inflammation, and slow the progression of age-related pathologies. In this study, a comparative analysis was conducted of compounds isolated from ethanol extracts of the leaves of three endemic species of the Alatau flora - *Crataegus dsungarica* Zabel. ex Lange., *Rosa webbiana* Wall. ex Royle, and *Berberis heteropoda* Schrenk. ex Fisch. & C.A. Mey. using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The separation of components was performed on a DB-WaxEtr capillary column using helium as the carrier gas; the identification of compounds was based on the Wiley 7th edition and NIST'02 spectral libraries. Among the identified compounds, the sesquiterpenoids azulene-4,7-diol (27.42%) and phytol (5.77%), known for their antioxidant and anti-inflammatory properties, were predominant. Terpene alcohols - neophytadiene and phytol - as well as higher alkanes were detected in the leaves of *Crataegus dsungarica*. The leaf extract of *Berberis heteropoda* is dominated by phytol (44.58%), supplemented by neophytadiene (7.47%) and 1,2,3,5-cyclohexantetrol (16.55%).

The combination of identified compounds-terpenoids, phenolic compounds, unsaturated fatty acids, and their derivatives - suggests that they have promising geroprotective effects; Further experimental studies are needed to verify this, focusing on the antioxidant effects, mitochondrial protection, and regulation of lipid metabolism.

**Keywords:** medicinal plants, antioxidants, geroprotective potential, barberry, hawthorn, rosehip.

**Введение**

В последние десятилетия растительные экстракты привлекают повышенное внимание как перспективные источники природных геропротекторных средств. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около двух третей населения мира используют лекарственные растения благодаря их доступности, относительной безопасности и выраженной фармакологической активности [1–6]. Особый интерес вызывают фитокомплексы, обладающие антиоксидантными, противовоспалительными

и метаболически регулирующими свойствами, поскольку именно эти механизмы лежат в основе профилактики возраст-ассоциированных заболеваний.

Накопление сенесцентных клеток в настоящее время рассматривается как один из ключевых механизмов возрастной дисфункции тканей и важный фактор патогенеза многих хронических заболеваний [7]. С возрастом сенесцентные клетки накапливаются в различных тканях организма и приобретают сенесцент-ассоциированный секреторный фенотип (SASP), характеризующийся повышенной секрецией провоспалительных цитокинов, хемокинов и протеаз, способствующих развитию хронического воспаления и тканевой дисфункции [8]. Даже небольшое количество таких клеток способно существенно нарушать функции органов и систем [9].

Элиминация сенесцентных клеток обеспечивает выраженные положительные эффекты за счёт ослабления различных патологических состояний, включая жировую дистрофию, атеросклероз, атрофию тканей, гипертрофию кардиомиоцитов, катаракту, почечный гломерулосклероз, саркопению, онкогенез, рецидивы опухолей, остеоартрит и нейродегенеративные заболевания [10-15].

В этом отношении особый интерес представляют лекарственные растения родов и *Berberis*, обладающие выраженным терапевтическим и потенциальным геропротекторным эффектом. Эти растения традиционно используются в народной медицине для лечения сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний, нарушений иммунной системы, патологий печени и почек. Их биоактивные соединения, включая полифенолы, флавоноиды и терпеноиды, обладают антиоксидантными, противовоспалительными, кардиопротекторными и геропротекторными свойствами [16,

Многочисленные исследования показали, что фитохимические компоненты растений, в частности полифенолы, флавоноиды и терпеноиды, играют важную роль в реализации их антивозрастного потенциала [18]. Эти соединения способны снижать окислительный стресс, модулировать воспалительные сигнальные пути, поддерживать функцию митохондрий и регулировать клеточный метаболизм.

Старение организма сопровождается накоплением окислительного стресса, нарушением митохондриального метаболизма, хроническим воспалением и снижением эффективности репаративных процессов.

В связи с этим наблюдается научный интерес к изучению природных соединений, способных смягчать данные патофизиологические изменения и способствовать продлению периода здорового долголетия.

Эндемичные виды Заилийского Алатау – *Crataegus dsungarica*, *Rosa webbiana* и *Berberis heteropoda* – представляют особый научный интерес, поскольку их фитохимический состав изучен недостаточно, а потенциальное применение в геронтологии остаётся малоисследованным.

Целью настоящей работы является сравнительный ГХ–МС анализ органических соединений этанольных экстрактов листьев данных эндемичных видов, оценка их биологической активности и определение наиболее перспективных видов для дальнейших биомедицинских и геронтологических исследований.

В качестве объекта исследования были выбраны листья растений, поскольку они являются одним из основных органов биосинтеза и накопления вторичных метаболитов, включая фенольные соединения, терпеноиды и другие биологически активные вещества. Кроме того, использование листьев позволяет получать растительное сырьё без

существенного ущерба для природных популяций, что имеет особое значение при изучении эндемичных видов флоры Казахстана.

#### Материалы и методы

##### *Сбор и идентификация растительного материала:*

Растительный материал (плоды, листья, цветки *C. dsungarica*, *R. webbiana* и *B. heteropoda*) был собран в Заилийском Алатау (Алматинская область, Казахстан) в 2025 году.

Для фитохимического исследования и оценки геропротекторного потенциала применялись листья, заготовленные в мае в фазу интенсивного вегетативного развития. Сбор сырья осуществлялся в следующие сроки: 4 мая – *B. heteropoda*, 11 мая – *C. dsungarica* и 25 мая – *R. webbiana*.

Таксономическая идентификация видов подтверждена Институтом ботаники и фитоинтродукции Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

Растительное сырьё высушивали в тени при комнатной температуре до постоянной массы, измельчали и хранили в сухом, защищённом от света месте.

##### *Получение экстрактов:*

Экстракцию проводили методом ультразвуковой обработки. Измельчённое сырьё (50 г) экстрагировали 500 мл 70% этанола (соотношение 1:10, w/v) с использованием ультразвуковой установки KQ5200B (40 kHz) в течение 30 минут (3 последовательных цикла).

