

УДК 66.061.34

## ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВОДНО-СПИРТОВОЙ СМЕСЬЮ ИЗ ПЛОДОВ *VACCINIUM VITIS-IDAEA* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ\*

© Л.Н. Серeda<sup>1\*\*</sup>, Н.С. Цветов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория медицинских и биологических технологий центра наноматериаловедения ФИЦ «Кольский научный центр РАН», ул. Ферсмана, 14, Апатиты, 184209, Россия, [sundukpandory87@mail.ru](mailto:sundukpandory87@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр РАН», ул. Ферсмана, 26а, Апатиты, 184209, Россия

Плоды брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – вечнозеленого кустарничка семейства вересковых (*Ericaceae* Juss.), произрастающего на всей территории Кольского полуострова, синтезируют значительное количество фенольных соединений с высоким антиоксидантным потенциалом, обуславливающее антиоксидантные, противоопухолевые, антибиотические и ряд других активностей, определяющих помимо их коммерческой еще и высокую фармакологическую ценность. Процесс полного экстрагирования полифенольных компонентов из сложной растительной матрицы требует разработки условий извлечения, направленных на максимальный массоперенос целевых компонентов с минимальной деструкцией соединений. В связи с перспективами использования плодов растений брусники в фармацевтической и косметологической отраслях в настоящей работе впервые проведена оптимизация условий метода ультразвуковой экстракции водно-спиртовой смесью при помощи однофакторного анализа и алгоритма Бокс-Бенкена. Определены кинетические параметры процесса экстрагирования, концентрация экстрагента и мощность ультразвукового воздействия. Установлены общее содержание полифенолов и антиоксидантной активности, а также степень ингибирования свободных радикалов. Отмечено низкое общее содержание флавоноидов. Получены оптимальные параметры проведения процесса экстрагирования, индуцирующие разработку технологий производства компонентов для использования в фармацевтической и косметологической отраслях.

*Ключевые слова:* *Vaccinium vitis-idaea* L., плоды, ультразвуковая экстракция, оптимизация, биологически активные вещества, Арктика.

---

**Для цитирования:** Серeda Л.Н., Цветов Н.С. Оптимизация метода ультразвуковой экстракции биологически активных соединений водно-спиртовой смесью из плодов *Vaccinium vitis-idaea* L., произрастающей на Кольском полуострове // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 292–300. DOI: 10.14258/jcprm.20240113108.

---

### Введение

Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – обильно плодоносящий вечнозеленый ягодный кустарничек, являющийся гипоарктическим лесным видом, произрастающий в естественных сообществах от тундровой зоны до подзоны средней тайги и распространенный на всей территории Кольского полуострова [1]. Плоды брусники, широко используемые в пищевой промышленности, обладают также рядом значимых терапевтических свойств, таких как антиоксидантные, противоопухолевые, нейропротекторные, противодиабетические, противоотечные, противовоспалительные, антибиотические, обусловленные содержанием антоцианов, проантоцианидинов, терпеноидов, фенольных кислот, флавонолов [2–4].

---

\* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20240113108s

\*\* Автор, с которым следует вести переписку.

Для извлечения биоактивных веществ используются различные растворители, такие как метиловый спирт [5], диэтиловый эфир [6], этилацетат [7], смеси метанола и муравьиной кислоты [8], ацетон [3] и хлороформ [4]. Выбор экстрагента влияет и на состав конечного экстракта и, соответственно, на его биологическую активность. С целью достижения наиболее полного выхода целевых веществ известны примеры использования различных методов экстракции, например, мацерации [4, 5, 7], ультразвуковой [3, 8] и микроволновой экстракции [9], а также экстракции в аппарате Сокслета [6].

Одним из наиболее перспективных методов экстракции, позволяющих сократить время процесса при достаточно низких энергозатратах, является метод ультразвуковой экстракции, основанный на образовании кавитационных пузырьков, схлопывание которых разрушает матрицу растительной клетки и способствует массопереносу целевых компонентов в экстрагент [10]. При этом выбор условий самой экстракции сильно влияет на ее эффективность. Так, во избежание деструкции фенольных соединений необходимо определять мощность ультразвукового воздействия, его продолжительность [11] и полярность экстрагента [12], для увеличения выхода целевых компонентов необходим выбор наиболее подходящего состава экстрагента, а также температуры, диаметра фракций растительного материала растительного и гидромодуля (соотношения массы растительного материала к объему экстрагента) [13, 14]. Однако на данный момент не достает комплексных исследований процессов экстракции биологически активных веществ из изучаемого растения.

Цель настоящей работы – проведение оптимизации условий ультразвуковой экстракции биологически активных веществ из плодов брусники обыкновенной с использованием водно-этанольных смесей.

### **Экспериментальная часть**

Объектами исследования служили плоды брусники обыкновенной, собранные в Мончегорском районе Мурманской обл. в III декаду августа 2022 г. (ВВСН 87). Регистрация фенологических фаз производилась по методике [15] с последующим переводом в международную шкалу ВВСН [16, 17].

Экстрагирование проводилось методом ультразвуковой экстракции в предварительно термостатированной ультразвуковой ванне VBS-3DP (Велитек, Россия) с частотой 40 кГц и мощностью 120 Вт, с дальнейшим центрифугированием в течение 5 мин в лабораторной центрифуге MiniSpin (Eppendorf, Германия) при 4000 об./мин.

