

ЭФИРОМАСЛИЧНЫЕ И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

УДК 547.913:581.135.51:674.032.477.62

ФИТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНОГО МАСЛА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *JUNIPERUS* L.Татьяна Михайловна Сахно¹, Оксана Михайловна Шевчук^{1,2}

¹ Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: sahno_tanya@mail.ru

² Севастопольский государственный университет,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

В статье представлены результаты изучения содержания эфирного масла в зеленой массе двух автохтонных и трех интродуцированных видов рода *Juniperus* L., произрастающих в условиях Южного берега Крыма. Массовая доля эфирного масла в свежесобранном сырье исследуемых видов колеблется от 0,03% до 0,81%. Общими чертами эфирного масла изучаемых видов было наличие в составе монотерпеновых углеводородов: α -пинена, β -мирцена, α -терпинена, p -цимена, γ -терпинена, α -терпинолена, линалоола, терпинен-4-ола, и сесквитерпенов: α -мууролена, δ -кадинена. Мажорными компонентами эфирного масла *Juniperus excelsa* M. Bieb. были α -пинен (46,47%) и кедрол (19,48%), *Juniperus deltoides* R.P.Adams.: α -пинен (26,52%) и D-лимонен (12,54%), *Juniperus chinensis* L. – борнилацетат (41,35%), *Juniperus virginiana* L.: сафрол (29,32%), D-лимонен (20,18%), элемол (12,7%) и прегейджерен (10,49%), *Juniperus phoenicea* Hochst. ex Endl.: α -пинен (28%), β -фелландрен (19,63%) и α -терпинилацетат (13,8%). Изучение хемотипического разнообразия видов рода *Juniperus* свидетельствует о том, что в большинстве случаев существуют определенная закономерность накопления отдельных компонентов в эфирном масле, что имеет важнейшее значение, как для практического использования сырья можжевельников с целью получения биологически активных веществ, так и для возможностей использования имеющихся данных для хемосистематики рода.

Ключевые слова: *Juniperus* L.; эфирное масло; массовая доля; компонентный состав; Южный берег Крыма

Введение

Род можжевельник (*Juniperus* L.) принадлежит к семейству Кипарисовых (Cupressaceae) и насчитывает около 76 видов [9], естественно произрастающих в Северном полушарии от Арктики до субтропических горных районов, занимая достаточно разнообразные по экологическим условиям местообитания, за исключением можжевельника стройного (*Juniperus procera* Hochst. ex Endl.), распространённого в Африке до 18° южной широты [13]. Можжевельники относятся к полиморфным видам [20], для которых характерна большая изменчивость морфологических признаков генеративных и вегетативных органов, поэтому данный род характеризуется большим формовым разнообразием и считается одним из самых сложных в систематическом отношении [1, 5].

Согласно данным литературы, виды рода *Juniperus* характеризуются разнообразным метаболическим профилем и содержат широкий спектр биологически активных веществ, включая кумарины, флавоноиды, лигнаны, стерины, терпеноиды и др. [41]. В связи с этим растительное сырье можжевельников и продукты его переработки находят широкое применение в различных отраслях промышленности, включая парфюмерно-косметическую [48], пищевую [38], фармацевтическую [24, 25]. Сырье некоторых видов можжевельников представляет интерес как источник сложных смесей вторичных метаболитов, особенно эфирного масла (ЭМ). Ряд исследований

подтверждает наличие в ЭМ видов рода *Juniperus* значительного количества монотерпеновых углеводородов: α -пинена, β -пинена, δ -3-карена и лимонена [34, 44, 50]. К настоящему времени имеются сведения о широком спектре биологической активности ЭМ можжевельников, установлена его антибактериальная, противогрибковая, противовирусная, антиоксидантная и инсектицидная активность [33, 39, 51].

В Крыму естественно произрастают пять видов можжевельника: высокий (*J. excelsa* M. Bieb), дельтовидный (*J. deltoides* R.P.Adams), вонючий (*J. foetidissima* Willd.), обыкновенный (*J. communis* L.), казацкий (*J. sabina* L.) и около 10 видов интродуцентов, а также их многочисленные садовые формы, используемые в озеленении. Как известно, количественный и качественный состав ЭМ сильно подвержен различным факторам абиотической и биотической природы, поэтому чрезвычайно важны актуальные знания о компонентном составе ЭМ из сырья, выращенного в определенных природно-климатических условиях. Результаты этих исследований являются основой для определения потенциальных направлений рационального использования растительных ресурсов, а также применения имеющихся знаний для хемосистематики рода *Juniperus*.

Цель настоящей работы – определить компонентный состав эфирных масел пяти видов можжевельников, произрастающих в условиях Южного берега Крыма, и оценить их фитохимический профиль в сравнении с ЭМ из других регионов.

Материалы и методы

Эфирное масло для исследований было получено из хвои и неодревесневших побегов пяти видов рода *Juniperus*, среди которых – два автохтонных вида, естественно произрастающих в Крыму и с ареалом в странах Средиземноморья – *J. excelsa* и *J. deltoides* и 3 интродуцированных вида: *J. chinensis* с природным ареалом в Китае, Тайване, Японии, Корее, Мьянме и России (Южные Курилы, Сахалин), *J. virginiana* – в Канаде и США, *J. phoenicea* – распространенному по всему средиземноморскому региону, на Мадейре и Канарских островах, а также в горах на западе Саудовской Аравии.

