

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544.5.068.7:543.635.9

doi: 10.17308/sorpchrom.2025.25/13573

### **Антоцианы красного лука: источник уникального для растений цианидин-3-ламинарибиозида**

**Анастасия Сергеевна Бирюкова, Ирина Петровна Блинова,  
Виктор Иванович Дейнека<sup>✉</sup>, Людмила Александровна Дейнека**

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

**Аннотация.** В работе проведен анализ антоцианов красного лука, содержащего уникальный 3-гликозид цианидина – ламинарибиозид (Cy3Lami), синтезируемый в растении из цианидин-3-глюкозида (Cy3Glu) присоединением еще одной молекулы глюкозы по положению 3. Этот антоциан является изомером чаще встречающегося в природе цианидин-3-софорозида (Cy3Sopho), присоединение в котором второй молекулы глюкозы осуществляется по положению 2. Установлено, что удерживание обоих изомеров в условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ существенно различается – если Cy3Sopho удерживается слабее чем Cy3Glu, то времена удерживания Cy3Lami близки к удерживанию Cy3Rut и требуется выбор состава подвижной фазы для разделения этих компонентов. Отметим, что электронные спектры поглощения Cy3Glu, Cy3Sopho и Cy3Lami практически неразличимы, но отличимы от спектра Cy3Rut, имеющего небольшой bathochromic сдвиг основной полосы поглощения на ~1 нм. Общим для всех трех дигликозидов оставался только наклон линий тренда на картах разделения, характерный для всех дигликозидов в условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ. Кроме двух основных гликозидов (Cy3Glu и Cy3Lami) на хроматограммах обнаруживались и два продукта их ацилирования малоновой кислотой, довольно быстро гидролизующейся в условиях хранения антоцианов в кислых растворах. Ранее при разделении антоцианов в условиях гидрофильной хроматографии было установлено, что оба гексозиды (глюкозид и галактозид) имеют одинаковые времена удерживания, как и оба пентозиды (арабинозид и ксилозид), различающиеся меньшим удерживанием по сравнению с гексозидами. Это характерно для распределительного механизма удерживания антоцианов в генерированном *in situ* на поверхности сорбента обогащенного водой слоя. Однако два диглюкозида цианидина (Cy3Sopho и Cy3Lami) показали различающиеся времена удерживания при разделении в гидрофильной хроматографии на стационарной фазе Kromasil 60-5DIOL. Надежда на то, что третий возможный (по литературным данным) изомерный диглюкозид цианидина содержится в красных проростках ржи, не оправдалась: дигликозид из экстракта этого растения не отличился от Cy3Rut ни по хроматографическому поведению, ни по электронным спектрам поглощения.

**Ключевые слова:** обращенно-фазовая ВЭЖХ, гидрофильная ВЭЖХ, цианидин-3-диглюкозиды, софорозид, ламинарибиозид, удерживание, электронные спектры поглощения.

**Для цитирования:** Бирюкова А.С., Блинова И.П., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Антоцианы красного лука: источник уникального для растений цианидин-3-ламинарибиозида // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2025. Т. 25, № 6. С. 894-900. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/13573>

Original article

### **Red onion anthocyanins: a source of cyanidin-3-laminaribioside unique to plants**

**Anastasiya S. Biryukova<sup>1</sup>, Irina P. Blinova<sup>1</sup>, Victor I. Deineka<sup>1✉</sup>, Lyudmila A. Deineka**  
Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation, [deineka@bsu.edu.ru](mailto:deineka@bsu.edu.ru)<sup>✉</sup>