Полученные экстракты объединяли, фильтровали через бумажный фильтр и концентрировали на роторном испарителе (EYELA N-1300) при температуре 45°C до получения сухого остатка. Сухие экстракты хранили при t –20°C до проведения анализа.

Все образцы готовили и анализировали в трёх независимых повторностях (n = 3).

##### *Газовая хроматография – масс-спектрометрия (ГХ–МС)*

Анализ химического состава экстрактов проводили методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием на системе Agilent 7890A, сопряжённой с масс-селективным детектором Agilent 5975C [19, 20].

Объём вводимой пробы составлял 0,5 мкл. Инжектирование осуществляли в режиме splitless при температуре инжектора 280°C. Разделение компонентов проводили на капиллярной колонке DB-WaxEtr (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм). В качестве газ-носителя использовали гелий со скоростью потока 1 мл/мин.

Температурная программа включала начальную температуру 40°C с последующим повышением до 300°C со скоростью 5°C/мин и выдержкой в течение 5 минут. Общее время анализа составляло 57 минут. Масс-спектры регистрировали в режиме SCAN в диапазоне m/z 34 -750.

##### *Идентификация соединений и обработка данных:*

Обработку хроматографических данных проводили с использованием программного обеспечения Agilent MSD ChemStation (версия 1701EA). Идентификацию соединений осуществляли путём сопоставления полученных масс-спектров с библиотеками Wiley 7th edition и NIST'02 [19–21].

Соединения считались достоверно идентифицированными при коэффициенте совпадения (similarity index)  $\geq 70\%$ . Относительное содержание обнаруженных соединений выражалось в процентах от общей площади ионной хроматограммы без применения поправочных коэффициентов [21]. Потенциальные лабораторные загрязнители, включая фталаты, исключали из биологической интерпретации результатов.

Результаты фитохимического анализа представлены в виде относительного содержания идентифицированных соединений (% от общей площади хроматографических пиков).

#### Результаты исследования

##### *ГХ–МС анализ экстракта листьев *Crataegus dsungarica**

Методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием в этанольном экстракте листьев *Crataegus dsungarica* идентифицировано 11 соединений, относящихся к различным классам органических веществ (таблица 1, рисунок 1). Доминирующим компонентом являлся октакозан (40,87%), что указывает на высокое содержание долгоцепочечных восковых углеводородов, характерных для кутикулярного покрова листьев. Значительную долю составляли также сахароза (18,48%) и 2-гексил-1-октанол (14,52%).

Среди биологически активных соединений идентифицированы неофитадиен (7,59%) и фитол (7,17%), принадлежащие к классу дитерпеноидов. Степень идентификационного совпадения для неофитадиена составила 85%, для фитола - 77%, что свидетельствует о высокой достоверности их определения. Терпеновый спирт 3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ол обнаружен в количестве 3,15%. В незначительных концентрациях присутствовали резорцин (2,38%), додекан (2,29%) и ряд малых компонентов.

Таблица 1. Результаты ГХ–МС анализа экстракта листьев *Crataegus dsungarica*

№	t, мин	Соединение	SI, %	Содержание, %
1	5,56	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	80	1,10
2	8,91	Dodecane	71	2,29
3	10,16	Benzene, (ethenyloxy)-	65	1,37
4	13,56	Resorcinol	68	2,38
5	14,09	3-Hexanone, 2,4-dimethyl-	63	1,08
6	15,09	Sucrose	69	18,48
7	16,72	Neophytadiene	85	7,59
8	17,16	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	70	3,15
9	19,42	Phytol	77	7,17
10	25,83	2-Hexyl-1-octanol	75	14,52
11	30,48	Octacosane	74	40,87

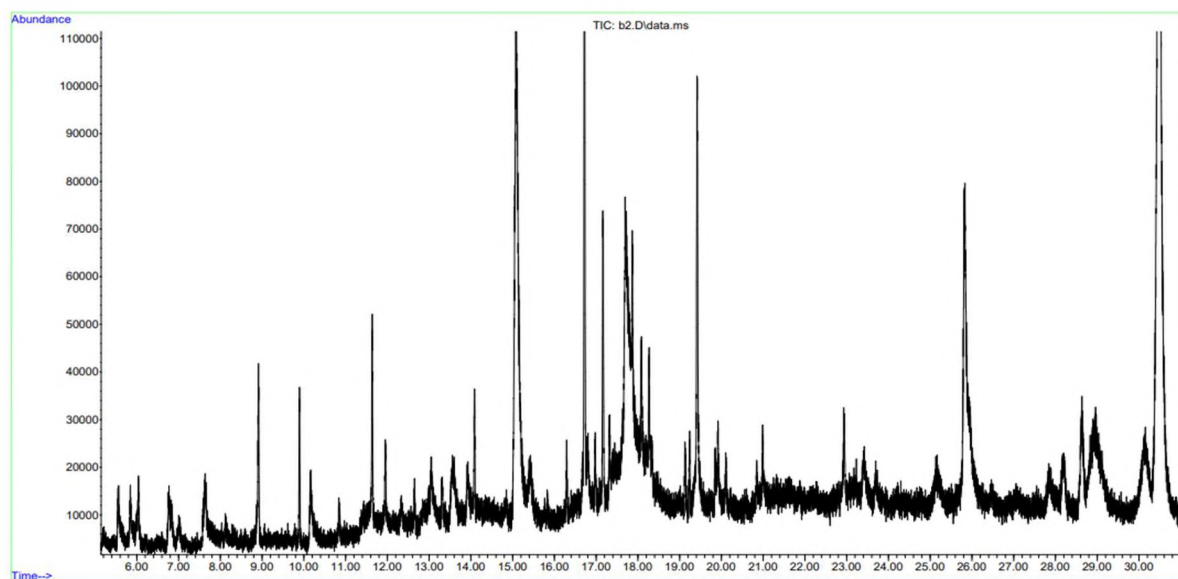


Рисунок 1. Хроматограмма экстракта листьев *Crataegus dsungarica*

*ГХ-МС анализ экстракта листьев Rosa webbiana*

В этанольном экстракте листьев *Rosa webbiana* идентифицировано 12 соединений (таблица 2, рисунок 2).

