



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544:543.635.6

doi: 10.17308/sorpchrom.2024.24/12019

### Определение флавоноидов кожуры плодов *Citrus reticulata*

Владимир Федорович Селеменев<sup>1</sup>, Виктор Иванович Дейнека<sup>2</sup>✉,  
Ярослава Юрьевна Саласина<sup>2</sup>, Татьяна Викторовна Елисеева<sup>1</sup>,  
Мохаммед Мохаммед<sup>2</sup>, Людмила Александровна Дейнека<sup>2</sup>,  
Иван Станиславович Пронин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия,  
deineka@bsu.edu.ru✉

**Аннотация.** В работе исследован флавоноидный состав экстракта кожуры мандаринов 10 сортов различных производителей. Кожуру мандаринов снимали с плодов, приобретенных на рынке г. Белгорода, и высушивали при комнатной температуре вне доступа прямого солнечного света. Для экстракции были подобраны составы «зеленых», основанных на этаноле экстрагентов, и соотношения «навеска растительного материала : объем экстрагента», обеспечивающие высокий выход флавоноидов. Для разделения использовали обращенно-фазовую ВЭЖХ на стационарной фазе Kromasil 100-5C18 в экологически благоприятных составах подвижных фаз, содержащих в качестве органического модификатора этанол, а в качестве подкислителя все подвижные фазы содержали 0.2 об.% ортофосфорной кислоты, в режиме градиентного элюирования. Для отнесения компонентов экстракта использовали образцы ряда веществ и параметры электронных спектров поглощения в сравнении с литературными данными. Установлено, что хроматографический профиль экстрактов исследованных образцов заметно различался. Во всех экстрактах обнаружен ряд наименее липофильных соединений – производных коричных кислот. Затем следуют два гликозида флаванонов – основной из которых гесперидин (гесперитин-7-рутинозид), содержание которого составляет 26.0-39.9 мг на 1 г высушенного сырья, и в существенно меньших количествах содержится нарингин (нарингенин-7-неогесперидизид) – от 0 до 1.15 мг на 1 г. Но наибольший интерес представляют полиметоксилированные флавоны, среди которых основной компонент нобилетин (5,6,7,8,3',4'-гексаметоксифлаван) с содержанием в сушеной кожуре от 0.03 до почти 11 мг/г, и в несколько меньших количествах обнаруживается тангеретин (5,6,7,8,4'-пентаметоксифлаван) – 0.1-5.4 мг/г. Установлено, что особенно высокий уровень накопления нобилетина и тангеретина наблюдается в кожуре мелких мандаринов. И в целом, кожура мандаринов является ценным источником высоко биологически активных флавоноидов, поэтому ее переработка – важная задача пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** кожура мандаринов, экстракция, обращенно-фазовая ВЭЖХ, зеленая экстракция, зеленая хроматография, гесперидин, нарингенин, нобилетин, тангеретин.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2023-2025 годы, проект FZGU-2023-0009.

**Для цитирования:** Селеменев В.Ф., Дейнека В.И., Саласина Я.Ю., Елисеева Т.В., Мохаммед М., Дейнека Л.А., Пронин И.С. Определение флавоноидов кожуры плодов *Citrus reticulata* // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24, № 1. С. 34-43. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12019>

Original article

### Determining flavonoids in the skin of *Citrus reticulata*

Vladimir F. Selemenov<sup>1</sup>, Victor I. Deineka<sup>2</sup>, Yaroslava Yu. Salasina<sup>2</sup>,  
Tatiana V. Eliseeva<sup>1</sup>, Mohammed Mohammat<sup>2</sup>,

© Селеменев В. Ф., Дейнека В. И., Саласина Я. Ю., Елисеева Т. В.,  
Мохаммед М., Дейнека Л. А., Пронин И. С., 2024



## Lyudmila A. Deineka<sup>2</sup>, Ivan S. Pronin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

<sup>2</sup>Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation, [deineka@bsu.edu.ru](mailto:deineka@bsu.edu.ru)✉

