



Применение метода капиллярного электрофореза в анализе водорастворимых витаминов представителей рода *Rubus* L.

М. Б. Ильина✉, Е. В. Сергунова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет). 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

✉ Контактное лицо: Ильина Маргарита Борисовна. E-mail: rita221096@yandex.ru

ORCID: М. Б. Ильина – <https://orcid.org/0000-0003-1989-4545>;
Е. В. Сергунова – <https://orcid.org/0000-0002-7194-5525>.

Статья поступила: 11.10.2024

Статья принята в печать: 20.02.2025

Статья опубликована: 21.02.2025

Резюме

Введение. Капиллярный электрофорез – метод разделения смеси веществ в поле высокого напряжения. Метод используется для анализа соединений органической и неорганической природы и имеет ряд преимуществ: невысокую стоимость, безопасность, простоту оборудования. Также метод набирает популярность в анализе химического состава растительного сырья.

Цель. Изучение витаминного состава растительного сырья представителей рода *Rubus* L. методом капиллярного электрофореза.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись высушенные листья и/или плоды таких растений, как *Rubus caesius* L. (ежевика сизая), *Rubus nessensis* Hall (ежевика несская), *Rubus allegheniensis* Porter (ежевика аллеганская), *Rubus ulmifolius* Scott (ежевика вязолистная), *Rubus saxatilis* L. (костяника), *Rubus idaeus* L. (малина обыкновенная), *Rubus chamaemorus* L. (морозка), *Rubus arcticus* L. (княженика). Обнаружение и количественное определение водорастворимых витаминов проводилось в системе капиллярного электрофореза Капель-104Т (ГК «Люмэкс», Россия). Анализ осуществлялся в варианте капиллярного электрофореза – мицеллярной электрокинетической хроматографии.

Результаты и обсуждение. В заданных условиях анализа удалось идентифицировать 5 витаминов группы В (никотинамид, рибофлавин, пиридоксин, никотиновая кислота, тиамин) и витамин С (аскорбиновая кислота). Содержание витаминов в различных видах сырья варьировалось. Отмечено, что рибофлавин, аскорбиновая и никотиновая кислоты присутствуют практически во всех изучаемых объектах. По количественному содержанию преобладающими витаминами в листьях являются никотинамид, аскорбиновая кислота и пиридоксин, в плодах – аскорбиновая кислота и тиамин. Суммарное содержание витаминов в листьях выше, чем в плодах, что объясняется разными условиями сушки.

Заключение. Методом капиллярного электрофореза удалось обнаружить и провести количественное определение водорастворимых витаминов в растительном сырье на примере некоторых представителей рода *Rubus* L., некоторые из них – *R. caesius* L. и *R. saxatilis* L. – отмечены наибольшим количеством этих соединений.

Ключевые слова: *Rubus* L., ежевика, малина, морозка, костяника, княженика, листья, плоды, витамины, капиллярный электрофорез

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. М. Б. Ильина осуществляла заготовку сырья, проведение валидации методики и анализа витаминов в системе капиллярного электрофореза, подготовку текста статьи. Е. В. Сергунова приняла участие в обсуждении результатов, предоставила консультативную помощь в подготовке окончательной версии рукописи.

Для цитирования: Ильина М. Б., Сергунова Е. В. Применение метода капиллярного электрофореза в анализе водорастворимых витаминов представителей рода *Rubus* L. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025;14(1):274–283. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1946>

Application of the capillary electrophoresis method in the analysis of water-soluble vitamins of representatives of the genus *Rubus* L.

Margarita B. Ilina✉, Ekaterina V. Sergunova

I. M. Sechenov First MSMU of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). 8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russia

✉ **Corresponding author:** Margarita B. Ilina. **E-mail:** rita221096@yandex.ru

ORCID: Margarita B. Ilina – <https://orcid.org/0000-0003-1989-4545>;
Ekaterina V. Sergunova – <https://orcid.org/0000-0002-7194-5525>.

Received: 11.10.2024

Accepted: 20.02.2025

Published: 21.02.2025

Abstract

Introduction. Capillary electrophoresis is a method of separating a mixture of substances in a high voltage field. The method is used to analyze compounds of organic and inorganic nature and has a number of advantages: cheapness, safety, simplicity of equipment. The method is also gaining popularity in the analysis of the chemical composition of plant raw materials.

Aim. The study of the vitamin composition in plant raw materials of representatives of the genus *Rubus* L. by capillary electrophoresis.

Materials and methods. The objects of the study were the dried leaves and/or fruits of plants such as *Rubus caesius* L. (European dewberry), *Rubus nessensis* Hall (European blackberry), *Rubus allegheniensis* Porter (allegany blackberry), *Rubus ulmifolius* Scott (elmleaf blackberry), *Rubus saxatilis* L. (roebuck berry), *Rubus idaeus* L. (raspberry), *Rubus chamaemorus* L. (cloudberry), *Rubus arcticus* L. (arctic raspberry). Detection and quantitative determination of water-soluble vitamins was carried out in the capillary electrophoresis system Kapel-104T (Group of Companies "Lumex", Russia). The analysis was carried out in a variant of capillary electrophoresis – micellar electrokinetic chromatography.

Results and discussion. Under the specified analysis conditions, 5 B vitamins (nicotinamide, riboflavin, pyridoxine, nicotinic acid, thiamine) and vitamin C (ascorbic acid) were identified. The vitamin content in different types of raw materials varied. It is noted that riboflavin, ascorbic and nicotinic acids are present in almost all the studied objects. In terms of quantitative content, the predominant vitamins in the leaves are nicotinamide, ascorbic acid and pyridoxine, in fruits – ascorbic acid and thiamine. The total vitamin content in the leaves is higher than in the fruits, which is explained by different drying conditions.

Conclusion. By the method of capillary electrophoresis, it was possible to detect and quantify water-soluble vitamins in plant raw materials using the example of some representatives of the genus *Rubus* L. In general, the vitamin content in the studied raw materials is low, some of them are marked by the largest number of these compounds – *R. caesius* L. and *R. saxatilis* L.

Keywords: *Rubus* L., blackberry, raspberry, cloudberry, roebuck berry, arctic raspberry, leaves, fruits, vitamins, capillary electrophoresis

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Margarita B. Ilina carried out the procurement of raw materials, validation of the methodology and analysis of vitamins in the capillary electrophoresis system, preparation of the text of the article. Ekaterina V. Sergunova took part in the discussion of the results, provided advisory assistance in preparing the final version of the manuscript.

