

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

## БИОЛОГИЯ BIOLOGY

УДК 634.334:581.45  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

Поступило в редакцию 10.05.2018  
Received 10.05.2018

Н. В. Гетко<sup>1</sup>, А. И. Алехна<sup>1</sup>, В. П. Субоч<sup>2</sup>, член-корреспондент В. В. Титок<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,  
Минск, Республика Беларусь

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЛИСТЯХ ЦИТРУСОВЫХ РАСТЕНИЙ, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ОРАНЖЕРЕИ

**Аннотация.** Исследован химический состав легко летучих компонентов листьев девяти таксонов, представляющих виды и разновидности рода цитрус (*Citrus* L.), которые культивируются в условиях оранжерей Центрального ботанического сада НАН Беларуси: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcow., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, *C. medica* cv. Павловский шишкан, Лимон Скерневицкий ('*Ponderosa lemon*') – клон гибрида *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm. f., *Citrofortunella microcarpa*, *C. limon* (L.) Osbeck cv. Павловский лимон, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). Летучие компоненты извлекали с помощью твердофазного микроэкстрактора фирмы Supelco™, размещенного в паровоздушном пространстве над пробами воздушно сухих, мелко измельченных и нагретых до 40 °С образцов листьев. Анализ компонентного состава экстрактов осуществляли методом GC/MS с использованием системы Agilent Technologies 6850 Series II (Network GC System/5975B (VL MSD)). В листьях исследуемых цитрусовых было выявлено 36 компонентов: монотерпены (14), сесквитерпены (11), а также кислородсодержащие соединения: терпеновые спирты, альдегиды, эфиры (11). Как показали исследования, циклические углеводороды монотерпен (Z)-β-trans-Осимен и 3 сесквитерпена (β-caryophyllene, (3E,6E)-α-farnesene и α-caryophyllene) выявлены в составе летучих компонентов листьев у всей исследуемой группы цитрусовых. При этом, 2 сесквитерпена: (3E,6E)-α-farnesene и α-caryophyllene, исходя из их долей в общем объеме летучих соединений, являются для большинства таксонов доминантными. Сесквитерпен beta-Elementene присутствует в качестве доминантного компонента исключительно у видов и разновидностей, представляющих так называемую группу сладких цитрусовых: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis* × cv. Navel, *C. meyeri*, что позволяет рассматривать его в качестве значимого признака в таксономии рода *Citrus* L.

**Ключевые слова:** летучие компоненты листьев, монотерпены, сесквитерпены, бета-элемен, *Citrus*

**Для цитирования:** Химический состав летучих компонентов в листьях цитрусовых растений, культивируемых в условиях оранжерей / Н. В. Гетко [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 439–446. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

Nelli V. Hetka<sup>1</sup>, Anton I. Alehna<sup>1</sup>, Victor P. Suboch<sup>2</sup>, Corresponding Member Vladimir V. Titok<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Scientific and Practical Foodstuffs Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

### CHEMICAL COMPOSITION OF VOLATILE COMPONENTS IN THE LEAVES OF CITRUS PLANTS CULTIVATED UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

**Abstract.** The article presents the results of research of the chemical composition of easily volatile components in the leaves of nine taxa representing species and varieties of the genus *Citrus* L. cultivated under the conditions of greenhouses of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus as: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcow., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Washington Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, *C. medica* cv. Pavlovskiy Shishkan, Lemon Skernevitsky ('*Ponderosa lemon*') is a clone of the hybrid *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm. f., *Citrofortunella microcarpa*, *C. limon* (L.) Osbeck cv. Pavlovskiy, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). The volatile components were extracted using a Supelco™ solid-phase microextractor placed in the vapour-air space above air-dried, finely ground and heated to 40 °C leaf samples. The component composition of the extracts was analyzed by the GC/MS method using the Agilent Technologies 6850 Series II system (Network GC System/5975B (VL MSD)). Total 36 components were identified in the leaves of citrus plants: monoterpenes (14), sesquiterpenes (11), and oxygen-containing compounds: terpene alcohols, aldehydes, ethers (11). The studies have shown that the cyclic hydrocarbons monoterpene (Z)-β-trans-Ocimene and 3 sesquiterpenes (β-caryophyllene, (3E, 6E)-α-farnesene, and α-caryophyllene) were detected in the volatile components in leaves in the

whole citrus group. While 2 sesquiterpenes: (3E,6E)- $\alpha$ -farnesene and  $\alpha$ -caryophyllene are dominant for the most taxa based on their proportions in the total volume of volatile compounds. Sesquiterpene beta-Elementene is present as a dominant component exclusively in species and varieties representing the so-called “sweet citrus” group as it follows from the results of the studies: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis* × cv. Washington Navel, *C. meyeri*, which allows one to consider it as a significant feature in the taxonomy of the genus *Citrus* L.