**Abstract.** In this work we studied the flavonoid composition of tangerine skins using 10 kinds of tangerines from various producers. The tangerine skins were peeled from fruit purchased from the market in Belgorod and dried at room temperature outside direct sunlight. The compositions of “green” ethanol-based extraction solutions and the “weighed portion of plant material: volume of extraction solution” ratios were chosen for extraction to ensure a high yield of flavonoids. For separation, reverse-phase HPLC on the Kromasil 100-5C18 stationary phase was used in environmentally friendly mobile phase compositions that contained ethanol as an organic modifier. In gradient elution mode all mobile phases contained 0.2 vol. % orthophosphoric acid. To assign extract components, we used samples of a number of substances and parameters of electronic absorption spectra in comparison with published data. It was found that the chromatographic profiles of the extracts of the studied samples were noticeably different. A number of the least lipophilic compounds, derivatives of cinnamic acids, were found in all extracts. After that, we discovered two flavanone glycosides, the main of which was hesperidin (hesperitin-7-rutinoside) with a content of is 26.0-39.9 mg per 1 g of dried raw material, and naringin (naringenin-7-neohesperidide) in significantly smaller quantities, from 0 to 1.15 mg per 1 g. But of greatest interest were polymethoxylated flavones, among which the main component was nobiletin (5,6,7,8,3',4'-hexamethoxyflavone) with a content from 0.03 to almost 11 mg/g in dried peel and tangeretin (5,6,7,8,4'-pentamethoxyflavone), found in slightly smaller quantities, 0.1-5.4 mg/g.

It was established that nobiletin and tangeretin were mostly accumulated in the skins of small tangerines. On the whole, tangerine skin is a great source of highly biologically active flavonoids, so its processing is an important task for the food industry.

**Keywords:** tangerine skin, extraction, reverse-phase HPLC, green extraction, green chromatography, hesperidin, naringenin, nobiletin, tangeretin.

**Acknowledgments:** the study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment to universities in the field of scientific activity for 2023-2025, project FZGU-2023-0009.

**For citation:** Selemenev V.F., Deineka V.I., Salasina Ya.Yu., Eliseeva T.V., Mohammed M., Deineka L.A., Pronin I.S. Determining flavonoids in the skin of *Citrus reticulata*. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2024. 24(1): 34-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12019>

### Введение

В русском языке слово «мандарин» обозначает любимые многими плоды (по срокам созревания, приуроченные к новогодним праздникам) вечнозеленого дерева рода цитрус (*Citrus*) с видовым названием (*C. reticulata*). К настоящему времени благодаря естественной или направленной гибридизации в различных регионах мира получено много гибридных сортов мандаринов, различающихся как по названию, так и по ряду свойств [1]. Мандарины ценятся потребителями за приятный вкус и высокую пищевую ценность. При этом употребляются в пищу только очищенные от кожуры (окрашенной части, называемой флаведо, и белой прослойки, называемой альбеде) плоды, а кожура, на долю которой приходится порядка 35-40% массы, идет в от-

ходы [2], хотя она является богатым источником биологически активных веществ [3]. Высушенная кожура плодов *C. reticulata* «Chachi», *C. reticulata* «Unshiu» и *C. reticulata* «Dahongpao» традиционно используется в Китайской фармакопее для лечения заболеваний желудка, как средство, вызывающее потоотделение, и как отхаркивающее средство [4]. Современные исследования выявили антиоксидантную, противовоспалительную, противораковую, противомикробную и противоаллергическую активность плодов цитрусовых. Установлено также положительное влияние на сердечно-сосудистую систему, нейропротекторное свойство и гепатопротекторный эффект, показана эффективность в борьбе с ожирением и др. [5]. Среди биологически активных веществ плодов цитрусовых, прежде всего, выделяется гликозид одного из флаванонов – гесперидин, 3',5,7-тригидрокси-4'-

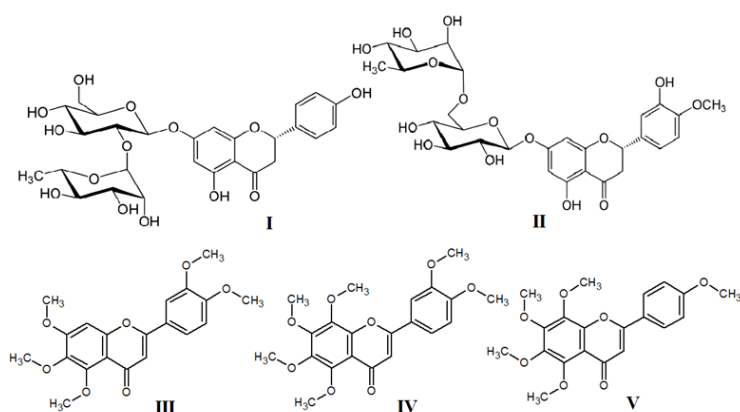


Схема 1. Структуры основных флавоноидов кожуры мандарина: I – нарингин; II – гесперидин; III – синенсетин; IV – нобилетин; V – тангеретин

метоксифлавоно-7-О-β-рутинозид. Это соединение, присутствующее и в соке, и в кожуре плодов, вместе с полиметоксилированными флавоноидами во многом определяют биологическую активность плодов мандаринов [5-8].

