

УДК 581.5

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-352-358

ГОДОВАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭМИССИИ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ РАСТЕНИЙ РОДА JUNIPERUS И ИХ КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

Калеух А. В.¹, Ходаков Г. В.^{1, 2}, Гусев А. Н.²

¹ФГАОУ ВО «Херсонский технический университет», Геническ, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет» имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

E-mail: gennadii-hodakov@mail.ru

Приводится термическая зависимость эмиссии летучих веществ хвойных растений двух видов рода *Juniperus*: *J. isophyllos* и *J. foetidissima*. Наглядно графически показано, что от максимального расчетного значения суммы эффективных температур по декадам каждого месяца за 2023 г максимальная эмиссия смещена на четыре декады к концу вегетации и приходится на период созревания шишкочагод для обоих растительных видов. Приводится компонентный состав летучих выделений растений, в которых обнаружены моно- и сесквитерпеновые соединения с преобладанием α -пинена и цедрола.

Ключевые слова: род *Juniperus*, эмиссия летучих веществ, сумма эффективных температур, хромато-масс-спектрокопия, моно- и сесквитерпеновые вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют литературные данные качества и количества летучих выделений растений вида *J. foetidissima*, сконцентрированных в виде эфирных масел из веток, хвои, шишкочагод и семян, причем, качество масла определялось для разных регионов произрастания растений (Турции, Греции и России) [1, 2]. Летучие вещества, собранные в виде эфирных масел из растений рода *Juniperus*, обладают антибактериальной, фунгицидной и антивирусной активностями, могут быть использованы как биопестициды [3]. При этом отсутствуют данные по выявлению ежегодных эмиссий летучих веществ растениями рода *Juniperus* в зависимости от абиотических факторов и в первую очередь температуры.

Целью представленной работы является выявление годовой термической зависимости эмиссии биологических летучих органических соединений (БЛОС) для двух видов растений рода *Juniperus*, произрастающих в Крыму (район Никитского ботанического сада) с установлением их компонентного состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отобрано по 100 г хвои двух видов рода можжевельник (*Juniperus isophyllos* и *J. foetidissima*). Каждый из полученных объектов подвергли гидродистилляции с обратным холодильником и ловушкой Гинзберга. Исследования проводили в трехкратной повторности с расчетом средней величины и среднего квадратичного отклонения на влажное и сухое растительное сырье. Метеорологические данные за этот период вегетации были предоставлены Метеостанцией «Никитский сад». Разделение на компоненты летучих выделений, собранных в виде эфирных масел, проводили масс-хроматографическим методом на приборе Agilent Technologies 6890 (США) с 5973 масс-спектрометром и базой данных NIST 02. Условия хроматографии: кварцевая колонка (30 м x 0,25 мм). Газ-носитель гелий, расход газа-носителя 1 мл/мин, температура испарителя 249 °С, температурная программа с 50 до 230 °С (3 °С/мин), объем вводимой пробы 0,1 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течении вегетационного периода 2023 года были собраны БЛОС в виде эфирных масел из хвои для двух растительных видов рода *Juniperus* (*J. isophyllos* и *J. foetidissima*), произрастающих в районе Государственного Никитского ботанического сада.

Содержание БЛОС из свежесобранного растительного сырья определялось в трехкратной повторности, затем проведен расчет среднего значения и среднеквадратичного отклонения на влажное и сухое сырье.

В представленной работе приводятся данные исследований годовой эмиссии БЛОС (табл. 1) в зависимости от расчетной суммы эффективных температур (СЭТ) по декадам каждого месяца за исключением зимних (январь и февраль).

Таблица 1

Содержание БЛОС хвои растений рода *Juniperus* на влажное и сухое растительное сырье

№ п/п	Время сбора образцов	Содержание БЛОС на влажное сырье (%)	Влажность растительного сырья (%)	Содержание БЛОС на сухое сырье (%)
<i>J. isophyllos</i> (М.высокий)				
1	03.04.2023	0,03±0,01	36,10±1,34	0,04±0,02
2	09.07.2023	0,22±0,04	36,24±1,27	0,30±0,05
3	08.10.2023	0,34±0,02	48,16±2,05	0,50±0,03
4	30.12.2023	0,26±0,02	45,21±2,11	0,38±0,04
<i>J. foetidissima</i> (М.вонючий)				
5	20.04.2023	0,17±0,01	46,20±2,13	0,25±0,02
6	25.07.2023	0,18±0,03	44,17±1,65	0,29±0,05
7	08.10.2023	0,35±0,03	46,04±2,07	0,51±0,04
8	30.12.2023	0,26±0,02	41,13±1,43	0,37±0,03

