

# БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ЯГОД ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58

УДК 634.723.1:581.19 (470.2)

Поступление/Received: 13.03.2019

Принято/Accepted: 18.09.2019

О. А. ТИХОНОВА, Т. В. ШЕЛЕНГА

Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических ресурсов  
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;  
✉ o.tikhonova@vir.nw.ru

BIOACTIVE SUBSTANCES OF BLACK CURRANT  
BERRIES IN THE CONDITIONS OF  
NORTHWESTERN RUSSIA

О. А. TIKHONOVA, T. V. SHELENGA

N.I. Vavilov All-Russian Institute  
of Plant Genetic Resources (VIR),  
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,  
St. Petersburg 190000, Russia;  
✉ o.tikhonova@vir.nw.ru

**Актуальность.** Среди ягодных растений черная смородина занимает одно из лидирующих положений по содержанию питательных и биологически активных веществ, необходимых для сбалансированного питания человека. Современные стандарты, предъявляемые к сортам этой культуры, включают обязательные требования и к качеству плодов, в том числе к их биохимическому составу. Повышенное содержание питательных и биологически активных веществ в ягодах является одним из приоритетных направлений в селекции культуры. Биохимический состав плодов, будучи генетически обусловленным признаком, может изменяться в условиях различных почвенно-климатических зон. В связи с этим изучение уровня накопления биологически активных веществ в плодах в конкретном регионе возделывания сорта является актуальным. **Материалы и методы.** Содержание биологически активных веществ в ягодах черной смородины изучали в 2010–2012 гг. в лаборатории биохимии и молекулярной биологии Всероссийского НИИ генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Уровень накопления Р-активных веществ (флавонолов, фенолкарбоновых кислот, флаванов, антоцианов) определяли согласно методикам, принятым в ВИР. **Результаты и выводы.** Проведенное изучение биологически активных веществ ягод черной смородины показало, что возделываемые в Ленинградской области сорта содержат от 518,1 до 813,6 мг/100 г биофлавоноидов, в том числе: 20,6 мг/100 г флавонолов, 75,4 мг/100 г фенолкарбоновых кислот, 233,8 мг/100 г катехинов и 335,1 мг/100 г антоцианов. В результате изучения выделены сорта – источники высокого (> 700 мг/100 г) общего содержания биофлавоноидов: ‘Воспоминание’ (к-40471), ‘Орловия’ (к-35789), ‘Надия’ (к-42478); повышенного содержания фенолкарбоновых кислот: ‘Орловия’ (к-35789), ‘Сенсей’ (к-42646); катехинов: ‘Воспоминание’ (к-40471), ‘Орловия’ (к-35789), ‘Надия’ (к-42478), ‘Очарование’ (к-41980). Все изученные сорта характеризуются высоким уровнем накопления антоцианов (> 200 мг/100 г) и могут быть использованы в селекции на указанный признак. Самая высокая изменчивость показателей из числа фенольных соединений наблюдалась у оксикоричных кислот. Установлено наличие отрицательных взаимосвязей между массой ягоды и содержанием отдельных биологически активных соединений.

**Ключевые слова:** флавонолы, катехины, фенолкарбоновые кислоты, антоцианы, Р-активные вещества, сорт.

**Background.** Black currant occupies one of the leading positions among berry plants in terms of the content of nutrients and bioactive substances that are necessary for a balanced human diet. The modern standards for black currant varieties include mandatory requirements to the quality of fruits, including their biochemical composition. The high content of nutrients and biologically active substances in the berries is one of the priorities in breeding of this crop. The fruit biochemical composition is a genetically determined trait that can vary in different soil and climatic zones. In this regard, the analysis of the degree of bioactive substances accumulation in berries in a particular region of cultivation is relevant. **Materials and methods.** The content of bioactive substances in black currant berries was analyzed in 2010–2012 in the Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology of the N.I. Vavilov Institute (VIR). The content of P-active substances (flavonols, phenol carboxylic acids, flavanes, anthocyanins) was determined in accordance with the methodological guidelines accepted at VIR. **Results and discussion.** Black currant varieties cultivated in Leningrad Province contain from 518.1 to 813.6 mg/100 g of bioflavonoids, including 20.6 mg/100 g of flavonols, 75.4 mg/100 g of phenol carboxylic acids, 233.8 mg/100 g of catechins and 335.1 mg/100 g of anthocyanins. As a result of the study, the sources of high total content of bioflavonoids and separate groups of phenolic compounds have been identified and can be used in breeding programs. The sources of high phenol carboxylic acids content are cvs. ‘Orloviya’ (k-35789) and ‘Sensei’ (k-42646); high catechin content is characteristic of cvs. ‘Vospominanie’ (k-40471), ‘Orloviya’ (k-35789), ‘Nadiya’ (k-42478) and ‘Ocharovanie’ (k-41980); while the sources of P-active substances (> 700 mg/100 g) are cvs. ‘Vospominanie’ (k-40471), ‘Orloviya’ (k-35789) and ‘Nadiya’ (k-42478). All the studied varieties are characterized by a high level of anthocyanins accumulation (> 200 mg/100 g) and can be used in breeding for the indicated trait. The highest variability of indicators of phenolic compounds was observed for hydroxycinnamic acids. The existence of negative relationships between the berry mass and the content of individual bioactive compounds was established.

