

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММЫ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ

А.В. Счастливая, О.В. Мушкина

УО «Белорусский государственный медицинский университет» (Минск, Республика Беларусь)

Для цитирования: Счастливая А.В., Мушкина О.В. Количественное определение суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях голубики высокорослой. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2025;25(4):72-79. DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP695016>

■ Сведения об авторах

*Счастливая Анна Витальевна – ассистент кафедры организации фармации с курсом повышения квалификации и переподготовки.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4599-1467> E-mail: anna.schastnaya.schastnaya@mail.ru

Мушкина О.В. – канд. фарм. наук, доцент, заведующая кафедрой организации фармации.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3397-1220> E-mail: olga7081@tut.by

*Автор для переписки

Получено: 27.10.2025

Одобрено: 06.11.2025

Опубликовано: 23.11.2025

■ Аннотация

Цель – разработка методик количественного определения суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях голубики высокорослой.

Материал и методы. Объектом исследования являлись высушенные и измельченные образцы листьев голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.). Количественную оценку суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид определяли спектрофотометрически с реактивом Folin – Ciocalteu (фосфорномолибденово-вольфрамовый реактив) и со спиртовым раствором алюминия хлорида соответственно. Измерения проводили в пяти независимых повторностях на одном образце сырья. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Solar PB2201.

Результаты. Подобраны оптимальные параметры экстракции суммы фенольных соединений и флавоноидов из листьев голубики высокорослой: экстрагент – 60% спирт этиловый, время экстракции – 50 минут, соотношение «сырье:экстрагент» – 1:100, степень измельченности – 355 мкм. Приведены оптимальные факторы протекания химических реакций взаимодействия ФС с реактивом Folin – Ciocalteu (время реакции – 50 минут, концентрация карбоната натрия – 5%, количество добавляемого реактива – 0,5 мл), флавоноидов со спиртовым раствором алюминия хлорида (время реакции – 50 минут, объем реактива – 2 мл). Разработаны и валидированы методики количественного определения суммы фенольных соединений и флавоноидов в пересчете на гиперозид в листьях голубики высокорослой методом спектрофотометрии. Относительная ошибка при доверительной вероятности 95% количественного определения суммы фенольных соединений – 1,90%, суммы флавоноидов – 3,24%. Содержание суммы ФС в листьях голубики высокорослой составляло в среднем – 20,45%, флавоноидов – 1,93%.

Заключение. Подобраны оптимальные условия экстракции суммы фенольных соединений и флавоноидов из листьев голубики высокорослой. Разработаны и валидированы методики количественного определения суммы фенольных соединений и флавоноидов в пересчете на гиперозид в листьях голубики высокорослой.

■ **Ключевые слова:** голубика высокорослая, *Vaccinium corymbosum* L., фенольные соединения, флавоноиды, спектрофотометрия, стандартизация.

■ **Конфликт интересов:** не заявлен.

QUANTITATIVE MEASUREMENT OF THE TOTAL PHENOLIC COMPOUNDS AND FLAVONOIDS IN Highbush BLUEBERRY LEAVES

Anna V. Schastnaya, Volha V. Mushkina

Belarusian State Medical University (Minsk, Republic of Belarus)

Citation: Schastnaya AV, Mushkina VV. Quantitative measurement of the total phenolic compounds and flavonoids in Highbush Blueberry leaves. *Aspirantskiy vestnik Povolzhiya*. 2025;25(4):72-79. DOI: <https://doi.org/10.35693/AVP695016>

■ Information about authors

*Anna V. Schastnaya – assistant of the Department of pharmacy organization with a course for advanced training and retraining.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4599-1467> E-mail: anna.schastnaya.schastnaya@mail.ru

Volha V. Mushkina – Cand. Sci. (Pharmacy), Associate professor, Head of the Department of Pharmacy Organization.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3397-1220> E-mail: olga7081@tut.by

*Corresponding Author

Received: 27.10.2025

Accepted: 06.11.2025

Published: 23.11.2025

■ Abstract

Aim – develop methods for the quantitative measurement of total phenolic compounds and flavonoids in highbush blueberry leaves.

Material and methods. Dried and crushed highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) leaf samples were used in the study. Total phenolic compounds and flavonoids, expressed as hyperoside, were determined spectrophotometrically using Folin - Ciocalteu (phosphomolybdenum tungsten reagent) and an alcoholic aluminum chloride solution, respectively. Measurements were performed in five independent replicates on a single raw material sample. Optical density was measured using a Solar PB2201 spectrophotometer.

Results. The optimal parameters for the extraction of total phenolic compounds and flavonoids from highbush blueberry leaves were selected: extractant – 60% ethyl alcohol, extraction time – 50 minutes, raw “material:extractant” ratio – 1:100, grinding degree – 355 μm . The optimal factors for the chemical reactions of the interaction of phenolic compounds with the Folin-Ciocalteu reagent (reaction time – 50 minutes, sodium carbonate concentration – 5%, amount of added reagent – 0.5 ml), flavonoids with an alcoholic solution of aluminum chloride (reaction time – 50 minutes, reagent volume – 2 ml) are presented. Methods for the quantitative determination of the total phenolic compounds and flavonoids calculated as hyperoside in highbush blueberry leaves by spectrophotometry were developed and validated. The relative error at 95% confidence level for the quantitative determination of total phenolic compounds was 1.90%, and total flavonoids was 3.24%. The average phenolic content in highbush blueberry leaves was 20.45%, while the flavonoid content was 1.93%.