Основная территория Российской Федерации расположена севернее пригодных для выращивания цитрусовых тропиков и субтропиков, поэтому на мировом рынке она выступает преимущественно как импортер [9]. Среднегодовые поставки мандаринов в РФ в 2011-2019 годах составили 804.7 тыс. тонн. Соответственно, переработка кожуры плодов цитрусовых представляет интерес и в РФ [10]. Но основные направления такой переработки – получение цитрусового пектина [11] и эфирного масла [12].

Широкий спектр накапливающихся в плодах цитрусовых фенольных соединений [3, 13] предполагает использование обращенно-фазовой ВЭЖХ для их разделения и определения. Известные литературные данные свидетельствуют о том, что в различных сортах мандаринов накопление биологически активных веществ заметно различается. Так, например, в высушенной кожуре 12-ти плодов различных гибридных форм *Citrus reticulata*, методом ВЭЖХ с квадрупольным тандемным масс-спектрометрическим детектированием были обнаружены с

большим разбросом по уровню накопления шесть флавоноидов: нарингин, I (схема 1) – от 0.21 до 4.3; гесперидин, II – от 50.1 до 100.5; нобилетин, IV (5,6,7,8,3',4'-гексаметоксифлавоно) – от 1.4 до 14.0; 3,5, 6,7,8,3',4'-гептаметоксифлавоно – от 1.0 до 4.4; тангеретин, V (5,6,7,8,4'-пентаметоксифлавоно) – от 0.5 до 11.5; и 5-деметилнобилетин (5-гидрокси-6,7,8,3',4'-пентаметоксифлавоно) – от 0.1 до 2.7 мг на 1 г [14]. В другой работе [15] с акцентом на полиметоксифлавоны в кожуре *Citrus tangerina* (близкого или относящегося к виду *C. reticulata* марокканского происхождения) сорта «Dahongrao» были обнаружены синенсетин, III (5,6,7,3',4'-пентаметоксифлавоно), тетраметил-О-скутеларин (5,6,7,4'-тетраметоксифлавоно), нобилетин, тангеретин и 5-деметилнобилетин.

Настоящая работа посвящена сопоставлению флавоноидного состава плодов мандаринов, импортированных из различных стран и доступных на рынке г. Белгорода, методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с этанолом, как наиболее экологически безопасным органическим модификатором подвижной фазы.

### Экспериментальная часть

Кожуру мандаринов, приобретенных в розничной торговле, отделяли от мякоти и высушивали при комнатных условиях вне доступа прямого солнечного света.



После высухания кожуру измельчали и переносили в банки с крышкой. Хранили полученный растительный материал при комнатной температуре.

Для поиска условий экстракции флавоноидов навеску высушенной кожуры мандарина заливали 20 см<sup>3</sup> водно-спиртовой смеси, оставляли на перемешивающем устройстве LS 220 на 0.5 ч. По истечении положенного времени смесь центрифугировали (центрифуга ЭЛЕКОН М, 2000 об/мин, 10 мин) и экстракт отделяли декантацией.

Перед записью электронных спектров поглощения (в кварцевых кюветках с длиной оптического пути 10 мм на спектрофотометре Shimadzu UV-2550) экстракт разбавляли 95%-ным этанолом в 40 раз. Для хроматографического анализа экстракт разбавляли дистиллированной водой в 6 раз.

Для получения сухого концентрата полиметоксилированных флавонов 20 мл экстракта пропускали через активированный и кондиционированный 20%-ным раствором этанола в воде патрон (Диапак С18, Биохиммак СТ, Москва). Сорбированные флавоноиды смывали 60%-ным раствором этанола в воде и перед вводом в хроматографическую систему разбавляли водой в 3 раза. Для получения сухого концентрата полиметоксилированных флавонов реэкстракцию проводили этилацетатом, отгоняя растворитель досуха на вакуумном ротационном испарителе.

Разделение флавоноидов осуществляли на оборудовании Agilent 1200 Infinity с диодно-матричным детектором. Хроматограммы записывали при 284 и 334 нм. В работе использовали хроматографическую колонку 100×4.6 мм Kromasil 100-5-C18. Для элюирования применяли как изократическое, так и градиентное элюирование, используя компонент А: 10 об.% этанола, 0.2 об.% ортофосфорной кислоты в воде, и компонент Б: 80 об.% этанола, 0.2 об.% ортофосфорной кислоты в воде. Градиентный режим: 0 мин – 0% Б, до 40 мин – 50% Б; 41 мин

– 0% Б и 50 мин – 0% Б. Элюирование осуществляли со скоростью подачи подвижной фазы 0.8 см<sup>3</sup>/мин при температуре 30°C. Хроматограммы регистрировали и обрабатывали программой ChemStation, необходимые расчеты выполняли в MS Excel. Метчик мертвого времени – щавелевая кислота.