For citation: Ilina M. B., Sergunova E. V. Application of the capillary electrophoresis method in the analysis of water-soluble vitamins of representatives of the genus *Rubus* L. *Drug development & registration*. 2025;14(1):274–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-1-1946>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов эффективного разделения сложных смесей соединений является капиллярный электрофорез. В основе метода лежат электрокинетические явления. В электрическом поле высокого напряжения происходит движение частиц и пассивное движение жидкости, в результате чего проба в капилляре разделяется на отдельные компоненты (рисунок 1).

Данный метод анализа во многом схож с высокоэффективной жидкостной хроматографией, однако в отличие от этого метода капиллярный электрофорез имеет ряд преимуществ [1]:

- высокую эффективность разделения;
- отсутствие необходимости использования дорогостоящих органических растворителей;
- отсутствие колонки;
- простую и недорогую аппаратуру;
- низкую себестоимость единичного анализа.

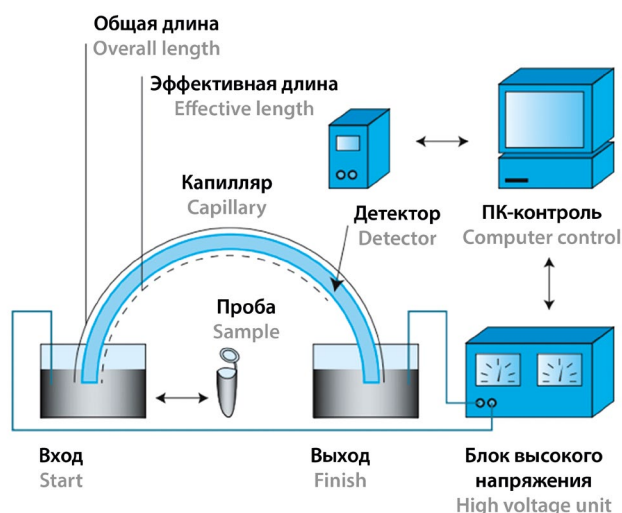


Рисунок 1. Устройство системы капиллярного электрофореза

Figure 1. The device of the capillary electrophoresis system

Существует два основных варианта капиллярного электрофореза: капиллярный зонный электрофорез (КЗЭ) и мицеллярная электрокинетическая хроматография (МЭХ). Первый вариант более пригоден для разделения ионогенных компонентов смеси, вто-

рой служит для разделения в том числе и нейтральных молекул.

В настоящее время метод капиллярного электрофореза применяется в анализе как неорганических, так и органических соединений при контроле качества воды, напитков, алкогольной продукции, продуктов питания, лекарственных препаратов, биологически активных добавок. Несмотря на широкое использование капиллярного электрофореза во многих областях знаний, в анализе лекарственного растительного сырья данный метод только набирает популярность. Имеется ряд отечественных работ, посвященных идентификации и количественному определению в сырье алкалоидных соединений [2, 3], аминокислот [4–7], органических кислот [8–9], углеводов [10–11], фенольных соединений [12]. Также метод капиллярного электрофореза для анализа биологически активных веществ (БАВ) в растительном сырье применяют зарубежные исследователи [13–15].

Интересным для изучения родом растительного царства, объединяющим многие хорошо известные виды, является род *Rubus* L. семейства розоцветных (Rosaceae). Среди представителей данного таксона – малина, ежевика, морозика и др. Обобщенная схема систематического положения рода представлена на рисунке 2.

Род *Rubus* L. включает 1803 подтвержденных вида согласно системе APG IV [16].

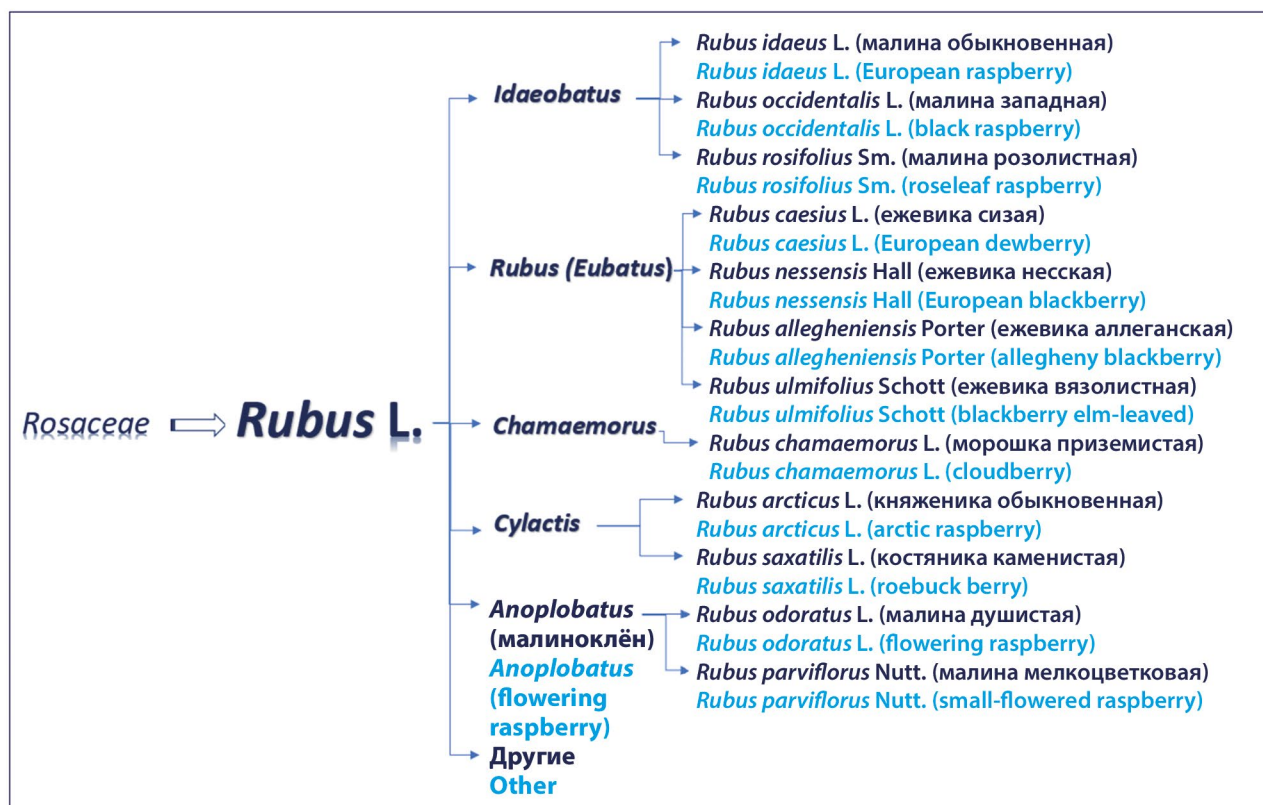


Рисунок 2. Некоторые представители различных подродов рода *Rubus* L.