Заготовку охвоенных побегов с приростом текущего года проводили в конце второй декады октября из растений, произрастающих в арборетуме Никитского ботанического сада (НБС). Данный район характеризуется умеренно-теплым средиземноморским типом климата с умеренно жарким засушливым летом, преобладанием осенне-зимних осадков и мягкой зимой с частыми оттепелями. Среднегодовая температура воздуха составляет 12,1°C, среднегодовая сумма осадков – 575 мм [2].

Эфирное масло получали методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга [4]. Продолжительность гидродистилляции составила 1 час. Компонентный состав эфирного масла определяли с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащённого масс-спектрометрическим детектором. Массовая доля компонентов в пробе определена методом процентной нормализации [3, 6].

Результаты их обсуждение

Эфирное масло изучаемых можжевельников представляет собой легко подвижную прозрачную жидкость с ярко выраженным хвойным ароматом различных оттенков. Количественное содержание ЭМ в сырье изучаемых можжевельников значительно различается (табл. 1). Максимальное количество ЭМ получено из сырья вида азиатского происхождения *J. chinensis* – 0,81% на сырую массу (в пересчете на

абсолютно сухое сырье – 1,78%). Минимальное количество ЭМ отмечено у аборигенного вида *J. deltoides* – 0,03% (0,05% на абсолютно сухой вес). Массовая доля эфирного масла в свежем сырье *J. excelsa* составила 0,27% (0,58% на сухую массу), *J. virginiana* – 0,09% (0,18%), *J. phoenicea* – 0,16% (0,32%).

Количество компонентов в составе эфирного масла исследуемых видов варьировало от 48 до 70 шт. Наименьшее количество компонентов – 48, при 43 (89%) идентифицированных выявлено в ЭМ *J. chinensis*. В составе *J. excelsa* обнаружено 51 компонент (45 (88%) – идентифицировано), *J. virginiana* – 55 (37 шт. или 67%), *J. phoenicea* – 58 (48 шт. или 82%).

Фитохимический состав изучаемых ЭМ достаточно разнообразный (табл. 1), однако, есть ряд органических соединений, которые присущие всем 5 образцам эфирного масла. К ним относятся монотерпеновые углеводороды α -пинен, β -мирцен, α -терпинен, p -цимен, γ -терпинен, α -терпинолен, линалоол, терпинен-4-ол, и сесквитерпены: α -мууролен, δ -кадинен.

Таблица 1

Состав идентифицированных компонентов эфирного масла видов рода *Juniperus* L.

Наименование компонентов	RI	Массовая доля компонента, %				
		<i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb.	<i>Juniperus deltoides</i> R.P.Adams	<i>Juniperus chinensis</i> L.	<i>Juniperus virginiana</i> L.	<i>Juniperus phoenicea</i> L.
трициклен	934	0,36	0,13	1,58	–	0,17
α -пинен	946	46,47	26,52	4,10	0,43	28,00
камфен	960	0,70	0,58	1,52	–	0,34
сабинен	979	0,05	0,19	2,05	3,28	–
β -пинен	986	2,27	6,05	0,17	–	1,87
β -мирцен	991	4,25	6,70	4,60	0,51	6,22
α -фелландрен	1011	0,08	3,65	–	–	3,95
p -цимен	1029	0,13	0,59	0,11	0,05	1,47
D-лимонен	1038	3,42	12,54	6,93	20,18	–
β -фелландрен	1039	0,79	7,70	–	–	19,63
γ -терпинен	1063	1,28	0,10	0,47	0,55	0,66
α -терпинолен	1090	1,98	1,36	0,51	0,66	1,73
линалоол	1098	0,11	1,08	0,16	0,20	0,82
β -гуйон	1121	–	–	6,74	–	–
камфора	1150	0,50	0,10	1,21	–	–
терпинен-4-ол	1183	0,11	0,24	1,23	1,36	0,21
α -терпинеол	1195	0,19	0,88	0,11	–	1,11
метилхавикол	1197	–	–	0,49	1,20	–
цитронеллол	1226	–	–	0,08	0,12	1,90
изопулегола ацетат	1273	–	–	–	–	5,09
борнилацетат	1286	0,91	0,98	41,35	–	0,09
прегейерен	1286	–	–	–	10,49	–
транс-сабиниалацетат	1291	–	–	6,58	–	–
сафрол	1292	–	–	–	29,32	0,10
α -терпинилацетат	1350	–	–	–	–	13,80
метилэвгенол	1394	0,09	–	6,86	3,17	–
кедрен	1423	1,08	–	–	–	–
β -кариофиллен	1427	0,19	4,95	–	0,50	0,30
гумулен	1463	0,26	3,65	–	0,05	0,29
гермакрен D	1486	2,34	6,85	–	0,85	0,68
β -куркумен	1511	–	1,42	–	–	–
γ -кадинен + α -аляскен	1518	–	1,06	–	–	–
кубебол	1519	1,06	–	–	–	0,35
δ -кадинен	1524	1,50	0,47	0,69	0,30	1,13
элемицин	1545	–	–	3,72	2,33	–
элебол	1551	–	–	1,91	12,70	–