**Key words:** flavonols, catechins, phenol carboxylic acids, anthocyanins, P-active substances, cultivar.

## Введение

Фенольные соединения являются одним из наиболее важных классов биологически активных веществ, широко распространенных в растительном мире. Их относят к веществам «вторичного обмена», однако эта самая обширная группа вторичных соединений отнюдь не «вторична» по значимости (Vysochina, 2004).

Их воздействие на организм человека и животных охватывает целый ряд жизненно важных его функций: обмен веществ, кроветворение, укрепление стенок сосудов, выведение радиоактивных нуклеотидов из организма человека и т. д. (Streltsina et al., 1992, Myasishcheva, Artemova, 2013).

Черная смородина является одним из наиболее ценных и доступных источников высокого содержания витамина С и биологически активных полифенолов (Vigofov, 1976). В списке традиционных ягодных растений эта культура занимает одно из лидирующих положений по содержанию питательных и биологически активных веществ, необходимых для сбалансированного питания человека.

Современные стандарты, предъявляемые к сортам черной смородины, обязательно включают определенные требования и к качеству плодов, в том числе к их биохимическому составу. Эта задача является одной из приоритетных в селекции культуры.

Биохимический состав плодов, будучи генетически обусловленным признаком, может изменяться в условиях различных почвенно-климатических зон. В связи с этим оценка уровня накопления биологически активных веществ в плодах в конкретном регионе возделывания сорта является актуальной.

*Задача нашего исследования* заключалась в изучении химического состава плодов 9 сортов черной смородины в условиях Северо-Запада России и выделение генотипов с наилучшими биохимическими показателями.

## Материал и методика

Изучение содержания биологически активных веществ (флавонолов, фенолкарбоновых кислот, катехинов и антоцианов) в ягодах черной смородины проводили в 2010–2012 гг. в лаборатории биохимии и молеку-

лярной биологии Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Уровень накопления Р-активных веществ (флавонолов, фенолкарбоновых кислот, флаванов, антоцианов) определяли с помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией на хроматографе Agilent 6850 (USA) и классическими методами, принятыми в лаборатории биохимии ВИР. Свободные катехины и фенолкарбоновые кислоты определяли с помощью ГЖХ-МС; катехины, проантоцианидины – методом хроматографии на колонках из полиамида; флавонолы, флаваны, фенолкарбоновые кислоты – методом двумерной бумажной хроматографии; антоцианы – спектрофотометрическим методом (Samorodova-Bianki, Streltsina, 1989, Shelenga et al., 2012).

Объектами исследования служили 9 сортов черной смородины из генофонда, сохраняемого на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». В качестве контроля использовали сорт 'Орловия' (К).

Сорта, включенные в изучение с указанием номеров каталога ВИР и названиями учреждений-оригинаторов, приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Объекты исследования**

**Table 1. Objects of study**

Название сорта	№ каталога ВИР	Географическое происхождение
Грация	40514	Орел, ВНИИСПК
Орловия (К)	35789	–«–
Орловский вальс	40522	–«–
Очарование	41980	–«–
Воспоминание	40471	Мичуринск, ФНЦ им. И. В. Мичурина
Сенсей	42646	–«–
Краса Львова	42510	Украина, Киев, ИС УААН
Надия	42478	–«–
Stor Klas	42491	Швеция, Bålsgard

## Результаты и обсуждение

Фенольные соединения являются основной группой биологически активных веществ, обеспечивающих лечебный эффект ягод черной смородины (Bakin et al., 2015). По особенностям химического строения биофлавоноиды подразделяются на несколько классов (Streltsina et al., 2007).

Проведенное нами изучение количественного состава Р-активных веществ в ягодах черной смородины показало, что в условиях Ленинградской области суммарное содержание таковых варьировало в зависимости от сорта в пределах от 518,1 до 813,6 мг/100 г при среднем содержании 671,3 мг/100 г (рис. 1). Только у двух сортов ('Воспоминание', 'Орловия') уровень накопления полифенолов превысил концентрацию 800 мг/100 г. У сорта 'Надия' содержание фенольных соединений оказалось близким к этому значению (табл. 2 и рис. 1).

Распределение биологически активных веществ в плодах изученных сортов черной смородины по классам показано на рисунке 2.