Conclusion. Optimal conditions for extracting total phenolic compounds and flavonoids from highbush blueberry leaves were selected. Methods for quantitatively determining the total phenolic compounds and flavonoids expressed as hyperoside in highbush blueberry leaves were developed and validated.

- **Keywords:** highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L., phenolic compounds, flavonoids, spectrophotometry, standardization.
- **Conflict of interest:** nothing to disclose.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к лекарственным средствам и биологически активным добавкам, полученным путем полной или частичной переработки лекарственного растительного сырья, обусловлен такими их преимуществами, как относительная безопасность, комплексное воздействие на органы и системы человеческого организма, широкий спектр фармакологического действия, возможность длительного применения, ценовая доступность. Поэтому является актуальной разработка новых лекарственных препаратов на основе лекарственного растительного сырья [1, 2].

Голубика высокорослая (*Vaccinium corymbosum* L.) – ягодный ветвистый кустарник семейства *Ericaceae*, широко культивируемый на всей территории Республики Беларусь. Данный вид существенно отличается от дикорастущего вида – голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*), превосходя ее по высоте кустарника, урожайности и вкусовым качествам плодов [3]. Фармакологические свойства голубики обуславливаются высокой способностью к накоплению фенольных соединений (антоцианов, флавоноидов, процианидинов, гидроксикоричных кислот) и аддитивным взаимодействием биологически активных веществ. В традиционной медицине голубика применяется для лечения сахарного диабета и его осложнений, заболеваний сердечно-сосудистой системы, снижения артериального давления, восстановления зрительной функции [4–6].

Постоянный рост спроса на плоды голубики привел к увеличению объемов культивирования растения в промышленных масштабах не только на территории Республики Беларусь, но и во всем мире. Большое разнообразие сортов, в том числе и голубики высокорослой с устойчивостью к морозам до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, делает возможным и выгодным ее культивирование в условиях Республики Беларусь. Разработан отраслевой технологический регламент производства голубики высокорослой с расчетной урожайностью 7–10 т/га [7–9].

Листья голубики высокорослой являются побочным продуктом переработки с большой сырьевой массой и могут служить альтернативным источником биологически активных веществ для разработки новых растительных биологически активных добавок антидиабетического

действия, что повысит экономическую эффективность процесса культивирования. Однако в Республике Беларусь не разработана нормативная документация для стандартизации листьев голубики высокорослой, что объясняет актуальность изучения данного растения.

Одним из этапов стандартизации является изучение химического состава и разработка методик количественного определения (КО) биологически активных веществ [10]. Преимуществами спектрофотометрического метода определения суммы фенольных соединений (ФС) и флавоноидов являются простота, доступность, достаточно высокая воспроизводимость и возможность модифицирования метода [11, 12].

ЦЕЛЬ

Разработка методик количественного определения суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях голубики высокорослой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись листья голубики высокорослой, заготовленные в августе 2024 года. Сбор осуществлялся в сухую погоду, после схода росы. Сушка листьев проводилась воздушно-теневым способом при комнатной температуре в хорошо вентилируемых помещениях без доступа прямых солнечных лучей.

Количественную оценку действующих веществ в листьях голубики высокорослой проводили по суммарному содержанию ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид, так как данные группы биологически активных веществ являются основными в исследуемом сырье. Содержание суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид определяли спектрофотометрически с реактивом Folin – Ciocalteu (фосфорномолибденово-вольфрамовый реактив) и с 2% спиртовым раствором алюминия хлорида соответственно.

Измерения проводили в пяти независимых повторностях на одном образце сырья. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Solar PB2201.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выбора оптимальных условий экстрагирования было последовательно определено влияние на полноту извлечения суммы ФС и флавоноидов из листьев голубики высокорослой следующих факторов: концентрация этанола (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 96%); время нагревания на водяной бане (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 минут); соотношение «сырье:экстрагент» (1:20, 1:30, 1:40, 1:50, 1:100); степень измельченности (180, 355, 500, 1400, 2000, 5000 мкм).

На первом этапе изучали зависимость полноты извлечения суммы ФС и флавоноидов из листьев голубики высокорослой от концентрации спирта (рисунок 1).

Использование в качестве экстрагента 10% и 60% спирта этилового обеспечивало максимальное извлечение суммы ФС (10% – 17,56±0,16%, 60% – 18,05±0,61%) и флавоноидов (10% – 2,57±0,16%, 60% – 2,73±0,11%). Не выявлено статистически достоверных отличий ($p < 0,05$) между содержанием ФС и флавоноидов в извлечениях, полученных путем экстракции спиртом 10% и 60%: $t_{\text{эксп}} < t_{\text{крит}}$; $t_{\text{крит}} (P=0,95; v=8) = 2,31$, $t_{\text{эксп}} = 1,50$ для суммы ФС и $t_{\text{эксп}} = 0,20$ для суммы флавоноидов. Однако этанол в низких концентрациях в растворах катализирует процессы гидролиза, окисления и не проявляет антимикробную активность, поэтому такие извлечения менее стабильны и имеют ограниченный срок хранения. Исходя из этого, в разработанной методике количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой в качестве экстрагента использовали 60% спирт этиловый.