Подготовка растительного материала включала в себя сушку на открытом воздухе и хранение в соответствии с [18], измельчение непосредственно перед проведением исследования и ситование. Для получения экстрактов использовалось растительное сырье, измельченное до величины фракций, проходящих сквозь сито с отверстиями размером 1, 2 и 3 мм.

Оптимизация условий экстрагирования состояла из трех этапов и производилась при помощи однофакторного анализа [19]. Первый этап включал в себя определение оптимальных продолжительности и кинетических параметров экстракции при температуре ( $T$ ) 45 °С, мощности ультразвукового воздействия – 50%, гидромодуле (отношении объема экстрагента к массе сухого растительного материала ( $w/v$ )) – 1 : 30 и диаметре ( $d$ ) фракций растительного материала – 2 мм. Для аппроксимации полученных данных по кинетике извлечения фенольных компонентов из плодов растений брусники было применено уравнение реакции второго порядка [20, 21], описывающее зависимость значения соответствующего параметра экстракта ( $Y_t$ ) от времени ( $t$ ) через константу скорости ( $k$ ,  $г\cdot м\epsilon^{-1}\cdot мин^{-1}$ ) и равновесное значение параметра экстракта ( $Y^{eq}$ ) путем линеаризации в координатах  $t/Y_t$  от  $t$ .

На втором этапе работы определялись оптимальная концентрация водно-спиртовой смеси с содержанием этилового спирта в диапазоне от 0 до 90 об.% и мощность ультразвукового воздействия – от 0 до 120 Вт.

На последнем этапе оптимизации для расчета оптимальных температуры экстракции, гидромодуля и диаметра фракции растительного материала был использован алгоритм Бокс-Бенкен (Box-Behnken experimental design (BBD)). Определяемые параметры и их уровни приведены в таблице 1.

Общее содержание полифенолов (total phenolic content (TPC)), флавоноидов (total flavonoid content (TFC)), антиоксидантной (total antioxidant activity (TAC)) и антирадикальной активности (free radical scavenging (FRS)), проводили в соответствии с [21], с выражением содержания экстрактивных веществ и их активностей в мг эквивалента галловой кислоты (GAE), рутина (RE), аскорбиновой кислоты (AAE) и в %, соответственно, на 1 г сухого растительного материала. Для показателей TAC, TFC использовались нативные экстракты, для TPC, FRS – разбавленные в 10 раз.

Оптическую плотность растворов измеряли на фотоколориметре КФК-3-01 (ЗОМЗ, Россия).

Таблица 1. Уровни и значения параметров экстракции биоактивных веществ для алгоритма Бокс-Бенкен

	-1	0	1
T, °C	30	45	60
v/m	10	30	50
d, мм	1	2	3

Все химические анализы проводились в 3-кратной повторности. Полученные данные представлены в виде средних значений  $\pm$  стандартное отклонение и в %. Статистическая значимость различий обсуждаемых результатов оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с последующим применением теста Тьюки при уровне значимости ( $p$ -value)  $\leq 0.05$ . Расчеты проводились в MS Excel 2021 (Microsoft, США). Обработка данных оптимизации по алгоритму Бокс-Бенкен проводилась с помощью моделирования поверхности отклика в программе Design-Expert 11 Trial (Stat-Ease Inc., США). Правильность выбора модели оценивалась с помощью коэффициента детерминации ( $R^2$ ) и величиной ошибки неадекватности подбора (Lack of fit).

### Результаты и обсуждение

Полученные значения кинетических параметров приведены в таблице 2, сравнение экспериментальных данных и аппроксимационной кривой – на рисунке 1. Показано, что полученные данные достаточно хорошо аппроксимируются уравнением реакции второго порядка.

В ходе проведения кинетических исследований в плодах растений брусники установлено низкое содержание флавоноидов ( $1.4 \pm 0.1$  мг RE/г), в связи с чем дальнейшее определение влияния параметров экстрагирования на содержание флавоноидов нецелесообразно.

Результаты подбора оптимальной концентрации экстрагента в диапазоне от 0 до 90 об.% представлены на рисунке 2. Видно, что наибольшее извлечение полифенольных компонентов происходит водно-спиртовой смесью с содержанием 50 об.% этанола ( $41.9 \pm 0.5$  мг GAE/г,  $p \leq 0.05$ ) и смесью с содержанием 80 об.% для соединений, проявляющих антиоксидантную и антирадикальную активности ( $60.4 \pm 1.1$  мг ААЕ/г и  $58.7 \pm 1.5\%$  соответственно,  $p \leq 0.05$ ). На рисунке 3 отмечено влияние мощности ультразвукового воздействия в диапазоне от 0 до 120 Вт на степень извлечения целевых компонентов исследуемых экстрактов. Максимальное общее содержание полифенолов и их антиоксидантной активности достигается при мощности 60 Вт ( $41.3 \pm 0.5$  мг GAE/г и  $56.0 \pm 1.3$  мг ААЕ/г соответственно,  $p \leq 0.05$ ), наибольшая степень ингибирования свободных радикалов – при 120 Вт ( $56.7 \pm 1.4\%$ ,  $p \leq 0.05$ ).