Для градуировки отклика детектора при количественном определении гликозидов флаванонов использовали образец гесперидина (Sigma-Aldrich) и высушенного порошка полиметоксилированных флавонов кожуры мандарина, после многостадийной очистки с использованием твердофазной экстракции. Для отнесения пиков на хроматограмме использовали сравнение времен удерживания и электронных спектров поглощения хлорогеновой кислоты полугидрата (Aldrich); кофейной (Alfa Aesar), *para*-кумаровой (Alfa Aesar), феруловой (Alfa Aesar) и синаповой (Alfa Aesar) кислот, нарингина (Aldrich) и гесперидина (Aldrich).

### Обсуждение результатов

Экстракция флавоноидов из кожуры мандаринов. Количественно экстракцию флавоноидов оценивали спектрофотометрическим методом, выражая результат в виде приведенной оптической плотности, ОП\*, рассчитываемой как произведение оптической плотности ОП(284) разбавленного этанолом экстракта при длине волны 284 нм на кратность разведения, *kp*, и на объем экстракта, *V*, дм<sup>3</sup>, деленное на массу навески кожуры, *m*, г:

$$\text{ОП}^* = \frac{\text{ОП} \cdot V \cdot kp}{m}. \quad (1)$$

Пересчет на концентрацию, например, гесперидина с использованием литературных данных по коэффициенту молярного поглощения был лишен смысла, поскольку спектры гликозидов флаванонов и полиметоксилированных флавонов перекрываются, см. рис. 1, мешая определению друг друга. Следует обратить внимание на то, что у гликозидов флаванонов

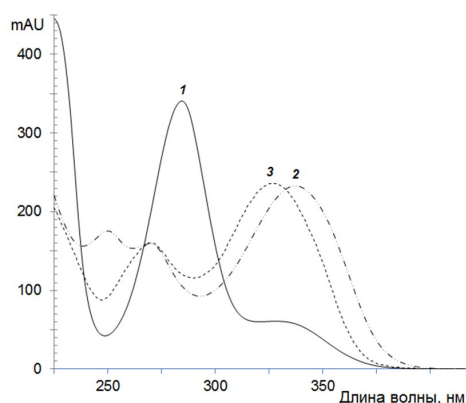


Рис. 1 Электронные спектры поглощения гесперидина (1), нобилетина (2) и тангеретина (3)  
Fig. 1 Electron absorption spectra of hesperidin (1), nobiletin (2) and tangeretin (3)

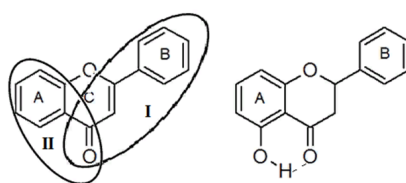


Схема 2. К объяснению возникновения двух полос поглощения у флавоноидов

имеется две полосы – относительно коротковолновая (284 нм) и более длинноволновая – в диапазоне 325-350 нм. Для флавоноидов с сопряжением колец А и В (через кольцо С) длинноволновую полосу обозначают как полосу I [16-18], тогда как коротковолновую – полосой II, схема 2.

Эти полосы интерпретируют как полосы: I – коричневого (с переходом электрона, локализованном на кольцах В и С) и II – бензойного (локализованном на кольце А с карбонильной группой кольца С) типов, соответственно. Соблазна назвать длинноволновую полосу во флаванонах полосой I с точки зрения химии лишен смысла, поскольку в этих соединениях нет сопряжения через кольцо С. Наиболее вероятно, что длинноволновая полоса связана с участием ОН-группы в положении 5 в водородной связи с карбонильным кислородом, и интенсивность этой полосы возрастает при росте рН [19].

По литературным данным гесперидин и нарингин в воде не растворимы, поэтому для повышения растворимости этого флавоноида используют добавки 2-гидроксипропил-β-циклодекстрина [20]. В настоящей работе использовали также

«зеленый» вариант экстракции – смесями этанола с водой [21].

Вначале исследовали эффективность экстракции нескольких различных смесей этанола с водой. Затем оценивали влияние соотношения «растительный материал : экстрагент» (как соотношение массы навески к объему экстрагента). Полученные результаты приведены в табл. 1.

