

Краткое сообщение

УДК 547.587.51:633.366

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-07



Методика определения содержания кумаринов в семенах донника

И. Г. Захарчевный, В. С. Попов, О. В. Дук, Л. Л. Малышев

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Захарчевный Иван Григорьевич ivan.saint-petersburg@yandex.ru

Введение. Донник *Melilotus* Mill. – это ценная бобовая культура с большим фитомелиоративным потенциалом. Присутствие кумаринов способствует преодолению растением неблагоприятных условий внешней среды. Однако, соединения фенольной природы, обладающие горьким вкусом и специфическим запахом, ухудшают поедаемость кормов из донника. Одно из важнейших направлений селекции донника – создание сортов с определенным содержанием кумаринов, от которого зависит их дальнейшее использование. Для отбора селекционного материала по этому признаку требуются легко воспроизводимые лабораторные методы определения кумаринов в растительном сырье. Исследовали семена шести образцов донника из коллекции ВИР. Применили модифицированную методику спектрофотометрического определения содержания кумаринов в спиртовом извлечении из измельченных семян. Количественное определение кумаринов проводили с помощью спектрофотометра UV-3000 (Китай), при длине волны 310 нм. Расчет содержания кумаринов производили на основе калибровочной кривой, построенной на растворах кумарина различной концентрации. **Заключение.** Разработана и опробована методика выделения и количественного определения суммы кумаринов в семенах шести образцов донника, относящихся к пяти разным видам.

Ключевые слова: *Melilotus* Mill., кумарины, семена, спектрофотометрия, коллекция ВИР

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту: FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Захарчевный И.Г., Попов В.С., Дук О.В., Малышев Л.Л. Методика определения содержания кумаринов в семенах донника. *Биотехнология и селекция растений*. 2026;9(3):. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-07

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Захарчевный И.Г., Попов В.С., Дук О.В., Малышев Л.Л., 2026

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-o7

A method for determining the content of coumarins in sweet clover seeds

Ivan G. Zakharchevnyy, Vitaliy S. Popov, Olga V. Duk, Leonid L. Malyshev

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Ivan G. Zakharchevnyy, ivan.saint-petersburg@yandex.ru

Introduction. *Melilotus* Mill. is a valuable legume crop with a great phytomeliorative potential. The coumarins contained in plants help them to overcome adverse environmental conditions, however, phenolic compounds, which have a bitter taste and a specific odor, reduce the palatability of sweet clover feeds. One of the most important directions in sweet clover breeding is the creation of cultivars with a specific coumarin content, which determines their further use. Selection of initial material for this trait requires easily reproducible laboratory methods for determining coumarins in plant raw materials. Seeds of six *Melilotus* accessions from the VIR collection were studied. A modified method of spectrophotometric determination of coumarins content in alcohol extraction from crushed seeds was applied. The quantitative determination of coumarins was made on a UV-3000 spectrophotometer (China) at a wavelength of 310 nm. The coumarins content was calculated on the basis of a calibration curve constructed using coumarin solutions of different concentrations. **Conclusions.** A method for isolating and quantifying total coumarins in the seeds of six *Melilotus* accessions belonging to five different species has been developed and tested.

Keywords: *Melilotus* Mill., coumarins, seeds, spectrophotometry, VIR collection

Acknowledgements: this work was carried out as part of a State Assignment in accordance with the VIR Thematic Plan project FGEM-2022-0002 “Identifying the potential of legume crop gene pools for optimizing their breeding and diversifying their use in various sectors of the national economy”.

For citation: Zakharchevnyy I.G., Popov V.S., Duk O.V., Malyshev L.L. Method for determining the content of coumarins in sweet clover seeds. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2026;9(3):. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2026-3-o7

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Zakharchevnyy I.G., Popov V.S., Duk O.V., Malyshev L.L., 2026

Введение

Донник *Melilotus* Mill. – это ценная кормовая культура из семейства бобовых Fabaceae Lindl., относящаяся к трибе клеверных Trifolieae Endl. Род *Melilotus* насчитывает по разным данным от 19 до 22 видов. В настоящее время в культуру введены шесть видов рода: донник белый *M. albus* Medik., донник желтый *M. officinalis* (L.) Pall., донник зубчатый *M. dentatus* (Waldst. & Kit.) Pers., донник волжский *M. wolgicus* Poir., донник волосистый *M. hirsutus* Lipsky и донник душистый *M. suaveolens* Ledeb. Вышеперечисленные виды донника неприхотливы в отношении плодородия почв, устойчивы к засухе и засолению (Talovina, Smekalova, 2021).