**Keywords:** leaf volatile components, monoterpenes, sesquiterpenes, beta-Elementene, *Citrus*

**For citation:** Hetka N. V., Alehna A. I., Suboch V. P., Titok V. V. Chemical composition of volatile components in the leaves of citrus plants cultivated under greenhouse conditions. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 439–446 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-439-446>

**Введение.** Эфирные масла цитрусовых растений, являющиеся смесью легко летучих компонентов различной химической природы, широко используются в пищевой, фармацевтической и косметической индустрии в качестве ароматических, антибактериальных, противогрибковых и антиоксидантных веществ [1; 2]. Тем не менее, многие аспекты в отношении их практического использования не изучены. Это касается, прежде всего, стандартизации их состава, выявления активных компонентов и механизма их действия [3]. Актуально также и то, что летучие компоненты эфирных масел цитрусовых могут служить базой для оценки их внутривидового разнообразия, а применение современных методов GC и GC/MS позволяет в ряде случаев выявить хемотипы.

Таксономия внутри рода *Citrus* L. сложна, противоречива и запутана, в основном благодаря половой совместимости между цитрусами и близкими родами, высокой частоте почковых мутаций и длительной истории культивирования. Представители рода *Citrus* L. имеют в большинстве китайское происхождение и более чем 4000 лет истории их выращивания. Прежде всего, это касается таких видов, как *C. ichangensis* Swingle, *C. grandis* Osbeck, *C. reticulata* Blanco, *C. aurantium* L. Согласно молекулярно-генетическим исследованиям [4; 5], лишь три истинных вида: мандарин, цитрон и помело были прародителями большинства видов цитрусовых, возникших в природе путем естественной гибридизации и соматического мутагенеза.

Мандарин (*C. reticulata* Blanco.) – это редкий негибридный вид и единственный сладкий плод среди родительских видов цитрусовых. В [6] приведен обзор современных исследований, касающихся биоразнообразия, выявленного на основе молекулярно-генетического анализа в пределах рода *Citrus* L. (видов, разновидностей, гибридов). Так, у мандарина обнаружено большое число гибридов и соматических мутаций, представляющих две группы: Satsuma и Clementine (*Citrus clementina* Hort. ex Tan. – гибрид *C. reticulata* × *C. aurantium* var. *amara*). Почти все гибриды и сорта этих групп мандаринов, несмотря на наблюдаемые фенотипические различия, имеют низкий уровень генетического разнообразия и одинаковую генетическую конструкцию. Они являются соматическими мутантами и рассматриваются в настоящее время как *Citrus unshiu* Markovich (группа Satsuma) и как *Citrus species* (группа Clementine) [6; 7].

Цитрон (*C. medica* L.) является одним из самых чистых видов, поскольку для него характерно исключительно самоопыление, и он считается родителем отцовской линии любого цитрусового гибрида. Цитрон – прародитель лимона и его культиваров (*C. limon* (L.) Burm. f.). Из 56 вариаций, подвергнутых молекулярно-генетическому анализу, низкий уровень полиморфизма отмечен у лимонов, полученных клональной селекцией, и высокое генетическое разнообразие – у лимонов гибридного происхождения. При этом в 45 случаях высокое генетическое сходство обнаружено и у мутантов и у гибридов, а самыми удаленными от этой группы оказались разновидности ‘Ponderosa’ и ‘Meyer’ [6].

Помело (*C. maxima* (Burm.) Merr.) – один из родительских видов лимонов, апельсинов и грейпфрутов. Из 35 культиваров помело и грейпфрута все помело оказались моноэмбриональными и отличаются высоким уровнем полиморфизма, в то время как для грейпфрутов (*C. paradisi* Macf.) характерен низкий уровень генетических вариаций, и это предполагает их происхождение от одного родительского дерева путем почковых мутаций [6].