Продолжение таблицы

кариофиллен оксид	1586	–	1,82	–	0,30	0,30
аллокедрол	1599	1,54	–	–	–	–
цедрол + эпоксид гумулена II	1612	–	1,00	–	–	–
кедрол	1615	19,48	–	–	–	–
эпикубенол	1632	0,99	–	0,28	–	1,38
γ -эвдесмол	1636	–	–	0,14	1,35	–
β -эвдесмол	1658	–	–	–	1,64	–
α -эвдесмол	1660	–	–	–	1,64	–
маноилоксид	2000	–	1,11	–	–	–
Количество компонентов всего, шт. / идентифицировано, шт. (в %)		51 / 45 (88%)	70 / 47 (67%)	48 / 43 (89%)	55 / 37 (67%)	58 / 47 (81%)

Примечание: RI – индекс удерживания компонента. В таблице отсутствуют компоненты, количество которых составляет менее 1% у каждого из изучаемых видов.

В составе ЭМ автохтонного вида *J. excelsa*, с большим отрывом от остальных компонентов, преобладали α -пинен с массовой долей 46,47% и кедрол 19,48% (табл. 1). Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в ЭМ *J. excelsa* из других регионов среди мажорных компонентов, чаще всего, встречаются такие соединения как α -пинен, кедрол, лимонен, что дает основание выделить несколько хемотипов ЭМ данного вида (табл. 2), среди которых наиболее распространены пиненовый, к которому относится и ЭМ исследуемого нами вида, и пиненово-кедрольный. У большинства образцов ЭМ присутствует в значительных количествах кедрол, что является отличительной особенностью ЭМ *J. excelsa* по сравнению с другими видами. Таким образом, ЭМ *J. excelsa* в большинстве случаев характеризуется наличием значительного количества монотерпенов: пинена, лимонена и сесквитерпенового спирта кедрола. Проведенные ранее исследования [43], указывают, что на соотношение этих компонентов оказывает, главным образом, влияние продолжительность дистилляции. Так, при длительности перегонки 0-5 мин. отмечается высокое содержание α -пинена, 0-10 мин. – лимонена, а при более продолжительной дистилляции (40-240 мин.) наблюдается повышенное содержание кедрола.

В ЭМ *J. deltoides* мажорными компонентами были α -пинен (массовая доля 26,52%) и *D*-лимонен (12,54%). Среди других количественно значимых компонентов также присутствовали: β -фелландрен, β -мирцен, β -пинен, гермакрен *D*, гумулен и др. (табл. 1). Анализ литературных данных показал, что, чаще всего, ЭМ *J. deltoides* характеризуется высокой массовой долей α -пинена и лимонена, что соответственно, позволяет говорить о пиненово-лимоненовом и лимонено-пиненовом хемотипах. Именно наличие у большинства образцов значительного содержания лимонена является отличительным признаком ЭМ от других видов можжевельника. Исследуемое нами ЭМ *J. deltoides* относится к пиненово-лимоненовому хемотипу.

ЭМ можжевельника азиатского происхождения *J. chinensis* отличалось преобладанием в своем составе сложного эфира борнилацетата – 41,4%. В меньшем количестве в ЭМ присутствовали: *D*-лимонен, метилэвгенол, β -туйон, *транс*-сабинилацетат, β -мирцен и др. (табл. 1). Анализ литературы показал, что ЭМ *J. chinensis* из других регионов отличаются наличием в значительных количествах борнилацетата и сабинена. У всех образцов, кроме малазийского, отмечается присутствие борнилацетата, который может быть характерным соединением при идентификации *J. chinensis*.

Таблица 2

Преобладающие компоненты эфирных масел видов рода *Juniperus* L. из различных регионов