Figure 2. Some representatives of various subgenera of the genus *Rubus* L.

Основная область применения плодов или, реже, листьев растений рода *Rubus* L. – пищевая промышленность. Плоды малины, ежевики служат для изготовления сиропов, варенья, джемов, конфетных изделий. В последние годы, однако, представители *Rubus* L. становятся предметом внимания ученых относительно химического состава и фармакологической активности. Так, при исследовании листьев и плодов малины обыкновенной установлено, что они обладают антиоксидантной, противоопухолевой активностью [17–20]. Имеется ряд исследований, в которых доказана антиоксидантная активность плодов [21] и листьев [22–24] ежевики. Также изучен состав листьев [25] и плодов [26] морошки. В гораздо меньшей степени изучены такие виды, как *R. saxatilis* L. и *R. arcticus* L.

Целью настоящего исследования являлся анализ витаминного профиля растительного сырья представителей рода *Rubus* L. методом капиллярного электрофореза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили листья и плоды *Rubus caesius* L. (ежевики сизой), листья *Rubus nessensis* Hall (ежевики несской), листья и плоды *Rubus allegheniensis* Porter (ежевики аллеганской), листья *Rubus ulmifolius* Scott (ежевики вязолистной), листья *Rubus saxatilis* L. (костяники каменистой), листья и плоды *Rubus idaeus* L. (малины обыкновенной), плоды *Rubus chamaemorus* L. (морошки), листья и плоды *Rubus arcticus* L. (княженики). Листья подвергались воздушно-теневого сушке, плоды – искусственной сушке при температуре 60–80 °С.

Заготовка образцов производилась в период 2021–2024 гг., в фазу наиболее полного развития растения и накопления биологически активных соединений в нем (фаза цветения – для листьев, фаза плодоношения – для плодов). Сбор осуществлялся на территории Москвы: в природно-историческом парке «Кузьминки-Люблино» (*R. idaeus*), поселении Роговское (*R. allegheniensis*); Московской области (г. Химки) (*R. caesius*, *R. nessensis*, *R. ulmifolius*); Тверской области (*R. saxatilis*); Республики Карелия (*R. chamaemorus*); Архангельской области (*R. arcticus*).

Влажность образцов после сушки составляла 5–13 %.

Анализ водорастворимых витаминов проводился в системе капиллярного электрофореза Капель-104Т (ГК «Люмэкс», Россия) в следующих условиях:

- Капилляр: 60/50 см – $L_{эф.}$, 75 мкм – диаметр.
- Ведущий электролит: боратный буфер + додецилсульфат натрия 8 мМ.
- Температура анализа – 40 °С время анализа – 20 мин.
- Ввод пробы – 30 мбар.
- Напряжение – 25 Кв, давление – 0 мбар.

Экстракция проводилась на ультразвуковой бане ODA-LD30 (Китай) с диапазоном температуры нагрева 0–80 °С, частотой ультразвука 40 кГц, мощностью 270 Вт.

В работе также использовалась центрифуга Liston C 2201 (Россия).

Анализ водорастворимых витаминов проводился по модифицированной методике ГОСТ 31483-2012 «Премиксы. Определение содержания витаминов: V_1 (тиаминхлорида), V_2 (рибофлавина), V_3 (пантотеновой кислоты), V_5 (никотиновой кислоты и никотинамида), V_6 (пиридоксина), V_c (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза».

В ходе исследования были использованы реактивы: кислота соляная (ос.ч., ООО «СигмаТек», Россия), кислота щавелевая (ч.д.а., ООО «База химической продукции «Югреактив», Россия), натрия гидроксид (ч.д.а., ООО «Компонент-Реактив», Россия) борная кислота (х.ч., ГОСТ 9656-75, «Мосхимлаб», Россия), натрий тетраборнокислый 10-водный, стандарт-титр (ООО «РЕА-ХИМПРИБОР», Россия), натрия лаурилсульфат, 95 % (ч.д.а., Scharlab, Испания), а также стандартные образцы ООО «ХромЛаб» (Россия): витамин С (аскорбиновая кислота), не менее 99 %, витамин РР (никотинамид), не менее 99 %, витамин РР (никотиновая кислота), не менее 99 %, витамин V_1 (тиамина гидрохлорид), не менее 99 %, витамин V_2 (рибофлавин), не менее 99 %, витамин V_6 пиридоксина гидрохлорид, не менее 99 %.

Методика: 1,0 г (точная навеска) сырья, измельченного до размера частиц 0,4 мм, помещают в колбу объемом 50 мл, добавляют 25 мл воды очищенной и помещают на ультразвуковую баню. Экстрагируют в течение 30 мин, периодически перемешивая. Извлечение фильтруют в мерную колбу объемом 25 мл, доводя объем водой очищенной до метки. Часть извлечения переносят в центрифужную пробирку и центрифугируют в течение 5 мин при 3000 об/мин. Полученный раствор над осадком отделяют (раствор А).

К 0,5 мл раствора А прибавляют 1,065 мл тетрабората натрия 0,01 М, 0,24 мл кислоты щавелевой 1%-й, 0,06 мл кислоты хлористоводородной 1%-й. Полученную смесь тщательно перемешивают, 0,5 мл помещают в чистую пробирку типа Эппендорфа.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программы Microsoft Office Excel 2016 (США). Данные в таблицах представлены в виде «среднее значение ± стандартное отклонение».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях предложенной методики удалось идентифицировать ряд водорастворимых витаминов: никотинамид (витамин V_3 -амид), рибофлавин (витамин V_2), пиридоксин (витамин V_6), аскорбиновую кислоту (витамин С), никотиновую кислоту (витамин V_5 -кислота), тиамин (витамин V_1). Электрофореграмма стандартных образцов представлена на рисунке 3. Поскольку никотинамид является нейтральной молекулой, то он мигрирует в зоне нейтральных компонентов вместе с электроосмотической подвижностью (ЭОП). Разделение подобных со-