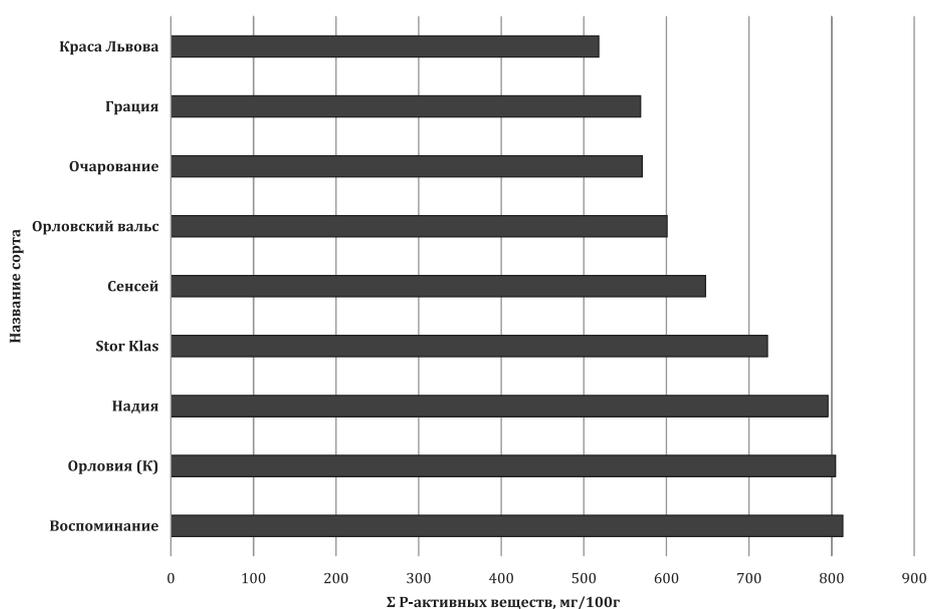
Содержание флавонолов (см. табл. 2; рис. 2,) в ягодах изученных сортов относительно невелико: 16,2 ('Краса

Львова') – 26,2 мг/100 г ('Сенсей'). Уровень накопления этих веществ в значительной степени зависел от влияния погодных условий. Коэффициент вариации признака (V) составил 20,1–45,8%. Лишь у одного сорта – 'Орловский вальс' – отмечена средняя вариабельность данного параметра (19,9%).

Из числа фенольных соединений, изученных нами, одной из преобладающих является группа флаванов, представленных мономерными (свободными) катехинами, полимерными (конденсированными) катехинами и проантоцианидинами – веществами, обладающими наибольшей Р-витаминной активностью.

Согласно полученным данным, суммарное содержание флаванов составило в среднем 233,8 мг/100 г при диапазоне изменчивости от 151,5 ('Грация') до 340,9 мг/100 г ('Воспоминание'), что свидетельствует о соответствии изученных сортов селекционному заданию по указанному признаку. Самым высоким общим содержанием соединений данного класса (305,3–341,4 мг/100 г) характеризовались сорта 'Воспоминание', 'Надия' и 'Орловия' (К) (рис. 3).

В группе флаванов преобладали проантоцианидины (см. рис. 3). Содержание их составило в среднем 98,9 мг/100 г и варьировало в зависимости от сорта от



**Рис. 1.** Суммарное содержание полифенолов в ягодах черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2010–2012 гг.)

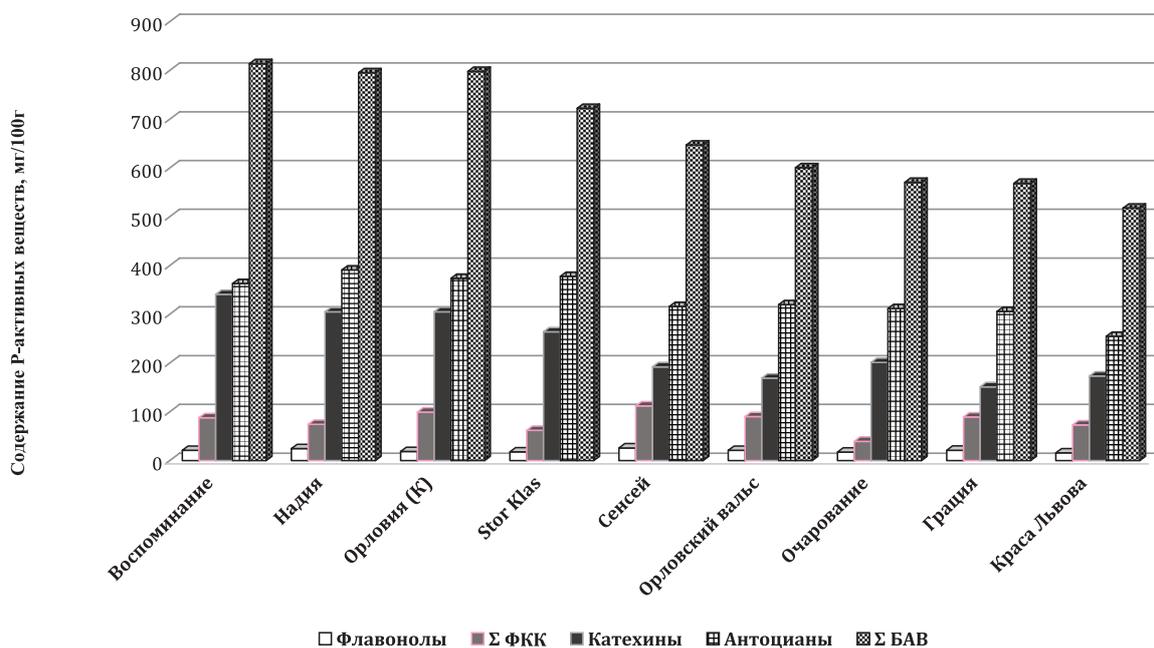
**Fig. 1.** Total polyphenols in black currant berries (Pavlovsk and Pushkin Laboratories, 2010–2012)

**Таблица 2.** Содержание P-активных веществ в ягодах черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2010–2012 гг.)

