

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРПЕНОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА CRASSULACEAE, DC. РОДА SEDUM S.L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РСО–АЛАНИЯ

**С.А. Гревцова**, кандидат биологических наук

**Э.И. Рехвиашвили**, доктор биологических наук

**М.К. Айлярова**, старший преподаватель

**М.Ю. Кабулова**, кандидат биологических наук

**Л.Ч. Гагиева**, доктор биологических наук

*Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания*

**E-mail:** grevzovasvetlana@yandex.ru

**Ключевые слова:** Crassulaceae DC., Sedum s.l., терпены, ГХ/МС (годовая хромато-масс-спектрометрия), фитохимия, комплексный фитоэкстракт.

**Реферат.** Очитки – представители семейства толстянковых, ценный лекарственный вид с ограниченным распространением. Он имеет исключительное значение для фитотерапии и биохимии растений. В ФГБОУ ВО Горский ГАУ в коллекционном питомнике интродуцированы и успешно произрастают некоторые представители семейства толстянковых (Crassulaceae DC.): очиток видный, очиток кавказский, очиток супротиволистный и очиток линейный. Crassulaceae DC. – это большое семейство двудольных покрытосеменных растений, характеризующееся своей уникальной формой фотосинтеза. Эти растения используются в основном в качестве носителей химически активных соединений и биологически ценных веществ. Исследуемые образцы растений семейства толстянковых представляют особый интерес в качестве сырья для лекарственных препаратов и как ценные биологически активные компоненты. В результате проведенных исследований методом хромато-масс-спектрометрии определен компонентный состав терпенового ряда в растительных объектах: очиток супротиволистный (*Sedum oppositifolium*), очиток кавказский (*Sedum caucasicum*), очиток линейный (*Sedum lineare* Thunb.) и очиток видный (*Sedum spectabile*). В *Sedum spectabile* содержится два, в *Sedum caucasicum* – пять, в *Sedum oppositifolium* – восемь, в *Sedum lineare* Thunb. – десять компонентов терпенового ряда. Биологически ценные вещества ряда терпенов семейства толстянковых, обнаруженные в изучаемых растениях, определены при помощи органических растворителей. Терпены были выделены в хлороформных и в этанольных вытяжках, т. е. подобран растворитель для интересующего компонента, а идентифицированные терпены могут выступать в качестве индикаторных специфических компонентов для каждого растения и выбора подходящих маркеров.

## CHARACTERISTICS OF SOME BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF A NUMBER OF TERPENES FOR REPRESENTATIVES OF THE CRASSULACEAE DC FAMILY THE GENUS SEDUM S.L., GROWING IN THE RSO–ALANIA

**S.A. Grevtsova**, Candidate of Biological Sciences

**E.I. Rekhviashvili**, Doctor of Biological Sciences

**M.K. Aylarova**, Senior Lecturer

**M.Y. Kabulova**, Candidate of Biological Sciences

**L.Ch. Gagieva**, Doctor of Biological Sciences

*Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia – Alania*

**E-mail:** grevzovasvetlana@yandex.ru

**Keywords:** Gas chromatography-mass spectrometry, Crassulaceae DC., terpenes, Sedum s.l., complex phytoextract.

**Report.** Sedums are representatives of the Crassulaceae family, a valuable medicinal species with limited distribution. It is of exceptional importance for herbal medicine and plant biochemistry. At the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Gorsky State Agrarian University, some representatives of

*the Crassulaceae family (Crassulaceae DC) have been introduced and successfully grow in the collection nursery: prominent sedum, Caucasian sedum, antifolia sedum and linear sedum. Crassulaceae DC. is a large family of dicotyledonous angiosperms characterized by its unique form of photosynthesis. These plants are used mainly as carriers of chemically active compounds and biologically valuable substances. The studied samples of plants of the Crassulaceae family are of particular interest as raw materials for medicines and as valuable biologically active components. As a result of the studies carried out using chromatography-mass spectrometry, the component composition of the terpene series in plant objects was determined: sedum oppositifolium, Caucasian sedum (Sedum caucasicum), linear sedum (Sedum lineare Thunb.) and prominent sedum (Sedum spectabile). Sedum spectabile contains two, Sedum caucasicum contains five, Sedum oppositifolium contains eight, Sedum lineare Thunb. – ten components of the terpene series. The biologically valuable substances of a number of terpenes of the Crassulaceae family, found in the studied plants, were determined using organic solvents. Terpenes were isolated in chloroform and ethanol extracts, i.e., a solvent was selected for the component of interest, and the identified terpenes can act as indicators of specific components for each plant and the selection of suitable markers.*