**Abstract.** The work analyzes anthocyanins of red onion, which contain a unique 3-glycoside of cyanidin-laminaribioside (Cy3Lami), synthesized in the plant from cyanidin-3-glucoside (Cy3Glu) by adding another glucose molecule at position 3. This anthocyanin is an isomer of the more commonly found naturally occurring cyanidin-3-sophoroside (Cy3Sopho), in which the second glucose molecule is attached at position 2. It was found that the retention of both isomers under reversed-phase HPLC conditions differs significantly: if Cy3Sopho is retained less strongly than Cy3Glu, then the retention times of Cy3Lami are close to the retention of Cy3Rut, and it is necessary to select the composition of the mobile phase to separate these components. It should be noted that the electronic absorption spectra of Cy3Glu, Cy3Sopho, and Cy3Lami are practically indistinguishable, but are distinguishable from the spectrum of Cy3Rut, which has a small bathochromic shift of the main absorption band by 1 nm. The only feature common to all three diglycosides was the slope of the trend lines on the separation maps, which is characteristic of all diglycosides under reversed-phase HPLC conditions. In addition to the two main glycosides (Cy3Glu and Cy3Lami), the chromatograms also revealed two products of their acylation with malonic acid, hydrolyzed quite quickly under the conditions of storage of anthocyanins in acidic solutions. Previously, when separating anthocyanins under hydrophilic chromatography conditions, it was found that both hexosides (glucoside and galactoside) have the same retention times, as do both pentosides (arabinoside and xyloside), which differ in lower retention compared to hexosides. This is typical for the distribution mechanism of anthocyanin retention in the water-enriched layer generated *in situ* on the surface of the sorbent. However, two cyanidin diglucosides (Cy3Sopho and Cy3Lami) showed different retention times when separated by hydrophilic interaction chromatography on a Kromasil 60-5DIOL stationary phase. The hope that the third possible (according to literary data) isomeric cyanidin diglucoside is contained in red rye seedlings was not justified: the diglycoside from the extract of this plant did not differ from Cy3Rut either in chromatographic behavior or in electronic absorption spectra.

**Keywords:** reversed-phase HPLC, hydrophilic HPLC, cyanidin-3-diglucosides, sophoroside, laminaribioside, retention, electronic absorption spectra.

**For citation:** Biryukova A.S., Blinova I.P., Deineka V.I., Deineka L.A. Red onion anthocyanins: a source of cyanidin-3-laminaribioside unique to plants. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2025. 25(6): 894-900. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/13573>

## Введение

В различных частях растений антоцианы накапливаются практически исключительно в виде гликозидов антоцианидинов вследствие быстрого и необратимого превращения самих антоцианидинов в соответствующие дикетопроизводные [1]. При этом набор гликозидных фрагментов в структурах неацилированных антоцианов весьма ограничен участием в их составе за редким исключением [2] двух гексоз: глюкозы (Glu), галактозы (Gala), одной дезоксигексозы (6-дезоксиманнозы – рамнозы, Rhamn), и двух пентоз: арабинозы (Ara) и ксилозы (Xyl). Из 3-гликозидов цианидина (Cy3Glu) относительно легко доступны (в экстрактах плодов некоторых растений) все монозиды с радикалами перечисленных моноз кроме Cy3Rhamn, синтезируемой в кожуре экзотического для РФ плода ацеролы [3] и в оболочках черных бобов (*Vicia faba*) [4]. Набор цианидин-3-дигликозидов антоцианидинов относительно небольшой, хотя более широкий набор дисахаридов найден в составах

гликозилированных флавонолов. Для антоцианов известны:

- софорозид (Cy3Sopho или Cy3(2''GluGlu)), в котором в глюкозидном радикале в положении 2 находится второй радикал глюкозы (содержится, например, в плодах красной малины [5]);
- самбубиозид (Cy3Sam или Cy3(2''XylGlu)), в котором в глюкозидном радикале положение 2 занято радикалом ксилозы (содержится, например, в плодах бузины черной [6]);
- рутинозид (Cy3Rut, Cy3(6''Rhamn-Glu)), в котором в глюкозидном радикале положение 6 занято радикалом рамнозы (содержится, например, в плодах смородины черной [7]);
- арабинозилглюкозид (Cy3(6''AraGlu)), в котором в глюкозидном радикале положение 6 занято радикалом арабинозы (содержится, например, в плодах калины обыкновенной [8, 9]);
- ксилозилгалактозид (Cy3(2''XylGala)), в котором в галактозидном радикале положение 2 гликозилируется молекулой ксилозы (содержится,

например, в не успевших почернеть плодах калины гордовина [8, 9]).