Регион	Содержание основных компонентов, %	Источник
<i>Juniperus excelsa</i> M. Bieb.		
РФ, ЮБК	α -пинен – 46,5; кедрол – 19,5; <i>D</i> -лимонен – 3,4	–
Болгария	α -кедрол – 31,7; α -лимонен – 24,1; α -пинен – 21,3	[50]
Болгария	кедрол – 43,8; лимонен – 22,1; α -пинен – 16,4	[43]
Иран	α -пинен – 67,1; кедрол – 11,5; δ -3-карен – 5,19; <i>D</i> -лимонен – 4,4	[31]
Иран	α -пинен – 66,4; лимонен – 3; мирцен – 3	[23]
Македония	α -пинен – 33,8; кедрол – 24,4; лимонен – 6,1	[42]
Македония	сабинен – 29,5; <i>цис</i> -туйон – 26,2; <i>транс</i> -туйон – 12,9	[42]
Македония	сабинен – 28,5; <i>транс</i> -сабинилацетат – 10,4; терпинен-4-ол – 5,9; <i>цис</i> -туйон – 5,5	[42]
о. Голем Град	α -пинен 31-77; кедрол – 8-37; лимонен – 6-15	[30]
Греция	кедрол – 28,1; лимонен – 22,7; α -пинен – 22,5	[8]
Грузия	кедрол – 30,8; α -пинен – 26,5	[7]
Грузия	α -пинен – 40,2; лимонен – 8,3; сесквитерпены (2–8%)	[18]
Турция	α -пинен – 29,7–34; кедрол – 12,3–25,3	[46]
Турция	α -пинен – 67,5; кедрол – 7,9	[32]
Турция	α -пинен – 55,3; кедрол – 7,8; сабинен – 3,6	[47]
Ливан	α -пинен – 38,9; кедрол – 35,7; δ -3-карен – 4,2	[28]
<i>Juniperus deltoides</i> R.P.Adams		
РФ, Р Крым	α -пинен – 26,5; <i>D</i> -лимонен – 12,5; β -фелландрен – 7,7; гермакрен <i>D</i> – 6,9	–
Болгария	маноилоксид – 16; α -пинен – 12,6; абиетадиен – 7,6; лимонен – 6; кариофиллен оксид – 6; β -фелландрен – 5,5	[12]
Греция (север)	α -пинен – 27,4; лимонен – 26,9; β -фелландрен – 5	[11]
Греция (юг)	лимонен – 20; α -пинен – 19,3; маноилоксид – 9,9	[11]
Греция	лимонен – 23,7; α -пинен – 22,7; маноилоксид – 6,8	[12]
Италия	лимонен – 27,3; α -пинен – 19,3; δ -кар-3-ен – 13,6	[11]
Италия	лимонен – 22,8; α -пинен – 15,3; δ -кар-3-ен – 10; кариофиллен оксид – 5,9; маноилоксид – 5,8	[12]
Турция	α -пинен – 32,7; β -фелландрен – 11,5; лимонен – 6	[10]
Хорватия	α -пинен – 21,9; лимонен – 24,7; δ -кадинен – 4,3	[36]
	α -пинен – 28,9; лимонен – 22,4; гермакрен <i>D</i> – 5,7	[37]
	α -пинен – 24,9; лимонен – 22,8; δ -кадинен – 4,2	
	лимонен – 24,5; α -пинен – 19,7; δ -кадинен – 4,8; гермакрен – 4,7	
	α -пинен – 22,5; лимонен – 20,6; кариофиллен оксид – 4,2; маноилоксид – 4,1	
	α -пинен – 29,7; лимонен – 17,2; гермакрен <i>D</i> – 4,8	
	лимонен – 23,2; α -пинен – 19,9; δ -кадинен – 4,7; гермакрен <i>D</i> – 3,3	
лимонен – 23,7; α -пинен – 11,6; кариофиллен оксид – 7,7; (E)-кариофиллен – 4,0; δ -кадинен – 3,8		
Сербия	α -пинен – 33,4; лимонен – 19,7; гермакрен <i>D</i> – 6,03	[36]
Северная Македония	лимонен – 28,4; α -пинен – 11,8; δ -кадинен – 5,9; маноилоксид – 5,3	[37]
Черногория	α -пинен – 29,5; лимонен – 22,2; δ -кар-3-ен – 7,2; гермакрен <i>D</i> – 6,2	
	α -пинен – 46,4; гермакрен <i>D</i> – 9,8; лимонен – 8,2	
<i>Juniperus chinensis</i> L.		
РФ, Р Крым	борнилацетат – 41,4; <i>D</i> -лимонен – 6,9; метилэвгенол – 6,9	–
Индия	сабинен – 19,8; элемол – 18,6; борнилацетат – 17,5; лимонен – 14,2	[35]
Корея	борнилацетат – 30,4; сабинен – 15,6; δ -кадинен – 15,6	[29]
Корея	сабинен – 18,1; борнилацетат – 16,4; терпинен-4-ол – 7,5; лимонен – 6,8; α -пинен – 5,8	[45]
Малайзия	α -пинен – 27,2; α -туйен – 18,6; β -мирцен – 17,8; сабинен – 15,2; пиненово-туйеновый	[27]
<i>Juniperus virginiana</i> L.		
РФ, Р Крым	сафрол – 29,3; <i>D</i> -лимонен – 20,1; элемол – 12,7; прегеиджерен – 10,5	–