Изопреноиды – это семейство натуральных продуктов, включающее более 70 000 соединений с огромным структурным и функциональным разнообразием [1–17]. Эти соединения присутствуют во всех живых организмах от прокариот до эукариот, но наибольшее структурное разнообразие наблюдается у растений [1–12]. Изопреноиды растений выполняют важные биологические функции в первичном метаболизме, регуляции роста растений, биосинтезе клеточной стенки, внутриклеточной передаче сигналов. Кроме того, они играют значительную роль в реакциях на биотический и абиотический стресс [3–5].

Изопреноиды представляют собой самую большую группу биологически активных и специализированных метаболитов в растениях. Многие изопреноиды обеспечивают защиту растений от патогенов и угроз со стороны травоядных. Изопреноиды также выполняют важные функции в процессах фотосинтеза и дыхания растений и задействуют многие гормональные пути (абсцизовая кислота, брассиностероиды, цитокинин, гиббереллин и стриголактоны), важные для регуляции развития и роста растений [1–17].

Изопреноиды представляют собой старейший класс известных низкомолекулярных натуральных продуктов, синтезируемых растениями. Их биогенез в пластидах, митохондриях и эндоплазматическом ретикулуме–цитозоле неизменно происходит за счет строительных блоков  $C_5$ , изопентенилдифосфата и/или диметилаллилдифосфата в соответствии со сложными и повторяющимися механизмами. Соединения, полученные в результате этого

пути, проявляют разнообразный спектр биологических функций [3–6].

Цель исследований – определить содержание терпеноидов в очитках, интродуцированных в коллекционный питомник ФГБОУ ВО Горский ГАУ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являются представители семейства толстянковых (Crassulaceae DC.) – очиток кавказский, очиток линейный, очиток супротиволистный, очиток видный, – которые успешно интродуцированы в коллекционный питомник ФГБОУ ВО Горский ГАУ.

Первым этапом исследований явилось изучение компонентов терпенового ряда в данных объектах в ходе хромато-масс-спектрометрического анализа, а также скрининг полученных результатов для определения индикаторных веществ и возможности выбора подходящих маркеров. Следующим этапом работы был подбор растворителей для вытяжки, в которых обнаруживается конкретно интересующее вещество (терпен). Растворителями для вытяжек в эксперименте послужили: хлороформ (X), этанол (Э) и метанол (М).

Исследования проводились на основе «Рекомендаций по унификации фенологических наблюдений в России». Изучение ритмов роста и развития очитков выполнялось с использованием методик фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях [3–6]. Морфолого-анатомические исследования проведены по методикам «Государственной фармакопеи.

Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье».

Биохимические исследования проводили с помощью хромато-масс-спектрометрии. На хромато-масс-спектрографе фирмы «Agilent Technology» 6850/5973. Капиллярная кварцевая колонка HP-5MS (длина 30 м, диаметр 250 мкм, толщина пленки фазы 0,25 мкм). Условия анализа: газ-носитель гелий, скорость расхода газа-носителя 1,2 мл/мин, температура колонки программируется от 60 до 280 °С со скоростью 20 градусов в минуту, объем пробы 1 мкл, способ введения: без деления потока.

Условия масс-спектрометрического детектирования: анализ проводили в режиме сканирования по полному ионному току (SCAN); температура источника ионов 230 °С, температура анализатора 150 °С, диапазон масс  $m/z$  41–650 а.е.м.; напряжение на умножителе: результат по автоматической настройке по перфторбутиламину в режиме ATUNE + 100 кВ.

Идентификацию веществ выполняли, сравнивая масс-спектры, снятые с вершин хроматографических пиков, со стандартными спектрами библиотек WILEY, NIST08 и NIST02/.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растения семейства толстянковых являются источником большого количества биологически активных веществ, используемых в биотехнологической промышленности. Наиболее ценными фитохимическими веществами являются продукты вторичного метаболизма. Большинство из них имеют сложную биохимическую структуру, что делает их химический синтез достаточно трудоемким. Анализ химического состава исследуемых растений позволил выявить наличие целого ряда терпенов.