Поверхности отклика для общих содержаний полифенолов (TPC) и антиоксидантной активности (TAC) представлены на рисунках 4 и 5 и описываются уравнениями:

$$TPC = 41.38 + 5.88 \cdot A + 5.66 \cdot B - 10.33 \cdot C + 1.55 \cdot AB + 0.88 \cdot AC - 8.43 \cdot BC - 4.34 \cdot A^2 - 3.09 \cdot B^2 - 5.17 \cdot C^2 + 6.10 \cdot A^2C - 3.68 \cdot AB^2$$

$$TAC = 56.20 + 8.25 \cdot A + 8.50 \cdot B - 12.85 \cdot C + 1.88 \cdot AB + 0.88 \cdot AC - 9.85 \cdot BC - 6.43 \cdot A^2 - 1.55 \cdot B^2 - 6.05 \cdot C^2 - 6.88 \cdot A^2B + 9.03 \cdot A^2C,$$

где А – температура; °С, В – гидромодуль; С – диаметр фракции растительного материала, мм.

Результаты дисперсионного анализа для уравнений, описывающих значения ТРС и ТАС, приведены в таблицах 1 и 2 электронного приложения. Из величины  $P$ -value, которая для значимых параметров должна быть меньше 0.05, видно, что в случае полифенольных компонентов, значимыми являются все параметры, для общей антиоксидантной активности – все, кроме АВ, АС и В<sup>2</sup>. Исключение незначимых термов из моделей ведет к уменьшению коэффициентов детерминации и снижению ошибки неадекватности подбора (Lack of fit) до значимых значений  $P$ -value. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) для ТРС составил 0.9995, для ТАС – 0.9927. Величины Lack of fit являются незначимыми и для ТРС, и для ТАС.

Исходя из полученных данных были рассчитаны оптимальные условия экстракции и проведен контрольный эксперимент: мощность ультразвукового воздействия – 60 Вт, температура экстракции – 47 °С, продолжительность экстракции – 10 мин, диаметр фракций растительного сырья – 1 мм, концентрация экстрагента – 50 об.%, гидромодуль 1 : 50, результаты которого согласуются с прогнозируемыми. Сравнение расчетных и полученных данных приведено в таблице 3.

Таблица 2. Результаты определения равновесных значений параметров экстракта ( $Y^{eq}$ ) и констант скорости ( $k$ ) их высвобождения из плодов брусники обыкновенной

	$Y^{eq}, \text{мг/г}$	$k, 10^{-3} \text{ г. мг}^{-1} \text{ мин}^{-1}$
TPC	$40.8 \pm 0.3$	39.3
TFC	$1.4 \pm 0.1$	-4.7
TAC	$46.0 \pm 0.8$	7.2
FRS	$60.9 \pm 1.0$	13.9

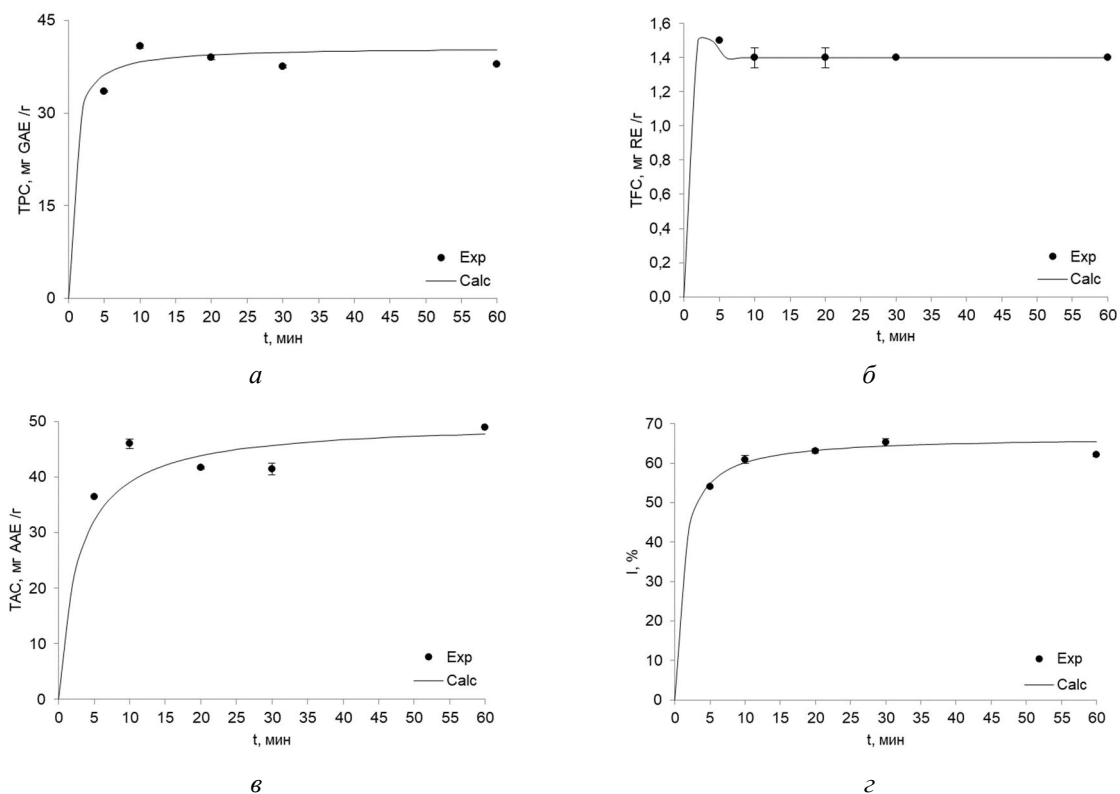


Рис. 1. Результаты сравнения экспериментальных данных кинетики экстракции фенольных соединений (а, б) и их активностей (в, г) из плодов брусники обыкновенной с аппроксимационной кривой