Донник – пример культуры многоцелевого использования, так как помимо кормового значения, является хорошим фитомелиорантом. Присутствие кумаринов в составе зеленой массы донника связывают с устойчивостью растения к стрессовым факторам среды: засуха, засоление почв, насекомые-вредители (Baidalin et al., 2022).

Донник является медоносом. С одного гектара белого донника *M. albus* в зависимости от климатических условий и агрофона можно получить до 200-500 кг меда (Glukhov, 1974).

Несмотря на все вышеперечисленные достоинства, содержание кумаринов в зеленой массе накладывает некоторые ограничения на кормовое использование донника. Кумарины – это биологически активные вещества, в растении присутствуют чаще всего в форме гликозидов, производных оксикоричной кислоты. Кумарины придают горький вкус и специфический запах, из-за чего снижается потребление корма животными. С другой стороны, наличие кумаринов делает траву донника ценным сырьем для фармацевтической промышленности (Dridiger, 2014).

Таким образом, для создания перспективных сортов донника необходимы источники как с высоким, так и с низким содержанием кумаринов. Чаще всего кумарины определяются в зеленой массе растения. Ранее Сагалбеков с соавторами установили, что корреляция между содержанием кумарина в семенах донника и таковым в зеленой массе достигает 0,7. Данный факт объясняется тем, что в семенах активность ферментов, разрушающих кумарины, резко снижена и их содержание можно отнести к стабильным показателям (Sagalbekov et al., 2013). Поэтому разработка и модификация методик определения кумаринов в семенах является актуальной задачей. Для селекционного отбора по признаку «содержание кумаринов» важно наличие легко воспроизводимых методик распределения исходного материала по содержанию кумаринов. Известны различные методы определения кумаринов. Наиболее часто применяемые из них – это спектрофотометрический метод, в том числе с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии

(ВЭЖХ). Для извлечения смеси кумаринов из растительного сырья чаще всего применяют хлороформ с последующей очисткой извлеченной смеси кумаринов гексаном или этанолом различных концентраций (Zibareva, 2022; Farhutdinov et al., 2016; Kubasova et al., 2021; Suhail et al., 2008).

Цель нашей работы – модификация методики определения содержания суммы кумаринов для семян донника *Melilotus* Mill., подходящей для рутинного лабораторного исследования большой выборки. Предложенный метод отличается от уже существующих методик определения кумаринов в растительном сырье способом подготовки экстракта с целевыми соединениями для спектрофотометрического анализа. Нами подобраны объемы разведений и условия центрифугирования, позволяющие получить раствор, наиболее очищенный от взвеси белков и крахмала.

Объектом нашего исследования были семена шести образцов донника из коллекции ВИР: два образца донника желтого *Melilotus officinalis*, образец донника белого *Melilotus albus*, донника польского *Melilotus polonicus* (L.) Pall., донника волжского *Melilotus wolgicus* и донника волосистого *Melilotus hirsutus*. Образцы были отобраны на основании разного содержания кумаринов в зеленой массе образца (Suvorov, 1962).

Извлечение кумаринов проводили по следующей методике:

семена донника растирали до тонкоизмельченного состояния в фарфоровой ступке и переносили точную навеску (0,1 г) в коническую колбу вместимостью 100 мл, заливали 50 мл 70%-ного этилового спирта. Колбу с содержимым взвешивали и кипятили на водяной бане с обратным водяным холодильником 60 минут с момента закипания спирта в колбе. После охлаждения колбу доводили до первоначальной массы соответствующим спиртом, содержимое перемешивали. Затем экстракт помещали в пробирку и центрифугировали 15 минут при 7000 об/мин. Полученный супернатант разводили 70%-ым этанолом 1:3 и спектрофотометрировали при длине волны 310 нм на спектрофотометре UV-3000 (Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd., Китай). В качестве раствора сравнения применяли 70%-ый этиловый спирт.

В качестве раствора сравнения использовали 0,0008% раствор кумарина $C_9H_6O_2$ при массовой доле основного вещества не менее 97% (Реактив, Россия) в 70%-м этиловом спирте. На рисунке 1 изображены спектры стандартного образца кумарина и спиртового извлечения из семян донника. Профили спектров вполне сопоставимы и имеют пики при одинаковых длинах волн 200, 276 и 310 нм, что по данным литературы соответствует спектру кумарина (Krasnov et al., 1987; Morozova, Blagorazumnaya, 2008).