В результате выяснено, что с начала весны, все лето и до начала октября общее количество БЛОС для обоих растительных видов непрерывно растет. В первую декаду октября, приходящуюся на период созревания шишкоягод, наблюдается наибольшая эмиссия БЛОС. Затем количество выбросов БЛОС неуклонно сокращается. На основании метеорологических данных были рассчитаны СЭТ по декадам каждого месяца с марта по декабрь 2023 года, результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Суммы эффективных температур по месячным декадам 2023 г

Декады месяца	Месяцы и порядковые номера месячных декад										
	Март 1,2,3	Апрель 4,5,6	Май 7,8,9	Июнь 10,11,12	Июль 13,14,15	Август 16,17,18	Сент 19,20,21	Октябрь 22,23,24	Ноябрь 25,26,27	Декабрь 28,29,30	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	
I	74,5	102,4	128,4	204,3	247,7	274,1	214,0	174,3	164,2	96,3	
II	81,5	121,6	170,7	215,2	240,6	289,3	217,9	131,8	118,9	78,0	
III	81,3	116,6	168,7	225,5	234,7	279,2	229,1	180,6	90,0	80,1	

Годовую эмиссию БЛОС и ход СЭТ совместили на графике (рис. 1). Прослеживается совпадение пологости возрастания и снижения кривой количества выбросов БЛОС для обоих видов с кривой роста и снижения СЭТ. Несмотря на то, что пик СЭТ приходится на середину августа, наблюдается смещение максимума выбросов БЛОС на четыре декады от пика СЭТ в сторону конца вегетации. Зависимость выбросов летучих веществ хвои от СЭТ наглядна и очевидна (рис. 1).

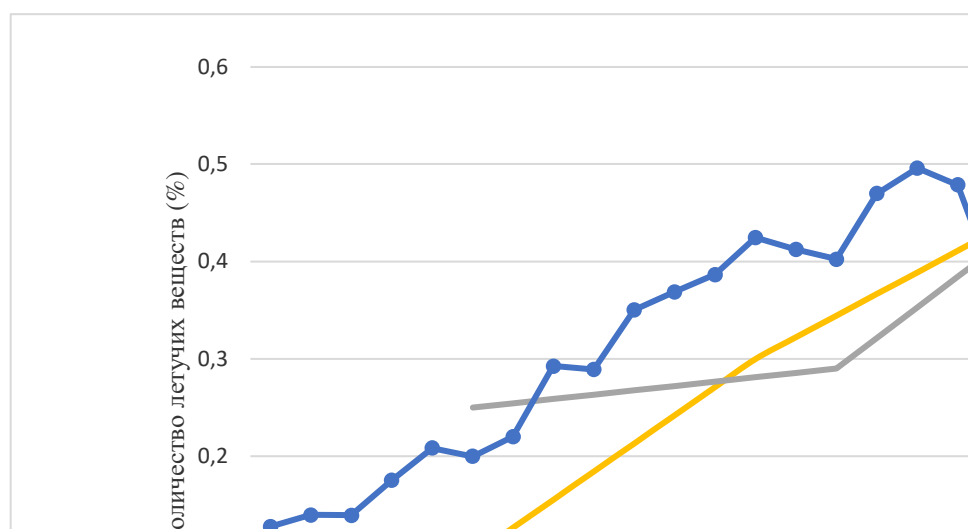


Рис. 1. Зависимость выбросов БЛОС растениями рода *Juniperus* от расчетной СЭТ по декадам месяцев в 2023 году.

БЛОС разделили на компоненты, полученные данные представлены в таблице 3. В летучих выделениях *J. isophyllos* (М. высокий) выявлено 32 компонента (табл. 3), среди них 2 ациклических с общим содержанием 2,23 %, 7 – моноциклических с общим содержанием 3,30 % и 12 – бициклических с общим содержанием 60,18 %, а сесквитерпенов – 11 с общим содержанием 23,01 %.