Из представленных результатов следует, что чем выше концентрация этанола в воде, тем немногим полнее экстрагируются флавоноиды, поэтому не обязательно использовать 95%-ный спирт, а можно концентрацию спирта в экстрагенте понизить до 60%. При этом дополнительными исследованиями было установлено, что в первую экстракцию извлекается около 83% флавоноидов из растительного сырья, а во вторую экстракцию удается извлечь ещё около 16% флавоноидов.

Для определения компонентов экстрактов кожуры мандаринов методом обращенно-фазовой хроматографии в настоящей работе была выбрана стационарная фаза

Таблица 1. Результаты экстракции флавоноидов из высушенной кожуры мандаринов растворами этанола в воде (объемом 20 см<sup>3</sup>) при комнатной температуре  
 Table 1. Results of flavonoids extraction from dried tangerines peel with solutions of ethanol in water at room temperature

№	Навеска, г	Объемная доля этанола в экстрагенте, %	Приведенная оптическая плотность*
1	0.504	20	1.50±0.12
2	0.503	40	1.55±0.12
3	0.503	60	1.66±0.13
4	0.505	80	1.70±0.13
5	0.100	95	1.58±0.14
6	0.201	95	2.16±0.17
7	0.300	95	1.98±0.16
8	0.402	95	2.08±0.16
9	0.500	95	1.89±0.15
10	0.600	95	1.89±0.15

\*рассчитана по уравнению 1.

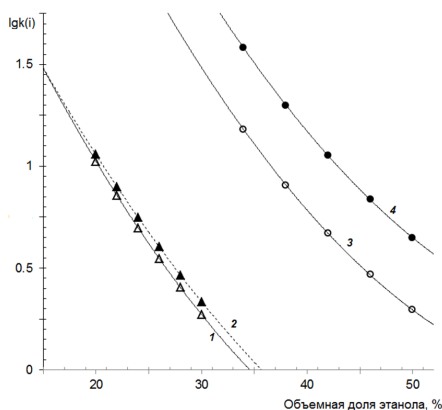


Рис. 2 Удерживание нарингина (1), гесперидина (2), нобилетина (3) и тангеретина (4) в элюентах системы «этанол – 0.2 об. % ортофосфорной кислоты – вода» при 30°C на стационарной фазе Kromasil 100-5C18

Fig. 2 Retention of naringin (1), hesperidin (2), nobiletin (3) and tangeretin (4) in mobile phases of system «ethanol – 0.2 об. % orthophosphoric acid – water» at 30°C on stationary phase Kromasil 100-5C18

нарная фаза Kromasil 100-5C18 с экологически наиболее благоприятным модификатором – этанолом, а для подкисления использовали ортофосфорную кислоту. Зависимость удерживания гликозидов флаванонов и полиметоксилированных флавонов кожуры мандарина приведена на рис. 2. При этом для идентификации соединений достаточно сопоставить электронные спектры поглощения, записанные в кювете детектора, рис. 1, с приведенными в литературе [22, 23]. Можно обратить внимание на то, что нобилетин имеет больше метокси-заместителей

(шесть) по сравнению с тангеретином (пять метокси-групп). При этом нобилетин логично имеет большую длину волны максимума самой длинноволновой полосы, но, вопреки ожиданиям, слабее удерживается, причем такой порядок элюирования остается неизменным при аппроксимации удерживания даже на подвижную фазу с нулевой концентрацией этанола.

Вследствие большого различия в удерживании рассмотренных двух групп фла



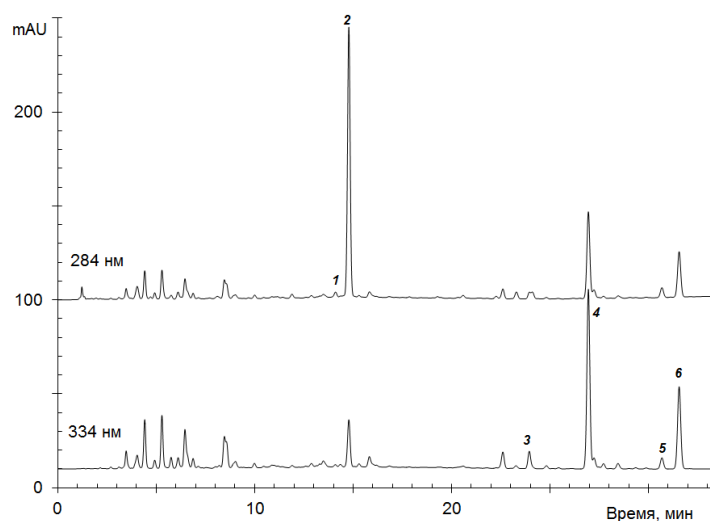


Рис. 3 Разделение флавоноидов экстракта кожуры мандаринов, варианты хроматограмм, записанные при 284 и 334 нм. Вещества: нарингин (1), гесперидин (2), синенсетин (3), нобилетин (4) и тангеретин (6)