**Table 2.** P-active substances in black currant berries (Pavlovsk and Pushkin Laboratories, 2010–2012)

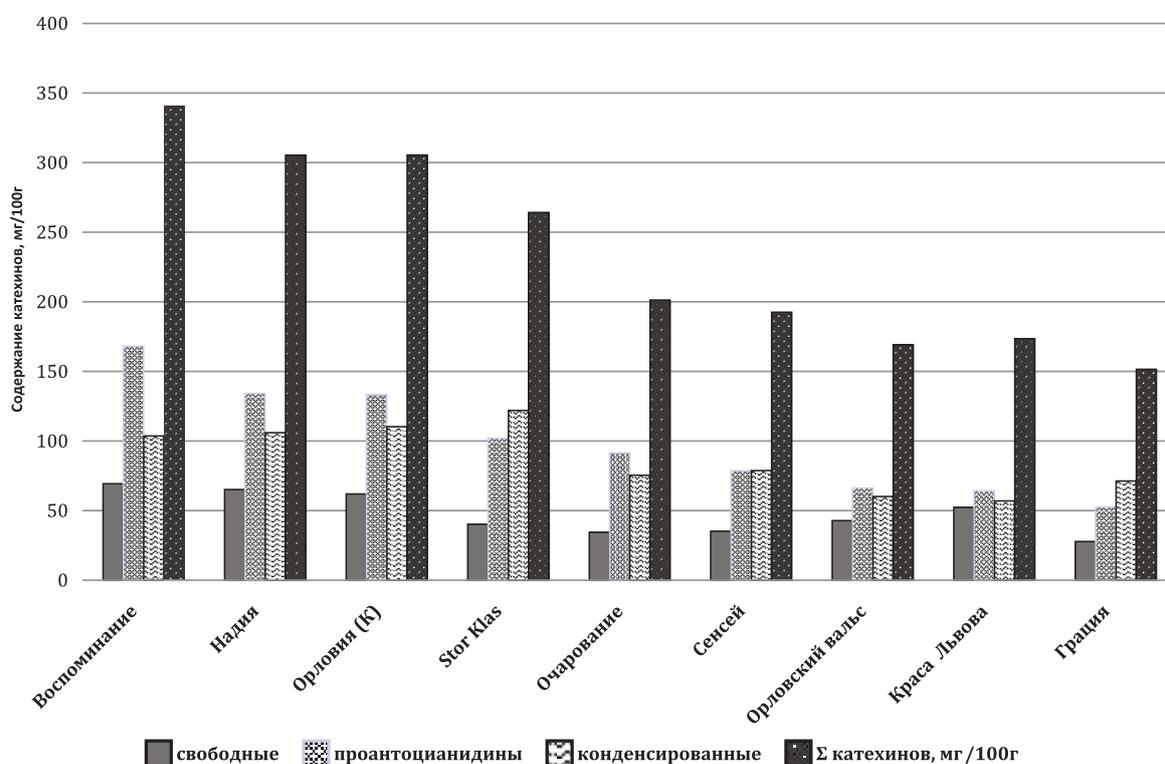
Сорт	Флавонолы, мг/100 г	Σ ФКК, мг/100г	Катехины, мг/100 г			Антоцианы, мг/100 г	Σ P-активных веществ, мг/100 г
			свободные	проантоцианидины	конденсированные		
Воспоминание	21,2 13,2–27,3	88,2 49,8–125,4	69,3 40,0–110,0	168,0 122,0–240,0	103,6 89,0–120,0	363,3 360–370	813,6 624,4–892,1
Орловия (К)	19,0 12,8–24,1	106,3 70,6–144,6	61,9 23,9–125,2	133,2 57,5–232,0	110,3 70,0–161,0	374,0 320–401	804,7 484,6–972,0
Надя	24,9 20,4–29,4	74,4 57,6–91,1	65,1 56,5–73,7	134,2 122,3–146,1	106,0 102,0–110,0	391,0 390–392	795,6 691,5–778,2
Stor Klas*	18,0	62,2	40,2	102,0	122,0	378,0	722,4
Сенсей	26,2 16,2–36,2	112,3 69,0–164,2	35,1 30,8–40,6	78,6 67,6–87,6	78,8 72,1–82,1	316,3 309–320	647,3 496,0–596,3
Орловский вальс	21,1 18,1–24,1	90,5 64,9–115,7	42,8 30,2–55,3	66,3 66,0–66,5	60,1 60,0–60,2	320,0 319–321	600,8 494,6–552,9
Очарование	17,7 10,4–26,4	39,7 21,6–61,9	34,5 27,7–47,7	91,4 46,2–119	75,4 70,0–80,1	312,0 306–320	570,7 460,6–607,1
Грация	21,4 18,3–21,4	89,8 72,2–107,5	27,8 27,3–28,2	52,5 49,4–55,5	71,2 70,2–72,2	306,0 302–310	568,7 467,8–513,4
Краса Львова	16,2 11,2–21,2	73,4 64,3–82,5	52,4 27,1–77,7	64,1 41,4–86,8	57,0 52,0–62,0	255,0 250–260	518,1 382,1–533,2
<b>Среднее</b>	<b>20,6</b>	<b>75,4</b>	<b>47,7</b>	<b>98,9</b>	<b>87,2</b>	<b>335,1</b>	<b>671,3</b>

\* – однолетние данные



**Рис. 2.** Содержание Р-активных веществ в ягодах черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2010–2012 гг.)