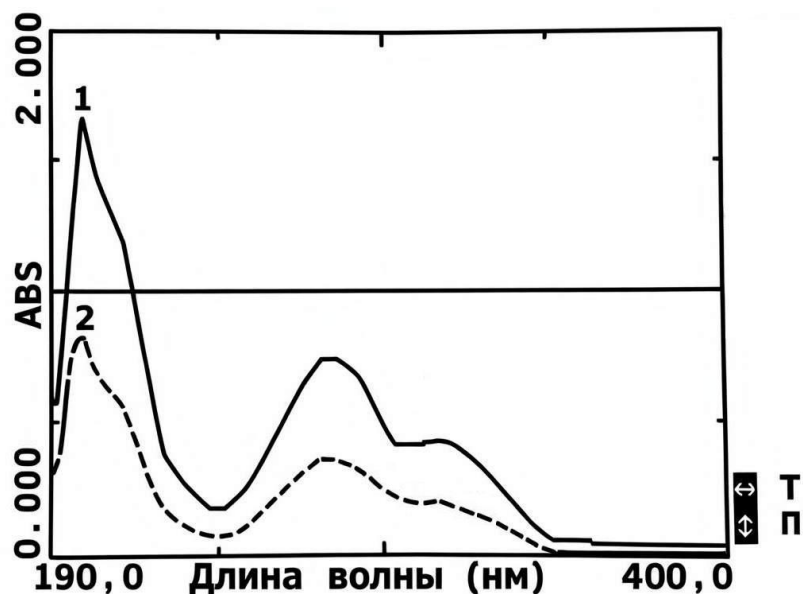


Рис. 1. Спектры поглощения стандартного образца кумарина (1) и спиртового извлечения из семян донника (2): образец к-43714 из коллекции ВИР

Fig. 1. Absorption spectra of a standard coumarin sample (1) and an alcohol extract from sweet clover seeds (2): accession k-43714 from the VIR collection

Для построения калибровочного графика готовили серию растворов кумарина в спирте в следующих концентрациях: 0,0025 г/мл; 0,005 г/мл; 0,01 г/мл; 0,02 г/мл; 0,04 г/мл; 0,08 г/мл; 0,16 г/мл. Графическое выражение

зависимости изменения оптической плотности раствора от концентрации и уравнение линии тренда представлены на рисунке 2.