Продолжение таблицы

США (Алабама)	сафрол – 18,8-22,3; метилэвгенол – 11,9-13,8; элемол 10,6-13,6; элимицин – 6,8-7,1	[49]
США (Массачусетс)	сафрол – 19,0; D-лимонен – 18,2; β -пинен – 3,0	[21]
Румыния	элебол – 15,8; сафрол – 10,5; лимонен – 6,8; метилэвгенол – 5,3; линалоол – 4,5	[22]
Болгария	сафрол – 36,8; лимонен – 20,7; метилэвгенол – 11,9; прегеиджерен – 7	[43]
<i>Juniperus phoenicea</i> L.		
РФ, Р Крым	α -пинен – 28; β -фелландрен – 19,6; α -терпинилацетат – 13,8	–
Марокко	α -пинен – 43,6; оксид маноила – 11,5	[40]
Тунис	α -пинен – 44,2; β -фелландрен – 18; камфен – 15	[40]
Тунис	α -пинен – 74,1	[15]
Италия	α -пинен – 48, δ -3-карен – 22,8; α -фелландрен – 10,1	[14]
Египет	α -пинен – 38,2; α -кедрол – 31,2	[19]
Тунис	α -пинен – 24,02; D-3-карен – 16,9; гермакрен D – 11,98	[26]
Алжир	α -пинен – 29,6; 1-эпи-кубенол – 4,3; α -терпинилацетат – 2,7; β -кариофиллен – 2,6; элебол – 2,6; γ -аморфен 2,5, линалоол – 2,2; цитронеллол – 2,6; цис-вербенол – 2	[17]

В ЭМ североамериканского вида *J. virginiana* в условиях ЮБК содержится значительное количество сафрола (29,32%), D-лимонена (20,18%), элемола (12,70%) и прегеиджерена (10,49%). Литературные данные свидетельствуют о том, что ЭМ *J. virginiana* отличается преобладанием сафрола (до 36,8%). По своему компонентному составу ЭМ *J. virginiana*, полученное в условиях ЮБК наиболее сходное с образцом ЭМ из США (Массачусетс) и Болгарии. Ранее было установлено, что максимальное содержание сафрола обнаруживается в ЭМ при продолжительности дистилляции от 10 до 40 мин., а при продолжительности 160-240 мин. происходит увеличение количества элемола [43].

Среди интродуцированных можжевельников преобладанием α -пинена (массовая доля 28%) в хроматографическом профиле характеризуется только ЭМ средиземноморского вида *J. phoenicea*, что согласуется с литературными данными [14, 15, 17, 19, 26, 40]. ЭМ данного вида также содержит значительное количество β -фелландрена (19,63%) и α -терпинилацетата (13,80%). ЭМ, полученное в Египте характеризовалось наличием в своем составе большого количества кедрол (31,2%), что больше соответствует фитохимическому профилю ЭМ *J. excelsa*.

Следует отметить, что у образцов ЭМ видов, естественный ареал которых находится в странах Средиземноморья наблюдается тенденция к увеличению содержания в ЭМ α -пинена, в то время как у *J. chinensis* преобладает – борнилацетат, а у *J. virginiana* – сафрол.

На основе полученных результатов и сравнительного анализа состава ЭМ с образцами, полученными в других регионах, можно сделать вывод, что в большинстве случаев существуют определенная закономерность накопления отдельных компонентов в эфирном масле различных видов можжевельника, что имеет важнейшее значение, как для практического использования сырья можжевельников с целью получения биологически активных веществ, так и для возможностей использования имеющихся данных для хемосистематики рода.

Заключение

Таким образом, установлено, что массовая доля эфирного масла в свежесобранном сырье исследуемых видов колеблется от 0,03% до 0,81%. Общими чертами ЭМ изучаемых видов было наличие в составе монотерпеновых углеводородов: α -пинена, β -мирцена, α -терпинена, p -цимена, γ -терпинена, α -терпинолена, линалоола, терпинен-4-ола, и сесквитерпенов: α -мууролена, δ -кадинена.

Мажорными компонентами эфирного масла *J. excelsa* были α -пинен (46,47%) и кедрол (19,48%), *J. deltoides*: α -пинен (26,52%) и D-лимонен (12,54%), *J. chinensis* – борнилацетат (41,35%), *J. virginiana*: сафрол (29,32%), D-лимонен (20,18%), элемол (12,7%) и прегеиджерен (10,49%), *J. phoenicea*: α -пинен (28%), β -фелландрен (19,63%) и α -терпинилацетат (13,8%).

На основе сравнительного анализа полученных результатов о компонентном составе ЭМ изучаемых видов с имеющимися литературными данными установлено, что у видов, естественный ареал которых находится в странах Средиземноморья (*J. excelsa*, *J. deltoides* и *J. phoenicea*) наблюдается тенденция к увеличению содержания в ЭМ α -пинена. Также выявлено, что для *J. excelsa*, по сравнению с ЭМ других видов, характерно повышенное содержание кедрола, *J. deltoides* – лимонена, *J. phoenicea* – α -пинена, *J. chinensis* – борнилацетата, *J. virginiana* – сафрола. Изучение хемотипического разнообразия видов рода *Juniperus* L. свидетельствует о том, что в большинстве случаев существуют определенная закономерность накопления отдельных компонентов в эфирном масле, что имеет важнейшее значение, как для практического использования сырья можжевельников с целью получения биологически активных веществ, так и для возможностей использования имеющихся данных для хемосистематики рода.