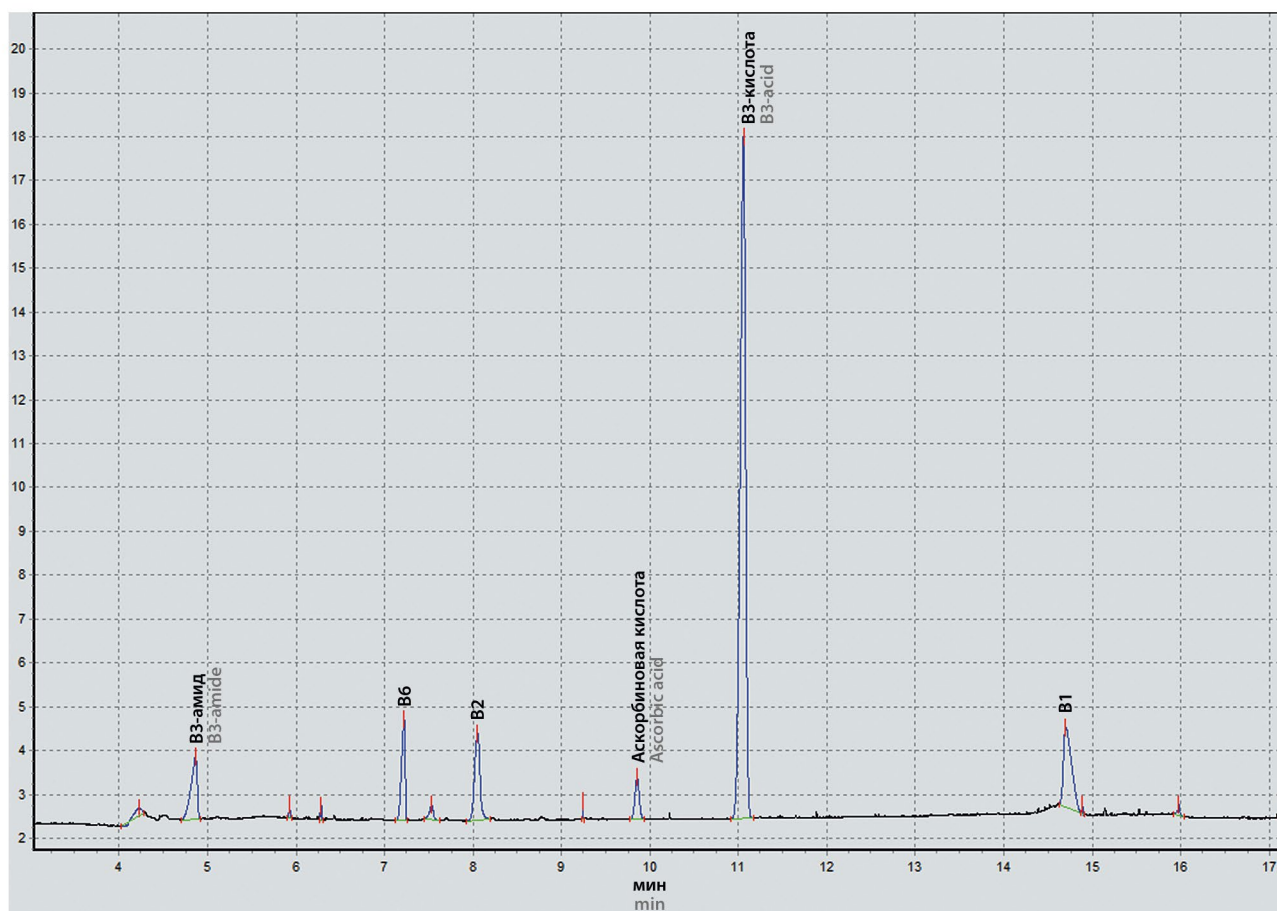


Рисунок 3. Электрофореграмма стандартных образцов водорастворимых витаминов, полученная методом микеллярной электрокинетической хроматографии

Figure 3. Electrophoregram of reference standards of water-soluble vitamins obtained by micellar electrokinetic chromatography

единений становится возможным при введении в состав ведущего электролита поверхностно-активных веществ (ПАВ), которым в нашем случае являлся додецилсульфат натрия. Таким образом, полное разделение витаминов осуществляется в условиях варианта капиллярного электрофореза – МЭХ.

Предложенная методика количественного определения водорастворимых витаминов была валидирована по характеристикам «линейность», «внутрилабораторная прецизионность», «повторяемость», «правильность». Валидация методики проводилась на примере сырья ежевики сизой. Для изучения линейности методики были взяты аликвоты извлечения в объемах, соответствующих следующим концентрациям аскорбиновой кислоты в растворе: 0,11; 0,2; 0,56; 0,63 мг/г сырья. Была построена зависимость площади пика от концентрации аскорбиновой кислоты, представленная на рисунке 4.

Для анализа повторяемости методики проводилось определение содержания витаминов в сырье в 6 повторах в течение одного дня одним аналитиком. Рассчитывалось значение относительного стан-

дартного отклонения (RSD, %) времени миграции компонентов витаминного состава и их содержания (таблица 1).

Оценка внутрилабораторной прецизионности методики проводилась в течение двух дней двумя химиками-аналитиками на одном и том же оборудовании. Определялось значение RSD суммы витаминов B₂, B₁, аскорбиновой и никотиновой кислот в трех повторах. Результаты испытания представлены в таблице 2.

Для определения правильности методики к извлечению из листьев ежевики сизой с заведомо известным содержанием витамина С добавляли стандартный образец аскорбиновой кислоты в определенном количестве. Полученные результаты показали, что значение относительного стандартного отклонения открываемости составило 90,9 % (таблица 3).

В результате изучения витаминного состава исследованы 12 образцов сырья растений рода *Rubus* L. Полученное количественное содержание витаминов в 1 мг на 1 кг сырья представлено в таблице 4.