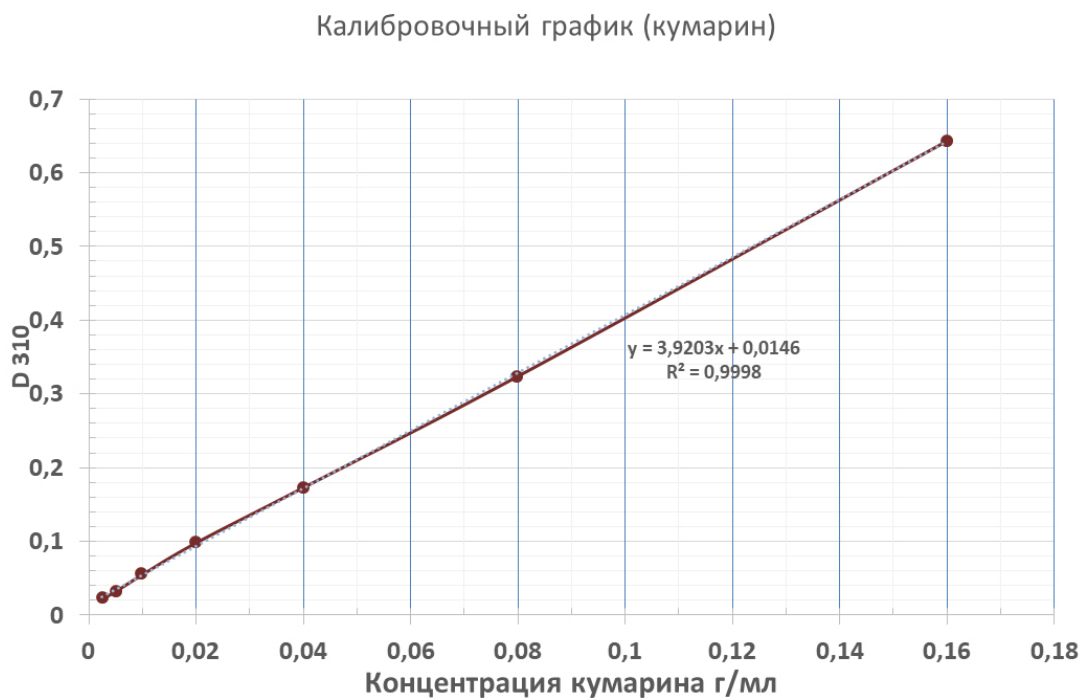


Рис. 2. Калибровочный график зависимости оптической плотности от концентрации кумарина

Fig. 2. Calibration graph of the optical density vs. coumarin concentration

Содержание кумаринов в семенах донника в % от сухой массы определяли по формуле (1):

$$X = \frac{S \cdot D \cdot V \cdot V_2 \cdot 100}{m \cdot V_1 \cdot 1000 \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

где: S – концентрация кумарина, взятая из калибровочной кривой; D – оптическая плотность испытуемого

раствора; m – масса сырья, г; V, V₁ и V₂ – исходный объем и объемы разведения, см³; W – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Результатом нашей работы стало получение данных о суммарном содержании кумаринов в семенах донника в % от сухой массы. Опыт проводили в трех повторностях и определяли ошибку среднего полученных результатов. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица. Содержание кумаринов в семенах изучаемых образцов донника

Table. Coumarins content in the studied sweet clover seed samples

№ каталога ВИР/ VIR Catalogue No.	Вид/ Species	Название/ Name	Происхождение/ Origin	Содержание кумаринов/ Coumarin content*, %
43714	Донник белый <i>M. albus</i>	Дикорастущий	Израиль	0,222±0,004
53993	Донник польский <i>M. polonicus</i>	Дикорастущий	Казахстан	0,178±0,002
11620	Донник волжский <i>M. wolgicus</i>	Дикорастущий	Самарская обл.	0,235±0,013
36679	Донник желтый <i>M. officinalis</i>	Малокумаринный	США	0,203±0,002
54006	Донник волосистый <i>M. hirsutus</i>	Дикорастущий	Краснодарский кр.	0,202±0,004
36680	Донник желтый <i>M. officinalis</i>	Малокумаринный	США	0,213±0,003

* Среднее значение ± стандартное отклонение ($\bar{x} \pm sd$), %
Mean value ± standard deviation ($\bar{x} \pm sd$), %

Разработанная и опробованная нами методика позволяет выполнить работу по распределению изучаемых образцов коллекции в зависимости от количества содержащихся в растениях кумаринов. Методика легко воспроизводима на стандартном лабораторном оборудовании и не требует применения сложных систем растворителей.

Выбор семян в качестве объекта исследования позволяет преодолеть ряд трудностей при изучении кумаринов по сравнению с зелеными частями растений. В семенах кумарины менее подвержены гидролизу, а в зеленой массе происходит быстрый распад соединений фенольной природы при уборке, транспортировке и хранении образцов для лабораторного исследования. По данным приведенным в патенте «Способ определения и отбора бескумаринных форм донника» (Sagalbekov et al., 2013), коэффициент корреляции между содержанием кумаринов в семенах донника и выращенной из этих семян зеленой массе равен 0,73±0,11. Таким образом, определив содержание кумаринов в семенах, можно прогнозировать содержание этих веществ в вегетативных органах растения.

Кумарины хорошо растворимы в таких органических

растворителях как хлороформ, этиловый спирт. В качестве растворителя нами был выбран 70% этиловый спирт как наиболее доступный растворитель. Также применение этанола позволяет проводить экстракцию с некоторым избытком по времени, что гарантирует полноту извлечения. Время экстракции – 60 минут – было выбрано нами на основании данных приведенных в широко распространенных методиках выделения веществ фенольной природы из растительного сырья в этанольных растворах (Krasnov et al., 1987; Fedoseyeva, Kharlampovich, 2012; Ladygina et al., 1983).

Спиртовой экстракт из семян донника содержит большое количество примесей, находящихся в растворе в виде суспензий, а также растворенные пигменты. Поэтому для спектрофотометрического анализа необходимо центрифугирование экстракта для очистки извлечения от примесей: белков, крахмала, и последующее разведение супернатанта.