Известны также 3-дигликозиды цианидина и пеларгонидина цветков хемомелеса японского с неустановленным положением радикала глюкозы на галактозидном радикале [10, 11].

Лук (*Allium*) род двухлетних и многолетних травянистых растений, относимых к подсемейству луковые (*Allioideae*) семейства амариллисовые (*Amaryllidaceae*), является экономически важным овощным растением во всем мире [12]. Кроме зелени наиболее популярного вида лука – лука репчатого (*A. sepa*) кулинарное значение имеют и большие сплюснуто-шаровидные луковицы, покрытые (в зависимости от сорта) белыми, охристо-желтыми и даже красно-фиолетовыми оболочками. Красно-фиолетовая окраска оболочек лука обусловлена биосинтезом антоцианов [13] – важнейших природных водорастворимых антиоксидантов.

По литературным лук репчатый богат флавоноидами, а красная окраска связана с биосинтезом антоцианов, основными из которых (в соотношениях, зависящих от сорта) являются: цианидин-3-О-глюкозид; цианидин-3-О-ламинарибиозид (цианидин-3-(3"-глюкозил)глюкозид); цианидин-О-(6"-малонилглюкозид); цианидин-3-О-(6"-малонилламинарибиозид) [13]. Следовательно, красный лук является доступным источником еще одного цианидин-3-диглюкозида, изомерного цианидин-3-софорозиду.

Поскольку в соответствие с «поплавочным» механизмом [14] удерживание антоцианов зависит от структуры гликозидного заместителя (выступающего в роли «поплавка»), то сопоставление удерживания указанной пары изомеров представляет интерес в плане поиска зависимости от строения сорбатов, что стало целью настоящей работы.

### Экспериментальная часть

В работе для получения экстрактов использовали два сорта красного лука,

включая лук ялтинский, приобретенные на рынке Белгорода. Экстракцию выполняли, как из внешних, наиболее сухих слоев, так и из внутренних слоев, окрашенных в красный цвет, настаиванием образцов растительного материала в 0.1 М водном растворе соляной кислоты в течение суток. Антоцианы от полимерных и олигомерных сопутствующих экстрактивных веществ очищали методом твердофазной экстракции на концентрирующих патронах ДИАПАК C18 (Био-ХимМак СТ, Москва): после промывки (активирования) сорбента патронов пропусканием 3 см<sup>3</sup> ацетона и кондиционирования пропусканием 10 см<sup>3</sup> экстрагента, сорбировали экстракт до проскока окрашенных элюатов с последующей реэкстракцией раствором 30 об.% ацетонитрила и такой концентрации муравьиной кислоты в воде (3 мл). После разбавления конечного экстракта в 3 раза дистиллированной водой полученный раствор при необходимости разбавляли подвижной фазой и до хроматографирования хранили в бытовом холодильнике.

Разделение антоцианов осуществляли на оборудовании Agilent 1200 Infinity с диодно-матричным детектором. В работе в режиме обращенно-фазовой ВЭЖХ использовали хроматографическую колонку 150×4.6 мм Inertsil C18 (5 мкм). Подвижные фазы получали смешиваем в градиентном насосе в нужном соотношении два раствора: фазу А (6 об.% ацетонитрила и 10 об.% муравьиной кислоты в воде) и фазу Б (30 об.% ацетонитрила и 10 об.% муравьиной кислоты в воде). Скорость подачи подвижной фазы 0.8 см<sup>3</sup>/мин, температура термостата колонки 40°C. Хроматограммы записывали при 515 нм. Мертвое время определяли по удерживанию урацила. В режиме гидрофильной хроматографии использовали колонку 150×2.1 мм Kromasil 60-5DIOL с элюентом 80 об.% ацетонитрила, 0.2 об.% ортофосфорной кислоты и воды со скоростью подачи 0.3 см<sup>3</sup>/мин со спектрофотометрическим детектированием (525 нм).

