

Научная статья  
УДК 634.717:631.527 (470.2):581.19  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-58-66



## Биологически активные вещества в плодах ежевики в условиях средней полосы России

М. А. Макаркина, О. А. Ветрова, Л. А. Грюнер, Б. Б. Корнилов

*Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Маргарита Алексеевна Макаркина, [makarkina@vniispk.ru](mailto:makarkina@vniispk.ru)

**Актуальность.** Ежевика приобретает все большую популярность в РФ за свою скороплодность, высокую самоплодность, позднее цветение, способствующее продлению потребления свежих ягод, являющихся источником антиоксидантных соединений. Возникает необходимость изучения биохимического состава ягод ежевики, выращенной в определенных условиях, для дальнейшего выделения лучших образцов и включения их в производство и селекционные программы.

**Материалы и методы.** В плодах 25 сортов и гибридных сеянцев ежевики генофонда ВНИИСПК определяли содержание катехинов, лейкоантоцианов, антоцианов и общего количества фенольных соединений (ФС) фотометрическим методом, а также аскорбиновой кислоты (АК) титриметрическим методом. Статистическая обработка данных проводилась методами вариационного и корреляционного анализов.

**Результаты.** Изучены биоактивные вещества, накапливающиеся в плодах ежевики: АК ( $22,9 \pm 1,1$  мг/100 г), катехины ( $206,7 \pm 7,7$  мг/100 г), лейкоантоцианы ( $251,3 \pm 19,7$  мг/100 г), антоциановые вещества ( $492,1 \pm 22,1$  мг/100 г) и сумма ФС ( $951 \pm 30$  мг/100 г) при средней и значительной изменчивости изучаемых признаков ( $V > 10\%$ ). Так, 73% образцов накапливали в плодах АК более 20,0 мг/100 г, 10 генотипов – более 25 мг/100 г. Установлено, что все образцы являются источником антоцианов. Около 50% образцов накапливали катехинов в плодах выше среднесортového значения. Лейкоантоцианов в плодах ежевики накапливалось несколько больше, чем катехинов. У 10 образцов сумма ФС выше 1000,0 мг/100 г.

**Заключение.** Выделены генотипы с высоким содержанием в плодах биоактивных веществ. Получены коэффициенты корреляции, свидетельствующие о присутствии средней степени прямолинейной связи между содержанием АК и антоциановых веществ, АК и суммой ФС. По комплексу признаков (аскорбиновая кислота, ФС) выделены генотипы 'Black Satin', 'Cacanska Bestrna', 'Chester', 'Natchez', 'Triple Crown', ЭЛС LN-14, ОС LN-1, ОС LN-7, рекомендуемые для селекции на улучшение качества плодов ежевики.

**Ключевые слова:** сорта, гибридные формы, аскорбиновая кислота, фенольные соединения, антоцианы, катехины, лейкоантоцианы, источники

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Выделить новые генотипы (отборные и элитные сеянцы) плодовых и ягодных культур, превышающие районированные сорта по комплексу хозяйственно ценных признаков» (0637-2019-0011).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Макаркина М.А., Ветрова О.А., Грюнер Л.А., Корнилов Б.Б. Биологически активные вещества в плодах ежевики в условиях средней полосы России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(2):58-66. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-58-66

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-58-66

## Bioactive compounds in blackberry fruits under the conditions of Central Russia

Margarita A. Makarkina, Oksana A. Vetrova, Lidia A. Gruner, Boris B. Kornilov

*Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel Province, Russia***Corresponding author:** Margarita A. Makarkina, [makarkina@vniispk.ru](mailto:makarkina@vniispk.ru)

**Background.** Blackberry is becoming increasingly popular in Russia for its rapid early-fruiting, high self-fertility and late flowering, contributing to longer consumption of fresh berries, a source of antioxidant compounds. There is a need to study the biochemical composition of blackberries.

**Materials and methods.** Fruits of 25 blackberry cultivars and hybrid seedlings from the Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК) were analyzed for the contents of catechins, leucoanthocyanins, anthocyanins, and total phenolic compounds using the photometric method, and the content of ascorbic acid using the titrimetric method. Statistical data processing was carried out using the methods of variation and correlation analyses.

**Results.** Bioactive compounds (BAC) accumulating in blackberry fruits were studied: ascorbic acid, catechins, leucoanthocyanins, anthocyanins, and total phenolics, with medium and significant variability of the studied indicators ( $V > 10\%$ ). Among the genotypes, 73% accumulated more than 20.0 mg/100 g of ascorbic acid in fruits. All genotypes were identified as sources of anthocyanins. About 50% of the accessions accumulated catechins in fruits above the average level. Leucoanthocyanins were stored in blackberry fruits in slightly larger amounts than catechins. In 10 accessions the level of phenolics was higher than 1000.0 mg/100 g.

**Conclusion.** Genotypes with high BAC content were identified. Correlation coefficients were obtained: they indicate the presence of a medium degree of rectilinear relationship between the content of ascorbic acid and anthocyanin compounds, ascorbic acid and total phenolics. Cvs. 'Black Satin', 'Cacanska Bestrna', 'Chester', 'Natchez' and 'Triple Crown', plus hybrid seedlings LN-14, LN-1 and LN-7, were identified according to a set of indicators (ascorbic acid and phenolics) and recommended for breeding to improve the quality of blackberry fruits.