Сладкий апельсин (*C. × sinensis* L. Osbeck) – природный гибрид помело (*C. grandis* (Burm.) Merr.) и мандарина (*C. reticulata* Blanco), а также многие виды данного рода: померанец – *C. aurantium* L. (гибрид *C. reticulata* × *C. grandis*), грейпфрут – *C. × paradisi* Macf., и лимон – *C. limon* (L.) Burm. f. возникли в природе в результате повторных скрещиваний между мандарином, помело, цитроном и другими представителями рода *Citrus* L. [7].

Летучие компоненты культивируемых цитрусовых видов в настоящее время широко исследуются. Например, F. A. Jabalpurwala и соавт. [8] обнаружили количественные различия при сравнении состава летучих компонентов цветков грейпфрута, кислого апельсина, сладкого апельсина, лимона, мандарина, помело и лайма. Несмотря на большой экономический и медицинский потенциал цитрусовых культур, информации, касающейся летучих компонентов диких видов, все еще недостаточно.

В оранжерейной культуре Центрального ботанического сада НАН Беларуси (ЦБС) выращивается в настоящее время более 100 представителей рода *Citrus* L.: виды, разновидности и близкие к ним гибриды и сорта [9]. С учетом предполагаемых родительских видов (цитрон, мандарин, помело), мы условно объединили их в две группы: 1) гибриды и сорта цитрона (*C. medica* L.) и лимона (*Citrus limon* (L.) Burm. f.); 2) виды, разновидности, гибриды и сорта мандарина (*C. reticulata* Blanco), помело (*C. grandis* Osbeck), апельсина (*C. sinensis* Osbeck).

Цель работы – на основе анализа химического состава летучих компонентов листьев у таксонов рода *Citrus* L. дать сравнительную характеристику его разнообразию в коллекционном фонде ЦБС НАН Беларуси в оранжерейной культуре и выявить ассортимент образцов, перспективных в качестве объектов для создания композиций ароматерапевтических растений в строящейся новой экспозиционной оранжерее ЦБС НАН Беларуси.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объектов исследований привлечены виды, естественные гибриды и близкие к ним разновидности рода *Citrus* L. (9 наименований):

*C. unshiu* (Yu. Tanaka ex Swingle) Marcov. – вид бессемянного мандарина, родом из Китая, впоследствии ввезенный в западные регионы Японии, а затем распространен по всему миру;

*C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr. Сорт помело создан в 2013 г. в ЦБС путем отбора из числа перспективных сеянцев. Авторы – В. В. Титок, А. А. Алехна, П. А. Роговой;

*C. sinensis* Osbeck cv. Navel – самые распространенные промышленные американские сорта «пупочных» апельсинов, происхождение которых неизвестно, но наиболее вероятно – клонирование из почки, взятой на апельсиновом дереве;

*C. medica* L. Павловский шишкан – разновидность цитрона. В ботанических системах Swingle и Tanaka цитрон рассматривается как вид – *C. medica* L. [4]. Это один из четырех природных видов цитрусовых, остальные – помело, мандарин и папеда [5];

*C. medica* L. cv. Sarcodactylis – цитрон пальчатый. Экзотическая разновидность цитрона, выращиваемая в Китае и Японии. Его ароматный плод разделен на несколько долей, подобных пальцу, с малым количеством мякоти, или без мякоти, с недоразвитыми семенами (или без семян);

Клон '*Ponderosa lemon*' гибрида *C. medica* L. × *C. limon* (L.) Burm.f. – лимон Скерневицкий;

*Citrofortunella microcarpa* cv. – каламондин японский пестролистный – цитрофортунелла, межродовой гибрид цитруса и подрода фортунеллы – в данном случае мандарина и кумквата. В отличие от родителей этот цитрус не имеет высоких вкусовых качеств, хотя аромат плодов прекрасен;

*C. limon* (L.) Osbeck cv. Павловский лимон. Лимон в кадках, культура которого известна еще с древних времен. В России первые лимонные деревья в комнатах выращивались еще при Петре I. Значение цитрусовых растений в комнатной культуре, особенно в районах Севера и средней полосы, чрезвычайно велико. Они декоративны и, кроме того, являются источником витаминов и сильными антибиотиками.

*C. meyeri* (Ju. Tanaka) – цитрус Мейера, межвидовой природный гибрид, полученный путем естественного скрещивания лимона и мандарина. Родина вида – Китай.