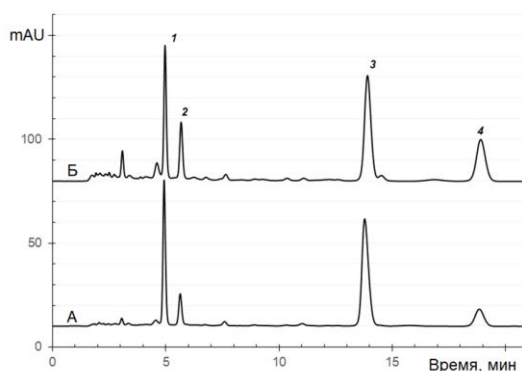


Рис. 1. Хроматограммы экстрактов оболочки лука репчатого красного сорта Ялтинский (А) и местного сорта красного лука (Б).

Подвижная фаза; 9.6 об. %  $\text{CH}_3\text{CN}$  и 10 об. %  $\text{HCOOH}$  в воде, 0.8  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Антоцианы: 1 - цианидин-3-О-глюкозид; 2 – цианидин-3-О-ламинарибиозид; 3 – цианидин-О-(6"-малонилглюкозид); 4 – цианидин-3-О-(6"-малонилламинарибиозид).

Fig. 1. Chromatograms of the extracts of the skin of the red onion variety Yalta (A) and the local variety of red onion (B)

Mobile phase; 9.6 vol. %  $\text{CH}_3\text{CN}$  and 10 vol. %  $\text{HCOOH}$  in water, 0.8 ml/min. Anthocyanins: 1 – cyanidin-3-O-glucoside; 2 – cyanidin-3-O-lamaribioside; 3 – cyanidin-O-(6"-malonylglucoside); 4 - cyanidin-3-O-(6"-malonyllamaribioside).

Хроматограммы регистрировали и обрабатывали программой ChemStation, а расчеты выполняли в MS Excel.

### Обсуждение результатов

На хроматограммах экстрактов оболочек красного лука было обнаружено (как и по литературным данным) четыре основных пика, рис. 1.

Сопоставление электронных спектров поглощения (в нормированном виде со смещением по вертикали) показало, что спектры цианидин-3-глюкозида, и двух диглюкозидов (цианидин-3-софорозида и цианидин-3-ламинарибиозида) не различимы, тогда как спектр цианидин-3-рутинозида был bathochromно смещен примерно на 1.5 нм, что хорошо видно при наложении спектров в программе ChemStation. Два последних спектра были записаны в кювете детектора на хроматограммах экстракта малины красной из коллекции лаборатории.

Удерживания ламинарибиозида и софорозида существенно различаются, рис. 3, но для отделения цианидин-3-ламинарибиозида от цианидин-3-рутинозида необходимо специально подбирать со-

ставы подвижных фаз, уменьшая концентрацию ацетонитрила в элюенте примерно до 6 об. %.

При этом, в соответствии с известной закономерностью о том, что на картах разделения наклоны линий трендов для диглюкозидов должны быть около 1.1 и быть близкими для всех диглюкозидов [15], полностью подтверждается: в диапазоне подвижных фаз от 7.2 до 10.8 об. % ацетонитрила и 10 об. % муравьиной кислоты в воде для этих антоцианов относительное удерживание описывается уравнениями (1) и (2):

$$\lg k(\text{Cy3Sop}) = 1.134 \cdot \lg k(\text{Cy3G}) - 0.254; \quad (1)$$

$$\lg k(\text{Cy3Lam}) = 1.128 \cdot \lg k(\text{Cy3G}) + 0.067, \quad (2)$$

где Cy3Glu – цианидин-3-глюкозид (вещество сравнения), Cy3Sop – цианидин-3-софорозид (основной компонент экстракта плодов малины красной), Cy3Lam – цианидин-3-ламинарибиозид из экстракта оболочек красного репчатого лука. Но, с другой стороны, полученные в настоящей работе результаты не согласуются с информацией о наличии кабоксипираноантоцианов на основе цианидина среди антоцианов красного лука [16], поскольку гипсохромного смещения основной полосы поглощения антоцианов в заметных концентрациях во всех