**Keywords:** cultivars, hybrids, ascorbic acid, phenolic compounds, anthocyanins, catechins, leucoanthocyanins, sources

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state task on the topic "To identify new genotypes (selected and elite seedlings) of fruit and berry crops exceeding the zoned varieties according to the complex of economically valuable traits" (0637-2019-0011).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Makarkina M.A., Vetrova O.A., Gruner L.A., Kornilov B.B. Bioactive compounds in blackberry fruits under the conditions of Central Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):58-66. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-58-66

## Введение

Средняя полоса РФ является зоной традиционного садоводства. Здесь, опираясь на многовековой опыт, возделывают такие распространенные плодовые и ягодные культуры, как яблоня, вишня, слива, черная смородина, красная смородина, крыжовник, земляника, малина. Но в последние годы стал возрастать интерес и к нетрадиционным, малораспространенным садовым культурам: жимолости, облепихе, калине, ирге, рябине и др. Все большую мировую популярность среди этих культур приобретает ежевика (род *Rubus* L., подрод *Eubatus* Focke), обладающая вкусными плодами, высокой урожайностью, ранним вступлением в пору плодоношения и высокой рентабельностью. Основными производителями ее плодов являются США, Сербия, занимаемые площади 3500 и 5000 га соответственно. Крупными поставщиками свежей продукции и сырья для переработки становятся государство Чили и Центральная Мексика (Clark, Finn, 2014). В мире с 1995 по 2005 г. площади, занимаемые ежевикой, увеличились на 44% (Strik, 2008).

В РФ популярность ежевики также возрастает (Gruner, Kornilov, 2020). Сдерживающим фактором при этом является низкая морозостойкость ее надземной части, что приводит к значительным материальным и трудовым затратам из-за необходимости зимнего укрытия растений, которые тем не менее частично компенсируются их способностью после повреждений быстро восстанавливаться (Takeda et al., 2013; Gruner, 2019).

Но основное достоинство ежевики – это неповторимый вкус и полезность ее ягод, за вкус которых отвечают сахара и органические кислоты, зависящие в большей степени от генотипа (Reyes-Carmona et al., 2006; Brugnara, 2017; Makarkina et al., 2021). Кроме того, ягоды ежевики – источник веществ антиоксидантного комплекса: аскорбиновой кислоты и, в значительной степени, фенольных соединений.

Аскорбиновая кислота (АК) – витамин, растворимый в воде, принимающий активное участие в биохимических процессах организма человека. На долю АК в антиоксидантном комплексе плодов и ягод приходится всего лишь 15% (Skrovankova et al., 2015), тем не менее это очень важный и жизненно необходимый витамин, являющийся поставщиком водорода при образовании ДНК протоплазмы (Lester, 2006). АК оказывает влияние на функционирование нервной системы, половых и цитовидной желез, надпочечников, способствует обмену веществ в организме, применяется для улучшения окислительно-восстановительных процессов и снижения холестерина при лечении атеросклероза и ишемической болезни сердца. Дефицит АК – один из факторов риска развития сахарного диабета (Iqbal et al., 2004; Abeysuriya et al., 2020; Berretta et al., 2020). Кроме того, АК – витамин, применяемый в дерматологии, обладающий свойствами, предотвращающими воспалительные и канцерогенные процессы, ускоряющие фотостарение кожи (Ravetti et al., 2019). Согласно последним данным, АК оказывает положительный эффект при лечении больных вирусом COVID-19 (Al-Obaidi et al., 2021).

Помимо АК, среди растительных компонентов незаменимую функцию выполняют фенольные соединения, в большей степени флавоноиды (Liu, 2013), содержащиеся в значительном количестве в плодах ежевики (Kaume et al., 2012; Guedes et al., 2017; Schulz et al., 2019).

Фенольные соединения, являясь синергистами других биологически активных веществ, в том числе и АК,

оказывают положительное воздействие на кроветворную и сердечно-сосудистую системы организма, снижают риск развития диабета, астмы, ожирения, онкологических заболеваний, инфекций мочевыводящих путей. Именно они обладают наибольшей антиоксидантной активностью, обусловленной способностью поглощать активные формы кислорода и азота, принимают прямое участие в поддержке организма при возникновении ряда воспалительных и других заболеваний (Liu, 2013; Lima et al., 2014; Rodriguez-Mateos et al., 2014). В литературе имеются сведения (Kaume et al., 2012) о защитном действии фенольных соединений ежевики при нейродегенеративных заболеваниях, при потере костной массы, об антимутагенном действии на клеточные сигнальные пути в организме человека путем их модификации и подавления факторов развития различных опухолей. Наибольшей физиологической активностью обладают флавоноиды (Thomas et al., 2008; Rodriguez-Mateos et al., 2014).

Существуют сведения о химическом составе плодов ежевики, выращенной в различных географических зонах, в том числе АК и фенольных соединений (Thomas et al., 2008; Kaume et al., 2012; Guedes et al., 2017; Schulz et al., 2019; Moraes et al., 2020), но почти нет сведений об их содержании в составе плодов ежевики, возделываемой в средней полосе РФ.