Преобладающим компонентом являлась сахароза (36,66%). Выраженное присутствие 1,1,4,7-тетраметилдекагидро-1Н-циклопропа[е]азулен-4,7-диола составило 27,42% – это сесквитерпеноидное соединение с задокументированными противовоспалительными и антиоксидантными свойствами [22, 23].

Терпеновый спирт 3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ол обнаружен в количестве 9,57%; фитол – 5,77%. Наличие β-D-глюкопиранозы-1,6-ангидро (3,45%) и 9,12,15-октадекатриеновой кислоты (метилловый эфир, 2,27%) указывает на присутствие функционально значимых углеводных и липидных метаболитов.

Таблица 2. Результаты ГХ-МС анализа экстракта листьев *Rosa webbiana*

№	t, мин	Соединение	SI, %	Содержание, %
1	5,54	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	88	2,14
2	7,62	1,3-Dimethyl-4-amino-4,5(1H)-dihydro-1,2,4-triazole-5-one	65	2,60
3	8,11	Cyclopropyl carbinol	66	1,62
4	11,63	Hexane, 3,3-dimethyl-	72	1,35
5	14,09	Decane, 1-iodo-	68	1,29
6	15,12	Sucrose	69	36,66
7	15,41	β-D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	70	3,45

№	t, мин	Соединение	SI, %	Содержание, %
8	16,72	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	82	9,57
9	17,88	1,1,4,7-Tetramethyldecahydro-1H-cyclopropa[e]azulene-4,7-diol	71	27,42
10	19,42	Phytol	78	5,77
11	19,91	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	67	2,27
12	30,42	Dodecyl nonyl ether	63	5,87

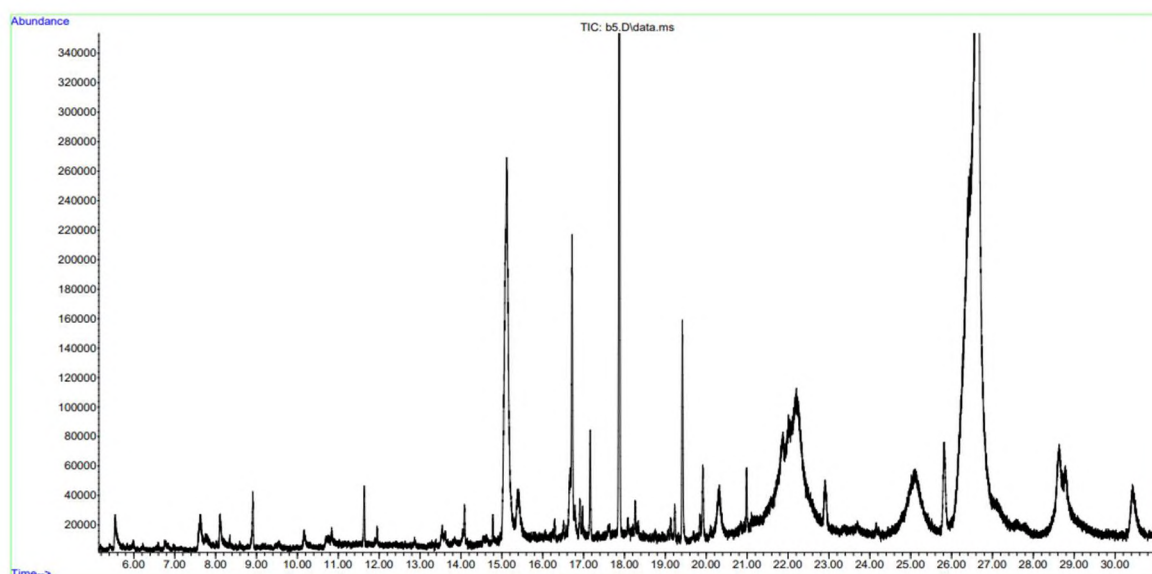


Рисунок 2. Хроматограмма экстракта листьев *Rosa webbiana*

*ГХ-МС анализ экстракта листьев Berberis heteropoda*

В экстракте листьев *Berberis heteropoda* идентифицировано 12 соединений (таблица 3, рисунок 3). Доминирующим компонентом оказался фитол (44,58%) с наивысшим в исследовании значением идентификационного совпадения - 87%. Это указывает на особенно высокое содержание дитерпеноидов в данном виде.

Значительную часть составляли 1,2,3,5-циклогексантетрол (16,55%) - полиол с возможным влиянием на осмотическую регуляцию клеток - и 2H-пиран-2,6(3H)-дион (11,40%), кислородсодержащий гетероцикл с предполагаемой антиоксидантной активностью. Неофитадиен присутствовал в количестве 7,47%, а производные жирных кислот (гексадекановой и октадекатриеновой) - в суммарном количестве около 5,6%.

Таблица 3. Результаты ГХ–МС анализа экстракта листьев *Berberis heteropoda*

№	t, мин	Соединение	SI, %	Содержание, %
1	5,40	2(5H)-Furanone	73	0,82
2	5,55	6-Oxabicyclo[3.1.0]hexan-2-one	72	2,17
3	6,20	3-Ethylcyclopentanone	76	1,26
4	6,76	Phenol	77	2,38
5	6,90	2H-Pyran-2,6(3H)-dione	79	11,40
6	7,90	1-(2-Hydroxyethyl)-1,2,4-triazole	67	4,12
7	16,70	Neophytadiene	80	7,47
8	17,14	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	74	3,66
9	17,71	1,2,3,5-Cyclohexanetetrol, (1 $\alpha$ ,2 $\beta$ ,3 $\alpha$ ,5 $\beta$ )-	64	16,55
10	18,24	Hexadecanoic acid, ethyl ester	66	2,90
11	19,40	Phytol	87	44,58
12	19,89	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	62	2,70