На втором этапе исследования изучали влияние продолжительности экстракции на извлечение суммы ФС и флавоноидов из листьев голубики высокорослой (рисунок 2).

Из рисунка видно, что с увеличением продолжительности экстракции наблюдалось увеличение содержания ФС и флавоноидов в получаемых извлечениях, при этом максимальная экстракция биологически активных веществ достигалась к 50 минуте (ФС – 21,74±0,24%, флавоноидов – 2,89±0,37%). Дальнейшее увеличение продолжительности приводило к снижению эффективности экстракции. На основании этого в разработанной методике количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики проводили экстракцию в течение 50 минут.

На третьем этапе изучали зависимость содержания суммы ФС и флавоноидов в извлечениях от соотношения массы сырья к объему экстрагента (рисунок 3).

Максимальное содержание суммы ФС и флавоноидов наблюдалось при соотношении сырья и экстрагента 1:100 (ФС – 20,74±0,72; флавоноиды – 3,43±0,18). Минимум экстракции наблюдался при соотношении «сырье:экстрагент» 1:10 (10,78±0,57% для ФС, 1,56±0,09% для флавоноидов). Такой характер экстракции можно объяснить тем, что ограниченный объем растворителя обеспечивал недостаточную степень сольватации и диффузии действующих веществ в экстрагент. В дальнейшем анализе использовали соотношение «сырье:экстрагент» 1:100.

Результаты изучения влияния степени измельченности порошка листьев голубики высокорослой на эффективность экстракции суммы ФС и флавоноидов представлены

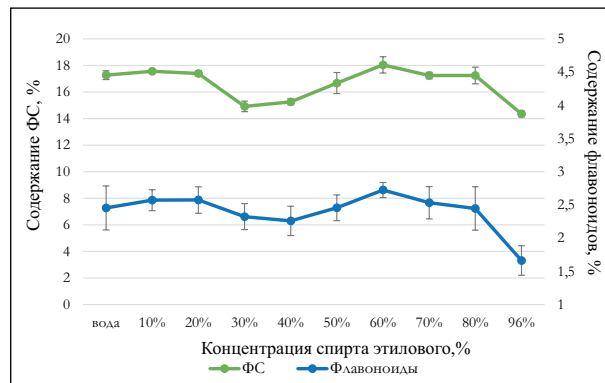


Рисунок 1. Содержание суммы ФС и флавоноидов в спиртовых извлечениях из листьев голубики высокорослой.

Figure 1. The content of total PCs and flavonoids in alcoholic extracts from highbush blueberry leaves.

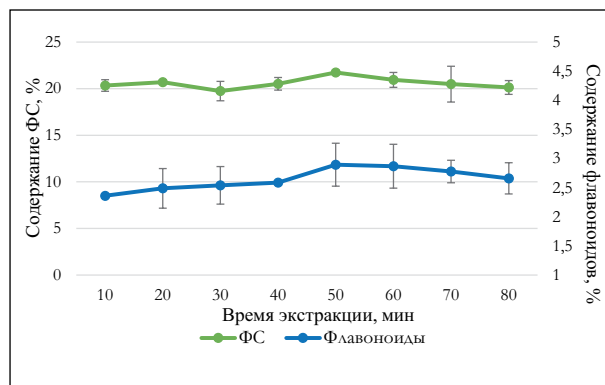


Рисунок 2. Зависимость содержания суммы ФС и флавоноидов в получаемых извлечениях от времени экстракции.

Figure 2. Dependence of the content of total PCs and flavonoids in the obtained extracts on the extraction time.

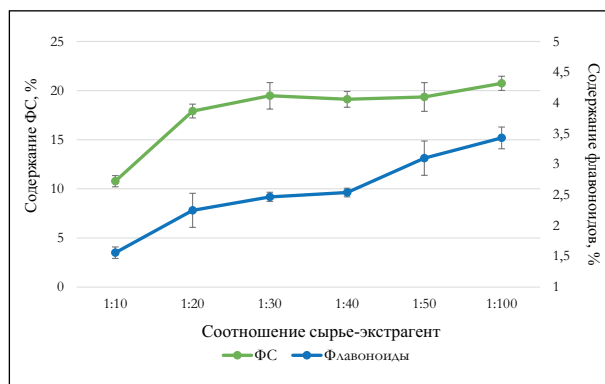


Рисунок 3. Влияние соотношения массы сырья к объему экстрагента на извлечения суммы ФС и флавоноидов из листьев голубики высокорослой.

Figure 3. The influence of the ratio of raw material mass to extractant volume on the extraction of the total PCs and flavonoids from highbush blueberry leaves.

на рисунке 4 (четвертый этап подбора оптимальных условий экстракции).