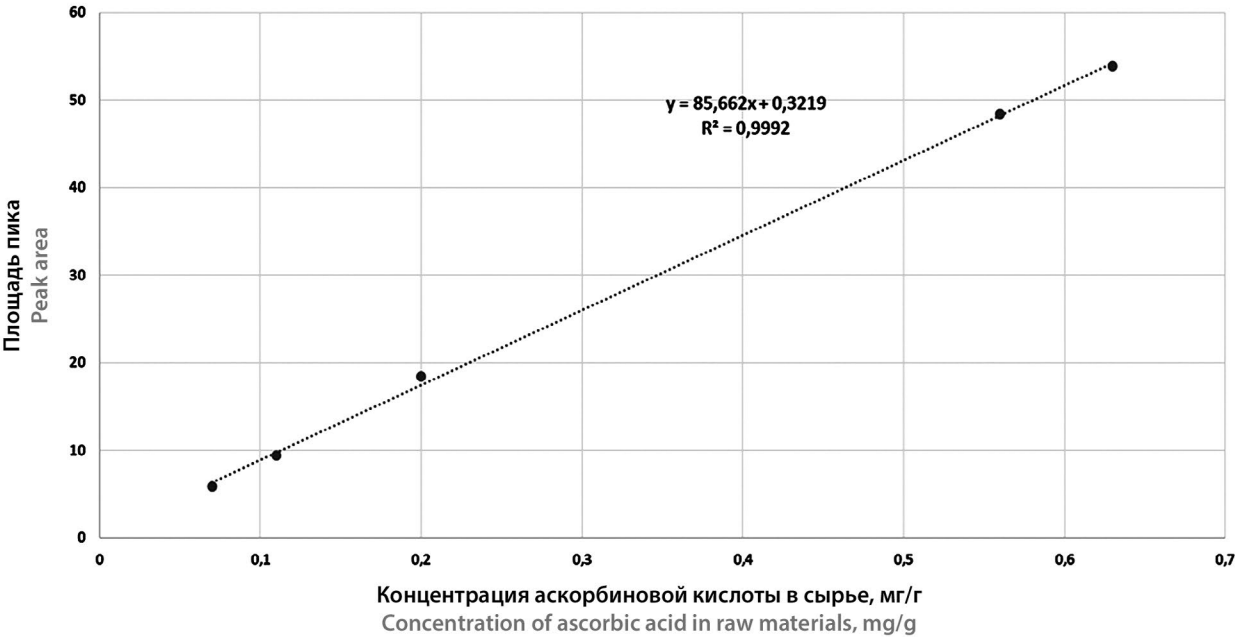


Рисунок 4. Линейность методики количественного определения водорастворимых витаминов в листьях ежевики сизой

Figure 4. The linearity of the methodology for the quantitative determination of water-soluble vitamins in *Rubus caesius* leaves

Таблица 1. Анализ повторяемости методики ($P = 95\%$, $t(P; f) = 2,57$)

Table 1. Method replication analysis ($P = 95\%$, $t(P; f) = 2.57$)

Повтор Replication	В ₆		В ₂		Аскорбиновая кислота Ascorbic acid		Никотиновая кислота Nicotinic acid		В ₁	
	t, мин t, min	X, мг/г X, mg/g	t, мин t, min	X, мг/г X, mg/g	t, мин t, min	X, мг/г X, mg/g	t, мин t, min	X, мг/г X, mg/g	t, мин t, min	X, мг/г X, mg/g
1	6,98	0,038	8,157	0,052	9,84	0,158	12,512	0,065	15,91	0,037
2	7,1	0,037	8,23	0,051	10,105	0,154	12,763	0,070	16,738	0,039
3	6,785	0,041	8,292	0,055	10,012	0,165	10,992	0,067	15,002	0,038
4	6,627	0,038	8,138	0,051	9,373	0,148	11,115	0,066	15,663	0,04
5	6,687	0,036	8,095	0,048	9,233	0,156	11,212	0,067	16,102	0,036
6	6,834	0,040	7,935	0,055	9,597	0,162	11,920	0,063	16,407	0,04
Среднее, мг/г Average, mg/g	6,835	0,038	8,141	0,055	9,690	0,157	11,752	0,066	15,97	0,038
RSD, %	2,38	4,43	1,38	4,45	3,31	3,49	5,92	3,22	3,46	3,89

Таблица 2. Результаты определения внутрилабораторной прецизионности методики ($n = 3$, $f = 2$, $P = 95\%$, $T(f, P) = 4,3020$)

Table 2. The results of determining the intra-laboratory precision of the method ($n = 3$, $f = 2$, $P = 95\%$, $T(f, P) = 4.3020$)

	День 1 Day 1	День 2 Day 2
Аналитик 1 Analytical chemist 1	RSD = 0,93 %	RSD = 1,06 %
Аналитик 2 Analytical chemist 2	RSD = 2,38 %	RSD = 3,30 %

При анализе полученных результатов отчетливо видно, что содержание витаминов в листьях суммарно выше, чем в плодах, что можно объяснить разностью в условиях сушки сырья и термолабильностью витаминов, а также таким фактором, как разные условия и места произрастания производящих растений.

В целом в листьях практически всех изучаемых объектов найдены такие соединения, как рибофлавин, аскорбиновая и никотиновая кислоты, однако для многих видов их содержание невелико. Количественно преобладают витамин В₃ (никотинамид), ви-

тамин В₆ и аскорбиновая кислота. Наиболее богатыми витаминами были листья видов *R. caesius* L., *R. saxatilis* L., *R. nessensis* Hall.

Таблица 3. Открываемость методики

Table 3. Recovery of the method

Содержание аскорбиновой кислоты в сырье, мг/г The content of ascorbic acid in the raw material, mg/g	Добавлен СО аскорбиновой кислоты, мг Added a RS of ascorbic acid, mg	Получено теоретически, мг/г Theoretically obtained, mg/g	Получено практически, мг/г Practically obtained, mg/g	Открываемость, % Recovery, %
0,040	0,136	0,176	0,15	85,2
	0,190	0,230	0,21	91,3
	0,272	0,312	0,3	96,1
Среднее значение открываемости, % Average recovery, %				90,9
RSD, %				4,91

В плодах всех видов рода *Rubus* L. обнаружены витамин С и витамин В₁, содержание которых заметно преобладает у плодов *R. caesius* L. Все 6 изучаемых витаминов в небольшом количестве были обнаружены в плодах *R. allegheniensis* Porter.

Обобщая все результаты работы, можно заключить, что содержание витаминов в сырье представителей рода *Rubus* L. невелико. Наиболее ценными в плане суммарного содержания водорастворимых витаминов являются ежевика сизая (*R. caesius* L.) и

костяника каменистая (*R. saxatilis* L.). Таким образом, для удовлетворения суточной потребности человека в водорастворимых витаминах (100 мг/сутки для аскорбиновой кислоты, 1,5 мг/сутки для витамина В₁, 1,8 мг/сутки для витамина В₂, 2,0 мг/сутки для витамина В₆, 20 мг/сутки для витамина В₃ согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации») рекомендуется потреблять водные извлечения на основе сырья из данных двух видов рода *Rubus* L.

Содержание водорастворимых витаминов, определяемое иными методами анализа, в некоторых ранее проводимых исследованиях отличалось. Так, авторами данной статьи проводилось изучение витаминов в листьях *Rubus caesius* методом ВЭЖХ-анализа [27], где содержание некоторых из них оказалось ниже, чем в настоящей работе. Например, согласно упомянутому источнику содержание витамина В₁ – 1,1 мг/кг (в настоящей статье – 60,0 мг/кг), а содержание витамина В₂ – 0,53 мг/кг (в настоящей статье – 80,0 мг/кг). Для сырья *Rubus chamaemorus* и *Rubus idaeus* содержание определенных витаминов (аскорбиновая кислота), согласно имеющимся источникам, зачастую значительно выше, чем было обнаружено в нашем исследовании [28–30]. Так, согласно исследованию Я. Л. Страха и О. С. Игнатовец плоды морошки приземистой *Rubus chamaemorus* содержат 2200–2300 мг/кг витамина С, тогда как нами найдено 23,4 мг/кг. В обзорном исследовании Е. В. Жбановой обнаружено, что содержание аскорбиновой кислоты в плодах малины варьируется в диапазоне 50,0–400,0 мг/кг (в нашей работе – 3,9 мг/кг).