Терпены представляют собой летучие ароматические соединения. Это ненасыщенные молекулы углеводов (они имеют двойные связи между некоторыми атомами углерода), которые содержатся во всех живых организмах, но особенно много их в эфирных маслах растений. Обнаружены такие терпеновые соединения, как дитерпеновый спирт – фитол и тритерпеноид лупенон. В очитке видном обнаружен фитол в хлороформной (X) вытяжке, а лупенон – в

этанольной (Э). Фитол – растительный фитохимический компонент, который широко распространен в природе. Это ненасыщенный спирт с разветвленной цепью, который присутствует во всех растениях в форме хлорофилла. Фитол – это ациклический спирт дитерпена, часто присутствующий в эфирных маслах растений. Кроме того, фитол можно рассматривать в качестве нового лекарственного средства, претендующего на применение, при сопутствующих заболеваниях фитол действует как жизненно важный биомаркер. Лупенон тритерпеноид проявляет активность по уничтожению свободных радикалов, что приводит к снижению окислительного стресса.

Из терпеновых соединений в очитке кавказском (*S. caucasicum*) идентифицированы дитерпеновые спирты: геранилгераниол в этанольной (Э) вытяжке, который является дитерпеноидным спиртом (таблица). Он бесцветный, воскообразный, твердый. Геранилгераниол – это важное промежуточное звено в биосинтезе других дитерпенов, токоферола и филлохинона, используется в посттрансляционной модификации, известной как геранилгеранилирование, и фитол – ациклическое алифатическое органическое химическое соединение с структурной формулой  $C_{20}H_{40}O$ , относится к одоненасыщенным дитерпенам, основу которых составляют остатки изопрена, определяют в хлороформной (X) и этанольной (Э) вытяжках; тритерпеновые сапонины (производные урсоловой кислоты) в (Э)-вытяжке –  $\alpha$ -амирин и циклоурсан-3-он; в (X)-вытяжке обнаружен также предшественник всех тритерпеноидных сапонинов – сквален  $C_{30}H_{50}$ . Сквален  $C_{30}H_{50}$  – углеводород тритерпенового ряда природного происхождения. Принадлежит к группе каротиноидов, обладает антиканцерогенным, антимикробным и фунгицидным действием. Сквален  $C_{30}H_{50}$  является незаменимым компонентом клеточных мембран и присутствует во всех клетках организма. Это один из главных защитников живой клетки.

Молекулы сквалена  $C_{30}H_{50}$  связывают и обезвреживают токсические вещества, свободные радикалы, канцерогены и другие вредные соединения, которые могут разрушать клеточную мембрану и проникать внутрь клетки. Именно с этим свойством связана противоопухолевая активность сквалена  $C_{30}H_{50}$ .

Растущий интерес к мощной биологической активности вторичных метаболитов обозначил необходимость определения их содержания в лекарственных растениях. При идентификации терпеновых соединений отитка супротиволистного (см. таблицу) в трех (X,Э,М)-вытяжках был обнаружен дитерпеновый спирт фитол со структурной формулой  $C_{20}H_{40}O$ ; в виде эфиров присутствовали: производное лупана – лупеол ацетат –  $C_{32}H_{52}O_2$  | CID 46887587 – в (X)-вытяжке, производное олеаноловой кислоты (тритерпеноида) в виде 12-олеанен-3-ил ацетата –  $C_{32}H_{52}O_2$  – во всех трех вытяжках и производное урсоловой кислоты (тритерпеноида) в виде метилового эфира 3-оксо-урс-12-ен-24-новой кислоты  $C_{30}H_{48}O_3$  – в (X,М)-вытяжках. Эфиры тритерпеновых кислот (олеаноловой и урсоловой с общей формулой  $C_{30}H_{48}O_3$ ) являются основными компонентами эфирных масел. Из тритерпеноидов в отитке супротиволистном идентифицированы:  $\alpha$ -амирин – в (X)-вытяжке,  $\beta$ -амирина с общей формулой  $C_{30}H_{50}O$  – в (М)-вытяжке и сквален  $C_{30}H_{50}$  – в (Э)-вытяжке.

Олеаноловая кислота (ОА) и урсоловая кислота (УА) являются природными тритерпеноидами, которые обладают противоопухолевой и противогепатитной активностью. Тритерпены содержатся в некоторых лекарственных растениях, в частности в отитках. ВЭЖХ-анализ содержания ОА и УА в различных отитках показал, что они могут быть использованы в качестве богатых источников ОА и УА.