**Fig. 2.** P-active substances in black currant berries (Pavlovsk and Pushkin Laboratories, 2010–2012)



**Рис. 3.** Содержание флаванов в ягодах черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2010–2012 гг.)

**Fig. 3.** Flavanols in black currant berries (Pavlovsk and Pushkin Laboratories, 2010–2012)

52,5 ('Грация') до 168 мг/100 г ('Воспоминание'). Уровень их накопления в основном носил стабильный характер. Коэффициент вариации признака (V) составил 0,53 ('Орловский вальс') – 7,4% ('Сенсей'). У двух сортов ('Воспоминание' и 'Краса Львова') варибельность была значительной – 37,6 и 50,1% соответственно.

Содержание конденсированных катехинов также было достаточно высоким (см. рис. 3). Уровень накопления их составил в среднем 87,2 мг/100 г и варьировал в зависимости от генотипа от 57,0 ('Краса Львова') до 110,3 мг/100 г ('Орловия'). Накопление указанных веществ имело более стабильный характер. Коэффициент вариации признака был незначительным:  $V = 0,23$  ('Орловский вальс') – 7,4% ('Сенсей'), или носил умеренный характер:  $V = 12,5$  ('Краса Львова') – 15% ('Воспоминание').

В группе флаванов наименьшей степенью аккумуляции характеризовались свободные катехины, уровень накопления которых составил в среднем 47,7 мг/100 г и находился в пределах 27,8 ('Грация') – 69,3 мг/100 г ('Воспоминание'). Варибельность признака при этом была значительной. Коэффициент вариации (V) в зависимости от сорта составил 33,3 ('Очарование') – 68,3% ('Краса Львова'). Сорта 'Сенсей' и 'Надия' характеризовались средней степенью изменчивости признака ( $V = 14,3$  и 18,7%) соответственно. Лишь сорт 'Грация' имел стабильные значения показателя ( $V = 2,3\%$ ) при низком содержании мономерных катехинов.

Важным классом фенольных соединений являются антоцианы – широко распространенные в природе водорастворимые растительные пигменты, придающие окраску различным плодам, овощам и цветам. Они представляют одну из групп флавоноидов, которые не только обеспечивают многообразие окраски, но и повышают стрессоустойчивость растений к факторам среды. Поступая в организм человека с фруктами и овощами, они нормализуют состояние кровяного давления и сосудов. Образую комплексы с радиоактивными элементами, антоцианы способствуют быстрому выведению их из организма. В настоящее время доказана их выраженная антиоксидантная способность, более эффективная по сравнению с витаминами С и Р (Butenko, Podgornaya, 2016). Помимо вышесказанного, соединения этого класса обладают антибактериальными и антиканцерогенными свойствами. Обнаружено благоприятное воздействие антоцианов черной смородины на состояние зрительного аппарата человека (Petrova, Kuznetsova, 2014).

Синтез антоцианов в плодах начинается в середине – конце июня, что сопровождается переходом окраски плодов из зеленой в бурю и далее в черную. Содержание их стабильно растет до середины – конца июля, а затем идет на снижение (Shaposhnik, 2011).

По полученным нами данным, все изученные сорта характеризовались высоким содержанием антоцианов (более 200 мг/100 г). Больших сортовых различий по содержанию веществ данной группы не выявлено. Среднее содержание антоцианов в плодах составило 335,1 мг/100 г при диапазоне изменчивости в зависимости от образца 255,0–391,0 мг/100 г (см. табл. 2). В ягодах контрольного сорта 'Орловия' уровень накопления указанных веществ был высоким – 374,0 мг/100 г. Содержание антоцианов выше контрольного уровня наблюдалось лишь у двух сортов ('Надия' и 'Stor Klas'; см. табл. 2). При этом изменчивость признака (V) была невысокой и составила в среднем по всем сортам 1,82% с размахом изменчивости от 0,36 ('Надия') до 2,8% ('Краса Львова').

Изучение качественного состава фенолкарбонных кислот (ФКК) в ягодах показало наличие в них 12 сое-

динений данного класса (5 оксикоричных, 5 оксисбензойных, хинная и шикимовая кислоты).

Известно, что минорные компоненты оксикоричных кислот могут обладать высокой биологической активностью даже при невысокой концентрации (Streltsina et al., 2007).

Несмотря на то что биологическая активность соединений данного класса изучена недостаточно, установлено выраженное желчегонное действие для феруловой, кофейной, хлорогеновой кислот; туберкулоустатическое действие для пара-кумаровой; сильные антибактериальные свойства для кофейной. Феруловая кислота обладает широким спектром фармакологических свойств, обусловленных в основном ее антиоксидантной активностью. Галловая кислота применяется в составе противоопухолевых средств, антипаразитарных препаратов, обладает кардио-, гепатопротекторным и антиоксидантным действием (Dyakov et al., 2005).

Качественный и количественный состав фенолкарбонных кислот в ягодах изученных сортов приведен на рисунке 4. При исследовании количественного состава ФКК выявлено, что их содержание варьирует в зависимости от сорта от 39,7 ('Очарование') до 112,3 мг/100 г ('Сенсей') при среднем значении 75,4 мг/100 г (см. табл. 2).