В летучих выделениях *J. foetidissima* (М. вонючий) выявлено 34 компонента (табл. 3), среди них ациклических монотерпенов – 2 с общим содержанием 1,09 %, моноциклических – 7 с общим содержанием 3,20 %, бициклических – 10 с общим содержанием 31,54 % и один трициклический – 0,1 %, а сесквитерпенов – 14 с общим содержанием 51,1 %.

Для обоих видов преобладающими являются два компонента: бициклический монотерпен α -пинен и сесквитерпен - цедрол, причем их содержание для каждого вида различно. *J. isophyllos* и *J. foetidissima* содержат соответственно 54,12 % и 26,82 % α -пинена, а также 17,44 % и 38,87 % цедрола.

Таблица 3

Расшифровка сигнатуры БЛОС хвои растений рода *Juniperus*

№ п/п	Компоненты	<i>J. isophyllos</i>		<i>J. foetidissima</i>	
		w, %	t, min	w, %	t, min
1	2	3	4	5	6
Монотерпены					
Ациклические					
1	β -Мирцен	2,02	5,55	1,00	5,55
2	Линалоол	0,21	8,29	0,09	8,30
	Сумма	2,23		1,09	
Моноциклические					
3	α -Фелландрен	0,08	6,01	–	–
4	α -Терпинен	0,09	6,27	0,09	6,27
5	p-Цимен	0,43	6,42	0,45	6,42
6	Лимонен	1,58	6,58	1,08	6,59
7	β -Фелландрен	–	–	0,57	6,63
8	γ -Терпинен	0,88	7,29	0,62	7,30
9	Терпинен-4-ол	0,09	10,78	–	–
10	α -Терпинеол	0,15	11,18	0,19	11,19
11	Пиперитон	–	–	0,20	12,98
	Сумма	3,30		3,20	
Бициклические					
12	α-Пинен	54,12	4,64	26,82	4,60
13	α -Фенхен	0,13	4,85	–	–
14	Камфен	0,72	4,89	0,20	4,90
15	β -Пинен	0,87	5,45	0,41	5,46
16	Фенхон	1,97	8,08	1,10	8,09

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
17	α -Камфоленаль	0,12	9,11	0,40	9,12
18	trans-Пинокарвеол	0,32	9,64	0,72	9,65
19	Камфора	1,17	9,74	1,15	9,75
20	Камфен гидрат	0,06	10,03	–	–
21	Пинокарвон	0,10	10,20	0,19	10,21
22	Миртенол	–	–	0,11	11,30
23	Фенхилацетат	0,11	11,93	–	–
24	Борнил ацетат	0,49	13,99	0,44	13,99
	Сумма	60,18		31,54	
Трициклические					
25	Трициклен	–	–	0,10	4,40
	Сумма	0		31,64	
	Общая сумма	65,71		35,93	
Сесквитерпены					
26	α -Копаен	–	–	0,14	17,03
27	α -Фарнезен	0,18	17,29	–	–
28	β -Фунебрен	2,07	18,28	2,19	18,28
29	Цедрен	–	–	0,70	18,52
30	cis-Туйопсен	0,44	18,83	0,37	18,84
31	(E)- β -Фернезен	0,13	19,20	0,34	19,22
32	Гумулен	0,11	19,44	0,20	19,43
33	γ -Мууролен	0,19	20,01	–	–
34	Гермакрин Д	0,97	20,19	0,68	20,20
35	cis-Муурол-4(15),5-диен	–	–	0,44	20,53
36	Кубебол	–	–	1,00	20,60
37	α -Аласкен	0,28	21,11	–	–
38	Эпикубебол	–	–	1,57	21,19
39	δ -Кадинен	–	–	0,86	21,31
40	(E)- γ -Бисаболен	0,13	21,49	–	–
41	Аллоцедрол	1,07	23,52	2,89	23,53
42	Цедрол	17,44	23,94	38,87	24,00
43	Эпикубенол	–	–	0,85	24,41
	Общая сумма	23,01		51,10	

Примечание: t – время удержания, мин; w – содержание, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлена термическая зависимость эмиссии БЛОС растениями двух видов рода *Juniperus* (*J. isophyllos* и *J. foetidissima*) крымской флоры в течении вегетации.
2. Установлено, что для растений исследованных видов годовой пик выбросов БЛОС зависит от пиковых значений максимальных СЭТ, но со смещением во

времени на четыре декады в сторону окончания вегетации и приходится на период созревания шишкочкогод.