Из графика видно, что с уменьшением размера частиц наблюдается увеличение содержания суммы ФС и флавоноидов в получаемых извлечениях. Максимальный выход

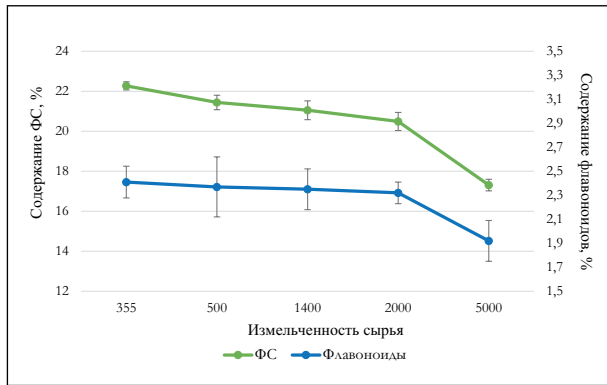


Рисунок 4. Зависимость полноты экстракции суммы ФС и флавоноидов от степени измельченности порошка листьев голубики высокорослой.

Figure 4. Dependence of the completeness of extraction of the total PCs and flavonoids on the degree of grinding of highbush blueberry leaf powder.

суммы ФС и флавоноидов наблюдался при использовании сырья, состоящего из частиц, проходящих сквозь сито (355 мкм) (ФС – $22,27 \pm 0,20\%$, флавоноиды – $2,41 \pm 0,13\%$), что связано с большей площадью соприкосновения частиц твердой фазы с растворителем и более интенсивным протеканием процесса диффузии действующих веществ из измельченного сырья. Использование порошка сырья с меньшей степенью измельченности для аналитических целей нежелательно вследствие образования устойчивой суспензии. Исходя из этого, в разработанных методиках количественного определения ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой использовали порошок сырья, состоящего из частиц, проходящих сквозь сито (355 мкм).

Таким образом, в качестве оптимальных условий для количественного определения суммы ФС и флавоноидов из листьев голубики высокорослой были выбраны следующие: экстрагент – этиловый спирт 60%; время экстракции – 50 минут; соотношение «сырье:экстрагент» – 1:100; степень измельчения сырья – 355 мкм.

При подборе оптимальных факторов проведения реакции комплексообразования ФС с реактивом Folin – Ciocalteu (фосфорномолибденово-вольфрамовым) и флавоноидов с 2% раствором алюминия хлорида установили влияние объема добавляемого реактива, времени протекания реакции, концентрации раствора натрия карбоната (для ФС) на значения оптической плотности системы.

Установили «точку насыщения» – минимальный промежуток времени, за который достигнуто максимальное значение оптической плотности (рисунок 5).

Максимальное значение оптической плотности наблюдалось через 50 минут после начала реакции и оставалось стабильным в течение последующих 30 минут, что указывало на стабильность продуктов реакции и полное вступление ФС во взаимодействие с реактивом Folin – Ciocalteu и флавоноидов с раствором алюминия хлорида. Поэтому в разработанных методиках количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой оптическую плотность анализируемых растворов измеряли через 50 минут после их приготовления.

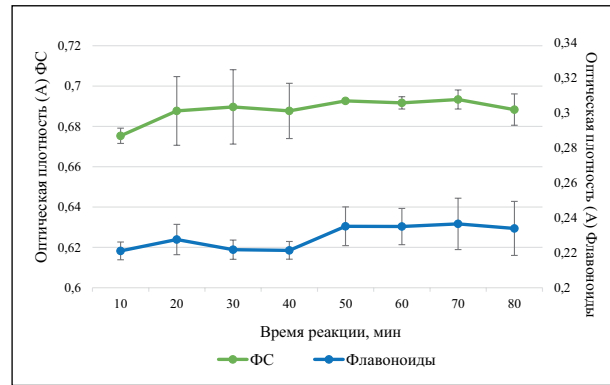


Рисунок 5. Влияние времени протекания реакции на значение оптической плотности (А).

Figure 5. The effect of reaction time on the optical density value (A).

Установили влияние объема добавляемого реактива Folin – Ciocalteu, а также концентрации раствора натрия карбоната на значение оптической плотности получаемых растворов (таблица 1).

Из таблицы видно, что при добавлении к определенному объему исследуемого образца 0,5 мл и более реактива Folin – Ciocalteu значение оптической плотности практически не изменялось, что указывало на полное вступление ФС во взаимодействие с реактивом. Поэтому данный объем реактива будет использован в дальнейшем для количественного определения суммы ФС в листьях голубики высокорослой.

Оптимальным для протекания реакции взаимодействия ФС с реактивом Folin – Ciocalteu является использование 5% раствора натрия карбоната, увеличение его концентрации приводило к снижению оптической плотности. Поэтому в методике количественного определения суммы ФС в листьях голубики использовали 5% раствор натрия карбоната.