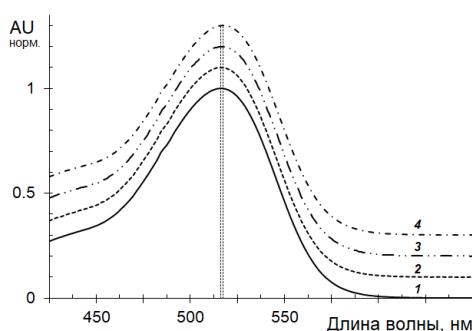


Рис. 2. Нормированные электронные спектры поглощения цианидин-3-глюкозида (1), цианидин-3-ламинарибиозида (2), цианидин-3-софорозида (3) и цианидин-3-рутинозида (4)  
 Fig. 2. Normalized electronic absorption spectra of cyanidin-3-glucoside (1), cyanidin-3-laminaribioside (2), cyanidin-3-sophoroside (3), and cyanidin-3-rutinoside (4)

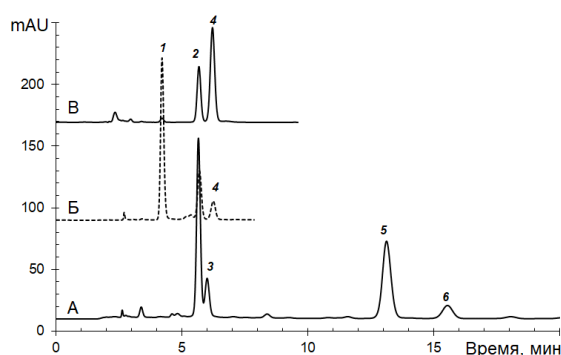


Рис. 3. Хроматограммы экстрактов оболочки лука репчатого красного сорта Ялтинский (А), малины красной (Б) и проростков ржи (В)  
 Подвижная фаза; 10.8 об. %  $\text{CH}_3\text{CN}$  и 10 об. %  $\text{HCOOH}$  в воде, 0.8  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Антоцианы: 1 – цианидин-3-О-софорозид; 2 – цианидин-3-глюкозид; 3 – цианидин-3-О-ламинарибиозид; 4 – цианидин-3-рутинозид, 5 – цианидин-3-(6"-малонилглюкозид); 6 – цианидин-3-(6"-малонилламинарибиозид).  
 Fig. 3. Chromatograms of extracts of the skin of red onion of the Yalta variety (A), red raspberries (B) and rye seedlings (C)  
 Mobile phase; 10.8 vol. %  $\text{CH}_3\text{CN}$  and 10 vol. %  $\text{HCOOH}$  in water, 0.8 ml/min. Anthocyanins: 1 – cyanidin-3-O-sophoroside; 2 – cyanidin-3-glucoside; 3 – cyanidin-3-O-laminaribioside; 4 – cyanidin-3-rutinoside, 5 – cyanidin-3-(6"-malonylglucoside); 6 – cyanidin-3-(6"-malonyllaminaribioside).

исследованных образцах не было обнаружено.

Таким образом, наличие уникального 3-диглюкозида цианидина в экстрактах красного репчатого лука подтверждается нашими исследованиями. Большее удерживание ламинарибиозида по сравнению с софорозидом, вероятно, отражает различия во взаимодействии гликозидных радикалов с привитой фазой. Интересно, для изомеров малонилглюкозидов цианидина удерживание 3"-малонилглюкозида оказалось выше удерживания двух других изомеров, но ниже, чем для 6"-малонилглюкозида [17]. В этом отношении

было бы интересно добавить к этим двум изомерам третий – цианидин-3-(6"-глюкозилглюкозид) или гентиобиозид. По литературным данным такой изомер синтезируется в молодых проростках ржи [18]. Нами были выращены проростки ржи в лаборатории и удалось получить экстракт окрашенных в красный цвет проростков. Однако, методом ВЭЖХ – по временам удерживания и по электронным спектрам поглощения было установлено то, что антоцианы экстракта образованы цианидин-3-глюкозидом и цианидин-3-рутинозидом.