Исходя из этого, перед нами была поставлена цель – изучить существующий сортимент ежевики генофонда Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК) по содержанию в плодах веществ, входящих в антиоксидантный комплекс, – АК и фенольных соединений. Необходимо выделить лучшие сорта, элитные и отборные сеянцы по каждому изучаемому компоненту для дальнейшего их включения в производство и селекционные программы.

## Материалы и методы

Объектами исследования представлены 25 сортов, элитных (ЭЛС) и отборных (ОС) сеянцев ежевики генофонда ВНИИСПК, в том числе 15 отборных и элитных сеянцев селекции ВНИИСПК: отборные сеянцы сортов 'Black Satin', 'Cheyenne', элитные и отборные сеянцы сорта 'Loch Ness' (LN) от свободного опыления. В образцах ежевики, отобранных в количестве 0,5 кг в период полной зрелости на коллекционном участке ежевики, определяли компоненты антиоксидантного комплекса: АК, фенольные соединения, в том числе катехины, лейкоантоцианы, антоцианы. Биохимический анализ плодов проводили в лаборатории биохимической и технологической оценки сортов и хранения ВНИИСПК. Работу выполняли по общепринятым методикам (Ermakov et al., 1987; Sedova et al., 1999).

Отобранные образцы измельчали в фарфоровой ступке до однородной консистенции. Из полученной массы в двух повторностях брали навеску по 10 г для определения аскорбиновой кислоты, которую заливали смесью кислот (щавелевой и соляной), выдерживали 20 мин, хорошо перемешивали, доводили до 100 мл и фильтровали через бумажный фильтр. Полученный экстракт (1 мл) в присутствии однопроцентного йодистого калия (KI) и крахмала титровали 0,01 н раствором йодата калия (KIO<sub>3</sub>) (Pleshkov, 1976). Для определения фенольных соединений в двух повторностях брали навеску по 10 г, которую фиксировали 96-процентным этиловым спиртом. Законсервированный образец экстрагировали 80-процентным этиловым спиртом. Экстракт использовали для

анализа фотометрическим методом с использованием фотометра ФЭК КФК-3-01-30МЗ. Метод определения антоцианов основан на реакции антоцианов с кислым 96-процентным этиловым спиртом, контроль – 75-процентный этиловый спирт; метод определения катехинов – на реакции катехинов ягод с ванилиновым реактивом (ванилин, растворенный в концентрированной соляной кислоте). В основу метода определения лейкоантоцианов положен гидролиз лейкоантоцианов в соответствующие антоцианы при нагревании с кислым этиловым спиртом. Сумму фенольных соединений определяли с использованием реактива Фолина – Дениса (Samorodova-Bianki, Streltsina, 1989).

Статистическая обработка полученных данных проводилась методами вариационного и корреляционного анализов с использованием пакета анализа программы Microsoft Excel.

### Результаты и обсуждение

Содержание АК в плодах ежевики в зависимости от генотипа варьировало от 12,2 ('Erie') до 36,1 мг/100 г сырой массы ('Chester') при среднесортном значении  $22,9 \pm 1,1$  мг/100 г и коэффициенте вариации (V%) 24,0%, свидетельствующем о значительной изменчивости признака сортов и гибридных форм (табл. 1).

73% изученных сортообразцов накапливали в плодах АК более 20,0 мг/100 г, из них у сортов 'Ouachita', 'Triple Crown', 'Loch Tay', 'Cacanska Bestrna', 'Black Satin', 'Natchez', 'Chester', образцов ЭЛС LN-14, ОС LN-1 и ОС LN-7 этот показатель превысил 25,0 мг/100 г. У контрольных сортов 'Agawam' и 'Thornfree' содержание АК составило  $19,6 \pm 5,7$  и  $20,5 \pm 0,8$  мг/100 г соответственно. Отмечено сильное влияние метеорологических условий вегетационного периода на накопление АК в плодах отдельными генотипами, о чем косвенно свидетельствует коэффициент вариации. У значительной части образцов (57,7%) коэффициент вариации был выше 30%. Для селекции в качестве источников высокого содержания в плодах АК ценность представляют генотипы, сочетающие высокий показатель изучаемого признака с низким значением коэффициента вариации в зависимости от года. Высокое содержание АК в плодах и средняя стабильность признака ( $10,0\% \leq V \leq 30,0\%$ ) отмечены у сортов 'Black Satin', 'Cacanska Bestrna', 'Loch Tay', 'Ouachita', 'Triple Crown', образцов ЭЛС LN-14, ОС LN-1 и ОС LN-7. У сортов 'Chester' и 'Natchez' коэффициенты вариации выше 30,0%, но в то же время максимальные значения АК в плодах 51,0 и 71,3 мг/100 г соответственно, что говорит о потенциальных возможностях данных генотипов.

Наши исследования подтверждают высказывания других авторов о том, что ежевика – богатый источник фенольных соединений (табл. 2).

В плодах исследуемых сортов и гибридных сеянцев ежевики выявлено высокое содержание антоциановых веществ –  $492,1 \pm 22,1$  мг/100 г, при среднем размахе варьирования (V = 22,4%) от  $280,4 \pm 69,8$  (С-ц Black Satin) до  $717,7 \pm 74,8$  мг/100 г ('Chester') (см. табл. 2). Необходимо отметить, что даже минимальное значение антоцианов в плодах ежевики значительно выше, чем у других ягодных культур. Так, среднее содержание антоцианов в плодах красной смородины, выращенной в этих же условиях, – 82,0 мг/100 г (Makarkina, 2009), черной смородины – 185,6 мг/100 г (Knyazev et al., 2016).