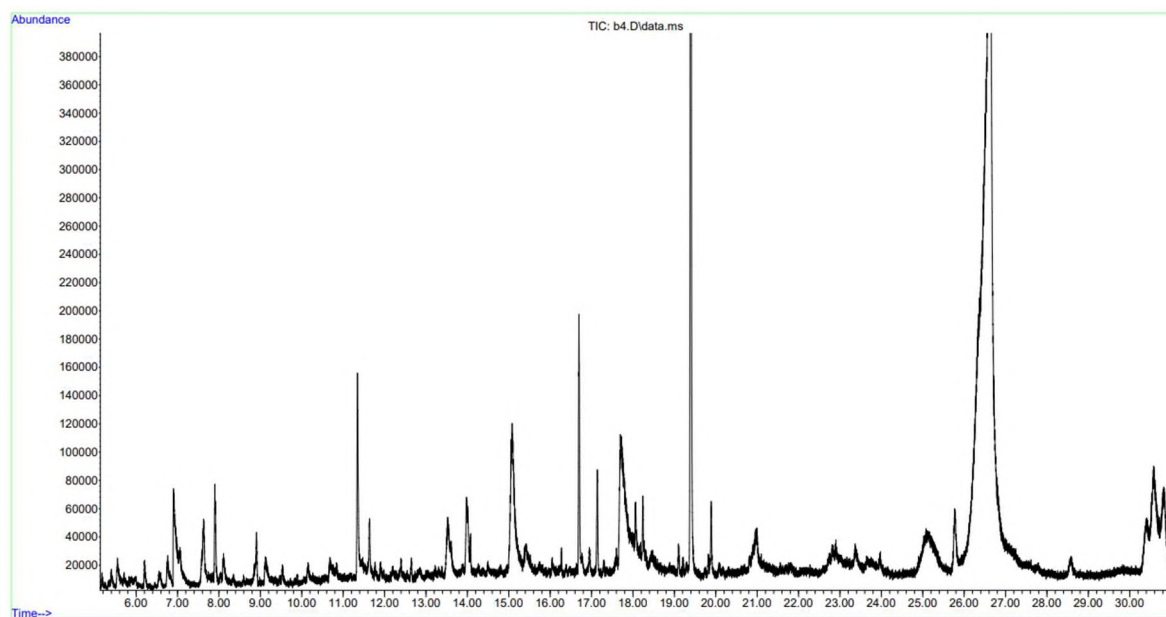


Рисунок 3. Хроматограмма экстракта листьев *Berberis heteropoda*

#### Сравнительный анализ фитохимического состава

Для систематизации полученных данных составлена сравнительная таблица распределения ключевых биологически активных соединений и их потенциальная геропротекторная активность (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительный анализ основных соединений и их предполагаемой геропротекторной активности

Соединение	C.d., %	R.w., %	B.h., %	Класс	Потенциальная геропротекторная активность
Phytol	7,17	5,77	44,58	Терпеноид	Антиоксидант, мембранопротектор, митохондриальная защита [18, 20, 22]
Neophytadiene	7,59	0,00	7,47	Терпеноид	Противовоспалительное, антиоксидантное действие [23, 24, 25]
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	3,15	9,57	3,66	Терпеновый спирт	Антиоксидант, мембранопротектор [26, 27]
Sucrose	18,48	36,66	0,00	Углевод	Энергетический субстрат, осморегуляция [21]
$\beta$ -D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	0,00	3,45	0,00	Моносахарид	Антиоксидантное, противоопухолевое [22, 23]
Azulene-4,7-diol / Cyclohexanetetrol	0,00	27,42	16,55	Терпеноид / Полиол	Противовоспалительное, метаболическая регуляция [22, 27]
Octacosane	40,87	0,00	0,00	Алкан	Защита поверхности клетки [19, 20]
2-Hexyl-1-octanol	14,52	0,00	0,00	Жирный спирт	Мембранная стабилизация [27, 28]
2H-Pyran-2,6(3H)-dione	0,00	0,00	11,40	Гетероцикл	Антиоксидантная активность, хелатирование ионов металлов [22, 23]
9,12,15-Octadecatrienoic acid (эфир)	0,00	2,27	2,70	Жирная кислота	Регуляция липидного обмена, противовоспалительное [27, 28]

Примечание: C.d. – *Crataegus dsungarica*, R.w. - *Rosa webbiana*, B.h. – *Berberis heteropoda*

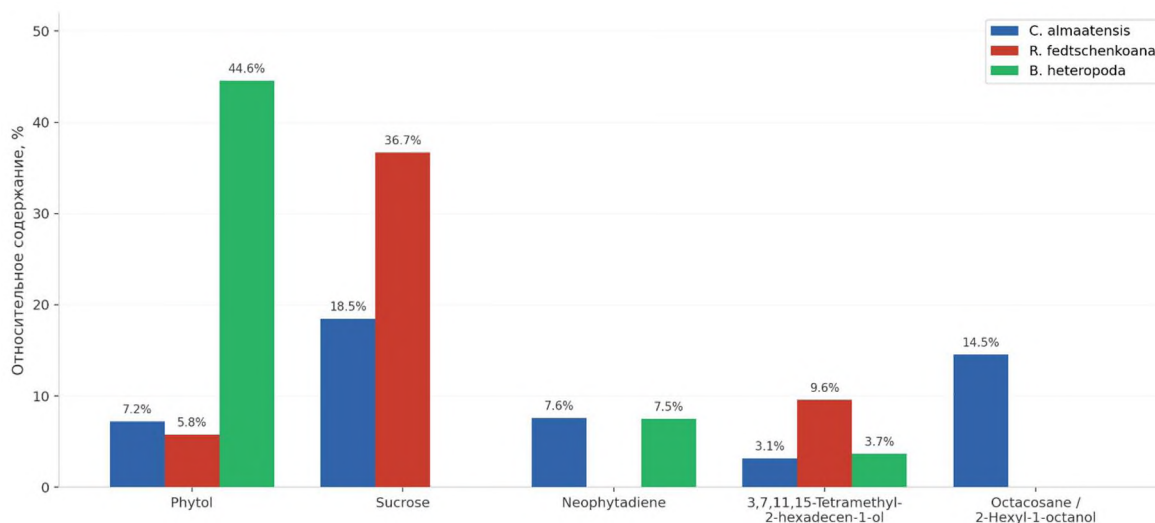


Рисунок 4. Сравнительное содержание основных соединений в экстрактах листьев трёх видов (ГХ–МС, %)

На рисунке 4 представлены результаты сравнительного анализа основных соединений, выявленных методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ–МС) в экстрактах листьев трёх видов растений: *Crataegus dsungarica*, *Rosa webbiana* и *Berberis heteropoda* [29]. Полученные данные свидетельствуют о существенных различиях как в качественном, так и в количественном составе компонентов.