Отбор проб листьев с модельных деревьев проводили в период отрастания побегов (февраль, март). Летучие компоненты из воздушно-сухих образцов листьев извлекали с помощью твердофазного микроэкстрактора фирмы Supelco™. Его вводили в паровоздушное пространство над поверхностью размещенных в специальном флаконе и нагретых до 40 °С мелкоизмельченных, воздушно-сухих образцов листьев, и летучие компоненты накапливались на адсорбенте (волокон фирмы Supelco™).

Анализ компонентного состава экстрактов осуществляли методом GC/MS с использованием системы Agilent Technologies 6850 Series II (Network GC System /5975B (VL MSD)). Разделение компонентов проводили на капиллярной колонке HP-5MS длиной 30 м с внутренним диаметром

0,25 мм и толщиной пленки неподвижной фазы 0,25 мкм. Идентификацию каждого из компонентов осуществляли методом сравнения экспериментальных масс-спектров со спектрами базы данных и оценивали относительное содержание по площади их пиков на хроматограмме. Учитывали компоненты, содержание которых в пробах составляло более 1 % и степень совпадения экспериментальных масс-спектров с библиотечными была в пределах 95–99 %.

**Результаты и их обсуждение.** Ранее нами [10] у 15 гибридных видов, форм и сортов лимона в листьях были выявлены 22 летучие субстанции. Генотипы различались как по их числу (от 6 до 14), так и по долевному содержанию. Из монотерпенов доминантными соединениями для всей исследуемой группы таксонов являются: **D-лимонен, доля содержания которого в летучих субстанциях листьев у разных генотипов варьирует в пределах от 4 до 35 %, а также сесквитерпен β-кариофиллен, долевого содержания которого, в зависимости от генотипа, варьирует в пределах от 4 до более 45 %.** Среди кислородсодержащих соединений у таксонов данной группы цитрусовых преобладают: цитронеллаль (монотерпеновый альдегид) с ароматом лимона у 11 таксонов; цитраль (монотерпеновый ациклический альдегид) и его изомеры у 12 таксонов, гераниол (терпеновый спирт) и его эфиры (*Z,E*-геранил ацетат) характерны для большинства исследуемых сортов и гибридов лимона в качестве доминантных соединений.

Исследования летучих компонентов листьев у 9 видов, разновидностей и гибридов, *C. reticulata*, *C. sinensis*, *C. grandis* [11] показали, что среди 23 выявленных субстанций преобладают соединения класса изопреноидов – монотерпены ( $C_{10}H_{16}$ ) – изомеры пинена, мирсена карена, цимена, лимонена, оцимена, терпинена, а также сесквитерпены ( $C_{15}H_{24}$ ) – изомеры элемена, карофиллена, кадинена и фарнезена. Доля их в общем объеме компонентов различается и зависит от генотипа. Характерными и доминантными для данной исследуемой группы таксонов соединениями являются сесквитерпены: бета-элемен, бета-кариофиллен и альфа-кариофиллен [11].

M. Azam и соавт. с использованием аналогичных методов экстракции и анализа летучих компонентов провели сравнительное изучение состава летучих компонентов листьев у 16 культиваров цитрусов, в т. ч. мандарин (3), сладкий апельсин (3), помело (4), лимон (2), гибридные формы (4). Авторами показано, что стадия развития листа и генотип оказывают влияние на качественный и количественный состав летучих компонентов листьев исследуемых таксонов, а полученная информация может быть использована для промышленных и кулинарных целей [12].

Другие китайские исследователи [13] изучили влияние генетических и эволюционных факторов на химический состав и содержание летучих соединений цветков у 9 видов и разновидностей рода *Citrus* L. и их предполагаемых гибридов [13]. Были идентифицированы 94 летучие субстанции, включая различные терпены, терпеновые спирты и альдегиды, которые составили от 80 до 92 % от общего объема летучих компонентов цветков. В результате авторы пришли к заключению, что гибридные виды и разновидности в значительной степени схожи по химическому составу и количественному содержанию летучих соединений с их предполагаемыми родителями, а полученная информация оказалась полезной как для оценки и сохранения генетического потенциала, так и в таксономии рода *Citrus* L. [13].