Благодарности

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН "НБС-ННЦ" (г. Ялта, Россия)

Список литературы

1. Князева С.Г. Изменчивость морфологических признаков сибирских видов можжевельника // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 65-69.
2. Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 164 с.
3. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. – Новосибирск: Издательско-полиграфическое предприятие «Офсет», 2008. – 969 с.
4. Шевчук О.М., Исиков В.П., Логвиненко Л.А. Методологические и методические аспекты интродукции и селекции ароматических и лекарственных растений. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 140 с.
5. Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Гаранович И.М., Сенькевич Г.Г., Неверо А.С., Ризевский С.В., Курченко В.П. Состав эфирных масел представителей рода *Juniperus* L., интродуцированных в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Труды БГУ. Серия Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2009. – Т.4, №1. – С. 115-130.
6. Adams R.P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. – USA, 2007. – 804 p.
7. Adams R.P. Systematic of multi-seeded eastern hemisphere *Juniperus* based on leaf essential oils and RAPD DNA fingerprinting // Biochemical Systematics and Ecology. – 1999. – Vol. 27. – P. 709-725.
8. Adams R.P. The chemical composition of leaf oils of *Juniperus excelsa* M.Bieb. // Journal of Essential Oil Research. – 1990. – Vol. 2. – P. 45-48. DOI: 10.1080/10412905.1990.9697815.
9. Adams R.P. The *Junipers* of the world: The genus *Juniperus*. 4th ed. – Victoria: BC, 2014. – 422 p.

10. Adams R.P., Matarci T. Taxonomy of *Juniperus deltoids* forma Yaltirikiana in Turkey: leaf terpenoids and SNPS from nrDNA and petN // *Phytologia*. – 2011. – Vol. 93. – 293 p.
11. Adams R.P., Morris J.A., Pandey R.N, Schwarzbach A.E. Cryptic speciation between *Juniperus deltoids* and *Juniperus oxycedrus* (Cupressaceae) in the Mediterranean // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2005. – Vol. 33. – 771 p.
12. Adams R.P., Tashev A.N. Geographic variation in leaf oils of *Juniperus deltoides* from Bulgaria, Greece, Italy and Turkey // *Phytologia*. – 2012. – Vol. 94(3). – P. 310-318.
13. Adams R.P. The leaf essential oils and chemotaxonomy of *Juniperus* sect. *Juniperus* // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 1998. – Vol. 26. – P. 637-645.
14. Angioni A., Barra A., Russo M.T., Coroneo V., Dessì S., Cabras P. Chemical composition of the essential oils of *Juniperus* from ripe and unripe berries and leaves and their antimicrobial activity // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 51. – P. 3073-3078.
15. Aouadi M., Kamel M., Essia S., Wissem A.W., Mohamed S.A., Hafidh A. Antioxidant, anthelmintic and antibacterial activities of red juniper (*Juniperus phoenicea* L.) essential oil // *Journal of Essential Oil Research*. – 2021. – Vol. 34. – P. 1-10. DOI:10.1080/10412905.2021.1941338.
16. Bhavaniramy S., Vishnupriya S., Al-Aboody M.S., Vijayakumar R., Baskaran D. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications // *Grain & Oil Science and Technology*. – 2019. – Vol. 2. – P. 49-55.
17. Bouyahyaoui A., Bahri F., Romane A., Höferl M., Wanner J., Schmidt E., Jirovetz L. Antimicrobial activity and chemical analysis of the essential oil of Algerian *Juniperus phoenicea* // *Natural Product Communications*. – 2016. – Vol. 11. – P. 519-522.
18. Chavchanidze V.Y., Kharebava L.G. Studies on the essential oils of juniper // *Subtropical Cultures*. – 1989. – Vol. 4. – P. 131-143.
19. El-Sawi S.A., Motawae H.M., Ali A.M. Chemical composition, cytotoxic activity and antimicrobial activity of essential oils of leaves and berries of *Juniperus phoenicea* L. grown in Egypt // *African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*. – 2007. – Vol. 4. – P. 417-426.
20. Farhat P., Hidalgo O., Robert T., Siljak-Yakovlev S., Leitch I.J., Adams R.P., Bou Dagher-Kharrat M. Polyploidy in the Conifer Genus *Juniperus*: An Unexpectedly High Rate // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – Vol. 10. – P. 676. DOI: 10.3389/fpls.2019.00676.
21. Gawde A.J., Cantrell C.L., Zheljzakov V.D. Dual extraction of essential oil and podophyllotoxin from *Juniperus virginiana* // *Industrial Crops and Products*. – 2009. – Vol. 30. – P. 276-280.
22. Hădărugă N., Branic A., Hădărugă D., Lukinich-Gruia A., Pleșa C., Costescu C., Ardelean A., Lupea A. Comparative Study of *Juniperus communis* and *Juniperus virginiana* Essential Oils: TLC and GC Analysis // *JPC – Journal of Planar Chromatography*. – 2011. – Vol. 24. – P. 130-135. DOI: 10.1556/JPC.24.2011.2.9.
23. Hojjati F., Sereshti H., Hojjati M. Leaf essential oils and their application in systematics of *Juniperus excelsa* complex in Iran // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2019. – Vol. 84. – P. 29-34.
24. Huyan T., Li Q., Wang Y.L., Li J., Zhang J.Y., Liu Y.X., Shahid M.R., Yang H., Li H.Q. Anti-tumor effect of hot aqueous extracts from *Sonchus oleraceus* (L.) L. and *Juniperus sabina* L. – Two traditional medicinal plants in China // *Journal of Ethnopharmacology*. – 2016. – Vol. 185. – P. 289-299.
25. Kakar H., Sajjad A., Rizwan S., Mahmood K., Mehmood Z., Azam M., Hafeez I., Sarangzai A.M., Nadhman A., Yasinzaia M. Chemical composition, antimicrobial and

antileishmanial activity of essential oil of *Juniperus excelsa* M.Bieb. from Ziarat, Balochistan // Pure and Applied Biology. – 2017. – Vol. 6. – P. 786-796.