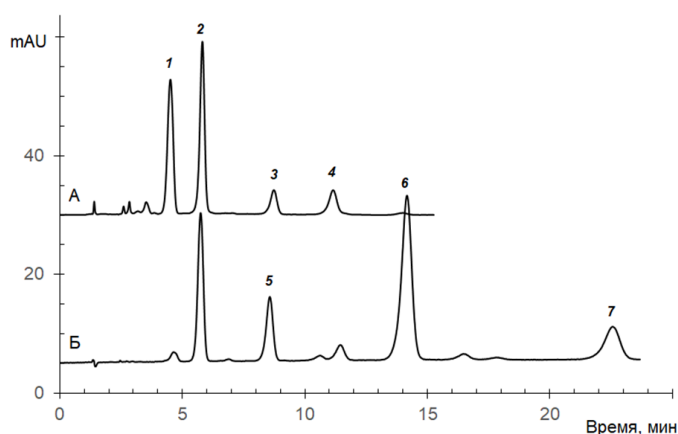


Рис. 4. Разделение антоцианов (А) красного лука и (Б) красной малины в условиях гидрофильной хроматографии

Колонка; 150×2.1 мм Kromasil 60-5DIOL, подвижная фаза: 85 об.% ацетонитрила, 0.5 об.% ортофосфорной кислоты и 14.5 об.% воды, 0.3 см<sup>3</sup>/мин, 40°C, детектор: 515 нм. Вещества: 1 – цианидин-3-малонилглюкозид; 2 – цианидин-3-глюкозид; 3 – цианидин-3-малонилламинрибозид; 4 – цианидин-3-ламинарибозид, 5 – цианидин-3-рутинозид; 6 – цианидин-3-софорозид; 7 – цианидин-3-глюкозилрутинозид.

Fig. 4. Separation of anthocyanins from (A) red onion and (B) red raspberry under hydrophilic chromatography conditions

Column; 150×2.1 mm Kromasil 60-5DIOL, mobile phase: 85 vol. % acetonitrile, 0.5 vol. % orthophosphoric acid and 14.5 vol. % water, 0.3 ml/min, 40°C, detector: 515 nm. Substances: 1 – cyanidin-3-malonylglucoside; 2 – cyanidin-3-glucoside; 3 – cyanidin-3-malonyl amine riboside; 4 – cyanidin-3-laminaribioside, 5 – cyanidin-3-rutinoside; 6 – cyanidin-3-sophoroside; 7 – cyanidin-3-glucosylrutinoside.

Гидрофильная хроматограмма является важной альтернативой обращенно-фазовой хроматографии при определении антоцианов. По нашим данным при использовании в качестве стационарной фазы диольной фазы подтверждением распределительного механизма удерживания антоцианов является одинаковые времена удерживания двух 3-гексозидов (глюкозида и галактозида) и двух пентозидов (арабинозида и ксилозида) [19]. Если бы такая закономерность соблюдалась и для дигликозидов, то была бы получена неожиданная альтернатива масс-спектрометрическому детектированию. Для этого времена удерживания цианидин-3-софорозида и цианидин-3-ламинарибозида должны были бы быть одинаковыми. Однако, экспериментально было установлено, что времена удерживания этих двух изомеров различаются, рис. 4.

## Закключение

Таким образом, в работе установлено, что пара изомерных диглюкозидов цианидина, имеющих различное строение, не различается по электронным спектрам поглощения, но существенно различается по хроматографическому удерживанию в условиях обращенно-фазовой хроматографии, хотя наклон линий трендов на картах разделения для них близок, как и для любых дигликозидов. В красных проростках ржи вместо гентиобиозида цианидина найден обычный цианидин-3-рутинозид. Удерживание двух изомерных диглюкозидов цианидина различается и в условиях гидрофильной хроматографии.