Более 500,0 мг/100 г антоцианов в плодах накапливали сорта 'Brzezina', 'Black Satin', 'Chester', 'Natchez', 'Ouachi-

ta', 'Triple Crown', отборные сеянцы сорта 'Loch Ness' № 1, № 5, № 10 и элитные сеянцы сорта 'Loch Ness' № 4, № 14, а также контроль – сорт 'Thornfree'. Наибольшая стабильность признака (V < 20,0%) отмечена у 'Black Satin', 'Ouachita' и ЭЛС LN-14. Кроме того, низкие коэффициенты вариации были получены у отборного сеянца сорта 'Loch Ness' № 12 (V = 6,3%) и ЭЛС LN-13 (V = 8,2%) при среднем значении содержания антоцианов в плодах 470,4 и 478,5 мг/100 г соответственно. Перечисленные сорта и формы являются ценными источниками высокого содержания антоцианов в плодах для использования в селекции в качестве родительских форм.

Среднее содержание катехинов в плодах в зависимости от генотипа изменялось в меньшей степени (см. табл. 2), чем антоцианов, о чем свидетельствует коэффициент вариации – 18,7%, и составило  $206,7 \pm 7,7$  мг/100 г с пределами разнообразия от  $103,7 \pm 12,0$  ('Cacanska Bestrna') до  $277,1 \pm 45,1$  мг/100 г (С-ц LN-7). Около половины изучаемых объектов содержали катехинов в ягодах более 210,0 мг/100 г (выше среднего значения): 'Brzezina', 'Chester', 'Erie', 'Natchez', С-ц Black Satin, С-ц Cheyenne, С-ц LN-3, С-ц LN-5, С-ц LN-7, С-ц LN-8, С-ц LN-10, ЭЛС LN-14, контрольный сорт 'Agawam', из них стабильность признака установлена у сортов 'Agawam', 'Brzezina', 'Erie', ЭЛС LN-13 (V < 20,0%).

Лейкоантоцианы – фенольные вещества, при обработке минеральными кислотами переходящие в антоцианы. На этом свойстве и основан метод их определения. Они обладают меньшей Р-витаминной активностью по сравнению с катехинами, но их роль заключается в сохранности цвета продукта при переработке (Upadyshev, 2008).

В количественном соотношении в плодах изученных нами образцов ежевики лейкоантоцианов накапливалось несколько больше, чем катехинов (см. табл. 2). Выявлена значительная сортовая изменчивость признака «лейкоантоцианы» по сравнению с антоцианами и катехинами, подтвержденная высоким коэффициентом вариации (V = 39,1%) и сильным размахом варьирования – от  $132,3 \pm 14,6$  ('Erie') до  $539,7 \pm 108,5$  мг/100 г ('Loch Tay'). Содержание лейкоантоцианов в плодах выше среднего значения (более 250 мг/100 г) отмечено у сортов 'Brzezina', 'Loch Tay', 'Ouachita', 'Triple Crown', отборных форм С-ц Black Satin, С-ц Cheyenne, С-ц LN-1, С-ц LN-3, С-ц LN-12. На накопление лейкоантоцианов в большей степени, чем на накопления антоцианов и катехинов, оказывали влияние внешние факторы вегетационного периода: так, коэффициент вариации у сортов по антоцианам находился в пределах 6,3...61,2; по катехинам – 10,2...81,0; по лейкоантоцианам – 11,4...102,9%. Лишь у одной отборной формы С-ц LN-7 выявлена стабильность изучаемого признака (V = 11,4%), но количество данного вещества было ниже среднего значения ( $176,0 \pm 11,6$  мг/100 г).

По сумме фенольных соединений в плодах сорта и гибридных формы были распределены на три группы (табл. 3): лишь у шести из них сумма фенольных веществ была ниже 850 мг/100 г, у девяти находилась в пределах 850–999 мг/100 г и у десяти – более 1000 мг/100 г. Наивысшие показатели (более 1000 мг/100 г) отмечены у сортов 'Brzezina', 'Ouachita', 'Chester', 'Loch Tay', 'Triple Crown', отборных сеянцев сорта 'Loch Ness' № 1, № 3, № 5, № 10, ЭЛС LN-14. Среднее содержание суммы фенольных соединений составило  $951 \pm 30$  мг/100 г, размах варьирования – от 622 ('Cacanska Bestrna') до 1297 мг/100 г ('Triple Crown'), коэффициент вариации – 15,7%.