Таблица 4. Содержание водорастворимых витаминов в сырье представителей рода *Rubus* L., мг/кг

Table 4. The content of water-soluble vitamins in the raw materials of representatives of the genus *Rubus* L., mg/kg

Образцов сырья растений рода <i>Rubus</i> L. Samples of raw materials from plants of the genus <i>Rubus</i> L.	В ₃ -амид В ₃ -amid	В ₆	В ₂	С	В ₃ -кислота В ₃ -acid	В ₁
Листья Leaves						
<i>R. caesius</i> L.	–	170,0 ± 40,0	80,0 ± 21,0	110,2 ± 40,3	70,0 ± 30,4	60,0 ± 8,1
<i>R. idaeus</i> L.	–	–	10,1 ± 1,2	13,3 ± 3,1	4,2 ± 1,1	1,9 ± 0,5
<i>R. nessensis</i> Hall	–	–	30,1 ± 1,8	70,0 ± 5,0	3,0 ± 0,9	20,2 ± 5,2
<i>R. ulmifolius</i> Scott	–	–	2,7 ± 0,3	8,0 ± 1,5	10,3 ± 1,0	–
<i>R. saxatilis</i> L.	600,0 ± 20,3	–	5,2 ± 1,8	44,2 ± 2,5	14,2 ± 2,0	–
<i>R. allegheniensis</i> Porter	4,9 ± 0,3	–	39,9 ± 0,3	4,4 ± 0,4	6,0 ± 0,1	–
<i>R. arcticus</i> L.	–	0,7 ± 0,3	–	5,3 ± 0,3	5,2 ± 0,2	0,50 ± 0,02
Плоды Fruits						
<i>R. idaeus</i> L.	1,41 ± 0,02	–	4,5 ± 0,3	3,90 ± 0,07	–	5,2 ± 0,2
<i>R. allegheniensis</i> Porter	1,1 ± 0,1	5,2 ± 0,2	0,7 ± 0,02	0,8 ± 0,3	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,09
<i>R. caesius</i> L.	–	50,3 ± 3,8	59,0 ± 7,4	139,2 ± 4,2	–	280,3 ± 30,2
<i>R. chamaemorus</i> L.	5,3 ± 0,1	4,9 ± 0,3	–	23,4 ± 0,4	4,2 ± 0,1	2,5 ± 0,2
<i>R. arcticus</i> L.	0,30 ± 0,06	–	2,8 ± 0,2	2,80 ± 0,03	0,80 ± 0,05	6,1 ± 0,1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе был изучен состав витаминов в растительном сырье разных видов одного рода *Rubus* L. с применением современного и перспективного метода – капиллярного электрофореза. В условиях метода в листьях и плодах представителей изучаемого рода удалось идентифицировать 6 водорастворимых витаминов: никотинамид, пиридоксин, рибофлавин, аскорбиновую кислоту, никотиновую кислоту, тиамин. Содержание указанных соединений различается среди видов, а также в разных морфологических группах сырья. Преобладающими витаминами в листьях являются B_3 , С и B_6 , в плодах – С и B_1 . В общем итоге во всех 12 объектах исследования самыми часто встречающимися витаминами (в том числе в небольшом количестве) являлись B_2 , С и B_3 (никотиновая кислота).

ЛИТЕРАТУРА

1. Комарова Н. В. Каменцев Я. С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: ООО «Веда»; 2006. 212 с.
2. Виноградова А. К., Офицеров Е. Н. Определение никотина в растительном сырье при помощи капиллярного электрофореза. *Успехи в химии и химической технологии*. 2020;34(7):56–57.
3. Абдуллаева М. У., Халилова Н. Ш., Олимов Н. К., Сидаметова З. Э. Хамидуллаев Ш. А. Исследование наркотических средств на основе мака опийного методом капиллярного электрофореза. *Journal of Modern Educational Achievements*. 2024;6(6):34–41.
4. Хочава М. Р., Онбыш Т. Е. Изучение аминокислотного состава леспедецы двуцветной, произрастающей в Краснодарском крае. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2023;25(8):34–40. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-8.
5. Хантургаева В. А., Хамаганова И. В. Анализ и исследование состава белково-витаминного продукта из растительного сырья. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022;84(1):49–57. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-49-57.
6. Аджаихметова С. Л., Червонная Н. М., Поздняков Д. И., Оганесян Э. Т. Изучение суммарного содержания антиоксидантов, полисахаридов, элементного состава и аминокислот растительного сырья смородины черной. *Химия растительного сырья*. 2021;3:265–274. DOI: 10.14258/jcprm.2021037774.
7. Соломенцева А. С., Солонкин А. В., Беляев А. И. Оценка аминокислотного и биохимического состава плодов видов *Rosa* L. и *Ribes aureum* Pursh. в засушливой зоне. *Химия растительного сырья*. 2023;2:123–132. DOI: 10.14258/jcprm.20230212036.
8. Тринеева О. В., Рудая М. А. Комплексное исследование профиля свободных органических кислот плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) различных сортов. *Химия растительного сырья*. 2021;4:231–240. DOI: 10.14258/jcprm.2021049215.
9. Чистякова А. С., Гудкова А. А., Сливкин А. И., Чупандина Е. Е. Изучение профиля органических кислот видов рода горец (*Persicaria* Mill.). *Фармация и фармакология*. 2022;10(1):44–54. DOI: 10.19163/2307-9266-2022-10-1-44-54.
10. Тринеева О. В., Сливкин А. И. Изучение углеводного комплекса плодов облепихи крушиновидной различными методами. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2020;2:91–98.
11. Тринеева О. В. Сравнительная характеристика определения сахаров различными методами в листьях крапивы двудомной. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2020;9(2):91–97. DOI: 10.33380/2305-2066-2020-9-2-91-97.
12. Никифорова Е. Б., Шевченко А. И., Хочава М. Р., Доркина Е. Г. Изучение химического состава и антиоксидантной активности сухого экстракта травы посконника конопляного. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2023;25(1):18–23. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-1.
13. Przybylska A., Gackowski M., Koba M. Application of capillary electrophoresis to the analysis of bioactive compounds in herbal raw materials. *Molecules*. 2021;26(8):2135. DOI: 10.3390/molecules26082135.
14. Gackowski M., Przybylska A., Kruszewski S., Koba M., Mądra-Gackowska K., Bogacz A. Recent applications of capillary electrophoresis in the determination of active compounds in medicinal plants and pharmaceutical formulations. *Molecules*. 2021;26(14):4141. DOI: 10.3390/molecules26144141.
15. Li Z., Wu Q., Zhang X., Chen G. Advances in the Applications of Capillary Electrophoresis to Tobacco Analysis. *Current Analytical Chemistry*. 2023;19(1):77–99. DOI: 10.2174/1573411018666220927094137.
16. Chase M. W., Christenhusz M. J. M., Fay M. F., Byng J. W., Judd W. S., Soltis D. E., Mabberley D. J., Sennikov A. N., Soltis P. S., Stevens P. F. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1–20. DOI: 10.1111/boj.12385.
17. De Santis D., Carbone K., Garzoli S., Laghezza Masci V., Turchetti G. Bioactivity and chemical profile of *Rubus idaeus* L. leaves steam-distillation extract. *Foods*. 2022;11(10):1455. DOI: 10.3390/foods11101455.
18. Lopez-Corona A. V., Valencia-Espinosa I., González-Sánchez F. A., Sánchez-López A. L., García-Amezquita L. E., García-Varela R. Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of phenolic compound family extracted from raspberries (*Rubus idaeus*): A general review. *Antioxidants*. 2022;11(6):1192. DOI: 10.3390/antiox11061192.
19. Ispiryani A., Atkociuniene V., Makstutiene N., Sarkinas A., Salaseviciene A., Urbonaviciene D., Viskelis J., Pakeltiene R., Raudone L. Correlation between Antimicrobial Activity Values and Total Phenolic Content/Antioxidant Activity in *Rubus idaeus* L. *Plants*. 2024;13(4):504. DOI: 10.3390/plants13040504.
20. Garjonyte R., Budiene J., Labanauskas L., Judzentiene A. In vitro antioxidant and prooxidant activities of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) stem extracts. *Molecules*. 2022;27(13):4073. DOI: 10.3390/molecules27134073.
21. Chaves V. C., Soares M. S. P., Spohr L., Teixeira F., Vieira A., Constantino L. S., Dal Pizzol F., Lencina C. L., Spanevello R. M., Freitas M. P., Simões C. M. O., Reginatto F. H., Stefanello F. M. Blackberry extract improves behavioral and neurochemical dysfunctions in a ketamine-induced rat model of mania. *Neuroscience Letters*. 2020;714:134566. DOI: 10.1016/j.neulet.2019.134566.