В наибольших количествах в ягодах изученных сортов были представлены хинная (6,5–26,8 мг/100 г), протокатеховая (7,4–37,5 мг/100 г), пара-кумаровая (10,0–36,6 мг/100 г) и неохлорогеновая (8,1–19,2 мг/100 г) кислоты.

Содержание хлорогеновой, бензойной и гидроксисбензойной кислот составило 5,0–9,08 и 0,69–6,6 мг/100 г соответственно. В незначительных количествах в ягодах присутствовали производные кофейной кислоты (0,43–5,3 мг/100 г), галловая (0,32–2,86 мг/100 г) и салициловая (0,2–1,43 мг/100 г) кислоты. В ягодах трех сортов ('Сенсей', 'Краса Львова' и 'Stor Klas') найдена шикимовая кислота в количествах 7,8; 19,2 и 4,5 мг/100 г, соответственно. В плодах сорта 'Грация' присутствовала феруловая кислота (0,55 мг/100 г).

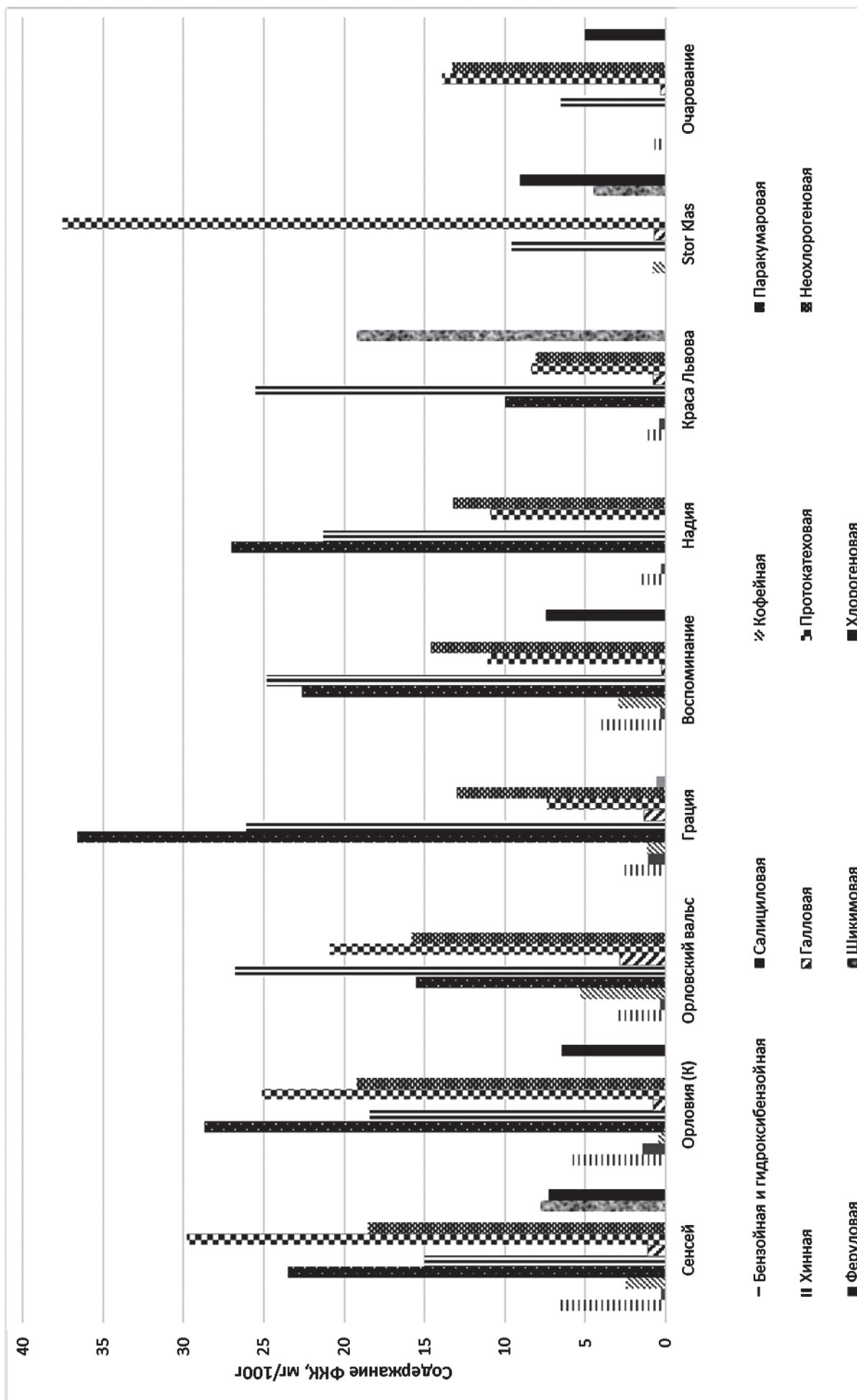
Анализ полученных данных показал, что среди изученных фенольных соединений уровень накопления оксикоричных кислот характеризовался самой высокой степенью изменчивости. Коэффициент вариации для данной группы составил в среднем 76,9%, а диапазон изменчивости – от 34,4 (салициловая кислота) до 124,3% (бензойная и гидроксисбензойная кислоты).