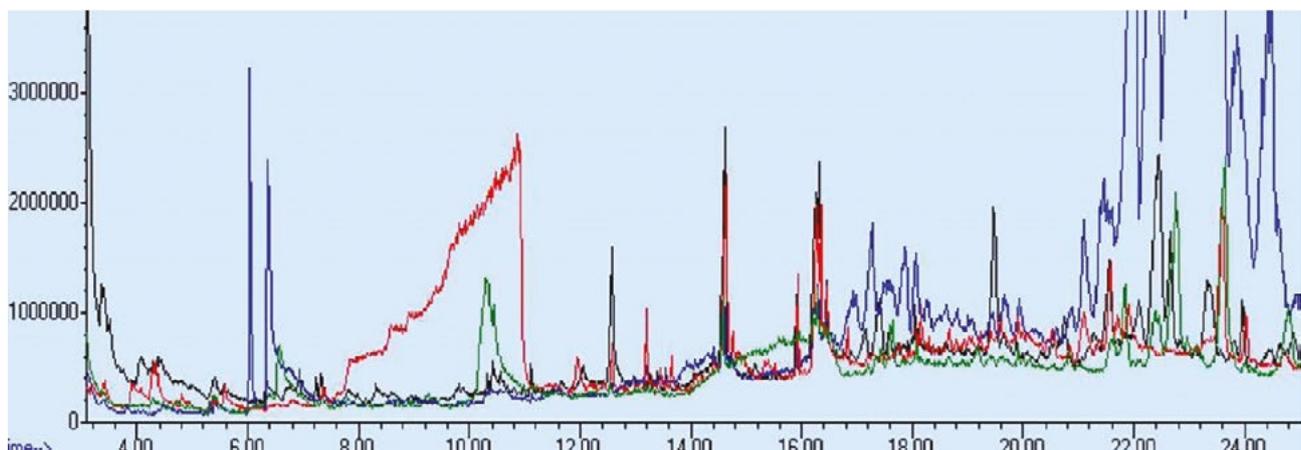
В исследуемом отитке линейном обнаружен широкий терпеновый состав. Идентифицированы производные тритерпеновых сапонинов: лупенон  $C_{30}H_{48}O$  – в (Э)-вытяжке, олеанен  $C_{30}H_{50}O$  – в (X,Э)-вытяжках, лупеол  $C_{30}H_{50}O$  – в (X,Э)-вытяжках, производные урсоловой  $C_{30}H_{48}O_3$  и олеаноловой  $C_{30}H_{48}O_3$  кислот: циклоурсан-3-ол ацеат – в (X)-вытяжке и 12-олеанен-3-ил ацетат – в (X,Э)-вытяжках; производное тритерпеноида – циклоартана – метиленициклоартенол – в (X)-вытяжке, а также дитерпеновый спирт фитол – в (Э)-вытяжке, сесквитерпеновый спирт фарнезол  $C_{15}H_{26}O$  и монотерпен лимонен  $C_{10}H_{16}$  – в (X)-вытяжках.

**Терпеновый состав представителей семейства толстянковых Crassulaceae DC.  
Terpene composition of representatives of the tolstyankovye family Crassulaceae DC.**

Систематическое название (IUPAC)	Тривиальное название	Вытяжка	Время удерживания мин/с (пик)	Степень совпадения с библиотечным масс-спектром, %
1	2	3	4	5
<i>Очиток видный (S. spectabile)</i>				
	Фитол/ Fitol	X	15,910	93
	Лупенон/ Lupenon	Э	21,579	86
<i>Очиток кавказский (S. caucasicum)</i>				
	Фитол/ Fitol	X, Э	15,887	91
Циклоурсан-3-он/ Cycloursan-3-one	Циклоурсанон/ Cycloursan	Э	19,471	89
	$\alpha$ -амирин/ $\alpha$ -amirin	Э	21,549	90
2,6,10,15,19,23-гексаметил-2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен/ 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene	Сквален/ Squalene	X	23,936	87
	Геранилгераниол/ Geranil Geraniol	Э	23,971	89
<i>Очиток супротиволистный (S. oppositifolium)</i>				
Фитол/ Fitol	Фитол/ Fitol	Э, X, М	15,927	98
	$\beta$ -амирин/ $\beta$ -amirin	М	16,413	93
	$\alpha$ -амирин/ $\alpha$ -amirin	X	16,425	97