Приведенные в данной работе результаты идентификации химического состава легко летучих компонентов, выделяемых листьями видов, естественных гибридов и близких к ним разновидностей в пределах рода *Citrus* позволяют оценить межвидовое и внутривидовое разнообразие таксонов (таблица).

Как следует из результатов, для всей изученной группы таксонов (9) выявлено 36 основных летучих субстанций, составляющих в сумме идентифицированных для каждого из них долю более 90 %, и с вариациями от 10 до 22 компонентов. Наиболее широким спектром этих соединений характеризуются листья *C. medica* cv. Павловский шишкан (22), а наименьшим – листья лимона Скерневицкого, клона 'Ponderosa lemon', гибрида *C. medica* × *C. limon* (10).

Из монотерпенов идентифицированы: (*Z*)β-trans-Ocimene у 8 таксонов, β-Pinene и D-Limonene – у 7, γ-Terpinene – у 5, p-Cymene – у 4, 3-Carene – у 2, а ±4 Carene – идентифицирован в минорном объеме только у одной разновидности – *C. grandis* cv. Bogatyr. Сесквитерпеновые углеводороды представлены доминантными соединениями: β-Caryophyllene (у всех 9 таксонов), α-Caryophyllene, (3E,6E)Farnesene (у 8 таксонов), (+)-delta-Cadinene (у 5 таксонов) и β-Elemene (у 5 таксонов).

Летучие компоненты, идентифицированные в листьях видов и разновидностей *Citrus L.*, %  
 Volatile components identified in the leaves of *Citrus L.* species and varieties, %

Время удержания, мин Retention time, min	Идентифицированные компоненты Identified components	<i>C. unshiu</i> (Tanaka ex Swingle) Marcov.	<i>C. grandis</i> Osbeck cv. Bogatyr	<i>C. sinensis</i> Osbeck cv. Navel	<i>C. medica L.</i> cv. <i>Sarcodactylis</i>	<i>C. medica L.</i> cv. Павловский шпикан	Лимон Скрепевицкий, клон <i>Ponderosa lemon</i> -гибрида <i>C. medica L.</i>	<i>Citrofortunella microcarpa</i> cv. Каламондин японский пестролистный	<i>C. limon</i> (L.) Osbeck, cv. Павловский лимон	<i>C. meyeri</i> (Ju. Tanaka)
7.905	cis-Sabinene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>							0,96		
7.95	β-Pinene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>			1,53	0,20	0,32	4,61	1,98	2,98	1,26
7.977	β-Phellandrene		19,08							
8.3	β-Myrcene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		3,92	0,61	0,18	0,94		0,30	1,52	
8.694–75	3-Carene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		6,79			0,71				
9.108–145	D-Limonene	0,87		13,74	3,12	13,74	19,0	0,99	7,37	
9.459–5	(Z)-β-trans-Ocimene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0,63	10,90	2,56	0,25	3,55		2,88	2,22	5,03
9.72–85	γ-Terpinene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2,48	1,92		0,75	0,35		1,50		
10.264	p-Cimene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0,64			0,15	0,21		0,13		
10.276	±4 Carene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		2,85							
10.45–10.494	Lynalool, C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1,34	4,29	6,33		0,31		1,08		3,71
10.94	Neo-allo-Ocimene, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>					0,30		0,04		
10.99	E,E-Cosmene, C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>							0,43		
11.336–414	β-Citronellal, C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O		5,60	6,46	26,59	1,37			2,61	8,96
12.526–55	-(Z)Nerol, (Z)-Geraniol		0,83	0,28	1,09		16,73		30,24	4,09
12.6–7	(R)-β-Citronellol; C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O					1,90			15,11	3,86
13.2	(E)-Citral, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O		1,12	0,53	10,74	1,88				
13.686	n-Undecyl aldehyde, C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O				1,04					
13.913	4-[2-Chloro-6-(4-nitrophenyl)-4-pyrimidinyl] phenyl methyl ether, C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> ClN <sub>3</sub> O <sub>3</sub>				21,04	0,13				
14.2	γ-Elemene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0,67						8,32		