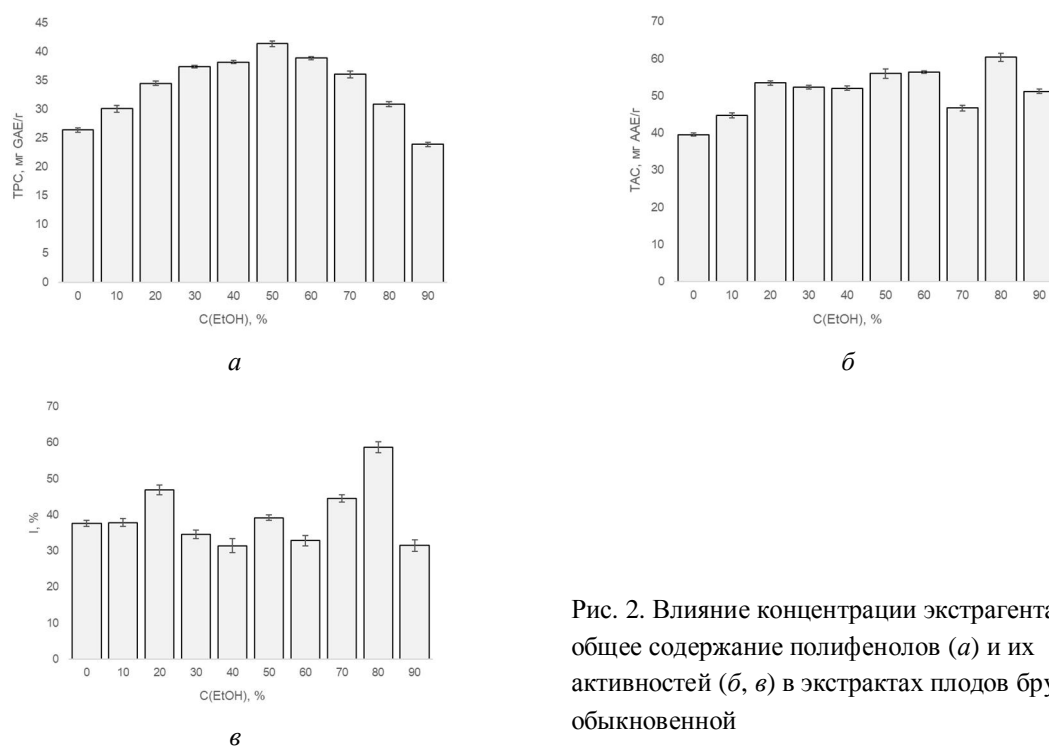


Рис. 2. Влияние концентрации экстрагента на общее содержание полифенолов (а) и их активностей (б, в) в экстрактах плодов брусники обыкновенной

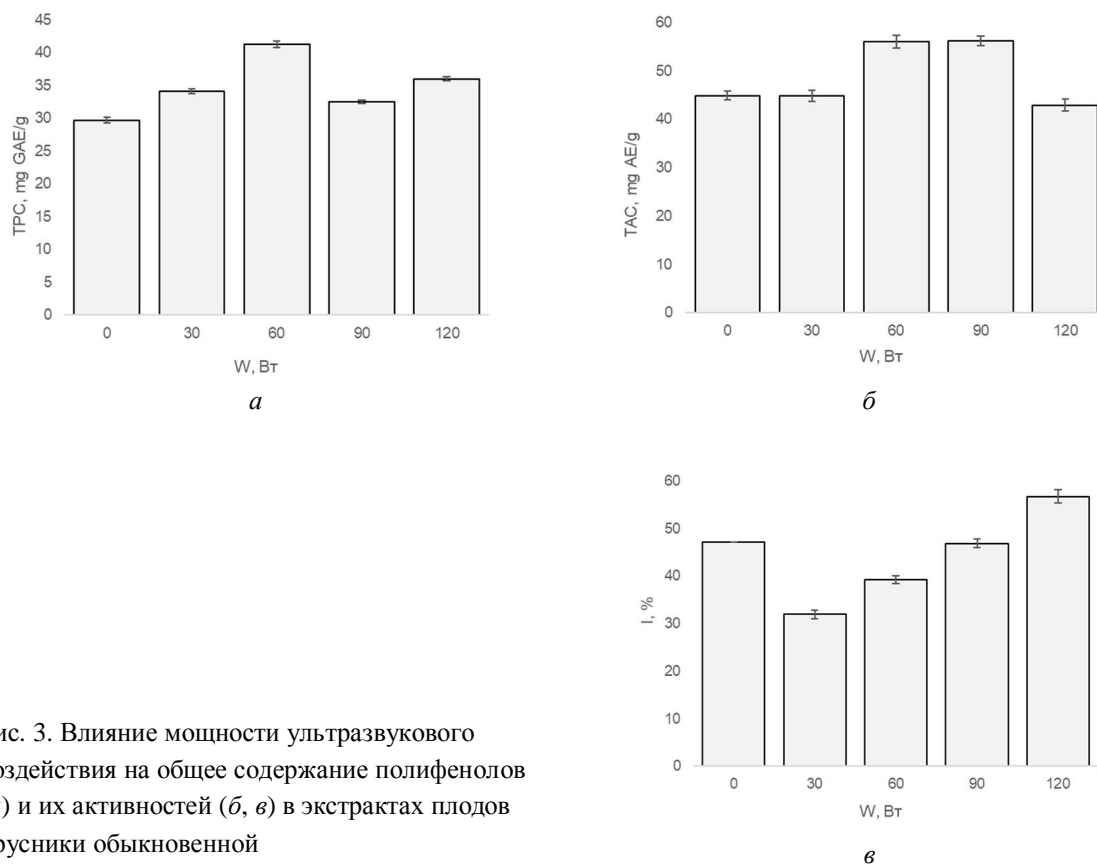


Рис. 3. Влияние мощности ультразвукового воздействия на общее содержание полифенолов (а) и их активностей (б, в) в экстрактах плодов брусники обыкновенной