**Таблица 1. Характеристика генофонда ежевики по содержанию в плодах аскорбиновой кислоты (мг/100 г сырой массы) (среднее за 2017–2021 гг.; ВНИИСПК, Орел)****Table 1. Ascorbic acid content (mg/100 g fresh weight) in blackberry fruits (average for 2017–2021; VNIISPK, Orel)**

Сорт, отборный сеянец	Среднее, $\bar{x} \pm m$	Пределы изменчивости	Коэффициент вариации, V%
Agawam (контроль)	19,6 ± 5,7	7,9–35,2	58,2
Brzezina	17,2 ± 6,1	9,7–35,2	70,5
Black Satin	28,8 ± 3,2	22,9–35,2	22,1
Cacanska Bestrna	27,6 ± 3,1	22,0–28,2	19,3
Chester	36,1 ± 4,9	29,9–51,0	30,5
Erie	12,2 ± 1,1	8,8–15,2	20,7
Loch Tay	27,0 ± 4,2	21,1–35,2	27,2
Natchez	32,7 ± 9,8	18,5–71,3	67,2
Ouachita	25,6 ± 2,5	19,4–30,8	19,6
Thornfree (контроль)	20,5 ± 0,8	16,7–24,6	2,4
Triple Crown	25,5 ± 3,4	20,2–38,7	29,5
С-ц* Black Satin	20,8 ± 4,5	10,6–34,3	48,3
С-ц LN**-1	26,7 ± 3,9	19,4–32,6	25,1
С-ц LN-2	18,9 ± 5,0	11,4–29,9	52,4
С-ц LN-3	20,7 ± 3,6	10,6–29,9	39,0
С-ц LN-5	24,4 ± 4,4	9,7–35,2	43,9
С-ц LN-6	18,8 ± 6,1	10,6–30,8	56,6
С-ц LN-7	26,6 ± 2,7	20,2–33,4	20,5
С-ц LN-8	21,3 ± 4,7	8,8–31,7	49,1
С-ц LN-10	23,2 ± 3,9	15,0–36,1	37,7
С-ц LN-12	21,7 ± 6,9	7,9–29,9	55,3
ЭЛС LN-4	17,9 ± 2,2	14,1–29,0	32,5
ЭЛС LN-13	21,1 ± 6,3	9,7–37,7	59,8
ЭЛС LN-14	25,9 ± 3,3	15,0–34,3	28,4
ЭЛС Cheyenne	13,0 ± 2,2	7,9–21,1	37,8
<b>Среднее, <math>\bar{x}</math></b>	<b>22,9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Ошибка, m</b>	<b>1,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Минимальное</b>	<b>12,2</b>	<b>7,9</b>	<b>2,4</b>
<b>Максимальное</b>	<b>36,1</b>	<b>71,3</b>	<b>67,2</b>
<b>Коэффициент вариации, V%</b>	<b>24,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Примечание: С-ц\* – сеянец; С-ц LN\*\* – сеянцы от свободного опыления сорта 'Loch Ness'

Note: С-ц\* – seedling; С-ц LN\*\* – seedlings from free pollination of cv. 'Loch Ness'

**Таблица 2. Содержание антоцианов, катехинов и лейкоантоцианов (мг/100 г сырой массы) в плодах ежевики (среднее за 2017–2021 гг.; ВНИИСПК, Орел)****Table 2. The content of anthocyanins, catechins and leucoanthocyanins (mg/100 g fresh weight) in blackberry fruits (average for 2017–2021; VNIISPK, Orel)**

Сорт, отборный сеянец	Антоцианы		Катехины		Лейкоантоцианы	
	$\bar{x} \pm m$	V,%	$\bar{x} \pm m$	V,%	$\bar{x} \pm m$	V,%
Agawam (контроль)	343,0 ± 87,0	50,3	233,8 ± 18,3	18,3	233,4 ± 51,5	44,1
Brzezina	511,3 ± 126,0	49,3	222,5 ± 19,2	17,2	271,3 ± 74,8	55,1
Black Satin	653,6 ± 50,8	15,5	161,1 ± 38,9	48,3	139,8 ± 18,1	22,4
Cacanska Bestrna	371,5 ± 86,1	40,1	103,7 ± 12,0	20,0	147,2 ± 22,1	26,1
Chester	717,7 ± 74,8	23,3	216,0 ± 78,2	81,0	191,5 ± 39,0	35,2
Erie	332,5 ± 79,1	53,2	213,7 ± 11,1	11,6	132,3 ± 14,6	22,1
Loch Tay	443,0 ± 108,5	42,4	187,9 ± 27,4	25,3	539,7 ± 108,5	72,8
Natchez	545,1 ± 54,7	22,4	237,7 ± 31,0	29,2	168,4 ± 11,7	26,2
Ouachita	540,2 ± 44,7	16,6	187,2 ± 47,6	50,9	356,8 ± 77,4	43,4
Thornfree (контроль)	501,0 ± 49,4	31,2	148,5 ± 12,8	27,3	216,9 ± 38,7	56,9
Triple Crown	662,4 ± 73,6	24,8	162,6 ± 19,6	27,0	471,9 ± 152,8	72,4
С-ц* Black Satin	280,3 ± 69,7	60,9	228,4 ± 28,0	29,9	358,9 ± 116,0	79,8
С-ц LN-1**	537,8 ± 86,0	27,9	192,0 ± 35,5	32,0	293,7 ± 104,0	61,1
С-ц LN-2	399,0 ± 74,5	37,3	199,0 ± 22,1	23,0	181,6 ± 34,9	39,0
С-ц LN-3	478,2 ± 72,8	34,0	238,0 ± 34,0	31,8	314,0 ± 43,2	31,1
С-ц LN-5	582,7 ± 69,4	29,7	274,7 ± 33,3	30,2	195,0 ± 22,6	26,0
С-ц LN-6	485,4 ± 53,4	19,1	184,2 ± 21,9	20,6	220,0 ± 60,3	47,3
С-ц LN-7	534,3 ± 136,1	50,9	277,1 ± 45,1	32,3	176,0 ± 11,6	11,4
С-ц LN-8	477,9 ± 94,5	44,2	242,5 ± 41,7	38,4	232,9 ± 31,7	27,2
С-ц LN-10	504,3 ± 95,2	42,2	249,4 ± 64,2	51,5	249,3 ± 51,3	35,7
С-ц LN-12	470,4 ± 17,2	6,3	183,5 ± 43,3	40,8	262,0 ± 55,8	36,9
ЭЛС LN-4	528,5 ± 53,6	26,8	192,8 ± 22,2	30,5	233,9 ± 49,1	52,3
ЭЛС LN-13	478,5 ± 19,7	8,2	184,7 ± 9,5	10,2	185,3 ± 27,4	25,6
ЭЛС LN-14	613,0 ± 38,7	14,1	238,6 ± 31,4	29,5	224,4 ± 55,0	49,0
ЭЛС Cheyenne	310,3 ± 84,9	61,2	236,2 ± 47,5	45,0	285,7 ± 131,5	102,9
<b>Среднее, <math>\bar{x}</math></b>	<b>492,1</b>	<b>-</b>	<b>206,7</b>	<b>-</b>	<b>251,3</b>	<b>-</b>
<b>Ошибка, m</b>	<b>22,1</b>	<b>-</b>	<b>7,7</b>	<b>-</b>	<b>19,7</b>	<b>-</b>
<b>Минимальное</b>	<b>280,4</b>	<b>6,3</b>	<b>103,7</b>	<b>10,2</b>	<b>132,3</b>	<b>11,4</b>
<b>Максимальное</b>	<b>717,7</b>	<b>61,2</b>	<b>277,1</b>	<b>81,0</b>	<b>539,7</b>	<b>102,9</b>
<b>Коэффициент вариации, V,%</b>	<b>22,4</b>	<b>-</b>	<b>18,7</b>	<b>-</b>	<b>39,1</b>	<b>-</b>