Установили минимальный объем 2% спиртового раствора алюминия хлорида, который необходим

Таблица 1 / Table 1

Условия реакции комплексообразования суммы ФС из листьев голубики высокорослой с реактивом Folin – Ciocalteu

Conditions of the reaction of complexation of the total PCs from highbush blueberry leaves with the Folin-Ciocalteu reagent

Испытуемый параметр	Значение оптической плотности (А)
Концентрация раствора натрия карбоната, %	0,597 ± 0,07
	0,701 ± 0,02
	0,642 ± 0,01
	0,637 ± 0,05
	0,635 ± 0,05
	0,635 ± 0,05
Объем реактива Folin – Ciocalteu, мл	0,458 ± 0,05
	0,605 ± 0,06
	0,627 ± 0,03
	0,651 ± 0,07
	0,697 ± 0,09
	0,682 ± 0,08
	0,669 ± 0,03
	0,669 ± 0,03

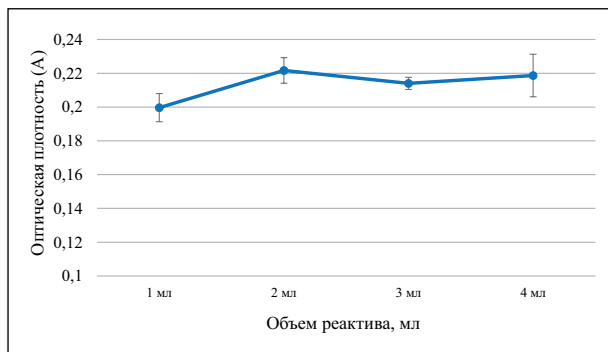


Рисунок 6. Влияние объема добавляемого раствора алюминия хлорида на значение оптической плотности (А).

Figure 6. Effect of the volume of added aluminum chloride solution on the optical density value (A).

для взаимодействия всех флавоноидов в извлечении из листьев голубики высокорослой (**рисунок 6**).

Максимальное значение оптической плотности наблюдалось при добавлении 2,0 мл 2% раствора алюминия хлорида к реакционной смеси. При дальнейшем увеличении объема реактива значение оптической плотности практически не изменялось, что указывало на полное вступление флавоноидов во взаимодействие с реактивом. Поэтому в разработанной методике количественного определения флавоноидов из листьев голубики использовали 2,0 мл 2% раствора алюминия хлорида.

Таким образом, подобраны оптимальные условия проведения реакции комплексообразования, обеспечивающие максимально полное вступление ФС во взаимодействие с реактивом Folin – Ciocalteu и флавоноидов с раствором алюминия хлорида: время реакции – 50 минут, концентрация раствора натрия карбоната – 5%, объем реактива Folin – Ciocalteu – 0,5 мл, объем 2% спиртового раствора алюминия хлорида – 2 мл.

После подбора оптимальных условий экстракции и проведения реакции комплексообразования ФС с реактивом Folin – Ciocalteu и флавоноидов с раствором алюминия

хлорида для стандартизации листьев голубики высокорослой предложены методики количественного определения суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид (**таблица 2**).

Концентрацию суммы ФС и флавоноидов в испытуемом растворе (мг/мл) в пересчете на гиперозид определяли по градуировочному графику.

Построение градуировочного графика. 0,01 г гиперозид в пересчете на сухое вещество помещали в мерную колбу вместимостью 10 мл и растворяли в этиловом спирте 60%, доводили объем раствора этиловым спиртом 60% до метки. Из исходного раствора готовили ряд разведений с концентрацией гиперозидов 0,75 мг/мл, 0,5 мг/мл, 0,25 мг/мл, 0,125 мг/мл. Для количественного определения суммы ФС в мерные колбы отбирали по 0,1 мл полученных растворов, для количественного определения суммы флавоноидов – по 1 мл. Далее проводили реакции комплексообразования в соответствии с методиками, приведенным выше.

По результатам измерения оптической плотности растворов строили градуировочный график, откладывая на оси абсцисс концентрацию гиперозидов в мг/мл, на оси ординат – оптическую плотность раствора (**рисунок 7**).

Содержание суммы ФС или флавоноидов (X, %) в пересчете на гиперозид и на абсолютно сухое сырье в листьях голубики высокорослой вычисляли по формуле 1:

$$X = \frac{C \cdot V \cdot 10}{m \cdot (100 - W)}, \quad (1)$$

где C – содержание ФС или флавоноидов в пересчете на гиперозид, найденное по градуировочному графику, мг/мл; V – объем полученного экстракта, мл; m – масса навески испытуемого сырья, г; W – потеря в массе при высушивании, %.

Следующим этапом разработки методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой являлось проведение валидации в соответствии с требованиями ГФ РБ II издание, том 1 (статья № 5.3.2) по следующим показателям: линейность, точность (по критериям сходимость (повторяемость),

Таблица 2 / Table 2

**Методики количественного определения суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид
Methods for quantitative determination of the total PCs and flavonoids in terms of hyperoside**

	КО суммы ФС	КО суммы флавоноидов
Получение извлечения из листьев голубики высокорослой	1,000 г измельченных листьев голубики (355 мкм) помещают в круглодонную колбу со шлифом вместимостью 200 мл, прибавляют 100 мл 60% спирта этилового. Колбу присоединяют к обратному холодильнику и нагревают на кипящей водяной бане в течение 50 минут, периодически встряхивая для смывания частиц сырья со стенок. Колбу с содержимым охлаждают до комнатной температуры и фильтруют (раствор А).	
Испытуемый раствор	В мерную колбу вместимостью 25 мл помещают 0,1 мл раствора А, прибавляют 0,5 мл реактива Folin – Ciocalteu, 10 мл воды очищенной и доводят объем раствора до метки 5% раствором натрия карбоната.	В мерную колбу вместимостью 25 мл помещают 1 мл полученного извлечения, прибавляют 2 мл 2% спиртового раствора алюминия хлорида, 1 каплю кислоты уксусной разведенной и доводят объем раствора спиртом этиловым 60% до метки.
Компенсационный раствор	В мерную колбу объемом 25 мл помещают 0,5 мл реактива Folin – Ciocalteu, 10 мл воды очищенной и доводят объем раствора до метки 5% раствором натрия карбоната.	В колбу объемом 25 мл помещают 1 мл извлечения, каплю раствора уксусной кислоты разбавленной и доводят до 25 мл этиловым спиртом (60%).
Время реакции	50 минут	50 минут
Длина волны	710 нм	410 нм