Спектрофотометрическое определение кумаринов проводилось в УФ области спектра при длине волны 310 нм, так как этанольные растворы этих веществ имеют максимумы поглощения при данной длине волны (Ladygina et al., 1983).

Заключение

1. Разработана и опробована методика спиртовой экстракции кумаринов из семян донника *Melilotus* Mill.
2. Подобраны условия подготовки спиртового извлечения для спектрофотометрического определения количественного содержания кумаринов.
3. Построен калибровочный график зависимости оптической плотности от концентрации кумарина.
4. По разработанной методике определено содержание кумаринов в семенах шести образцов донника разных видов из коллекции ВИР. Полученные результаты соотносятся с опубликованными данными по содержанию кумаринов в семенах донника.

References/Литература

- Baidalin M.E., Sagalbekov U.M., Baidalina S.E., Akhet A.O., Baiken A.S. Effect of coumarin on resistance of sweetclover and method of fodder harvesting that reduces high coumarin concentration. *Research, results*. 2022;4(96):63-72. [in Russian] (Байдалин М.Е., Сагалбеков У.М., Байдалина С.Е., Ахет А.О., Байкен А.С. Влияние кумарина на устойчивость донника и способ заготовки корма, снижающий высокую концентрацию кумарина. *Исследования, результаты*. 2022;4(96):63-72). DOI: 10.37884/4-2022/08
- Dridiger V.K. Sweet clover: Monograph (Donnik: Monografiya). Stavropol: Agrus; 2014. [in Russian] (Дридигер В.К. Донник: Монография. Ставрополь: Агрус; 2014).
- Farkhutdinov R.G., Kudashkina N.V., Zainullin R.A., Khasanova S.R., Latypova G.M., Ivanov I.I. Fundamentals of phytochemical analysis: textbook (Osnovy fitokhimicheskogo analiza: uchebnoye posobiye). Ufa: Editorial and Publishing Center of the Bashkir State University; 2016. [in Russian] (Фархутдинов Р.Г., Кудашкина Н.В., Зайнуллин Р.А., Хасанова С.Р., Латыпова Г.М., Иванов И.И. Основы фитохимического анализа: учебное пособие. Уфа: РИЦ БашГУ; 2016).
- Fedoseyeva L.M., Kharlampovich T.A. Development of a method for quantitative determination of total coumarins in sweet yellow clover herbage. (Razrabotka metodiki kolichestvennogo opredeleniya summy kumarinov v donnika lekarstvennogo trave). *Chemistry of plant raw materials = Khimiya rastitel' nogo syr' ya*. 2012;3:135-141. [in Russian] (Федосеева Л.М., Харлампович Т.А. Разработка методики количественного определения суммы кумаринов в донника лекарственного траве. *Химия растительного сырья*. 2012;3:135-141).
- Glukhov M.M. Honey-bearing plants. 7th edition, revised and expanded (Medonosnye rasteniya. Izdaniye 7-ye, pererabotannoye i dopolnennoye). Moscow: Kolos; 1974. [in Russian] (Глухов М.М. Медоносные растения. Издание 7-е, переработанное и дополненное. М.: Колос; 1974).
- Krasnov E.A., Berезovskaya T.P., Alekseyuk N.V., Belousova N.I., Demidenko L.A., Dudko V.V., Dmitruk S.E., Kalinkina G.I., Romanova G.A. Isolation and analysis of natural biologically active substances (Vydeleniye i analiz prirodnykh biologicheskikh aktivnykh veshchestv). Tomsk: Tomsk University Press; 1987. [in Russian] (Краснов Е.А., Березовская Т.П., Алексеюк Н.В., Белоусова Н.И., Демиденко Л.А., Дудко В.В., Дмитрук С.Е., Калинкина Г.И., Романова Г.А. Выделение и анализ природных биологически активных веществ. Томск: Издательство Томского университета; 1987).
- Kubasova E.D., Korelskaya G.V., Sukhanov A.E., Krylov I.A., Kubasov R.V. Detection and quantitative determination of coumarins in the plant raw materials of the medicinal plant growing in Arkhangelsk Oblast. *International Research Journal*. 2021;10(112-1):145-148. [in Russian] (Кубасова Е.Д., Корельская Г.В., Суханов А.Е., Крылов И.А., Кубасов Р.В. Обнаружение и количественное определение кумаринов в растительном сырье любистока лекарственного, произрастающего в Архангельской области. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021;10(112-1):145-148). DOI: 10.23670/IRJ.2021.112.10.024