Fig. 3 Separation of tangerines peel flavonoid extract, chromatograms versions obtained at 284 and 334 nm. Substances: naringin (1), hesperidin (2), sinensetin (3), nobiletin (4) and tangertin (5)

Таблица 2. Содержание флавоноидов в высушенной кожуре мандаринов различных производителей, мг/г

Table 2. Concentration of flavonoids in dried peel of tangerines of different producers, mg/g

№	Образец, происхождение	Содержание флавоноидов, мг/г			
		гесперидин	нарингин	нобилетин	тангеретин
1	неизвестно	34.6±1.2	0.58±0.06	0.32±0.04	0.096±0.009
2	неизвестно	28.6±1.3	0.53±0.06	1.52±0.14	0.52±0.03
3	неизвестно	26.6±1.0	0.33±0.02	0.70±0.06	0.28±0.03
4	Китай	38.4±1.1	1.15±0.02	0.47±0.04	0.20±0.02
5	Турция	30.0±1.2	0.32±0.03	2.43±0.16	1.17±0.11
6	Абхазия	34.0±1.1	Менее0.05	1.05±0.08	0.60±0.04
7	ЮАР	27.5±1.2	0.28±0.01	2.27±0.15	1.18±0.12
8	неизвестно	39.9±1.0	0.54±0.03	0.88±0.06	0.37±0.02
9	Марокко	26.0±1.2	Менее0.05	1.01±0.09	0.27±0.02
10	Китай, мелкий	28.5±1.0	Менее0.05	10.90±0.95	5.43±0.21

воноидов (гликозидов флаванонов и полиметоксилированных флавонов) одновременное определение всех компонентов возможно только в градиентном режиме. Более того, в градиентном режиме необходимо учесть присутствие в экстрактах еще слабее удерживаемых замещенных коричневых кислот, или их гликозидов [24-26]. В выполненном исследовании было установлено, что удобным вариантом градиентного элюирования оказался предложенный в экспериментальной части вариант. Пример хроматограммы, полученной в данном режиме в

двух вариантах записи по длинам волн: 284 нм для определения гликозидов флаванонов и 334 нм для определения полиметоксифлавонов, предложен на рис. 3.

Результаты анализа флавоноидов в высушенной кожуре 10 сортов мандаринов различных производителей, показали, что различия по этим показателям существенны, табл. 2. Прежде всего, следует отметить, что первая группа соединений с удерживанием от 4 до 7 мин (рис. 3), детектируемых при 334 нм, не относятся к самым фенольным кислотам, но их сход-



ство по электронным спектрам поглощения можно воспринимать как наличие гликозидных производных этих фенольных кислот [27]. При этом содержание нобилетина в кожуре мелкоплодного мандарина из Китая оказалось во много раз больше, чем в кожуре остальных исследованных образцов. Следовательно, именно этот сорт, отличающийся высокими вкусовыми свойствами, наиболее перспективен для комплексной переработки с целью получения полиметоксилированных флавонов.

### Заключение

В работе с использованием экологически благоприятной технологии с исполь-

### Список литературы/References

1. Cornélio M.T.M.N., Figueirôa A.R.S., Santos K.G.B., Carvalho R., Soares Filho W.S., Guerra M. Chromosomal relationships among cultivars of *Citrus reticulata* Blanco, its hybrids and related species. *Plant Syst. Evol.* 2003; 240: 149-161. <https://doi.org/10.1007/s00606-003-0012-3>
2. Anticono M., Lopez-Malo D., Frigola A., Esteve M.J., Blesa J. Comprehensive analysis of polyphenols from hybrid Mandarin peels by SPE and HPLC-UV. *LWT. Food Sci. Technol.* 2022; 165: 113770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113770>
3. Manthey J.A., Grohmann K. Phenols in Citrus Peel Byproducts. Concentrations of Hydroxycinnamates and Polymethoxylated Flavones in Citrus Peel Molasses. *J. Agric. Food Chem.* 2001; 49: 3268-3273. <https://doi.org/10.1021/jf010011r>
4. Zhong W.-J., Luo Y.-J., Li J., Wu Y.-P., Gao Y.-J., Luo H.-J., Yang Y.-T., Jiang L. Polymethoxylated flavonoids from *Citrus reticulata* Blanco. *Biochem. Systemat. Ecol.* 2016; 68: 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.02.031>
5. Lv X., Zhao S., Ning Z., Zeng H., Shu Y., Tao O., Xiao C., Lu C., Liu Y. Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provide benefits for