Примечание: С-ц\* – сеянец; С-ц LN\*\* – сеянцы от свободного опыления сорта 'Loch Ness'

Note: С-ц\* – seedling; С-ц LN\*\* – seedlings from free pollination of cv. 'Loch Ness'

Были рассчитаны коэффициенты корреляции между содержанием АК и отдельными компонентами фенольного комплекса в плодах ежевики (табл. 4). На основании сделанных расчетов выявлены достоверные положительные связи средней степени между содержанием АК и антоцианов, АК и суммой фенольных соединений.

По комплексу признаков (содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений) выделены генотипы, представляющие интерес как источники высокого содержания биологически активных веществ: 'Black Satin', 'Cacanska Bestrna', 'Chester', 'Natchez', 'Triple Crown', ЭЛС LN-14, ОС LN-1 и ОС LN-7.

**Таблица 3. Ранжирование сортов, элитных и отборных сеянцев ежевики по сумме фенольных соединений в плодах (среднее за 2017–2021 гг.; ВНИИСПК, Орел)****Table 3. Distribution of blackberry cultivars, elite and selected seedlings according to the amount of phenolic compounds in fruits (average for 2017–2021; VNIISPK, Orel)**

Содержание суммы фенольных соединений, мг/100 г сырой массы		
≤ 849	850–999	≥ 1000
Cacanska Bestrna (622) Erie (679) С-ц LN-2 (780) <b>Agawam (810)</b> С-ц Cheyenne (832) ЭЛС LN-13 (849)	<b>Thornfree (866)</b> С-ц Black Satin (869) С-ц LN-6 (890) С-ц LN-12 (916) Natchez (951) С-ц LN-8 (953) Black Satin (955) ЭЛС LN-4 (955) С-ц LN-7 (987)	С-ц LN-10 (1003) Brzezina (1005) С-ц LN-1 (1023) С-ц LN-3 (1030) LN-5 (1052) ЭЛС LN-14 (1076) Ouachita (1084) Chester (1125) Loch Tay (1171) Triple Crown (1297)

**Таблица 4. Коэффициенты корреляции (r) между содержанием АК (мг/100 г) и содержанием фенольных соединений (мг/100 г) в плодах ежевики****Table 4. Correlation coefficients (r) between the content of ascorbic acid (mg/100 g) and the content of phenolic compounds (mg/100 g) in blackberry fruits**

Показатель	Антоцианы	Катехины	Лейкоантоцианы	Сумма фенольных соединений
Аскорбиновая кислота	+0,664	-0,098	+0,016	+0,477

### Выводы

Проведенное исследование биохимического состава 25 образцов ежевики генофонда Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК) по содержанию аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в плодах подтвердили ценность этой культуры, выращиваемой в условиях Орловской области. Как источники антиоксидантов выделены генотипы с высокими значениями содержания биологически активных веществ в плодах: Р-активных веществ (катехинов, лейкоантоцианов, антоцианов и их суммы) и витамина С (аскорбиновой кислоты). Установлено, что все сорта и гибридные сеянцы являются богатым источником антоцианов (более 250 мг/100 г). Получены коэффициенты корреляции, свидетельствующие о присутствии средней степени прямолинейной связи между содержанием аскорбиновой кислоты и антоциановых веществ ( $r = +0,664$ ), аскорбиновой кислоты и суммой фенольных соединений ( $r = +0,477$ ).