- Ladygina E.Ya., Safronich L.N., Otryashenkova V.E., Balandina I.A., Grinkevich N.I., Sorokina A.A., Sokolsky I.N., Glyzin V.I., Molodozhnikova L.M., Mitin Yu.S., Samylina I.A., Ermakova V.A. N.I. Grinkevich, L.N. Safronich (eds). Chemical analysis of medicinal plants. Textbook for Pharmaceutical Universities (Khimicheskii analiz lekarstvennykh rasteniy. Uchebnoye posobiye dlya farmatsevticheskikh vuzov). Moscow: Vysshaya Shkola; 1983. [in Russian] (Ладыгина Е.Я., Сафронич Л.Н., Отряшенкова В.Э., Баландина И.А., Гринкевич Н.И., Сорокина А.А., Соколовский И.Н., Глызин В.И., Молодожникова Л.М., Митин Ю.С., Самылина И.А., Ермакова В.А. Химический анализ лекарственных растений. Учебное пособие для фармацевтических вузов / под ред. Н.И. Гринкевич, Л.Н. Сафронич. Москва: Высшая школа; 1983).
- Morozova E.V., Blagorazumnaya N.V. Development of a method for the quantitative determination of coumarins in a complex extract with antifungal action obtained using various extractants (Razrabotka metodiki kolichestvennogo opredeleniya kumarinov v kompleksnom ekstrakte protivogribkovogo deystviya, poluchennogo razlichnymi ekstragentami. *Fundamental Research*. 2008;8:75. [in Russian] (Морозова Е.В., Благоразумная Н.В. Разработка методики количественного определения кумаринов в комплексном экстракте противогрибкового действия, полученного различными экстрагентами. *Фундаментальные исследования*. 2008;8:75).
- Sagalbekov U.M., Onalov S.Zh., Sagalbekov E.U. Method for determination and selection of coumarin-free forms of sweet clover. Republic of Kazakhstan; patent for an invention number: 27680 (Sposob opredeleniya i otbora beskumarinnykh form donnika. Respublika Kazakhstan; patent na izobreteniya № 27680); 2013. [in Russian] (Сагалбеков У.М., Оналов С.Ж., Сагалбеков Е.У. Способ определения и отбора бескумаринных форм донника. Республика Казахстан; патент на изобретение № 27680; 2013).
- Suhail A.M., Mohtasheem M., Iqbal A., Ahmed S.W., Bano H. Chemical constituents from *Melilotus officinalis*. *Basic and Applied Sciences*. 2008;4(2):89-94.
- Suvorov V.V. Sweet clover. (Donnik). Leningrad, Moscow: Selkhozizdat, Leningrad branch; 1962. [in Russian] (Суворов В.В. Донник. Ленинград; Москва: Сельхозиздат, Ленинградское отделение; 1962).
- Talovina G.V., Smekalova T.N. Genus *Melilotus* in the flora of Russia and adjacent countries. *Vavilovia*. 2021;4(4):3-27. [in Russian] (Таловина Г.В., Смекалова Т.Н. Род *Melilotus* флоры России и сопредельных стран. *Vavilovia*. 2021;4(4):3-27). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-4-3-27
- Zibareva L.N. Phytochemistry. Compounds of the polyphenol complex: educational and methodological guide. Tomsk: Tomsk State University Publishing House; 2022. [in Russian] (Зибарева Л.Н. Фитохимия. Соединения полифенольного комплекса: учебно-методическое пособие. Томск: Издательство Томского государственного университета; 2022).

Информация об авторах

Иван Григорьевич Захарчевный, аспирант, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, ivan.saint-petersburg@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6168-5907>

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Ольга Владимировна Дук, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, duk-olg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9441-5802>

Леонид Леонидович Малышев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Information about the authors

Ivan G. Zakharchevnyy, Postgraduate Student, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, ivan.saint-petersburg@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6168-5907>

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, All-Russian N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Olga V. Duk, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, duk-olg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9441-5802>

Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.01.2026; одобрена после рецензирования 06.03.2026; принята к публикации 14.08.2026.

The article was submitted on 24.01.2026; approved after reviewing on 06.03.2026; accepted for publication on 14.08.2026.