зованием экстракционного, спектрофотометрического и хроматографического методов определен флавоноидный состав (по основным компонентам) высушенной кожуры 10 сортов мандаринов различных производителей и определен наиболее перспективный сорт для комплексной переработки.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

human health. *Chem. Central J.* 2015; 9: 68. <https://doi.org/10.1186/s13065-015-0145-9>

6. Jokić S., Šafranko S., Jakovljević M., Cikoš A.-M., Kajić N., Kolarević F., Babić J., Molnar M. Sustainable Green Procedure for Extraction of Hesperidin from Selected Croatian Mandarin Peels. *Processes.* 2019; 7: 469. <https://doi.org/10.3390/pr7070469>

7. Milejkovskaya E., Yoo S.-H., Douhan U., Chen Z.H. Nobiletin: napravlennoe vozdejstvie na cirkadnye ritmy dlya obespecheniya normal'noj bioenergetiki i zdorovogo starenija. *Biohimiya.* 2020; 85: 1829-1836. <https://doi.org/10.31857/S0320972520120076> (In Russ.)

8. Yamada S., Shirai M., Ono K., Teruya T., Yamano A., Woo J.T. Beneficial effects of a nobiletin-rich formulated supplement of Sikwasa (*C. depressa*) peel on cognitive function in elderly Japanese subjects; A multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Food Sci. Nutr.* 2021; 9: 6844-6853. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2640>

9. Dzhancharova G.K., Muhametzyanov R.R., Platonovskij N.G., Arzamasceva N.V., Ivancova N.N., Vasil'eva E.N., Fedorchuk Mak-Eachen A.I. Rossiya i drugie strany mira v mezhdunarodnoj torgovle citrusovymi fruktami. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal.* 2021; 12: 39.





URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2021-21>. (In Russ.)

10. Emel'yanov A.A., Emel'yanov K.A., Kuznecova E.A. Biologicheski aktivnye produkty pererabotki plodov mandarina. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2013; 11: 76-78 (In Russ.)

11. Krasenkov O.I., Nadykta V.D., Gorlov S.M., Kvasenkov I.I., Donchenko L.V., Rodionova L.Ya. Sposob proizvodstva pektina iz citrusovyh vyzhimok / Patent RU 2238995 C2. (In Russ.)

12. Zabusova V.V., Demakova E.A., Parshikova V.N., Stepen' R.A. Efirnye masla iz othodov realizacii i potrebleniya plodov citrusovyh. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 1999; 4: 105-111 (In Russ.)

13. Mouly P., Gaydou E.M., Auffray A. Simultaneous separation of flavanone glycosides and polymethoxylated flavones in citrus juices using liquid chromatography. *J. Chromatogr. A*. 1988; 800: 171-179. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(97\)01131-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(97)01131-x)

14. Liu E.-H., Zhao P., Duan L., Zheng G.-D., Guo L., Yang H., Li P. Simultaneous determination of six bioactive flavonoids in *Citri Reticulatae* Pericarpium by rapid resolution liquid chromatography coupled with triple quadrupole electrospray tandem mass spectrometry. *Food Chem.* 2013; 141: 3977-3983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.077>

15. Chen Q., Gu Y., Tan C., Sundararajan B., Li Z., Wang D., Zhou Z. Comparative effects of five polymethoxyflavones purified from *Citrus tangerina* on inflammation and cancer. *Front. Nutr.* 2022; 9: 963662. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.963662>

16. Malešev D., Kunti V. Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *J. Serb. Chem. Soc.* 2007; 72: 921-939. <https://doi.org/10.2298/JSC0710921M>

17. Kumar S., Pandey A.K. Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An

Overview. *Scientific World J.* 2013; 2013: 162750. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>

18. Tsimogiannis D., Samiotaki M., Panayotou G., Oreopoulou V. Characterization of Flavonoid Subgroups and Hydroxy Substitution by HPLC-MS/MS. *Molecules.* 2007; 12: 593-606. <https://doi.org/10.3390/12030593>

19. Deineka V.I., Lapshova M.S., Makarevich S.L., Provornaya T.V., Deineka L.A. Kompleksoobrazovanie digidrokvertetina s  $\beta$ -ciklodekstrinom // Fenol'nye soedineniya: fundamental'nye i prikladnye aspekty [Tekst]: materialy dokladov VIII Mezhdunarodnogo simpoziuma, Moskva, 2-5 oktyabrya 2012 g. / otv. Red. N.V. Zagorskina. M.: IFR RAN; RUDN, 2012; 51-55 (In Russ.)