## Конфликт интересов

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

## Список литературы/References

1. Cabrita L., Petrov V., Pina F. *RSC Adv.* 2014; 35: 18939. <https://doi.org/10.1039/C3RA47809B>
2. Andersen Ø.M., Jordheim M., Byamukama R., Mbabazi A., Ogweng G., Skaar I., Kiremire B. *Phytochem.* 2010; 71: 1558-1563. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.025>
3. Hanamura T., Hagiwara T., Kawagishi H. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2005; 62: 280-286. [doi.org/10.1271/bbb.69.280](https://doi.org/10.1271/bbb.69.280)
4. Deineka V.I., Kulchenko Ya.Yo., Kieu Ngo Thi Diem, Kurkina Y.N., Deineka L.A. *Internat. J. Pharm. Technol.* 2016; 8: 14088-14096.
5. Deineka V.I., Deineka L.A., Sorokopudov V.N., Dubovceva I.S., Majorova E.B. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Estestvennye nauki.* 2012; 21(140), 21/1: 149-153. (In Russ.)
6. Kostenko M.O., Deineka V.I., Deineka L.A. *Chemical Technologies* 2016; 11: 58-63. (In Russ.)
7. Deineka V.I., Oleinits E.Yu., Pavlov A.A., Mikheev A.Yu., Shelepova O.V., Volkova O.D., Khlebnikova E.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya.* 2020; 1: 81-88. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020016331>
8. Deineka V.I., Chulkov A.N., Deineka L.A., Gandarmova P.A., Sorokopudov V.N., Rybitskiy S.M. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy.* 2014; 14: 434-442. (In Russ.)
9. Jordheim M., Giske N.H., Andersen Ø.M. *Biochem. Syst. Ecol.* 2007; 35: 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.09.010>
10. Timberlake C.F., Bridle P. *Rosaceae. Phytochem.* 1971; 10: 2265-2267. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97244-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97244-3)
11. Chulkov A.N., Dejneka V.I., Naval'neva I.A., Dejneka L.A., Sorokopudov V.N. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Estestvennye nauki.* 2011; 9 (104) 15/1: 382-388. (In Russ.)
12. Hanci F. *J. Agric. Veter. Sci.* 2018; 11: 17-27. <https://doi.org/10.9790/2380-1109011727>
13. González-de-Peredo A.V., Vázquez-Espinosa M., Ferreira-González M., Carrera C., Espada-Bellido E., Barbero G.F. Palma M. *Antioxidants.* 2022; 11: 846. <https://doi.org/10.3390/antiox11050846>
14. Deineka V.I., Deineka L.A., Saenko I.I., Chulkov A.N. *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2015; 89: 1300-1304. [doi.org/10.1134/S0036024415070079](https://doi.org/10.1134/S0036024415070079)
15. Deineka V., Grigor'ev A.M. *J. Anal. Chem.* 20004; 59: 270-274. <https://doi.org/10.1023/B:JANC.0000018972.54587.ce>
16. Fossen T., Andersen Ø.M. *Phytochem.* 2003; 62: 1217-1220. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00746-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00746-X)
17. Deineka V.I., Sidorov A.N., Deineka L.A. *J. Anal. Chem.* 2016; 71: 1145-1150. <https://doi.org/10.1134/S1061934816110034>
18. Busch E., Strack D., Weissenböck G. *Z. Naturforsch.* 1986; 41c: 485-486. <https://doi.org/10.1515/znc-1986-0417>
19. Deineka V.I., Saenko I.I., Deineka L.A., Blinova I.P. *J. Anal. Chem.* 2016; 71: 297-301. <https://doi.org/10.1134/S1061934816030035>

## Информация об авторах / Information about the authors

**А.С. Бирюкова** – аспирант института фармации, химии и биологии НИУ БГУ, Белгород, Россия

**И.П. Блинова** – доцент кафедры общей химии института фармации, химии и биологии НИУ БГУ, Белгород, Россия

**В.И. Дейнека** – профессор кафедры общей химии института фармации, химии и биологии НИУ БГУ, Белгород, Россия

**Л.А. Дейнека** – доцент кафедры общей химии института фармации, химии и биологии НИУ БГУ, Белгород, Россия

**A.S. Biryukova** – Postgraduate of Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation

**I.P. Blinova** – Associate Professor of General Chemistry Department of Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation

**V.I. Deineka** – Professor of General Chemistry Department of Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation

**L.A. Deineka** – Associate Professor of General Chemistry Department of Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 15.10.2025; одобрена после рецензирования 07.12.2025; принята к публикации 17.12.2025.

The article was submitted 15.10.2025; approved after reviewing 07.12.2025; accepted for publication 17.12.2025.