Окончание таблицы

Время удержания, мин Retention time, min	Идентифицированные компоненты Identified components	<i>C. unshiu</i> (Tanaka ex Swingle) Masov.	<i>C. grandis</i> Osbeck cv. Bogatyr	<i>C. sinensis</i> Osbeck cv. Navel	<i>C. medica</i> L. cv. <i>Sarcodactylis</i>	<i>C. medica</i> L., cv. Павловский шпшкан	Лимон Скерлевичский, клон <i>Ponderosa lemon</i> - гибрида <i>C. medica</i> L.	<i>Citrofortunella microcarpa</i> cv. Каламондин японский пестролистный	<i>C. limon</i> (L.) Osbeck, cv. Павловский лимон	<i>C. meyeri</i> (Du. Panaka)
14.27–33	Limonol, Geranylol			0,81			1,86			5,96
14.43–56	(Z)-cis-geranyl acetate, C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>			0,53	7,64	5,96	6,10			4,35
14.577–68	Acetic acid geranyl acetate, C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> , эфир					10,09	4,55			
14.7–8	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl), C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>							0,49	5,47	1,12
14.91	Geranyl acetate					27,23				
15.098	β-Elemente, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	70,26	20,20	42,27	2,53					21,90
15.38–4	Caryophyllene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	13,15	6,33	9,26	7,61	21,12	3,52	26,78	23,95	26,00
15.508	α-Bergamotene						21,29			
15.615	trans-Geranyl acetone						1,82			
15.7	Cis-β-Farnesene		3,73	3,32	0,22	1,44				
15.9	α-Caryophyllene	3,05	1,89	3,51	0,95	0,99		1,07	0,90	3,00
16.28	(+)-delta-Cadinene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1,15		0,44	0,25	0,05		16,43		
16.369	(3E,6E)-alpha-Farnesene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	4,18	2,98	1,28	6,62	0,32		31,45	3,33	3,97
16.4	(S)-alpha- и beta-Bisabolene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>						18,34			
16.47	Isocaryophyllene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>					3,80				
16.54	Aromadendrene, C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>							2,37		
Итого		9736	92,44	90,70	92,97	97,01	97,82	95,22	95,8	93,21

Из кислородсодержащих соединений у 6 таксонов в составе летучих компонентов листьев присутствуют терпеновые спирты Linalool и (Z)-Geraniol, альдегиды –  $\beta$ -Citronellal, (E)-Citral и эфиры – Geranyl acetate, (Z)-cis-Geranyl acetate.

Особое внимание обращаем на доленое содержание в составе летучих компонентов сесквитерпена бета-элемена, являющегося характерным доминантным соединением исключительно для группы сладких цитрусовых, сортов и гибридов мандарина Уншиу – *C. unshiu* (>70 %), апельсина – *C. sinensis* cv. Navel (>42 %), о чем сообщалось нами также ранее [11]. Бета-элемен в составе летучих соединений листьев выявлен и у *C. meyeri* (Ju. Tanaka) – межвидового гибрида лимона и мандарина [10].

Как показывают результаты, бета-элемен не был идентифицирован в составе летучих компонентов листьев сортов и гибридов лимона и цитрона. А у *C. medica* L. cv. Sarcodactilis – сладкой разновидности цитрона, он присутствует в незначительном доленом объеме (2,5 %).

**Заключение.** Таким образом, исследован химический состав легко летучих компонентов листьев девяти таксонов, представляющих виды и разновидности рода *Citrus* L., которые культивируются в условиях оранжерей ЦБС: *C. unshiu* (Tanaka ex Swingle) Marcov., *C. grandis* Osbeck cv. Bogatyr, *C. sinensis* Osbeck cv. Navel, *C. medica* L. cv. Sarcodactilis, клон 'Ponderosa lemon', гибрида *C. medica* L.  $\times$  *C. limon* (L.) Burm.f. – лимон Скерневицкий, *C. medica* cv. Павловский шипкан, *Citrofortunella microcarpa*, *C.  $\times$  limon* (L.) Osbeck cv. Павловский лимон, *C. meyeri* (Ju. Tanaka). В листьях исследуемых цитрусовых выявлено 36 компонентов: монотерпены (14), сесквитерпены (8), а также кислородсодержащие соединения: терпеновые спирты, альдегиды, эфиры (11). Как показали исследования, циклические углеводороды монотерпен (Z)- $\beta$ -trans-Ocimene и 3 сесквитерпена ( $\beta$ -Caryophyllene, (3E,6E)- $\alpha$ -Farnesene и  $\alpha$ -Caryophyllene) выявлены в составе летучих компонентов листьев у всей исследуемой группы цитрусовых. Два сесквитерпена: (3E,6E)- $\alpha$ -Farnesene и  $\alpha$ -Caryophyllene, исходя из их долей в общем объеме летучих соединений, являются для большинства изученных таксонов доминантными. Сесквитерпен beta-Elementene присутствует в качестве доминантного компонента исключительно у видов и разновидностей, представляющих так называемую группу сладких цитрусовых: *C. unshiu*, *C. grandis* cv. Bogatyr, *C. sinensis*  $\times$  cv. Navel, *C. meyeri*, что позволяет рассматривать его наличие в качестве значимого таксономического признака рода *Citrus* L., а также при отборе перспективных таксонов для создания ароматических экспозиций в оранжереях и интерьерах различного функционального назначения.