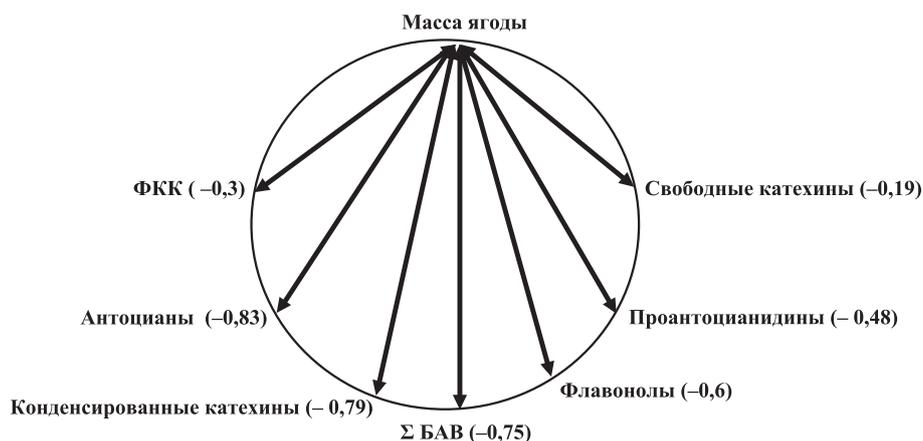
Проведенные нами исследования позволили установить наличие отрицательных взаимосвязей массы ягоды черной смородины с содержанием отдельных биологически активных соединений (рис. 5).

Положительная корреляция существует между содержанием флавонолов и уровнем накопления ФКК ( $r = 0,59$ ). Полученные данные согласуются с мнением других исследователей (Krüger et al., 2011; Viskelis et al., 2012).

Уровень накопления фенольных соединений в ягодах, являясь генетически обусловленным признаком, зависит от степени зрелости сорта и почвенно-климатических условий местности, в которых он возделывается. Так, по данным I. Oshman et al. (2014), на северо-западе Польши, на экспериментальной станции Ostoja, содержание фенольных соединений в ягодах черной смородины варьирует от 227 до 789 мг/100 г. Самое высокое содержание полифенолов (789 мг/100 г) отмечено в плодах шотландского сорта 'Ben Alder', а самый низкий уровень указанных веществ (227–266 мг/100 г) – в ягодах сортов 'Ben Connan', 'Tiben' и 'Ores'. Сорта 'Санюта', 'Сюита Киевская', 'Софиевская', 'Вернисаж'

**Рис. 4.** Содержание фенолкарбоновых кислот (ФКК) в ягодах черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2010–2012 гг.)  
**Fig. 4.** Phenol carbonic acids in black currant berries (Pavlovsk and Pushkin Laboratories, 2010–2012)





**Рис. 5.** Корреляции между массой ягоды и отдельными классами фенольных соединений

**Fig. 5.** Correlations between the berry weight and individual classes of phenolic compounds

и 'Юбилейная Копаня' содержали от 305 до 589 мг/100 г фенольных соединений.

Е. Крюгером, Н. Дитрихом и др. (Kruger et al., 2011) в Германии (Geisenheim Research Station) был изучен химический состав ягод 23 сортов черной смородины. Авторами выявлено, что суммарное содержание фенолов в ягодах изученных сортов составило 372,6–776,5 мг/100 г. Высокий уровень накопления полифенолов (600–700 мг/100 г) был свойственен сортам 'Ben Tron', 'Triton', 'Tiben', 'Ometa' и 'Ben Lomond'.

В Сербии, по данным S. Paunović et al. (2017), общее содержание антоцианов варьировало от 207,5 до 372,9 мг/100 г; в Латвии самое высокое накопление антоцианов (229,17 мг/100 г) отмечено в плодах сорта 'Вернисаж' (Seglina et al., 2008).

В Литовском институте плодоводства при изучении динамики накопления БАВ в плодах 9 сортов смородины установлено, что высокое содержание антоцианов наблюдалось в ягодах сортов, созревающих в поздние сроки, причем самые высокие показатели установлены для перезревших плодов сортов 'Ben Alder', 'Vakarai' и 'Ben Tirran' (Rubinskiene et al., 2005).

Работами P. Viskelis и др. (Viskelis et al., 2012) при исследовании 32 сортов черной смородины в агроклиматических условиях Литвы показано, что содержание полифенолов варьирует в зависимости от генотипа от 400 до 900 мг/100 г. У 50% изученных сортов уровень накопления указанных веществ составил 600–700 мг/100 г. Селекционному заданию по содержанию фенольных соединений (> 700 мг/100 г) в ягодах отвечают семь сортов ('Ben Nevis', 'Gagatai', 'Joninai', 'Поэзия' и др.). Высокое содержание полифенолов (800–900 мг/100 г) было характерно для сортов 'Ben More', 'Ben Tron' и 'Ben Hope'. Ягоды сортов 'Ben Tirran' и 'Tiben' аккумулировали свыше 900 мг/100 г указанных веществ.

В Беларуси, по данным Т. С. Ширко и И. И. Ярошевича (Shirko, Yaroshevich, 1991), ягоды черной смородины содержат от 510 до 950 мг/100 г.

В условиях Краснодарского края суммарное содержание полифенолов в ягодах варьирует от 480,6 ('Севчанка') до 777,9 мг/100 г ('Муравушка'); содержание антоцианов – от 184,2 до 500 мг/100 г (Prichko et al., 2017).