Наиболее высоким содержанием фитола (phytol) характеризуется вид *B. heteropoda* - 44,6%, что значительно превышает показатели *C. dsungarica* (7,2%) и *R. webbiana* (5,8%). Высокая концентрация фитола может указывать на активный метаболизм хлорофилла и потенциально выраженные антиоксидантные свойства данного вида.

Сахароза (sucrose) является доминирующим компонентом в экстрактах *R. webbiana* (36,7%) и *C. dsungarica* (18,5%), тогда как в *B. heteropoda* она практически не обнаружена. Это может свидетельствовать о различиях в углеводном обмене и физиологических особенностях растений.

Соединение неофитадиен (neophytadiene) выявлено только у *C. dsungarica* (7,6%) и *B. heteropoda* (7,5%), тогда как в образцах *R. webbiana* оно отсутствует. Известно, что неофитадиен обладает биологической активностью, включая противовоспалительные и противомикробные свойства.

Содержание 3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ола наиболее высокое в *R. webbiana* (9,6%), тогда как в *B. heteropoda* и *C. dsungarica* оно составляет 3,7% и 3,1% соответственно. Этот компонент относится к терпеновым соединениям и может участвовать в механизмах защиты растений.

Октакозан/2-гексил-1-октанол в основном был обнаружен в *C. dsungarica* (14,5%), тогда как в двух других видах его содержание было незначительным или отсутствовало. Это может отражать особенности липидного состава этого вида и адаптивных механизмов.

Таким образом, результаты анализа GC-MS указывают на явную химическую специфичность исследуемых видов. Наиболее характерной особенностью *B. heteropoda* является высокое содержание фитола, в то время как *R. webbiana* характеризуется преобладанием сахарозы и терпеновых соединений. *C. dsungarica* характеризуется

разнообразным распределением компонентов, включая значительные количества октакозана/2-гексил-1-октанола.

### Обсуждение

ГХ-МС анализ выявил широкий спектр вторичных метаболитов во всех трех изученных видах. Несмотря на видоспецифичность качественного и количественного состава, во всех экстрактах были обнаружены соединения с задокументированной биологической активностью: терпеноиды, фенольные вещества и производные ненасыщенных жирных кислот [22–28].

Наиболее значимым с геропротекторной точки зрения компонентом всех исследованных экстрактов является фитол – дитерпеноидный спирт, образующийся при деградации хлорофилла. В экстракте *B. heteropoda* его содержание достигло 44,58%, что является самым высоким показателем среди всех идентифицированных соединений в данном исследовании. По данным литературы, фитол обладает выраженной антиоксидантной и противовоспалительной активностью, способен снижать уровень активных форм кислорода (АФК) и защищать митохондриальную мембрану от повреждений [26–28]. Эти свойства особенно релевантны в контексте молекулярных механизмов старения, при которых окислительный стресс и митохондриальная дисфункция играют ключевую роль [14].

*C. dsungarica* и *B. heteropoda* характеризовались сопоставимым содержанием неофитадиена (7,59% и 7,47% соответственно) – дитерпенового углеводорода, которому приписывается антиоксидантное и умеренное противовоспалительное действие [26]. Терпеновый спирт 3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ол присутствовал во всех трёх видах, с наивысшим содержанием у *R. webbiana* (9,57%). Эти соединения способны стабилизировать клеточные мембраны и проявлять мембранопротекторный эффект [18].

Отличительной особенностью экстракта *R. webbiana* является высокое содержание 1,1,4,7-тетраметилдекагидро-1Н-циклопропа[е]азулен-4,7-диола (27,42%) – сесквитерпеноида гваянового скелета, ранее описанного в ряде лекарственных растений и характеризующегося противовоспалительными и антимикробными свойствами. Наряду с ним зафиксировано присутствие 9,12,15-октадекатриеновой кислоты (метилового эфира), являющейся производным ω-3 жирной кислоты, роль которых в снижении системного воспаления хорошо изучена [17, 18].

Помимо фитола, в экстракте *B. heteropoda* идентифицированы 2Н-пиран-2,6(3Н)-дион (11,40%) и 1,2,3,5-циклогексантетрол (16,55%). Пиранодионовые структуры обладают хелатирующей активностью и способны нейтрализовывать ионы переходных металлов – катализаторы образования АФК. Циклогексантетрол (инозитолоподобный полиол) участвует в осморегуляции клеток и может обладать инсулиномиметическими свойствами, что является перспективным с точки зрения метаболического аспекта геропротекции.

Следует подчеркнуть, что полученные данные ГХ–МС анализа характеризуют летучую и полунлетучую фракцию экстракта. Высокополярные нелетучие соединения – в частности, флавоноиды, фенолокислоты и алкалоиды, традиционно ассоциируемые с геропротекторным действием растений родов *Crataegus*, *Rosa* и *Berberis* – в данном методе остаются неохваченными и требуют самостоятельного изучения методами ВЭЖХ-МС или ЯМР-спектроскопии [17, 22, 24].

Результаты ГХ-МС-анализа выявили заметные различия в фитохимическом составе исследуемых видов. В *C. dsungarica* были идентифицированы терпеноидные соединения, в частности неофитадиен и фитол, а также фенольные компоненты, включая

резорцин. Фитол, являясь дитерпеновым соединением, обладает широким спектром биологической активности, включая антиоксидантные, противовоспалительные, антимикробные и цитопротективные свойства. Неофитадиен также признан биологически активным терпеноидом с антиоксидантным и противовоспалительным потенциалом [30, 31, 33, 34]. Обнаружение резорцина указывает на наличие фенольных метаболитов, которые могут способствовать антиоксидантной активности экстрактов.