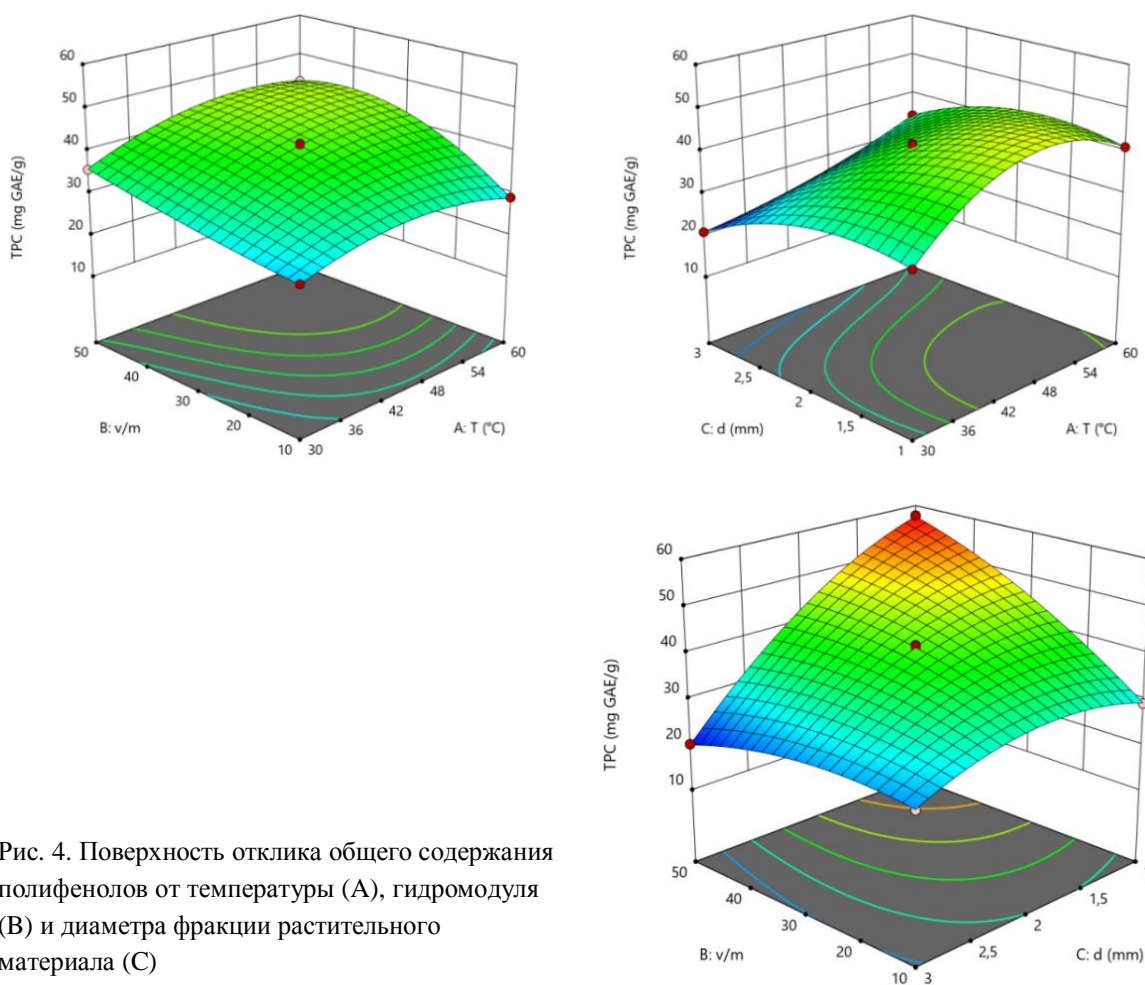


Рис. 4. Поверхность отклика общего содержания полифенолов от температуры (А), гидромодуля (В) и диаметра фракции растительного материала (С)