26. Keskes H., Mnafgui K., Hamden K., Damak M., El Feki A., Allouche N. In vitro antidiabetic, anti-obesity and antioxidant proprieties of *Juniperus phoenicea* L. leaves from Tunisia // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. – 2014. – Vol. 4. – P. 649-655.

27. Khamis Al-Dhafri S., Chai L.C. Chemical and Antimicrobial Analyses of *Juniperus chinensis* and *Juniperus seravschanica* Essential Oils and Comparison with Their Methanolic Crude Extracts // International Journal of Analytical Chemistry. – 2021. – 8 p.

28. Khoury M., Beyrouthy M., Ouaini N., Iriti M., Eparvier V., Stien D. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Juniperus excelsa* M.Bieb. growing wild in Lebanon // Chemistry & Biodiversity. – 2014. – Vol. 11(5). – P. 825-30. DOI: 10.1002/cbdv.201300354.

29. Kim M.G., Lee N.H., Kim J.M., Lee S.G., Lee H.S. Chemical Composition of Essential Oils Extracted from Five *Juniperus chinensis* Varieties in Korea // Journal of Essential Oil Bearing Plants. – 2015. – Vol. 18(4). – P. 852-856.

30. Lesjak M., Beara I., Orčić D., Anačkov G., Knežević P., Mrkonjić Z., Mimica-Dukić N. Bioactivity and chemical profiling of the *Juniperus excelsa*, which support its usage as a food preservative and nutraceutical // International Journal of Food Properties. – 2017. – Vol. 20 (Suppl. 2). – P. 1652-1663.

31. Moein M.R., Ghasemi Y., Moein S., Nejati M. Analysis of antimicrobial, antifungal and antioxidant activities of *Juniperus excelsa* M. B subsp. *polycarpus* (K. Koch) Takhtajan essential oil // Pharmacognosy Research. – 2010. – Vol. 2. – P. 128.

32. Öz M., Saruhan E. Chemical Content and Antimicrobial Activities of Essential Oils Obtained from Plant Parts of *Juniperus excelsa* M. Bieb. // Drvna industrija. – 2023. – Vol. 74. – P. 347-357. DOI:10.5552/drvind.2023.0082.

33. Pavela R., Maggi F., Mazzara E., Torresi J., Cianfaglione K., Benelli G., Canale A. Prolonged sublethal effects of essential oils from non-wood parts of nine conifers on key insect pests and vectors // Industrial Crops and Products. – 2021. – Vol. 168. – P. 113590.

34. Radoukova T., Zheljazkov V., Semerdjieva I., Dincheva I., Stoyanova A., Kačaniová M., Markovič T., Radanovič D., Astatkie T., Salamon I. Differences in essential oil yield, composition, and bioactivity of three Juniper species from Eastern Europe // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 124. – P. 643-652.

35. Raina V., Srivastava S., Syamsundar K.S. Essential oil composition of *Juniperus chinensis* from the plains of northern India // Flavour and Fragrance Journal. – 2005. – Vol. 20. – P. 57-59. DOI:10.1002/ffj.1366.

36. Rajčević N., Janačković P., Bojović S., Tešević V., Marin P.D. Variability of the needle essential oils of *Juniperus deltoides* R.P. ADAMS from different populations in Serbia and Croatia // Chemistry & Biodiversity. – 2013. – Vol. 10(1). – P. 144-156. DOI: 10.1002/cbdv.201200190.

37. Rajčević N., Janačković P., Dodoš T., Tešević V., Marin P.D. Essential-oil variability of *Juniperus deltoides* R.P. Adams along the east Adriatic coast - how many chemotypes are there? // Chemistry & Biodiversity. – 2015. – Vol. 12(1). – P. 82-95. Doi: 10.1002/cbdv.201400122. PMID: 25641838.

38. Raut J.S., Karuppayil S.M. A status review on the medicinal properties of essential oils // Industrial Crops and Products. – 2014. – Vol. 62. – P. 250-264.

39. Sahin Y.A., Eser F., Yaglioglu M.S., Demirtas I. The antiproliferative and antioxidant activities of the essential oils of *Juniperus* species from Turkey // Flavour and Fragrance Journal. – 2020. – Vol. 35. – P. 511-523.

40. Samara Y.K., Beniaich G., El Abdali Y., Kaouia S., Flouchi R., Moubchir T., Allali A., Khadmaoui A. Phytochemical Composition, Antibacterial and Antifungal Activities of

Essential Oil of *Juniperus phoenicea* from Fez-Meknes Region, North Central Morocco // Tropical Journal of Natural Product Research. – 2023. – Vol. 7(12). – P. 5633-5639.