По комплексу признаков (аскорбиновая кислота и фенольные соединения) выделены генотипы как источники высокого содержания биологически активных веществ: 'Black Satin', 'Cacanska Bestrna', 'Chester', 'Natchez', 'Triple Crown', ЭЛС LN-14, ОС LN-1 и ОС LN-7, представляющие интерес для дальнейшего использования в качестве родительских форм в селекционных программах по созданию новых перспективных генотипов с высокой антиоксидантной активностью плодов.

### References / Литература

- Abeysuriya H.I., Bulugahapitiya V.P., Pulukkuttige J.L. Total vitamin C, ascorbic acid, dehydroascorbic acid, antioxidant properties, and iron content of underutilized and commonly consumed fruits in Sri Lanka. *International Journal of Food Science*. 2020;2020:4783029. DOI: 10.1155/2020/4783029
- Al-Obaidi Z.M.J., Hussain Y.A., Ali A.A., Al-Rekabi M.D. The influence of vitamin-C intake on blood glucose measurements in COVID-19 pandemic. *Journal of Infection in Developing Countries*. 2021;15(2):209-213. DOI: 10.3855/jidc.13960
- Berretta M., Quagliariello V., Maurea N., Di Francia R., Sharifi S., Facchini G. et al. Multiple effects of ascorbic acid against chronic diseases: Updated evidence from pre-clinical and clinical studies. *Antioxidants*. 2020;9(12):1182. DOI: 10.3390/antiox9121182
- Brugnara E.C. Produção, época de colheita e qualidade de cinco variedades de amoreira-preta em Chapecó, SC. *Agropecuária Catarinense*. 2017;29(3):71-75. [in Portuguese]
- Clark J.R., Finn C.E. Blackberry cultivation the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2014;36(1):46-57. DOI: 10.1590/0100-2945-445/13
- Ermakov A.I. (ed.). Methods of biochemical research on plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Leningrad; 1987. [in Russian] (Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Ленинград; 1987).