Фитохимический профиль *B. heteropoda* характеризовался наличием неофитадиена, фитола, этилового эфира гексадекановой кислоты и  $\alpha$ -линоленовой кислоты. Производные жирных кислот и ненасыщенные жирные кислоты известны своим участием в механизмах клеточной защиты и связаны с антиоксидантной и противовоспалительной активностью [32]. Совместное присутствие терпеноидов и липидных метаболитов в *Berberis heteropoda* указывает на сложность состава вторичных метаболитов, что может объяснять его биологические свойства.

Наше сравнительное исследование выявило, что, несмотря на общую тенденцию к содержанию терпеноидов, каждый из трех видов растений демонстрировал уникальный набор доминирующих метаболитов. Это различие подчеркивает видоспецифические особенности их метаболизма. Полученные данные не только расширяют наши знания о фитохимическом богатстве *C. dsungarica*, *R. webbiana* и *B. heteropoda*, но и открывают путь для будущих исследований, посвященных изучению потенциальной биологической активности обнаруженных соединений.

Различия в фитохимическом составе *C. dsungarica*, *R. webbiana* и *B. heteropoda* могут быть обусловлены как видоспецифическими метаболическими особенностями, так и абиотическими факторами среды обитания. Климатические условия, высота над уровнем моря, инсоляция, почвенные характеристики и гидрологический режим являются ключевыми факторами, влияющими на биосинтез и аккумуляцию вторичных метаболитов в растениях. Следовательно, качественный и количественный состав идентифицированных соединений может отражать адаптивные реакции исследуемых видов на экологические условия Казахстана. Преобладание терпеноидных соединений, в том числе 1,1,4,7-тетраметилдекагидро-1Н-циклопропа[e]азулен-4,7-диол, неофитадиена и фитола, указывает на их существенную роль в механизмах защиты и адаптации растений.

Новизна данного исследования заключается в том, что впервые был проведен газохромато-масс-спектрометрический анализ экстракта *R. webbiana*, произрастающего в Казахстане, с целью определения состава его основных летучих и полунлетучих метаболитов. Впервые были идентифицированы доминирующие соединения в анализируемом образце, в том числе терпены 1,1,4,7-тетраметилдекагидро-1Н-циклопропа[e]азулен-4,7-диол, неофитадиен и фитол. Полученные результаты расширяют наши знания о химическом составе *R. webbiana* и могут служить основой для дальнейшего изучения ее биологической активности и фармакологического потенциала.

Идентифицированные фитохимические компоненты представляют значительный интерес в контексте их установленной биологической активности. Предыдущие исследования продемонстрировали антиоксидантные и противовоспалительные свойства производных азулена и фитола, что свидетельствует об их потенциальном вкладе в биологическую активность изучаемых видов. Более того, наличие фенольных соединений, производных жирных кислот и терпеноидов отражает химическое разнообразие исследуемых таксонов и подчеркивает их потенциал в качестве источников биологически активных природных продуктов.

### Заклучение

ГХ–МС анализ этанольных экстрактов листьев *Crataegus dsungarica*, *Rosa webbiana* и *Berberis heteropoda* - трёх эндемичных видов Заилийского Алатау - позволил впервые провести их сравнительное хроматографическое профилирование. В совокупности идентифицировано более 20 органических соединений, относящихся к терпеноидам, фенолам, производным жирных кислот, полиолам и углеводородам.

Установлено, что фитол является универсальным маркерным компонентом всех трёх видов, при этом наибольшее его содержание зафиксировано в *B. heteropoda* (44,58%). С учётом задокументированной антиоксидантной, противовоспалительной и мембранопротекторной активности фитола, этот вид следует рассматривать как приоритетный объект для дальнейших геронтологических исследований.

*R. webbiana* выделяется высоким содержанием сесквитерпеноидного компонента (азулен-4,7-диол, 27,42%) и терпенового спирта (3,7,11,15-тетраметил-2-гексадецен-1-ол, 9,57%), что определяет её перспективность как источника противовоспалительных и антиоксидантных агентов. *C. dsungarica* характеризуется присутствием неофитадиена и фитола на фоне высокомолекулярных углеводов, что может быть связано с барьерными и защитными функциями листовой кутикулы.

Выявленный фитохимический профиль исследуемых видов согласуется с концепцией мультимишенного геропротекторного действия: антиоксидантная защита, поддержание митохондриальной функции, регуляция липидного обмена и снижение хронического воспаления. Полученные данные создают научную основу для проведения последующих экспериментальных исследований *in vitro* и *in vivo*, направленных на подтверждение и детализацию геропротекторного потенциала данных эндемичных растений.

Во время подготовки данной рукописи авторы использовали инструменты искусственного интеллекта (ChatGPT, Gemini) для помощи в редактировании текста или переводе. Все научные интерпретации были выполнены авторами. Инструменты с поддержкой ИИ не применялись для сбора данных или статистического анализа. Все содержание материала было проверено и верифицировано авторами, которые несут полную ответственность за содержание и оригинальность рукописи.

### Литература:

1. Всемирная организация здравоохранения. Стратегия ВОЗ в области народной медицины на 2014–2023 гг. - Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2013.
2. Ekor M. The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. - *Front Pharmacol*, 2014. - 4:177.
3. Atanasov A.G., Waltenberger B., Pferschy-Wenzig E.M., et al. Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products. - *Biotechnol Adv.*, 2015. - 33(8):1582–1614.
4. Newman D.J., Cragg G.M. Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 1981 to 2019. - *J Nat Prod.*, 2020. - 83(3):770–803.
5. Pan S.Y., Litscher G., Gao S.H., et al. Historical perspective of traditional indigenous medical practices: the current renaissance and conservation of herbal resources. - *Evid Based Complement Alternat Med.*, 2014. - 2014:525340.
6. Li F.S., Weng J.K. Demystifying traditional herbal medicine with modern approach. - *Nat Plants*, 2017. - 3:17109.
7. Campisi J. Cellular senescence: putting the paradoxes in perspective. - *Curr Opin Genet Dev.*, 2011. - 21(1):107–112.