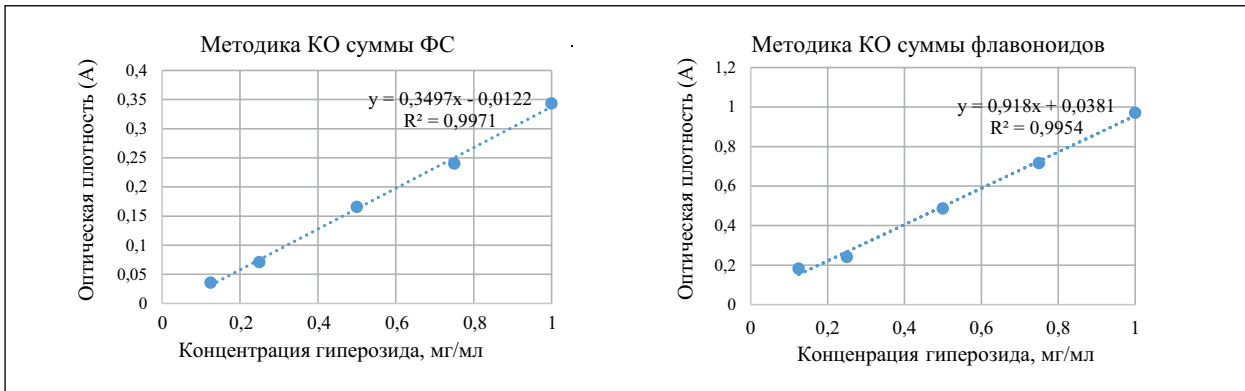


Рисунок 7. Градуировочный график по гиперозиду для количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой.

Figure 7. Calibration graph for hyperoside for quantitative determination of the total PCs and flavonoids in highbush blueberry leaves.

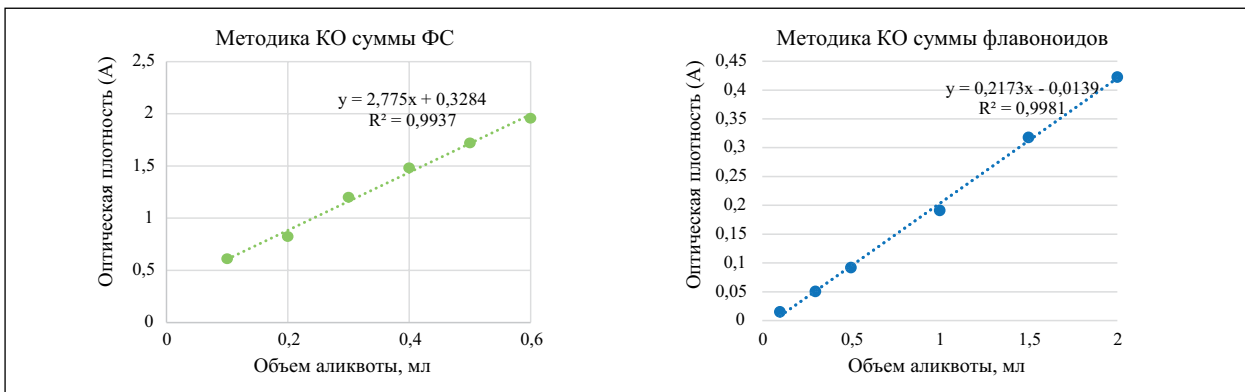


Рисунок 8. Валидация методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов по показателю линейности.

Figure 8. Validation of methods for quantitative determination of the amount of PCs and flavonoids based on the linearity indicator.

внутрилабораторная точность), правильность, робастность.

Линейность методики определяли путем трехкратного построения градуировочного графика. Растворы готовили путем увеличения аликвоты экстракта от 0,1 мл до 2 мл (рисунок 8).

Градуировочные графики для обеих методик линейны. При расчете параметров линейной зависимости для методики количественного определения ФС установлено, что $S_0^2 = 0,02$ статистически значимо не отличалось ($F_{\text{экс}} < F_{\text{крит}}$; $F_{\text{крит}} (P=0,95; \nu=2) = 18,51$ и $F_{\text{экс}} = 3,20$) от $S_y^2 = 0,06$, для методики количественного определения флавоноидов – $S_0^2 = 0,001$ статистически значимо не отличалось ($F_{\text{экс}} < F_{\text{крит}}$;

$F_{\text{крит}} (P=0,95; \nu=2) = 18,51$ и $F_{\text{экс}} = 11,87$) от $S_y^2 = 0,017$. Полученные данные указывали на адекватность обработки данных с помощью уравнений, приведенных на рисунке 8.