#### Список использованных источников

1. D-Limonene: a bioactive food component from citrus and evidence for potential role in breast cancer prevention and treatment / J. Miller [et al.] // *Oncology Reviews*. – 2011. – Vol. 5, N 1. – P. 31–42. <https://doi.org/10.4081/oncol.2011.31>
2. Volatile constituents and antioxidant activity of peel, flowers and leaf oils of *Citrus aurantium* L. growing in Greece / E. Sarrou [et al.] // *Molecules*. – 2013. – Vol. 18, N 9. – P. 10639–10647. <https://doi.org/10.3390/molecules180910639>
3. Chemical variability of peel and leaf essential oils of mandarins from *Citrus reticulata* blanco / M. L. Lota [et al.] // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2000. – Vol. 28, N 1. – P. 61–78. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(99)00036-8)
4. Moore, G. A. Oranges and lemons: clues to the taxonomy of Citrus from molecular markers / G. A. Moore // *Trends Genet.* – 2001. – Vol. 17, N 9. – P. 536–540. [https://doi.org/10.1016/s0168-9525\(01\)02442-8](https://doi.org/10.1016/s0168-9525(01)02442-8)
5. Genome-wide characterization and expression analysis of genetic variants in sweet orange / W.-B. Jiao [et al.] // *The Plant Journal*. – 2013. – Vol. 75, N 6. – P. 954–964. <https://doi.org/10.1111/tpj.12254>
6. Uzun, A. Genetic Diversity in Citrus / A. Usun, T. Yesiloglu // *Genetic Diversity in Plants* / ed. M. Çalışkan. – 2012. – P. 213–231. <https://doi.org/10.5772/32885>
7. Barrett, H. C. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives / H. C. Barrett, A. M. Rhodes // *Systematic Botany*. – 1976. – Vol. 1, N 2. – P. 105–136. <https://doi.org/10.2307/2418763>
8. Jabalpurwala, F. A. A comparison of citrus blossom volatiles / F. A. Jabalpurwala, J. M. Smoot, R. L. Rouseff // *Phytochemistry*. – 2009. – Vol. 70, N 11–12. – P. 1428–1434. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.031>
9. Генетические ресурсы цитрусовых культур в России, Украине и Беларуси / Р. В. Кулян [и др.] // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 506–514. <https://doi.org/10.18699/vj17.21-0>
10. Сравнительный анализ летучих компонентов листьев гибридов и сортов лимона (*Citrus  $\times$  limon* (L.) Burm. f.), культивируемых в условиях оранжерей / Н. В. Гетко [и др.] // *Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук.* – 2014. – № 2. – С. 5–10.
11. Химический состав летучих компонентов листьев видов и сортов мандарина, апельсина, грейпфрута и помело (*Rutaceae* Juss.), культивируемых в оранжереях / Н. В. Гетко [и др.] // *Субтропическое и декоративное садоводство*. – 2017. – Т. 62. – С. 191–199.