1	2	3	4	5
12-Олеанен-3-ил ацетат/12-Oleanen-3-yl acetate	Олеаниненил ацетат/ Oleaninenyl acetate	X, M, Э	21,778	98
Стигмастан-3,5-диен/ Stigmastan-3,5-diene	Стигмастандиен/ Stigmastandien	Э	21,597	98
Лулеол ацетат/ Lupeol acetate		X	22,883	95
2,6,10,15,19,23-гексаметил-2,6,10,14,18,22-тетракозагексаен/2,6,10,15,19,23-hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene	Сквален/ Сквален	Э	24,024	89
3-оксо-урс-12-ен-24-новой кислоты метиловый эфир/3-охо-urs-12-en-24-noic acid methyl ester	Оксоурсеновой кислоты метиловый эфир/ Oxoursonic acid methyl ester	X, M	24,831	99
<i>Очиток линейный (S. lineare Thunb.)</i>				
1-метил-4-изопропенилциклогексен-1/1-methyl-4-isopropenylcyclohexene-1	Лимонен/ Limonene	X	3,847	98
	Фитол/ Fitol	Э	15,904	96
	Лулеол/ Lupeol	X, Э	16,588	95
	Ланостерол/ Lanosterol	Э	17,448	93
Олеан-12-ен/ Olean-12-en	Олеанен/ Oleanen	X, Э	21,070	91
12-олеанен-3-ил ацетат/12-oleanen-3-yl acetate	Олеаненеил ацетат/ Oleaneneyl acetate	X, Э	21,450	96
24-метилен-9,19-цикланостан-3-ол/24-methylene-9,19-cyclanostan-3-ol	Метиленциклоартенол/ Methylenecycloartenol	X	21,783	95
Луп-20(29)-ен-3-он/ Loop-20(29)-en-3-on	Лупенон/ Lupenon	Э	22,790	91
Циклоурсан-3-ол ацеат/ Cycloursan-3-ol acetate	Циклоурсанол ацетат/ Cycloursanol acetate	X	22,351	91
3,7,11-триметилдодека-2,6,10-триен-1-ол/3,7,11-trimethyldodeca-2,6,10-trien-1-ol	Фарнезол/ Farnesol	X	24,00	90

На рисунке представлены результаты хроматографического анализа исследуемых очитков.



Сравнительная хроматограмма очитков: очиток супротиволистный (*S. oppositifolium*) – красный график, очиток линейный (*S. lineare Thunb.*) – синий график, очиток видный (*S. spectabile*) – зеленый график, очиток кавказский (*S. caucasicum*) – черный график

Comparative chromatogram of sedums: oppositifolium sedum (*S. oppositifolium*) - red graph, linear sedum (*S. lineare Thunb.*) - blue graph, prominent sedum (*S. spectabile*) - green graph, Caucasian sedum (*S. caucasicum*) - black graph

Биотехнологические методы определения состава терпенового ряда представителей семейства Crassulaceae DC. позволили рекомендовать богатый качественный состав БАВ (терпенов) для использования в фитобиохимии.

Исследуемые растения семейства Crassulaceae DC., произрастающие в РСО–Алания, являются ценными источниками ряда терпенов – биологически активных веществ широкого спектра действия, что позволяет раскрыть биоресурсный потенциал анализируемых представителей семейства толстянковых и рекомендовать их в качестве ценной сырьевой базы растительного происхождения.

## ВЫВОДЫ

1. На основе метода хромато-масс-спектрометрии был установлен компонентный состав терпенового ряда в очитке супротиволистном (*S. oppositifolium*), очитке кавказском (*S. caucasicum*), очитке линейном (*S. lineare* Thunb.) и очитке видном (*S. spectabile*).

2. Установлено, что в очитке видном содержится два, в очитке кавказском – пять, в очитке супротиволистном – восемь, в очитке линейном – десять компонентов терпенового ряда.

3. Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать фитоэкстракты очитков для получения БАВ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *A modern solid waste management strategy – the generation of new by-products* / S. Fudala-Ksiazek, M. Pierpaoli, E. Kulbat [et al.] // *Waste Management*. – 2016. – Vol. 49. – P. 516–529. – DOI: 10.1016/j.wasman.2016.01.022.
2. *Kundu D., Talukder P., Sen Raychaudhuri S.* In vitro biosynthesis of polyphenols in the presence of elicitors and upregulation of genes of the phenylpropanoid pathway in *Plantago ovate* // *Studies in Natural Products Chemistry*. – 2019. – Vol. 60. – P. 299–344. – DOI: 10.1016/b978-0-444-64181-6.00008-5.
3. *Пентациклические тритерпеноиды в растительных лекарственных средствах и их фармакологическая активность при сахарном диабете и осложнениях диабета* / А. Алькахтани, К. Хамид, А. Кам [и др.] // *Curr Med Chem*. – 2013. – № 20 (7). – С. 908–931. – PMID: 23210780.
4. *Бейдеман И.Н.* Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 130 с.
5. *Георгиевский В.П., Комиссаренко Н.Ф., Дмитрук С.Е.* Биологически активные вещества лекарственных растений / отв. ред. Т.П. Березовская. – Новосибирск: Наука, 1990. – 327 с.
6. *Государственная фармакопея Российской Федерации. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье.* – М., 2018.
7. *Гревцова С.А.* Очиток лекарственный – перспективное растение для использования в кормовых рационах / *Земледелие*. – 2008. – № 4. – С. 47.
8. *Гревцова С.А.* Химический состав и хозяйственно-биологические свойства некоторых растений семейств: крестоцветные, гречишные, толстянковые, мальвовые, злаковые в условиях РСО–Алания: дис. ... канд. биол. наук. – Владикавказ, 2002. – 169 с.
9. *Гревцова С.А., Наниева Л.Б.* Суспензионное культивирование каллусных клеток *S. oppositifolium* // *Известия Горского государственного аграрного университета*. – 2013. – Т. 50, № 4. – С. 272–274.
10. *Лютикова М.Н., Туров Ю.П., Ботиров Э.Х.* Применение хромато-масс-спектрометрии для определения свободных и этерифицированных жирных кислот при их совместном присутствии в растительном сырье // *Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова*. – 2013. – Т. 8, № 2. – С. 52–57. – EDN: QCVQIV.
11. *Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России* / А.А. Минин, А.А. Ананин, Ю.А. Буйволов [и др.] // *Nature Conservation Research. Заповедная наука*. – 2020. – Т. 5, № 4. – С. 89–100. – DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
12. *Наниева Л.Б., Гревцова С.А.* Качественный и количественный аминокислотный состав некоторых представителей семейства *Crassulaceae* DC., интродуцируемых в условиях РСО–Алания // *Известия Горского государственного аграрного университета*. – 2013. – Т. 50, № 3. – С. 321–323.
13. *Методы анализа пентациклических тритерпеноидов в лекарственных растениях* / С. Сюй, Б. Ван, У. Пу [и др.] // *J. Sep Sci*. – 2018. – Jan. – № 41 (1). – С. 6–19. – DOI: 10.1002/jssc.201700201. – PMID: 28862795.
14. *Антимикробактериальная активность сложных эфиров тритерпенов на основе циннамата бетулиновой, олеаноловой и урсоловой кислот* / Т. Таначайратана, Дж.Б. Бремнер, Р. Чокчайсири,

А. Суксамрарн // *Chem Pharm Bull* (Токио). – 2008. – № 56 (2). – P. 194–198. – DOI: 10.1248/cpb.56.194. – PMID: 18239308.

15. *Сверхкритическая* жидкостная хроматография-тандемная масс-спектрометрия для быстрого количественного определения пентациклических тритерпеноидов в растительных экстрактах / Д.И. Фалев, Д.В. Овчинников, И.С. Воронов [и др.] // *Фармацевтические препараты* (Базель). – 2022. – № 15 (5). – С. 629. – DOI: 10.3390/ph15050629. – PMID: 35631456; PMCID: PMC9143669.
16. *Распределение* пентациклических тритерпенов в различных растениях – богатые источники для новой группы многоэффективных растительных экстрактов / С. Ягер, Х. Троян, Т. Копп [и др.] // *Молекулы*. – 2009. – № 14 (6). – С. 2016–2031. – DOI: 10.3390/molecules14062016. – PMID: 19513002; PMCID: PMC6254168.