8. Coppé JP, Desprez PY, Krtolica A, Campisi J. The senescence-associated secretory phenotype: the dark side of tumor suppression. - *Annu Rev Pathol.*, 2010. - 5:99–118.
9. van Deursen J.M. The role of senescent cells in ageing. – *Nature*, 2014. - 509(7501):439–446.
10. Baker D.J., Wijshake T., Tchkonina T., et al. Clearance of p16Ink4a-positive senescent cells delays ageing-associated disorders. – *Nature*, 2011. - 479(7372):232–236.
11. Childs B.G., Durik M., Baker D.J., van Deursen J.M. Cellular senescence in aging and age-related disease: from mechanisms to therapy. - *Nat Med.*, 2015. - 21(12):1424–1435.
12. Kirkland J.L., Tchkonina T. Cellular senescence: a translational perspective. – *EbioMedicine*, 2017. 21:21–28.
13. Muñoz-Espín D., Serrano M. Cellular senescence: from physiology to pathology. - *Nat Rev Mol Cell Biol.*, 2014. - 15(7):482–496.
14. López-Otín C., Blasco M.A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. The hallmarks of aging. - *Cell.*, 2013. - 153(6):1194–1217.
15. He S., Sharpless N.E. Senescence in health and disease. - *Cell.*, 2017. - 169(6):1000–1011.
16. Edwards J.E., Brown P.N., Talent N., Dickinson T.A., Shipley P.R. A review of the chemistry of the genus *Crataegus*. – *Phytochemistry*, 2012. - 79:5–26.
17. Imenshahidi M., Hosseinzadeh H. Berberis vulgaris and berberine: an update review. - *Phytother Res.*, 2016 - 30(11):1745–1764.
18. Pandey K.B., Rizvi S.I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. - *Oxid Med Cell Longev.*, 2009. - 2(5):270–278.
19. Adams R.P. *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. 4th ed. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation; 2007.
20. Tsikas D. Perspectives of Quantitative GC-MS, LC-MS, and ICP-MS in the Clinical Medicine Science - The Role of Analytical Chemistry. - *J Clin Med.*, 2024. - 13(23):7276. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm13237276>.
21. Brehmer, T. Investigation of the interactions between analytes and stationary phases in gas chromatographic systems using simulation (Doctoral dissertation, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn), 2024.
22. Fatima Hashmi, S., Saleem, H., Khurshid, U., Khursheed, A., Tauquir Alam, M., Imran, M., ... & Shoaib Ali Gill, M. Genus Berberis: A Comprehensive and Updated Review on Ethnobotanical Uses, Phytochemistry and Pharmacological Activities. - *Chemistry & Biodiversity*, 2024. - (Vol. 21, No. 10, e202400911). DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400911>
23. Zafar, F., Asif, H. M., Shaheen, G., Ghauri, A. O., Rajpoot, S. R., Tasleem, M. W., ... & Nazar, H. A comprehensive review on medicinal plants possessing antioxidant potential. - *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13743>.
24. Ghorbani A. Esmailizadeh M. Pharmacological properties of Rosa canina L. and its phytoconstituents. - *Front Pharmacol*, 2017. – 8:394.
25. Sadeghian M. et al. Advances in Dietary Phenolic Compounds to Improve Cancer Therapy. - *Cancers (Basel)*, 2022. - 14(19):4573. DOI: <https://doi.org/10.3390/cancers14194573>
26. Ge X., et al. Natural terpenoids with anti-inflammatory activities. – *Phytochemistry*, 2022. - 201:113228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2022.105817>.
27. P Costa, J., Islam, T., S Santos, P., B Ferreira, P., LS Oliveira, G., VOB Alencar, M., ... & Melo-Cavalcante, A. C. Evaluation of Antioxidant Activity of Phytol Using Non- and Pre-Clinical Models. - *Current Pharmaceutical Design*, 2016. - 22(00): DOI: <https://doi.org/10.2174/1389201017666161019155715>.
28. Yu, J., Jin, F., Tang, Y., & Huang, Y. In vitro anticancer activity of phytol on human Non-Small cell lung Cancer A549 cells. *Integrative Cancer Therapies*, 2025. 24. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534735425134459>
29. POWO (Plants of the World Online), 2026. Plants of the World Online. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
30. Islam, M.T., Ali, E.S., Uddin, S.J., Shaw, S., Islam, M.A., Ahmed, M.I., ... & Atanasov, A.G. (2018). Phytol: A review of biomedical activities. *Food and chemical toxicology*, 121, 82-94.
31. de Moraes J, de Oliveira RN, Costa JP, et al. Phytol, a diterpene alcohol from chlorophyll, as a drug against neglected tropical disease. *Experimental Parasitology*. 2014; 138:24–30.
32. Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual review of food science and technology*, 9, 345-381.

33. Kumar D., Arya V., Bhat Z.A., Khan N.A., Prasad D.N. The genus *Crataegus*: Chemical and pharmacological perspectives. *Rev. Bras.* 2012; 22:1187–1200. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000094>.

34. Бердиев Э.Т. Морфологическая и биохимическая характеристика шиповника Федченко (*Rosa Fedtschenkoana* rge.), произрастающего на западном Тянь-Шане. - Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 2016; 4: 20-25.