- Gruner L.A. Adaptive capabilities of blackberries in conditions of Orel Region. *Contemporary Horticulture*. 2019;(3):27-41. [in Russian] [Грюнер Л.А. Адаптационные возможности ежевики в условиях Орловской области. *Современное садоводство – Contemporary horticulture*. 2019;(3):27-41]. DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10305
- Gruner L.A., Kornilov B.B. Priority trends and prospects blackberry breeding in conditions of Central Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(5):489-500. DOI: 10.18699/VJ20.641
- Guedes M.N.S., Pio R., Maro L.A.C., Lage F.F., de Abreu C.M.P., Saczk A.A. Antioxidant activity and total phenol content of blackberries cultivated in a highland tropical climate. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2017;39(1):43-48. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i1.28413
- Iqbal K., Khan A., Khattak M.M.A.K., Biological significance of ascorbic acid (vitamin C) in human health – a review. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2004;3(1):5-13. DOI: 10.3923/pjn.2004.5.13
- Kaume L., Howard L.R., Devareddy L. The blackberry fruit: a review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(23):5716-5727. DOI: 10.1021/jf203318p
- Knyazev S.D., Levgerova N.S., Makarkina M.A., Pikunova A.V., Salina E.S., Chekalin E.I., Yanchuk T.V., Shavyrkina M.A.. Black currant breeding: methods, achievements, trends (Selektsiya chernoy smorodiny: metody, dostizheniya, napravleniya. Orel: VNIISPK; 2016. [in Russian] [Князев С.Д., Левгерова Н.С., Макаркина М.А., Пикунова А.В., Салина Е.С., Чекалин Е.И., Янчук Т.В., Шавыркина М.А. Селекция черной смородины: методы, достижения, направления. Орел: ВНИИСПК; 2016).
- Lester E.G. Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid,  $\beta$ -carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *HortScience*. 2006;41(1):59-64. DOI: 10.21273/hortsci.41.1.59
- Lima G., Vianello F., Corrêa C., Campos R., Borguini M. Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. *Food and Nutrition Sciences*. 2014;5(11):1065-1082. DOI: 10.4236/fns.2014.511117
- Liu R.H. Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of Food Science*. 2013;78 Suppl 1:18-25. DOI: 10.1111/1750-3841.12101
- Makarkina M., Gruner L., Vetrova O., Matnasarova D. The accumulation of sugars and organic acids in blackberry fruit in the conditions of Central Russia. *BIO Web of Conferences*. 2021;36:02006. DOI: 10.1051/bioconf/20213602006
- Makarkina M.A. Apple and red currant breeding for the improvement of chemical composition of fruits (Selektsiya yabloni i smorodiny krasnoy na uluchsheniye khimicheskogo sostava plodov) [dissertation]. Bryansk; 2009. [in Russian] [Макаркина М.А. Селекция яблони и смородины красной на улучшение химического состава плодов: дис. ... докт. с.-х. наук. Брянск; 2009]. URL: <https://www.dissercat.com/content/selektsiya-yabloni-i-smorodiny-krasnoi-na-uluchsheniye-khimicheskogo-sostava-plodov> [дата обращения: 09.12.2021].
- Moraes D.P., Lozano-Sánchez J., Machado M.L., Vizzotto M., Lazzaletti M., Leyva-Jimenez F.J.J. et al. Characterization of a new blackberry cultivar BRS Xingu: chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant capacity *in vitro* and *in vivo*. *Food Chemistry*. 2020;322:126783. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126783
- Pleshkov B.V. Practical guide to plant biochemistry (Praktikum po biokhimmii rasteniy). Moscow: Kolos; 1976. [in Russian] [Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос; 1976].
- Ravetti S., Clemente C., Brignone S., Hergert L., Allemandi D., Palma S. Ascorbic acid in skin health. *Cosmetics*. 2019; 6(4):58. DOI: 10.3390/cosmetics6040058
- Reyes-Carmona J., Yousef G.G., Martínez-Peniche R.A., Lila M.A. Antioxidant capacity of fruit extracts of blackberry (*Rubus* sp.) produced in different climatic regions. *Journal of Food Science*. 2006;70(7):497-503. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb11498.x
- Rodriguez-Mateos A., Vauzour D., Krueger C.G., Shanmuganayagam D., Reed J., Calani L. et al. Bioavailability, bioactivity and impact on health of dietary flavonoids and related compounds: an update. *Archives of Toxicology*. 2014;88(10):1803-1853. DOI: 10.1007/s00204-014-1330-7
- Samorodova-Bianki G.B., Streltsina S.A. Research on biologically active substances in fruits. Guidelines (Issledovaniye biologicheskii aktivnykh veshchestv plodov. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] [Самородова-Бianки Г.Б., Стрельцина С.А. Исследование биологически активных веществ плодов. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1989].
- Schulz M., Seraglio S.K.T., Betta F.D., Nehring P., Valesse A.C., Dagher H. et al. Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant capacity in two edible stages. *Food Research International*. 2019;122:627-634. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.01.034
- Sedova Z.A., Leonchenko V.G., Astakhov A.I. Cultivar assessment for chemical composition of fruits (Otsenka sortov po khimicheskomu sostavu plodov). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds). *Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortozicheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur)*. Orel: VNIISPK; 1999. p.160-167. [in Russian] [Седова З.А., Леонченко В.Г., Астахов А.А. Оценка сортов по химическому составу плодов. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999. С.160-167).
- Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T., Sochor J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015;16(10):24673-24706. DOI: 10.3390/ijms161024673
- Strik B.C. A review of nitrogen nutrition of *Rubus*. *Acta Horticulturae*. 2008;777:403-410. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.777.61
- Takeda F., Handley D.A. A winter protection method for blackberries. *HortScience*. 2006;41(4):1011. DOI: 10.21273/HORTSCI.41.4.1011D
- Thomas R.H., Woods F.M., Dozier W.A., Ebel R.C., Nesbitt M., Wilkins B. et al. Cultivar variation in physicochemical and antioxidant activity of Alabama-grown blackberries. *Small Fruits Review*. 2005;4(2):57-71. DOI: 10.1300/J301v04n02\_07
- Upadyshev M.T. The role of phenolic compounds in the vital activity of garden plants (Rol fenolnykh soyedineniy v protsessakh zhiznedeyatel'nosti sadovykh rasteniy). Moscow: VSTISP; 2008. [in Russian] [Упадышев М.Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений. Москва: ВСТИСП; 2008].



*Информация об авторах*

**Маргарита Алексеевна Макаркина**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, лаборатория биохимической и технологической оценки сортов и хранения, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, makarkina@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7979-3426>

**Оксана Альфредовна Ветрова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, лаборатория биохимической и технологической оценки сортов и хранения, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, vetrova@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-323X>

**Лидия Андреевна Грюнер**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел селекции и сортоизучения ягодных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, gruner@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6551-4369>

**Борис Борисович Корнилов**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, отдел селекции и сортоизучения ягодных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, kornilov@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1039-044X>

*Information about the authors*

**Margarita A. Makarkina**, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, makarkina@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7979-3426>

**Oksana A. Vetrova**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, vetrova@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-323X>

**Lidia A. Gruner**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, gruner@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6551-4369>

**Boris B. Kornilov**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, kornilov@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1039-044X>

**Вклад авторов:** Макаркина М.А. – идея, постановка эксперимента, разработка цели, подготовка чернового варианта рукописи, обработка и анализ экспериментальных данных, подготовка обсуждения, выводов; Ветрова О.А. – постановка эксперимента по проведению биохимического анализа, обработка полученного первичного цифрового материала; Грюнер Л.А. – закладка коллекции, предоставление образцов для проведения эксперимента; Корнилов Б.Б. – закладка коллекции, предоставление образцов для проведения эксперимента.

**Contribution of the authors:** M.A. Makarkina – idea, experimental design, goal development, preparation of a draft version of the manuscript, processing and analysis of experimental data, preparation of discussion, conclusions; O.A. Vetrova – setting up an experiment to conduct biochemical analysis, processing of the obtained primary digital material; L.A. Gruner – laying the collection, providing accessions for the experiment; B.B. Kornilov – laying the collection, providing accessions for the experiment.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 21.03.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2022; принята к публикации 03.06.2022.

The article was submitted on 21.03.2022; approved after reviewing on 20.04.2022; accepted for publication on 03.06.2022.