## REFERENCES

1. Fudala-Ksiazek, S.; Pierpaoli, M.; Kulbat, E., et al. A modern solid waste management strategy – the generation of new by-products, *Waste Management*, 2016, Vol. 49, pp. 516–529, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.022>.
2. Kundu D., Talukder P., Sen Raychaudhuri S., In vitro biosynthesis of polyphenols in the presence of elicitors and upregulation of genes of the phenylpropanoid pathway in *Plantago ovate*, *Studies in Natural Products Chemistry*, 2019, Vol. 60, pp. 299–344, DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64181-6.00008-5>.
3. Al'kaxtani A., Xamid K., Kam A. [i dr.], *Curr Med Chem*, 2013, Vol. 20 (7), pp. 908–931, PMID: 23210780. (In Russ.)
4. Bejdeman I.N., *Metodika fenologicheskix nablyudenij pri geobotanicheskix issledovaniyah* (Methodology for phenological observations in geobotanical research), Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954, 130 p.
5. Georgievskij V.P., Komissarenko N.F., Dmitruk S.E., *Biologicheskij aktivny`e veshhestva lekarstvenny`x rastenij* (Methodology for phenological observations in geobotanical research), Novosibirsk: Nauka, 1990, 327 p.
6. *Gosudarstvennaya farmakopeya rossijskoj federacii xiv. Obshhie metody` analiza. Lekarstvennoe rastitel`noe sy`r`e* (State Pharmacopoeia of the Russian Federation. General methods of analysis. Medicinal plant raw materials), Moscow, 2018.
7. Grevczova S.A., *Zemledelie*, 2008, No. 4, pp. 47. (In Russ.)
8. Grevczova S.A., *Ximicheskij sostav i xozyajstvenno-biologicheskije svoystva nekotory`x rastenij semejstv: krestocvetny`e, tolstyankovy`e, grechishny`e, mal`vovy`e, zlakovy`e v usloviyax RSO-Alaniya* (Chemical composition and economic and biological properties of some plants of the families: cruciferous, Crassulaceae, buckwheat, Crassulaceae, malvaceae, cereals in the conditions of North Ossetia–Alania), Candidate's dissertation, Vladikavkaz, 2002.
9. Grevczova S.A., Nanieva L.B., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, T. 50, No. 4, pp. 272–274. (In Russ.)
10. Lyutikova M.N., Turov Yu.P., Botirov E`X., *Vestnik MITXT im. M.V. Lomonosova*, 2013, T. 8, No. 2, pp. 52–57, EDN: QCVQIV.
11. Minin A.A., Ananin A.A., Bujvolov Yu.A. [i dr.], *Rekomendacii po unifikacii fenologicheskix nablyudenij v rossii* (Recommendations for the unification of phenological observations in Russia), Nature Conservation Research. Zapovednaya NAA, 2020, No. 4, pp. 89–100, DOI: 10.24189/ncr.2020.060.
12. Nanieva L.B., Grevczova S.A., *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, T. 50, No. 3, pp. 321–323. (In Russ.)
13. Syuj S., Van B., Pu U., Tao Dzh., Chzhan T., *Metody` analiza pentaciklicheskix triterpenoidov v lekarstvenny`x rasteniyax*, *J Sep Sci*, 2018, Jan, Vol. 41 (1), pp. 6–19, DOI: 10.1002/jssc.201700201, PMID: 28862795.
14. Tanachachajratana T., Bremner Dzh.B., Chokchajsiri R., Suksamrarn A., Antimikobakterial`naya aktivnost` slozhny`x e`firov triterpenov na osnove cinnamata betulinovoj, oleanolovoj i ursolovoj kislot, *Chem Pharm Bull (Tokio)*, Fevral` 2008 g., Vol. 56 (2), pp. 194–198, DOI: 10.1248/cpb.56.194, PMID: 18239308.
15. Falev D.I., Ovchinnikov D.V., Voronov I.S., Faleva A.V., Ul`yanovskij N.V., Kosyakov D.S., *Farmaceuticheskie preparaty` (Bazel`)*, 2022, Vol. 15 (5):629. DOI: 10.3390/ph15050629, PMID: 35631456, PMCID: PMC9143669.
16. Yager S., Troyan X., Kopp T., Lashhik M.N., Sheffler A., *Moлекулы`*, 2009, Vol. 14 (6), pp. 2016–2031, DOI: 10.3390/molecules14062016, PMID: 19513002, PMCID: PMC6254168.