3. Этот временной период оказался оптимальным для сбора БЛОС в виде эфирных масел из растений рода *Juniperus* для последующего практического применения.
4. БЛОС растений рода *Juniperus* включает 43 моно- и сесквитерпеновых компонента, среди которых доминирующими являются бициклический монотерпен α -пинен и сесквитерпен цедрол.

Список литературы

1. Tunalier Z. The Composition of essential oils from various of *Juniperus foetidissima* / Z. Tunalier, N. Kilimer, K. H. C. Baser // Chemistry of Natural Compounds. – 2002. – Vol. 38, № 1. – P. 43–47.
2. Gedik O. Determination of and Cones essential oil components of *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* and *Juniperus foetidissima* Taxa / O. Gedik, Y. Z. Kocabas, O. Cinar // Journal of Applied Sciences. – 2022. – Vol. 7, № 3. – P. 696–702.
3. Semerdjieva I. Biological activity of essential oils of four *Juniperus* species and their potential as biopesticides / I. Semerdjieva, V. D. Zheljazkov, T. Radoukova [at all.] / Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 21. – P. 6358. doi.org/10.3390/molecules26216358

ANNUAL THERMAL DEPENDENCE OF VOLATILE SUBSTANCES EMISSION FROM PLANTS OF THE GENUS *JUNIPERUS* AND THEIR COMPONENT COMPOSITION

Kaleuch A. V.¹, Khodakov G. V.^{1,2}, Gusev A. N.²

¹*Kherson Technical University, Genichsk, Russia*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: gennadii-hodakov@mail.ru

The thermal dependence of the emission of volatile substances of coniferous plants of two species of the genus *Juniperus* is given: *J. isophyllos* and *J. foetidissima*. 100 g of needles of two species of the genus *Juniper* were collected. Each of the obtained objects was subjected to hydrodistillation with a reflux condenser and a Ginsberg trap. The studies were conducted in triplicate with calculation of the average value and standard deviation for wet and dry plant materials. Separation of volatile emissions collected as essential oils into components was carried out using mass chromatography. Meteorological data for this vegetation period were provided by the Nikitsky Garden Meteorological Station.

Volatile substances collected in the form of essential oils from plants of the genus *Juniperus* have antibacterial, fungicidal and antiviral activities and can be used as biopesticides.

It is clearly shown graphically that from the maximum calculated value of the sum of effective temperatures by decades of each month for 2023, the maximum emission is shifted by four decades and falls on the period of ripening of cones for both plant species.

This time period turned out to be optimal for collecting BVOC in the form of essential oils from plants of the genus *Juniperus* for subsequent practical use.

In the volatile secretions of *J. isophyllos*, 32 components were identified, including 2 acyclic with a total content of 2,23 %, 7 monocyclic with a total content of 3,30 %, and 12 bicyclic with a total content of 60,18 %, and 11 sesquiterpenes with a total content of 23,01 %.

In the volatile secretions of *J. foetidissima*, 34 components were identified, among which there were 2 acyclic monoterpenes with a total content of 1,09 %, 7 monocyclic with a total content of 3,20 %, 10 bicyclic with a total content of 31,54 % and one tricyclic with 0,10 %, and 14 sesquiterpenes with a total content of 51,10 %.

For both species, two components are predominant: the bicyclic monoterpene α -pinene and the sesquiterpene cedrol, with their content varying for each species. *J. isophyllos* and *J. foetidissima* contain 54,12 % and 26,82 % α -pinene, respectively, and 17,44 % and 38,87 % cedrol.

Keywords: genus *Juniperus*, emission of volatile substances, sum of effective temperatures, chromatograph mass spectroscopy, mono- and sesquiterpene substances.

References

1. Tunalier Z., Kilimer N., Baser K. H. C., The Composition of essential oils from various of *Juniperus foetidissima*, *Chemistry of Natural Compounds*, **38**, (1), 43 (2002).
2. Gedik O., Kocabas Y. Z., Cinar O., Determination of and Cones essential oil components of *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* and *Juniperus foetidissima* Taxa, *Journal of Applied Sciences*, **7**, (3), 696 (2022).
3. Semerdjieva I., Zheljazkov V. D., Radoukova T., Dincheva I., Piperkova N., Maneva V., Astatkie T., Kačániová M., Biological activity of essential oils of four *Juniperus* species and their potential as biopesticides, *Molecules*, **26**, (21), 6358 (2021).