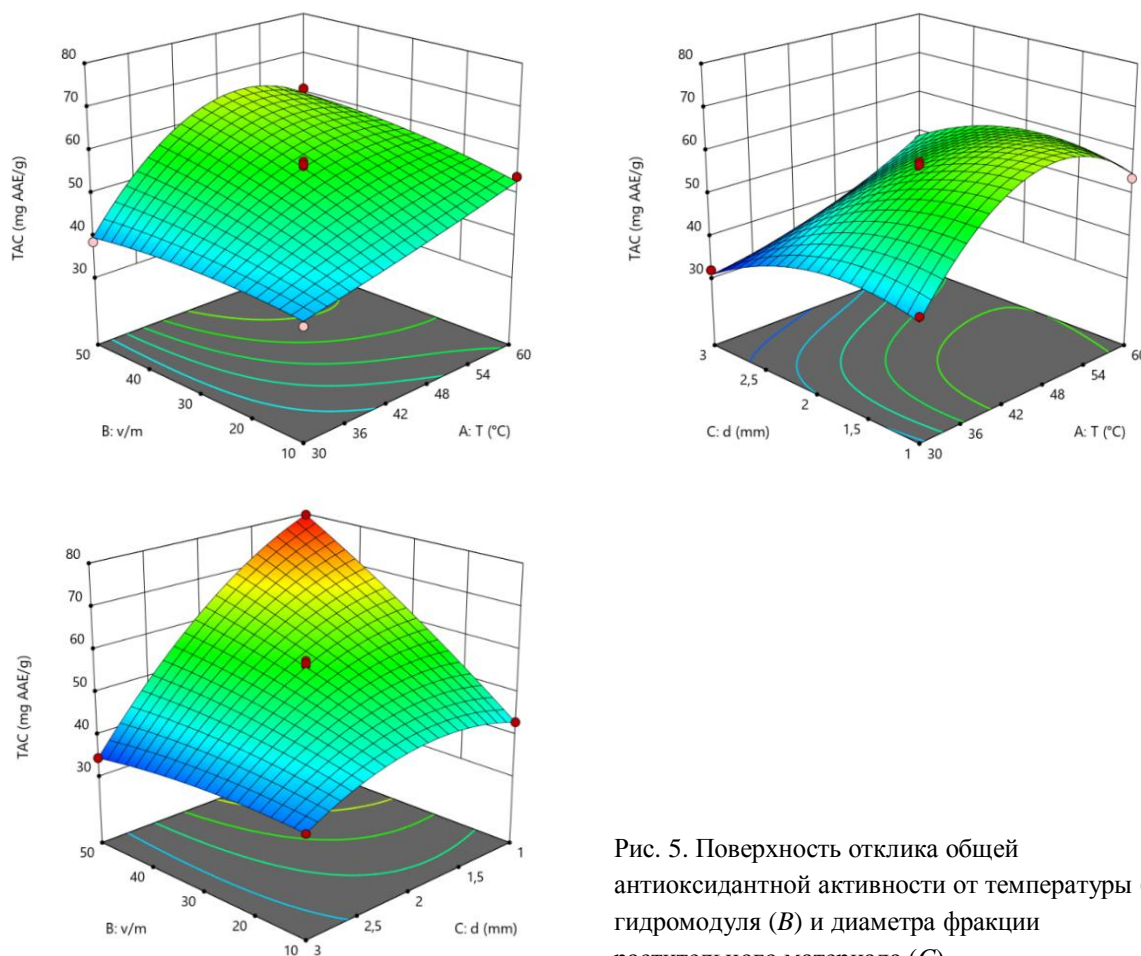


Рис. 5. Поверхность отклика общей антиоксидантной активности от температуры (A), гидромодуля (B) и диаметра фракции растительного материала (C)

Таблица 3. Сравнение расчетных (calc) и экспериментальных (exp) данных общего содержания полифенолов (TPC) и общей антиоксидантной активности (TAC) экстрактов плодов брусники

TPC <sub>calc</sub>	TPC <sub>exp</sub>	TAC <sub>calc</sub>	TAC <sub>exp</sub>
57.7	58.1	80.6	81.5

### Заключение

В настоящей работе впервые оптимизированы условия ультразвуковой экстракции биологически активных веществ из плодов *Vaccinium vitis-idaea* L. с помощью водно-этанольных смесей при помощи однофакторного анализа и алгоритма Бокс-Бенкен. Кинетика процесса экстрагирования аппроксимирована уравнением реакции второго порядка. Установлена оптимальная продолжительность экстракции – 10 мин. С помощью однофакторной оптимизации также были определены концентрация экстрагента – 50 об.%, мощность ультразвукового воздействия – 60 Вт. С использованием алгоритма Бокс-Бенкена и последующей аппроксимацией поверхностей отклика были рассчитаны диаметр фракций растительного сырья – 1 мм, гидромодуль – 1 : 50 и температура экстракции – 47 °С. Полученные результаты могут способствовать развитию разработки технологий производства компонентов для использования в фармацевтической и косметологической отраслях из плодов брусники обыкновенной.

### Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprtm.20240113108s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