Точность методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой оценивали на двух уровнях: сходимость и внутрилабораторная точность.

Сходимость результатов количественного определения была установлена на основании анализа одного образца сырья в десяти независимых повторностях (таблица 3).

Из таблицы 3 следует, что относительная ошибка при доверительной вероятности 95% составляла $\pm 1,90\%$ и $\pm 3,24\%$ при количественном определении суммы ФС и флавоноидов

Таблица 3 / Table 3

Метрологические характеристики методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид в листьях голубики высокорослой
Metrological characteristics of methods for quantitative determination of the total PCs and flavonoids in terms of hyperoside in highbush blueberry leaves

КО суммы ФС								
\bar{X} , %	n	S^2	S	$S_{\bar{x}}$	S_r	t (P, ν)	$\Delta \bar{x}$	$\bar{\xi}$, %
20,45	10	0,27	0,52	0,17	0,03	2,26	$\pm 0,39$	$\pm 1,90$
КО суммы флавоноидов								
\bar{X} , %	n	S^2	S	$S_{\bar{x}}$	S_r	t (P, ν)	$\Delta \bar{x}$	$\bar{\xi}$, %
1,93	10	0,02	0,10	0,03	0,05	2,26	$\pm 0,08$	$\pm 3,24$

Таблица 4 / Table 4

Внутрилабораторная точность методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов
Intralaboratory accuracy of methods for quantitative determination of the total PCs and flavonoids

КО	Фактор	S	RSD, %	$\Delta \bar{x}$
Сумма ФС	1	0,23	1,18	0,18
	2	0,25	1,27	0,19
Сумма флавоноидов	1	0,07	0,97	0,05
	2	0,10	1,56	0,08

Таблица 5 / Table 5

Правильность методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов (P = 0,95; n = 3)
The accuracy of the methods for quantitative determination of the total PCs and flavonoids (P = 0.95; n = 3)

БАВ	Содержание БАВ в получаемом извлечении, мг/мл	Добавлено гиперозид, мг/мл	Обнаружено БАВ, мг/мл	Обнаружено, %	Воспроизводимость (RSD, %)
Сумма ФС	1,94	0,1	2,10	103	4,1
	1,94	0,3	2,20	98	1,75
	1,94	0,5	2,47	100	2,32
Сумма флавоноидов	0,18	0,1	0,29	103	3,36
	0,18	0,3	0,43	90	3,74
	0,18	0,5	0,64	94	3,05

соответственно. В связи с этим разработанные методики позволяли с высокой точностью определить содержание суммы ФС и флавоноидов в листьях голубики высокорослой.

При определении внутрилабораторной точности оценивали влияние проведения анализов в разные дни в течение пяти рабочих дней (фактор 1), замены аналитиков (фактор 2) на результаты количественного определения суммы ФС и флавоноидов (таблица 4).

Из таблицы 4 видно, что относительное стандартное отклонение менее 5%, исходя из этого существенных различий по воспроизводимости методик не обнаружено.

Методом стандартных добавок (стандартный образец гиперозида) оценивали правильность методик количественного определения суммы ФС и флавоноидов (таблица 5).

Из таблицы 5 следует, что разработанные методики соответствовали установленному критерию приемлемости – 85–115%.

Методики количественного определения суммы ФС и флавоноидов по показателю робастность оценивали путем изменения концентрации спирта этилового (60±5%), времени экстракции (50±5 мин) и протекания реакции (50±5 мин). При измерении оптической плотности до и после изменения указанных параметров статистически

значимых различий в полученных результатах выявлено не было (100±5% отн.).

Выводы

1. Подобраны оптимальные условия экстракции суммы фенольных соединений и флавоноидов из листьев голубики высокорослой (экстрагент – 60% спирт этиловый, время экстракции – 50 минут, соотношение «сырье:экстрагент» – 1:100, степень измельченности – 355 мкм) и оптимальные факторы протекания химических реакций взаимодействия ФС с реактивом Folin – Ciocalteu (время реакции – 50 минут, концентрация карбоната натрия – 5%, количество добавляемого реактива – 0,5 мл), флавоноидов с 2% спиртовым раствором алюминия хлорида (время реакции – 50 минут, объем реактива – 2 мл).

2. Разработаны и валидированы методики количественного определения суммы ФС и флавоноидов в пересчете на гиперозид в листьях голубики высокорослой. Содержание ФС составляло в среднем – 20,45%, флавоноидов – 1,93%. Относительная ошибка при доверительной вероятности 95% КО суммы ФС ±1,90%, суммы флавоноидов ±3,24%.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Evdokimova OV, Alekseeva AS. New types of medicinal plant materials in the Russian pharmacopoeia: nomenclature and quality requirements (review). *Regulatory research and examination of drugs*. 2025;15(3):357-364. [Евдокимова О.В., Алексеева А.С. Новые виды лекарственного растительного сырья в российской фармакопее: номенклатура и требования к качеству (обзор). *Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2025;15(3):357-364]. DOI: <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2025-15-3-357-364>
2. Dzholimbetov ON, Shynybekova D. The role of medicinal plants in human life. *Theory and practice of modern science*. 2019;12(54):108-110. (In Russ.). [Джолымбетов О.Н., Шыныбекова Д. Роль лекарственных растений в жизни человека. *Теория и практика современной науки*. 2019;12(54):108-110].
3. Radkevich TV. Current state and development trends of blueberry crops. *Fruit growing*. 2022;34:211-219. [Радкевич Т.В. Современное состояние и тенденции развития культуры голубики. *Плодоводство*. 2022;34:211-219]. DOI: [10.47612/0134-9759-2022-34-211-219](https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-211-219)