22. Paczkowska-Walendowska M., Gościński A., Szymanowska D., Sz wajgier D., Baranowska-Wójcik E., Szulc P., Dreczka D., Simon M., Cielecka-Piontek J. Blackberry Leaves as New Functional Food? Screening Antioxidant, Anti-Inflammatory and Microbiological Activities in Correlation with Phytochemical Analysis. *Antioxidants*. 2021;10(12):1945. DOI: 10.3390/antiox10121945.
23. Veličković I., Grujić S., Džamić A., Krivošej Z., Marin P.D. In vitro antioxidant activity of dewberry (*Rubus caesius* L. var. *aquaticus* Weihe. & Nees.) leaf extracts. *Archives of Biological Sciences*. 2015;67(4):1323–1330. DOI: 10.2298/ABS150414109V.
24. Hering A., Stefanowicz-Hajduk J., Hałasa R., Olech M., Nowak R., Kosiński P., Ochocka J.R. Polyphenolic Characterization, Antioxidant, Antihyaluronidase and Antimicrobial Activity of Young Leaves and Stem Extracts from *Rubus caesius* L. *Molecules*. 2022;27(19):6181. DOI: 10.3390/molecules27196181.
25. Whaley A.K., Ponkratova A.O., Orlova A.A., Serebryakov E.B., Smirnov S.N., Proksh P., Ionov N.S., Poroiakov V.V., Luzhanin V.G. Phytochemical analysis of polyphenol secondary metabolites in cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) leaves. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021;55:253–258. DOI: 10.1007/s11094-021-02407-y.
26. Faleva A.V., Ul'yanovskii N.V., Onuchina A.A., Falev D.I., Kosyakov D.S. Comprehensive characterization of secondary metabolites in fruits and leaves of cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.). *Metabolites*. 2023;13(5):598. DOI: 10.3390/metabo13050598.
27. Ильина М. Б., Сергунова Е. В. Состав и содержание некоторых витаминов в листьях ежевики сизой (*Rubus caesius* L.) и водных извлечениях на их основе. *Фармация*. 2024;(3):33–37. DOI: 10.29296/25419218-2024-03-05.
28. Страх Я.Л., Игнатовец О.С. Химический состав и биологическая активность метаболитов *Rubus chamaemorus* L. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук*. 2022;67(3):321–331. DOI: 10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331.
29. Матистов Н. В., Валуйских О. Е., Ширшова Т. И. Химический состав и содержание микронутриентов в плодах морошки (*Rubus chamaemorus* L.) на европейском Северо-Востоке России. *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2012;1(9):41–45.
30. Жбанова Е. В. Плоды малины *Rubus idaeus* L. как источник функциональных ингредиентов. *Техника и технология пищевых производств*. 2018;48(1):5–14. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-5-14.
5. Khanturgaeva V. A., Hamaganova I. V. The analysis and research of the composition a protein-vitamins product from plant materials. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022;84(1):49–57. (In Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-49-57.
6. Hadjiakhmetova S. L., Chervonnaya N. M., Pozdnyakov D. I., Oganessian E. T. Study of the total content of antioxidants, polysaccharides, elemental composition and amino acids of vegetable raw materials of *Ribes nigrum* L. *Chemistry of plant raw material*. 2021;3:265–274. (In Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.2021037774.
7. Solomentseva A. S., Solonkin A. V., Belyaev A. I. Evaluation of the amino acid and biochemical composition of fruits of *Rosa* L. and *Ribes aureum* Pursh. species in arid zone. *Chemistry of plant raw material*. 2023;2:123–132. (In Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.20230212036.
8. Trineeva O. V., Rudaya M. A. Comprehensive study of the profile of free organic acids in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) of various varieties. *Chemistry of plant raw material*. 2021;4:231–240. (In Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.2021049215.
9. Chistyakova A. S., Gudkova A. A., Slivkin A. I., Chupandina E. E. Study of organic acids profile of genus *Persicaria* Mill. species. *Pharmacy & Pharmacology*. 2022;10(1):44–54. DOI: 10.19163/2307-9266-2022-10-1-44-54.
10. Trineeva O. V., Slivkin A. I. Study of the carbohydrate complex of fruits of sea buckthorn of various methods. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2020;2:91–98. (In Russ.)
11. Trineeva O. V. Comparative Characteristics of Sugar Determination by Different Methods in Leaves of Nettle. *Drug development & registration*. 2020;9(2):91–97. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2020-9-2-91-97.
12. Nikiforova E. B., Shevchenko A. I., Hochava M. R., Dorkina E. G. Study of the chemical composition and antioxidant activity of the dry extract of of the *Eupatorium cannabinum* herb. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2023;25(1):18–23. (In Russ.) DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-1.
13. Przybylska A., Gackowski M., Koba M. Application of capillary electrophoresis to the analysis of bioactive compounds in herbal raw materials. *Molecules*. 2021;26(8):2135. DOI: 10.3390/molecules26082135.
14. Gackowski M., Przybylska A., Kruszewski S., Koba M., Mądra-Gackowska K., Bogacz A. Recent applications of capillary electrophoresis in the determination of active compounds in medicinal plants and pharmaceutical formulations. *Molecules*. 2021;26(14):4141. DOI: 10.3390/molecules26144141.
15. Li Z., Wu Q., Zhang X., Chen G. Advances in the Applications of Capillary Electrophoresis to Tobacco Analysis. *Current Analytical Chemistry*. 2023;19(1):77–99. DOI: 10.2174/1573411018666220927094137.
16. Chase M. W., Christenhusz M. J. M., Fay M. F., Byng J. W., Judd W. S., Soltis D. E., Mabberley D. J., Sennikov A. N., Soltis P. S., Stevens P. F. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1–20. DOI: 10.1111/boj.12385.
17. De Santis D., Carbone K., Garzoli S., Laghezza Masci V., Turchetti G. Bioactivity and chemical profile of *Rubus idaeus* L. leaves steam-distillation extract. *Foods*. 2022;11(10):1455. DOI: 10.3390/foods11101455.