41. *Seca A., Silva A.* The chemical composition of the *Juniperus* genus (1970–2004). In Recent Progress in Medicinal Plants, vol. 16. Phytomedicines; Govil, J.N., Singh, V.K., Bhardwaj, R., Eds. – Texas, USA: Studium Press LLC: Houston, 2006. – P. 401-522.

42. *Sela F., Karapandzova M., Stefkov G., Cvetkovikj I., Kulevanova S.* Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Juniperus excelsa* Bieb. (Cupressaceae) grown in R. Macedonia // Pharmacognosy Research. – 2015. – Vol. 7(1). – P. 74-80. DOI: 10.4103/0974-8490.147212.

43. *Semerdjieva I., Shiwakoti S., Cantrell C., Zheljazkov D.V., Astatkie T., Schlegel V., Radoukova T.* Hydrodistillation Extraction Kinetics Regression Models for Essential Oil Yield and Composition in *Juniperus virginiana*, *J. excelsa*, and *J. sabina* // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24. – P. 986.

44. *Semerdjieva I., Zheljazkov V.D., Radoukova T., Dincheva I., Piperkova N., Maneva V., Astatkie T., Kačaniová M.* Biological Activity of Essential Oils of Four *Juniper* Species and Their Potential as Biopesticides // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26. – P. 6358.

45. *Sowndhararajan K., Seo M., Kim S.* Comparative analysis of the composition of essential oils from the needles, twigs and berries of *Juniperus chinensis* L. in Korea // Journal of Applied Pharmaceutical Science. – 2016. – Vol. 6 (08). – P. 122-126.

46. *Topçu G., Gören A.C., Bilsel G., Bilsel M., Çakmak O., Schilling J., Kingston D.G.* Cytotoxic activity and essential oil composition of leaves and berries of *Juniperus excelsa* // *Pharmaceutical Biology*. – 2005. – Vol. 43. – P. 125-128.

47. *Unlu M., Vardar-Unlu G., Vural N., Donme, E., Çakmak O.* Composition and antimicrobial activity of *Juniperus excelsa* essential oil // *Chemistry of Natural Compounds*. – 2008. – Vol. 44. – P. 129-131. DOI:10.1007/s10600-008-0040-x.

48. *Yesenofski J.* Juniper Oil Distillation and Marketing Project Western Juniper Commercialization Program Final Report, Ver. 2. The Confederated Tribes of the Warm Springs Reservation of Oregon, Business & Economic Development Branch. 1996.

49. *Zhang K., Yao L.* The anxiolytic effect of *Juniperus virginiana* L. essential oil and determination of its active constituents // *Physiology & Behavior*. – 2018. – Vol. 189. – P. 50-58. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.01.004

50. *Zheljazkov V.D., Cantrell C.L., Semerdjieva I., Radoukova T., Stoyanova A., Maneva V., Kačaniová M., Astatkie T., Borisova D., Dincheva I. et al.* Essential Oil Composition and Bioactivity of Two Juniper Species from Bulgaria and Slovakia // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26(12). – P. 3659.

56. *Zheljazkov V.D., Semerdjieva I.B., Dincheva I., Kacaniova M., Astatkie T., Radoukova T., Schlegel V.* Antimicrobial and antioxidant activity of Juniper galbuli essential oil constituents eluted at different times // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – Vol. 109. – P. 529-537.

Статья поступила в редакцию 15.07.2024 г.

Shevchuk O.M., Sakhno T.M. Phytochemical characteristics and assessment of the diversity of the component composition of essential oil of some species of the genus *Juniperus* L. // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2024. – № 152. – P. 123-133.

The article presents the results of studying the content of essential oil in the green mass of two autochthonous and three introduced species of the genus *Juniperus* L., growing in the conditions of the Southern Coast of the Crimea. The mass fraction of essential oil in freshly collected raw materials of the studied species ranges from 0.03% to 0.81%. The common features of the essential oil of the studied species were the presence in the composition of monoterpene hydrocarbons: α -pinene, β -myrcene, α -terpinene, p -cymene, γ -terpinene, α -terpinolene, linalool, terpinene-4-ol and sesquiterpenes: α -muurolene, δ -cadinene. The major components of *J. excelsa* essential oil were α -pinene (46.47%) and cedrol (19.48%), *J. deltoides*: α -pinene (26.52%) and D-

limonene (12.54%), *J. chinensis* – bornyl acetate (41.35%), *J. virginiana*: safrole (29.32%), D-limonene (20.18%), elemol (12.7%) and pregeidgerene (10.49%), *J. phoenicea*: α -pinene (28%), β -felandrene (19.63%) and α -terpinyl acetate (13.8%). The study of the chemotypic diversity of species of the genus *Juniperus* L. indicates that in most cases, there is a certain pattern of accumulation of individual components in essential oil, which is of crucial importance both for the practical use of juniper raw materials in order to obtain biologically active substances, and for the possibilities of using available data for the genus chemosystematics.

Key words: *Juniperus* L.; essential oil; mass fraction; component composition; Southern Coast of the Crimea