### Финансирование

Работа была выполнена в рамках темы НИИР № FMEZ-2023-0012

### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Открытый доступ**

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

**Список литературы**

1. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., 1983. 216 с.
2. Kowalska K. Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects – A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, no. 10. Article 5126. DOI: 10.3390/ijms22105126
3. Vilkickyte G., Petrikaite V., Pukalskas A., Sipailiene A., Raudone L. Exploring *Vaccinium vitis-idaea* L. as a potential source of therapeutic agents: Antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activities of extracts and fractions // Journal of Ethnopharmacology. 2022. Vol. 292. Article 115207. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115207.
4. Vilkickyte G., Petrikaite V., Marksa M., Ivanauskas L., Jakstas V., Raudone L. Fractionation and Characterization of Triterpenoids from *Vaccinium vitis-idaea* L. Cuticular Waxes and Their Potential as Anticancer Agents // Antioxidants. 2023. Vol. 12, no. 2. Article 465. DOI: 10.3390/antiox12020465.
5. Grace M.H., Esposito D., Dunlap K.L., Lila M.A. Comparative analysis of phenolic content and profile, antioxidant capacity, and anti-inflammatory bioactivity in wild Alaskan and commercial *Vaccinium* berries // Journal of agricultural and food chemistry. 2014. Vol. 62, no. 18. Pp. 4007–4017. DOI: 10.1021/jf403810y.
6. Szakiel A., Paçzkowski C., Koivuniemi H., Huttunen S. Comparison of the triterpenoid content of berries and leaves of lingonberry *Vaccinium vitis-idaea* from Finland and Poland // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. Vol. 60, no. 19. Pp. 4994–5002. DOI: 10.1021/jf300375b.
7. Drózdź P., Šežienė V., Wójcik J., Pyrzyńska K. Evaluation of bioactive compounds, minerals and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruits // Molecules. 2017. Vol. 23, no. 1. Article 53. DOI: 10.3390/molecules23010053
8. Dincheva I., Badjakov I. Assessment of the anthocyanin variation in bulgarian bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // International Journal of Medicine and Pharmaceutical Science (IJMPS). 2016. Vol. 6, no. 3. Pp. 39–50.
9. Bujor O.-C., Ginies C., Popa V. I., Dufour C. Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods // Food chemistry. 2018. Vol. 252. Pp. 356–365. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.052.
10. Макарова Н.В., Еремеева Н.Б. Сравнительное изучение влияния ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.) // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 167–177. DOI: 10.14258/jcprm.2020014425.
11. Матвеева В.И., Ручкина А.Г., Кобраков К.И., Шпигун Л.К., Шмакова Н.С. Сравнительная характеристика экстрактов некоторых растений семейства вересковых и эффективности методов их получения // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 105–112. DOI: 10.14258/jcprm.20220210516.
12. Vrancheva R., Ivanov I., Badjakov I., Dincheva I., Georgiev V., Pavlov A. Optimization of polyphenols extraction process with antioxidant properties from wild *Vaccinium myrtillus* L. (bilberry) and *Vaccinium vitis-idaea* L. (lingonberry) leaves // Food Science and Applied Biotechnology. 2020. Vol. 3, no. 2. Pp. 149–156. DOI: 10.30721/fsab2020.v3.i2.98.
13. Zhu Y., Yu J., Jiao C., Tong J., Zhang L., Chang Y., Sun W., Jin Q., Cai Y. Optimization of quercetin extraction method in *Dendrobium officinale* by response surface methodology // Heliyon. 2019. Vol. 5, no. 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02374.
14. Bitwell C., Indra S.S., Luke C., Kakoma M.K. A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants // Scientific African. 2023. Vol. 19, no. 5. Article e01585. DOI: 10.1016/j.sciaf.2023.e01585.
15. Бейдемман И.Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М.-Л., 1954. 130 с.
16. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hacks H., Hess M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauss R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications // Journal für Kulturpflanzen. 2009. Vol. 61. Pp. 41–52. DOI: 10.5073/JfK.2009.02.01.
17. Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH. Quedlinburg, 2018. 204 p. DOI: 10.5073/20180906-074619.
18. ОФС.1.1.0011.15. Хранение лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов // Государственная фармакопея РФ, XIV изд. М., 2018. Т. 1. С. 272–275.
19. Tungmunthum D., Garros L., Drouet S., Renouard S., Lainé E., Hano C. Green ultrasound assisted extraction of trans rosmarinic acid from *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. leaves // Plants. 2019. Vol. 8, no. 3. Article 50. DOI: 10.3390/plants8030050.
20. Cavdarova M., Makris D.P. Extraction kinetics of phenolics from carob (*Ceratonia siliqua* L.) kibbles using environmentally benign solvents // Waste and Biomass Valorization. 2014. Vol. 5. Pp. 773–779. DOI: 10.1007/s12649-014-9298-3.

21. Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A., Artemkina N., Kozerozhets I., Samarov A. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from *Empetrum hermaphroditum* Hager. using acid-based deep eutectic solvent: kinetics and optimization // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. Vol. 12. Pp. 145–156. DOI: 10.1007/s13399-022-02299-2.

Поступила в редакцию 19 июня 2023 г.

После переработки 29 августа 2023 г.

Принята к публикации 29 августа 2023 г.

Sereda L.N.<sup>1\*</sup>, Tsvetov N.S.<sup>2</sup> OPTIMIZATION OF THE METHOD OF ULTRASONIC EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS WITH AN ALCOHOL-WATER MIXTURE FROM THE FRUITS OF *VACCINIUM VITIS-IDAEA* L., GROWING ON THE KOLA PENINSULA

<sup>1</sup> Laboratory for Medical and Biological Technologies, Nanomaterials Research Centre, Federal Research Center Kola Scientific Center RAS, Fersmana st., 14, Apatity, 184209, Russia, e-mail: [sundukpandory87@mail.ru](mailto:sundukpandory87@mail.ru)

<sup>2</sup> Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials named after I.V. Tananaeva Federal Research Center Kola Scientific Center RAS, Fersmana st., 26a, Apatity, 184209, Russia

Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) is a profusely fruiting evergreen berry shrub, which is a hypoactic forest species, growing throughout the Kola Peninsula. Fruits have a number of significant therapeutic properties, such as antioxidant, antitumor, neuroprotective, decongestant, antibiotic, due to a significant content of phenolic compounds. The process of complete extraction of polyphenolic components from a complex plant matrix requires the development of extraction conditions aimed at maximum mass transfer of target components with minimal destruction of compounds. In connection with the prospects of using the fruits of lingonberry plants in the pharmaceutical and cosmetology industries, in this work, for the first time, optimization of the conditions of the method of ultrasonic extraction with a water-ethanol mixture using single-factor analysis and the Box-Benken algorithm was carried out. The kinetics of the extraction process is approximated by the second-order reaction equation. The optimal duration of extraction, the concentration of the extractant, the power of ultrasonic exposure, the diameter of the fractions of plant raw materials, the hydromodule and the extraction temperature were determined. The total content of polyphenols and antioxidant activity, as well as the degree of inhibition of free radicals, were determined. The results obtained can be used in the development of technologies for the production of components for use in the pharmaceutical and cosmetology industries.