12. Citrus leaf volatiles as affected by development stage and genetic type / M. Azam [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – Vol. 14, N 9. – P. 17744–17766. <https://doi.org/10.3390/ijms140917744>
13. Variation patterns of the volatile compounds in flowers of Chinese native Citrus species and their taxonomic implications / W. Xi [et al.] // *Journal of Food and Nutrition Research*. – 2015. – Vol. 3, N 4. – P. 235–245. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-4-2>

## References

1. Miller J., Thompson P., Hakim I., Chow H. H. S., Thomson C. D-Limonene: a bioactive food component from citrus and evidence for potential role in breast cancer prevention and treatment. *Oncology Reviews*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 31–42. <https://doi.org/10.4081/oncol.2011.31>
2. Sarrou E., Chatzopoulou P., Dimassi-Theriou K., Therios I. Volatile constituents and antioxidant activity of peel, flowers and leaf oils of *Citrus aurantium* L. growing in Greece. *Molecules*, 2013, vol. 18, no. 9, pp. 10639–10647. <https://doi.org/10.3390/molecules180910639>
3. Lota M. L., Serra D. de Rocca, Tomi F., Joseph C. Chemical variability of peel and leaf essential oils of mandarins from *Citrus reticulata* blanco. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2000, vol. 28, no. 1, pp. 61–78. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(99)00036-8)
4. Moore G. A. Oranges and lemons: clues to the taxonomy of Citrus from molecular markers. *Trends in Genetics*, 2001, vol. 17, no. 9, pp. 536–540. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(01\)02442-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02442-8)
5. Jiao W.-B., Huang D., Xing F., Hu Yi., Deng X.-H., Xu Qi., Chen L.-L. Genome-wide characterization and expression analysis of genetic variants in sweet orange. *The Plant Journal*, 2013, vol. 75, no. 6, pp. 954–964. <https://doi.org/10.1111/tpj.12254>
6. Uzun A., Yesilogu T. Genetic Diversity in Citrus. Çalişkan M., ed. *Genetic Diversity in Plants*, 2012, pp. 213–231. <https://doi.org/10.5772/32885>
7. Barrett H. C., Rhodes A. M. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives. *Systematic Botany*, 1976, vol. 1, no. 2, pp. 105–136. <https://doi.org/10.2307/2418763>
8. Jabalpurwala F. A., Smoot J. M., Rouseff R. L. A comparison of citrus blossom volatiles. *Phytochemistry*, 2009, vol. 70, no. 11–12, pp. 1428–1434. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.031>
9. Kulyan R. V., Samarina L. S., Rakhmangulov R. S., Kikavskii I. V., Alehna A. I. Citrus genetic resources in Russia, Ukraine, Belarus: conservation and management. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2017, vol. 21, no 5, pp. 506–514 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/vj17.21-o>
10. Hetka N. V., Alehna A. I., Subach V. P., Pochytskaya I. M., Titok V. V. Leaf volatile components of lemon hybrids and varieties (*Citrus × limon* (L.) Burm. f.), cultivated in greenhouse conditions. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Biyalagichnaya seryya = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2014, no. 2, pp. 5–10 (in Russian).
11. Hetka N. V., Alehna A. I., Titok V. V., Subach V. P. Chemical composition of volatile components in the leaves of species and cultivars of tangerine, orange, grapefruit and pomelo (*Rutaceae* Juss.), cultivated in greenhouses. *Subtropicheskoye i dekorativnoe sadovodstvo = Subtropical and Ornamental Gardening*, 2017, vol. 62, pp. 191–199 (in Russian).
12. Azam M., Jiang Q, Zhang B., Xu C., Chen K. Citrus leaf volatiles as affected by development stage and genetic type. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, vol. 14, no. 9, pp. 17744–17766. <https://doi.org/10.3390/ijms140917744>
13. Xi W., Li L., Jiang D., Jiao B., Zhou Z. Variation patterns of the volatile compounds in flowers of chinese native Citrus species and their taxonomic implications. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 235–245. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-4-2>

## Информация об авторах

Гетко Нелли Владимировна – д-р биол. наук, доцент, заведующая лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: N.Hetko@cbg.org.by.

Алехна Антон Иванович – ст. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anton.alekhna@gmail.com.

Субоч Виктор Прокофьевич – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. НИЦ НАН Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: SubochVP@mail.ru.

Титок Владимир Владимирович – член-корреспондент, д-р биол. наук, доцент, директор. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.

## Information about the authors

Hetka Nelli Vladimirovna – D. Sc. (Biology), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: N.Hetko@cbg.org.by.

Alehna Anton Ivanovic – Senior researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anton.alekhna@gmail.com.

Suboch Viktor Prokofievich – Ph. D. (Chemistry), Leading researcher. Food Research and Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlov Str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SubochVP@mail.ru.

Titok Vladimir Vladimirovich – Corresponding Member, D. Sc. (Biology), Assistant Professor, Director. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.