4. Moroz DS, Prikhodko SL. Features of the qualitative composition of fruits of highbush blueberry *Vaccinium Corymbosum* (Linnaeus, 1753) and marsh blueberry *Vaccinium Uliginosum* (Linnaeus, 1753) in the conditions of the Belarusian Polesia. *Bulletin of BarsU*. 2021;10(1-2):102-108. (In Russ.). [Мороз Д.С., Приходько С.Л. Особенности качественного состава плодов голубики высокорослой *Vaccinium Corymbosum* (Linnaeus, 1753) и топяной *Vaccinium Uliginosum* (Linnaeus, 1753) в условиях Белорусского Полесья. *Вестник БарГУ*. 2021;10(1-2):102-108].
5. Lazarev AS, Klyuzova AV, Ruchkina AG, et al. Composition and antioxidant properties of extracts from highbush blueberry leaves (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chemistry of Plant Materials*. 2019;4:223-232. [Лазарев А.С., Кляузова А.В., Ручкина А.Г., и др. Состав и антиоксидантные свойства экстрактов из листьев голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.). *Химия растительного сырья*. 2019;4: 223-232]. DOI: [10.14258/jcprm.2019045498](https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045498)
6. Pavlovsky N. Economic efficiency of highbush blueberry cultivation technology in Belarus. *Agrarian Economics*. 2023;9:62-77. [Павловский Н. Экономическая эффективность технологии возделывания голубики высокорослой в Беларуси. *Аграрная экономика*. 2023;9:62-77]. DOI: [10.29235/1818-9806-2023-9-62-77](https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-9-62-77)
7. Drozd OV. Fruit set of highbush blueberries depending on varietal specificity and weather and climatic conditions. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022;1:70-80. [Дрозд О.В. Завязываемость плодов голубики высокорослой в зависимости от сортовой специфики и погодных-климатических условий. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2022;1:70-80]. DOI: [10.33581/2957-5060-2022-1-70-80](https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-1-70-80)
8. Sachivko TV. Evaluation of blueberry varieties in the collection nursery of the Botanical Garden of the UO BGSA. *Bulletin of BGSA*. 2018;3:107-110. (In Russ.). [Сачивко Т.В. Оценка сортов голубики в коллекционном питомнике Ботанического сада УО БГСХА. *Вестник БГСХА*. 2018;3:107-110].
9. Flurik EA, Bondarenko ZhV, Valoven NV. Obtaining a tincture from highbush blueberries and studying its effect on the properties of a cosmetic emulsion. *Forestry Journal*. 2018;6:160-169. [Флюрик Е.А., Бондаренко Ж.В., Валовень Н.В. Получение настойки из ягод голубики высокорослой и исследование ее влияния на свойства косметической эмульсии. *Лесной журнал*. 2018;6:160-169]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.6.160](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.160)
10. Kurkin VA. Relevant aspects of standardisation of plant raw materials and herbal medicinal products containing phenolic compounds. *Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*. 2022;12(2):127-141. [Куркин В.А. Актуальные аспекты стандартизации сырья и препаратов, содержащих фенольные соединения. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2022;12(2):127-141]. DOI: [10.30895/1991-2919-2022-12-2-127-141](https://doi.org/10.30895/1991-2919-2022-12-2-127-141)
11. Nikolaeva TN, Lapshin PV, Zagoskina NV. Method for determining the total content of phenolic compounds in plant extracts using the Folin - Denis reagent and the Folin - Ciocalteu reagent: modification and comparison. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021;2:291-299. [Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина – Дениса и реактивом Фолина – Чокальтеу: модификация и сравнение. *Химия растительного сырья*. 2021;2:291-299]. DOI: [10.14258/jcprm.2021028250](https://doi.org/10.14258/jcprm.2021028250)
12. Sorokina ON, Sumina EG, Petrakova AV, Barysheva SV. Spectrophotometric determination of total flavonoid content in herbal medicinal products. *News of the Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2013;13(3):8-11. (In Russ.). [Сорокина О.Н., Сумина Е.Г., Петракова А.В., Барышева С.В. Спектрофотометрическое определение суммарного содержания флавоноидов в лекарственных препаратах растительного происхождения. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2013;13(3):8-11].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Источник финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.	Study funding. The work was carried out on the initiative of the authors without attracting funding.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	Conflict of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the content of this article.
Участие авторов. Мушкина О.В. – разработка концепции исследования и руководство исследованием на всех его этапах. Счастливая А.В. – непосредственное проведение исследований. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	Contribution of individual authors. Mushkina V.V.: development of the research concept and management of research at all stages. Schastnaya A.V.: direct research. All authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work.
Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).	Statement of originality. No previously published material (text, images, or data) was used in this work.
Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.	Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.
Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.	Generative AI. No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.
Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали 2 внешних рецензента.	Provenance and peer review. This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved 2 external reviewers.