#### References:

1. World Health Organization. WHO Traditional Medicine Strategy 2014–2023. - Geneva: World Health Organization; 2013.
2. Ekor M. The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. - *Front Pharmacol*, 2014. - 4:177.
3. Atanasov A.G., Waltenberger B., Pferschy-Wenzig E.M., et al. Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products. - *Biotechnol Adv.*, 2015. - 33(8):1582–1614.
4. Newman D.J., Cragg G.M. Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 1981 to 2019. - *J Nat Prod.*, 2020. - 83(3):770–803.
5. Pan S.Y., Litscher G., Gao S.H., et al. Historical perspective of traditional indigenous medical practices: the current renaissance and conservation of herbal resources. - *Evid Based Complement Alternat Med.*, 2014. - 2014:525340.
6. Li F.S., Weng J.K. Demystifying traditional herbal medicine with modern approach. - *Nat Plants*, 2017 - 3:17109.
7. Campisi J. Cellular senescence: putting the paradoxes in perspective. - *Curr Opin Genet Dev.*, 2011. - 21(1):107–112.
8. Coppé J.P., Desprez P.Y., Krtolica A., Campisi J. The senescence-associated secretory phenotype: the dark side of tumor suppression. - *Annu Rev Pathol.*, 2010. - 5:99–118.
9. van Deursen J.M. The role of senescent cells in ageing. - *Nature*, 2014. - 509(7501):439–446.
10. Baker D.J., Wijshake T., Tchkonina T., et al. Clearance of p16Ink4a-positive senescent cells delays ageing-associated disorders. - *Nature*, 2011. - 479(7372):232–236.
11. Childs B.G., Durik M., Baker D.J., van Deursen J.M. Cellular senescence in aging and age-related disease: from mechanisms to therapy. - *Nat Med.*, 2015. - 21(12):1424–1435.
12. Kirkland J.L., Tchkonina T. Cellular senescence: a translational perspective. - *EbioMedicine*, 2017. - 1:21–28.
13. Muñoz-Espín D., Serrano M. Cellular senescence: from physiology to pathology. - *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2014. - 15(7):482–496.
14. López-Otín C., Blasco M.A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. The hallmarks of aging. - *Cell.*, 2013. - 153(6):1194–1217.
15. He S., Sharpless N.E. Senescence in health and disease. - *Cell.*, 2017. - 169(6):1000–1011.
16. Edwards J.E., Brown P.N., Talent N., Dickinson T.A., Shipley P.R. A review of the chemistry of the genus *Crataegus*. - *Phytochemistry*, 2012. - 79:5–26.
17. Imenshahidi M., Hosseinzadeh H. *Berberis vulgaris* and berberine: an update review. - *Phytother Res.*, 2016. - 30(11):1745–1764.
18. Pandey K.B., Rizvi S.I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. - *Oxid Med Cell Longev.*, 2009. - 2(5):270–278.
19. Adams R.P. *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. - 4th ed. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation; 2007.
20. Tsikas D. Perspectives of Quantitative GC-MS, LC-MS, and ICP-MS in the Clinical Medicine Science - The Role of Analytical Chemistry. - *J Clin Med.*, 2024. - 13(23):7276. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcml3237276>.
21. Brehmer, T. Investigation of the interactions between analytes and stationary phases in gas chromatographic systems using simulation (Doctoral dissertation, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn), 2024.
22. Fatima Hashmi, S., Saleem, H., Khurshid, U., Khursheed, A., Tauquir Alam, M., Imran, M., ... & Shoaib Ali Gill, M. Genus *Berberis*: A Comprehensive and Updated Review on Ethnobotanical Uses, Phytochemistry and Pharmacological Activities. - *Chemistry & Biodiversity*, 2024. - (Vol. 21, No. 10, e202400911). DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202400911>

23. Zafar, F., Asif, H. M., Shaheen, G., Ghauri, A. O., Rajpoot, S. R., Tasleem, M. W., ... & Nazar, H. A comprehensive review on medicinal plants possessing antioxidant potential. - Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13743>.
24. Ghorbani A. Esmailizadeh M. Pharmacological properties of Rosa canina L. and its phytoconstituents. - Front Pharmacol, 2017. – 8:394.
25. Sadeghian M. et al. Advances in Dietary Phenolic Compounds to Improve Cancer Therapy. - Cancers (Basel), 2022. - 14(19):4573. DOI: <https://doi.org/10.3390/cancers14194573>
26. Ge X., et al. Natural terpenoids with anti-inflammatory activities. – Phytochemistry, 2022. - 201:113228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2022.105817>.
27. P Costa, J., Islam, T., S Santos, P., B Ferreira, P., LS Oliveira, G., VOB Alencar, M., ... & Melo-Cavalcante, A. C. Evaluation of Antioxidant Activity of Phytol Using Non- and Pre-Clinical Models. - Current Pharmaceutical Design, 2016. – 22(00): DOI: <https://doi.org/10.2174/1389201017666161019155715>.
28. Yu, J., Jin, F., Tang, Y., & Huang, Y. In vitro anticancer activity of phytol on human Non-Small cell lung Cancer A549 cells. Integrative Cancer Therapies, 2025. 24. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534735425134459>
29. POWO (Plants of the World Online), 2026. Plants of the World Online. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
30. Islam, M.T., Ali, E.S., Uddin, S.J., Shaw, S., Islam, M.A., Ahmed, M. I., ... & Atanasov, A.G. (2018). Phytol: A review of biomedical activities. Food and chemical toxicology, 121, 82-94.
31. de Moraes J, de Oliveira RN, Costa JP, et al. Phytol, a diterpene alcohol from chlorophyll, as a drug against neglected tropical disease. Experimental Parasitology. 2014; 138:24–30.
32. Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. Annual review of food science and technology, 9, 345-381.
33. Kumar D., Arya V., Bhat Z.A., Khan N.A., Prasad D.N. The genus Crataegus: Chemical and pharmacological perspectives. Rev. Bras. 2012; 22:1187–1200. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000094>.
34. Berdiev E.T. Morphological and biochemical characteristics of rosehip Fedchenko (Rosa Fedtschenkoana rge.), growing in the western Tien Shan. - Bulletin of Michurin State Agrarian University, 2016; 4: 20-25.

#### **Information about the authors**

**A.K. Kydyrbayeva** – PhD doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [kydyrbaeva.a@kaznmu.kz](mailto:kydyrbaeva.a@kaznmu.kz);

**T.M. Shalakhmetova** – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Zoology, Histology and Cytology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [t\\_shalakhmetova@mail.ru](mailto:t_shalakhmetova@mail.ru);

**B.M. Aikeshev** – corresponding author, candidate of Biological Sciences, PhD, Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan; [Aikeshev@gmail.com](mailto:Aikeshev@gmail.com) .