REFERENCES

1. Komarova N. V., Kamentsev Ya. S. Practical guide to the use of capillary electrophoresis systems "Kapel". St. Petersburg: LLC "Veda"; 2008. 212 p. (In Russ.)
2. Vinogradova A. K., Ofitcerov E. N. Determination of nicotine in natural raw materials by electrophoresis. *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*. 2020;34(7):56–57. (In Russ.)
3. Abdullayeva M. U., Khalilova N. Sh., Olimov N. K., Sidametova Z. E., Khamidullaev Sh. A. Investigation of narcotic drugs based on opium poppy by capillary electrophoresis. *Journal of Modern Educational Achievements*. 2024;6(6):34–41. (In Russ.)
4. Hochava M. R., Onbysh T. E. Study of the amino acid composition of bi-color lespedesia growing in the Krasnodar region. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2023;25(8):34–40. (In Russ.) DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-8.

18. Lopez-Corona A.V., Valencia-Espinosa I., González-Sánchez F.A., Sánchez-López A.L., Garcia-Amezquita L.E., Garcia-Varela R. Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of phenolic compound family extracted from raspberries (*Rubus idaeus*): A general review. *Antioxidants*. 2022;11(6):1192. DOI: 10.3390/antiox11061192.
19. Ispiryan A., Atkociuniene V., Makstutiene N., Sarkinas A., Salaseviciene A., Urbonaviciene D., Viskelis J., Pakeltiene R., Raudone L. Correlation between Antimicrobial Activity Values and Total Phenolic Content/Antioxidant Activity in *Rubus idaeus* L. *Plants*. 2024;13(4):504. DOI: 10.3390/plants13040504.
20. Garjonyte R., Budiene J., Labanauskas L., Judzentiene A. In vitro antioxidant and prooxidant activities of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) stem extracts. *Molecules*. 2022;27(13):4073. DOI: 10.3390/molecules27134073.
21. Chaves V.C., Soares M.S.P., Spohr L., Teixeira F., Vieira A., Constantino L.S., Dal Pizzol F., Lencina C.L., Spanevello R.M., Freitas M.P., Simões C.M.O., Reginatto F.H., Stefanello F.M. Blackberry extract improves behavioral and neurochemical dysfunctions in a ketamine-induced rat model of mania. *Neuroscience Letters*. 2020;714:134566. DOI: 10.1016/j.neulet.2019.134566.
22. Paczkowska-Walendowska M., Gościński A., Szymanowska D., Szwajgier D., Baranowska-Wójcik E., Szulc P., Dreczka D., Simon M., Cielecka-Piontek J. Blackberry Leaves as New Functional Food? Screening Antioxidant, Anti-Inflammatory and Microbiological Activities in Correlation with Phytochemical Analysis. *Antioxidants*. 2021;10(12):1945. DOI: 10.3390/antiox10121945.
23. Veličković I., Grujić S., Džamić A., Krivošej Z., Marin P.D. In vitro antioxidant activity of dewberry (*Rubus caesius* L. var. *aquaticus* Weihe. & Nees.) leaf extracts. *Archives of Biological Sciences*. 2015;67(4):1323–1330. DOI: 10.2298/ABS150414109V.
24. Hering A., Stefanowicz-Hajduk J., Hałas R., Olech M., Nowak R., Kosiński P., Ochocka J.R. Polyphenolic Characterization, Antioxidant, Antihyaluronidase and Antimicrobial Activity of Young Leaves and Stem Extracts from *Rubus caesius* L. *Molecules*. 2022;27(19):6181. DOI: 10.3390/molecules27196181.
25. Whaley A.K., Ponkratova A.O., Orlova A.A., Serebryakov E.B., Smirnov S.N., Proksh P., Ionov N.S., Poroikov V.V., Luzhanin V.G. Phytochemical analysis of polyphenol secondary metabolites in cloudberry (*Rubus Chamaemorus* L.) leaves. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021;55:253–258. DOI: 10.1007/s11094-021-02407-y.
26. Faleva A.V., Ul'yanovskii N.V., Onuchina A.A., Falev D.I., Kosyakov D.S. Comprehensive characterization of secondary metabolites in fruits and leaves of cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.). *Metabolites*. 2023;13(5):598. DOI: 10.3390/metabo13050598.
27. Ilin M.B., Sergunova E.V. The composition and content of some vitamins in the leaves of European dewberry (*Rubus caesius* L.) and aqueous extracts based on them. *Pharmacy*. 2024;(3):33–37. (In Russ.) DOI: 10.29296/25419218-2024-03-05.
28. Strakh Ya.L., Ignatovets O.S. Chemical composition and biological activity of metabolites of *Rubus chamaemorus* L. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological serie*. 2022;67(3):321–331. (In Russ.) DOI: 10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331.
29. Matistov N.V., Valuiskikh O.E., Shirshova T.I. Chemical composition and micronutrient content in cloudberry fruits (*Rubus chamaemorus* L.) in the European North-East of Russia. *Izvestiya Komi nauchnogo centra URO RAN*. 2012;1(9):41–45. (In Russ.)
30. Zhdanova E.V. Fruit of raspberry *Rubus idaeus* L. as a source of functional ingredients. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(1):5–14. (In Russ.) DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-5-14.