**Keywords:** *Vaccinium vitis-idaea* L., fruits, ultrasound-assisted extraction, optimization, biologically active substances, Arctic.

**For citing:** Sereda L.N., Tsvetov N.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 292–300. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240113108.

## References

1. Ramenskaya M.L. *Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii*. [Analysis of the flora of the Murmansk region and Karelia]. Leningrad, 1983, 216 p. (in Russ.).
2. Kowalska K. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, vol. 22, no. 10, article 5126. DOI: 10.3390/ijms22105126
3. Vilkickyte G., Petrikaite V., Pukalskas A., Sipailiene A., Raudone L. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, vol. 292, article 115207. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115207.
4. Vilkickyte G., Petrikaite V., Marksa M., Ivanauskas L., Jakstas V., Raudone L. *Antioxidants*, 2023, vol. 12, no. 2, article 465. DOI: 10.3390/antiox12020465.
5. Grace M.H., Esposito D., Dunlap K.L., Lila M.A. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2014, vol. 62, no. 18, pp. 4007–4017. DOI: 10.1021/jf403810y.
6. Szakiel A., Paćzkowski C., Koivuniemi H., Huttunen S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, no. 19, pp. 4994–5002. DOI: 10.1021/jf300375b.
7. Drózd P., Šežienė V., Wójcik J., Pyrzyńska K. *Molecules*, 2017, vol. 23, no. 1, article 53. DOI: 10.3390/molecules23010053

\* Corresponding author.



8. Dincheva I., Badjakov I. *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Science*, 2016, vol. 6, no. 3, pp. 39–50.
9. Bujor O.-C., Ginies C., Popa V. I., Dufour C. *Food chemistry*, 2018, vol. 252, pp. 356–365. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.052.
10. Makarova N.V., Yeremeyeva N.B. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 167–177. DOI: 10.14258/jcprm.2020014425. (in Russ.).
11. Matveeva V.I., Ruchkina A.G., Kobrakov K.I., Shpigun L.K., Shmakova N.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 105–112. DOI: 10.14258/jcprm.20220210516. (in Russ.).
12. Vrancheva R., Ivanov I., Badjakov I., Dincheva I., Georgiev V., Pavlov A. *Food Science and Applied Biotechnology*, 2020, vol. 3, no. 2, pp. 149–156. DOI: 10.30721/fsab2020.v3.i2.98.
13. Zhu Y., Yu J., Jiao C., Tong J., Zhang L., Chang Y., Sun W., Jin Q., Cai Y. *Heliyon*, 2019, vol. 5, no. 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02374.
14. Bitwell C., Indra S.S., Luke C., Kakoma M.K. *Scientific African*, 2023, vol. 19, no. 5, article e01585. DOI: 10.1016/j.sciaf.2023.e01585.
15. Beydeman I.N. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy pri geobotanicheskikh issledovaniyakh*. [Methodology for phenological observations in geobotanical research]. Moscow, Leningrad, 1954, 130 p. (in Russ.).
16. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hacks H., Hess M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauss R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. *Journal für Kulturpflanzen*, 2009, vol. 61, pp. 41–52. DOI: 10.5073/JfK.2009.02.01.
17. Meier U. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH*. Quedlinburg, 2018, 204 p. DOI: 10.5073/20180906-074619.
18. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 1, pp. 272–275. (in Russ.).
19. Tungmunthum D., Garros L., Drouet S., Renouard S., Lainé E., Hano C. *Plants*, 2019, vol. 8, no. 3, article 50. DOI: 10.3390/plants8030050.
20. Cavdarova M., Makris D.P. *Waste and Biomass Valorization*, 2014, vol. 5, pp. 773–779. DOI: 10.1007/s12649-014-9298-3.
21. Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A., Artemkina N., Kozerozhets I., Samarov A. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022, vol. 12, pp. 145–156. DOI: 10.1007/s13399-022-02299-2.

Received June 19, 2023

Revised August 29, 2023

Accepted August 29, 2023

#### Сведения об авторах

Середа Людья Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории медицинских и биологических технологий, [sundukpandory87@mail.ru](mailto:sundukpandory87@mail.ru)

Цветов Никита Сергеевич – кандидат химических наук, научный сотрудник, [tsvet.nik@mail.ru](mailto:tsvet.nik@mail.ru)

#### Information about authors

Sereda Lidiya Nikolaevna – junior researcher at the Laboratory of Medical and Biological Technologies, [sundukpandory87@mail.ru](mailto:sundukpandory87@mail.ru)

Tsvetov Nikita Sergeevich – Candidate of Chemical Sciences, researcher, [tsvet.nik@mail.ru](mailto:tsvet.nik@mail.ru)