20. Majumdar S., Srirangam R. Solubility, Stability, Physicochemical Characteristics and *In Vitro* Ocular Tissue Permeability of Hesperidin: a Natural Bioflavonoid. *Pharm Res.* 2009; 26: 1217-1225. <https://doi.org/10.1007/s11095-008-9729-6>

21. Xu R., Cong Y., Zheng M., Chen G., Chen J., Zhao H. Solubility and Modeling of Hesperidin in Cosolvent Mixtures of Ethanol, Isopropanol, Propylene Glycol, and *n*-Propanol + Water. *J. Chem. Eng. Data.* 2018; 63: 764-770. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b00948>

22. Sun Y., Wang J., Gu S., Liu Z., Zhang Y., Zhang X. Simultaneous Determination of Flavonoids in Different Parts of *Citrus reticulata* 'Chachi' Fruit by High Performance Liquid Chromatography—Photodiode Array Detection. *Molecules.* 2010; 15: 5378-5388. <https://doi.org/10.3390/molecules15085378>

23. Duan L., Guo L., Liu K., Liu E.-H., Li P. Characterization and classification of seven Citrus herbs by liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry and genetic algorithm optimized support vector machines. *J. Chromatogr. A.* 2014; 1339: 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.02.091>

24. Anticono M., Lopez-Malo D., Frigola A., Esteve M.J., Blesa J. Comprehensive



analysis of polyphenols from hybrid Mandarin peels by SPE and HPLC-UV. *LWT - Food Sci. Technol.* 2022; 165: 113770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113770>

25. Šafranko S., Ćorković I., Jerković I., Jakovljević M., Aladić K., Šubarić D., Jokić S. Green Extraction Techniques for Obtaining Bioactive Compounds from Mandarin Peel (*Citrus unshiu* var. Kuno): Phytochemical Analysis and Process Optimization. *Foods.* 2021; 10: 1043. <https://doi.org/10.3390/foods10051043>

26. Safdar M.N., Kausar T., Jabbar S., Mumtaz A., Ahad K., Saddozai A.A. Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration technique. *J. Food Drug Anal.* 2017; 25: 488-500. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>

27. Yang Y., Zhao X.J., Pan Y., Zhou Z. Identification of the chemical compositions of Ponkan peel by ultra performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Anal. Methods.* 2016; 8: 893-903. <https://doi.org/10.1039/C5AY02633D>

### Информация об авторах / Information about the authors

**В.Ф. Селеменев** – д.х.н., проф. каф. аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**В.И. Дейнека** – профессор кафедры общей химии, д.х.н., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**Я.Ю. Саласина** – доцент кафедры общей химии, к.х.н., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**Т.В. Елисеева** – к.х.н., зав. кафедрой аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**М. Мохаммед** – магистрант кафедры общей химии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**Л.А. Дейнека** – доцент кафедры общей химии, кандидат химических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**И.С. Пронин** – аспирант кафедры общей химии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

**V.F. Selemenev** – DSci in chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: [com-mon@chem.vsu.ru](mailto:com-mon@chem.vsu.ru)

**V.I. Deineka** – Professor of General Chemistry Department. Dr. Sci.(Chemistry), Belgorod State University, Belgorod, Russia, e-mail: [deineka@bsuedu.ru](mailto:deineka@bsuedu.ru)

**Ya.Yu. Salasina** – Docent of General Chemistry Department. Dr. Ph.(Chemistry), Belgorod State University, Belgorod, Russia, e-mail: [salasina@bsuedu.ru](mailto:salasina@bsuedu.ru)

**T.V. Eliseeva** – Head of the Department of Analytical Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: [tatyanaeliseeva@yandex.ru](mailto:tatyanaeliseeva@yandex.ru)

**M. Mohammed** – master student, Department of General Chemistry, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, email: [1649550@bsu.edu.ru](mailto:1649550@bsu.edu.ru)

**L.A. Deineka** – Docent of General Chemistry Department. Dr. Ph.(Chemistry), Belgorod State University, Belgorod, Russia, e-mail: [deyneka@bsuedu.ru](mailto:deyneka@bsuedu.ru)

**I.S. Pronin** – PhD student, Department of General Chemistry, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, e-mail: [1244380@bsu.edu.ru](mailto:1244380@bsu.edu.ru)

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 17.01.2024; принята к публикации 07.02.2024.

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 17.01.2024; accepted for publication 07.02.2024.