В Белгородской области самое высокое содержание антоцианов было найдено у представителей *R. americanum* Mill. (480,1 мг/100 г) и *R. aureum* L. (438,8 мг/100 г); самое низкое (14,6 мг/100 г) – в плодах *R. alpinum* L. (Shaposhnik, 2009).

Таким образом, самое высокое количество биофлавоноидов в ягодах черной смородины наблюдается

в почвенно-климатических условиях Литвы, где повышенный уровень накопления указанных веществ (700–900 мг/100 г) отмечен у большинства изученных сортов. Высоким содержанием полифенолов характеризуется ряд сортов, возделываемых в Беларуси. Диапазоны изменчивости количественных показателей фенольных соединений в сортах, культивируемых на опытных станциях Польши и Германии, не имеют значимых отличий.

Количественный состав фенольных соединений в плодах одного и того же сорта может существенно различаться в зависимости от эколого-географических условий местности, в которых он выращивается. Так, в ягодах сорта 'Tiben' самый высокий уровень накопления фенольных соединений отмечен в Литве (более 900 мг/100 г); умеренный – в Германии (647,5 мг/100 г). В Польше, напротив, этому сорту присуще очень низкое (242 мг/100 г) содержание указанных веществ.

В нашем исследовании сорта 'Орловский вальс' и 'Грация' характеризовались несколько меньшим уровнем аккумуляции фенольных соединений (600,8 и 568,7 мг/100 г соответственно) по сравнению с почвенно-климатическими условиями Центрального Черноземья, где они, по данным Т. В. Янчук (Yanchuk, 2013), накапливают более 700 мг/100 г указанных веществ. Отсутствие в литературе сведений о содержании полифенолов в ягодах других сортов, изученных нами, не позволяет провести сравнительный анализ и сделать выводы о большем или меньшем уровне накопления этих соединений по сравнению с другими регионами, но если судить по среднесортному содержанию указанных веществ, то можно заключить, что сорта, возделываемые в условиях Северо-Запада России, характеризуются средним уровнем накопления биофлавоноидов, а ряд сортов отвечает селекционному заданию как по суммарному содержанию фенольных соединений, так и по отдельным их классам (катехины, антоцианы).

### Заключение

Изучение биологически активных веществ ягод черной смородины показало, что возделываемые в Ленинградской области сорта содержат от 518,1 до 813,6 мг/100 г биофлавоноидов, в том числе 20,6 мг/100 г флавонолов, 75,4 мг/100 г фенолкарбоновых кислот, 233,8 мг/100 г катехинов и 335,1 мг/100 г антоцианов.

На основании проведенного изучения выделены сорта со стабильно высоким уровнем накопления как отдельных групп фенольных соединений, так и их суммарного содержания, которые могут быть использованы в селекционных программах в качестве источников хозяйственно ценных признаков:

- повышенного содержания фенолкарбоновых кислот – ‘Орловия’ (к-35789), ‘Сенсей’ (к-42646);
- высокого содержания катехинов – ‘Воспоминание’ (к-40471), ‘Орловия’ (к-35789), ‘Надия’ (к-42478), ‘Очарование’ (к-41980);
- высокого суммарного содержания Р-активных веществ (> 700 мг/100 г) – ‘Воспоминание’ (к-40471), ‘Орловия’ (к-35789), ‘Надия’ (к-42478).

Все изученные сорта характеризуются высоким уровнем накопления антоцианов (> 200 мг/100 г) и могут быть использованы в селекции на этот признак.

Самой высокой изменчивостью среди изученных групп фенольных соединений характеризовался уровень аккумуляции оксикоричных кислот.

Установлено наличие отрицательных взаимосвязей между массой ягоды и содержанием отдельных биологически активных соединений.

*Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0004 «Коллекции вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей ВИР – изучение и рациональное использование».*

#### References/Литература

- Bakin I.A., Mustafina A.S., Lunin P.N. The study of the black currant berry chemical composition in the processing (Izuchenie khimicheskogo sostava yagod chernoy smorodiny v protsesse pererabotki). *Vestnik KrasGAU = Bulletin of Krasnoyarsk State Agricultural University*. 2015;(6):159-162. [in Russian] (Бакин И. А., Мустафина А. С., Лунин П. Н. Изучение химического состава ягод черной смородины в процессе переработки. *Вестник КрасГАУ*. 2015;(6):159-162).
- Butenko L.I., Podgornaya Zh.V. Studies of the anthocyanin complex of berries that underwent cryoprocessing (Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, proshedshikh kriobrabotku). *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2016;(11):14-17. [in Russian] (Бутенко Л.И., Подгорная Ж.В. Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криобработку. *Успехи современного естествознания*. 2016;(11):14-17).
- Dyakov A.A., Perfilova V.N., Tyurenkov I.N. Antiarrhythmic action of ferulic acid (Antiaritmicheskoye deystviye ferulovoy kisloty). *Vestnik aritmologii = Arrhythmology Bulletin*. 2005;(39):49-52. [in Russian] (Дьяков А.А., Перфилова В.Н., Тюреньков И.Н. Противоаритмическое действие феруловой кислоты. *Вестник аритмологии*. 2005;(39):49-52).
- Krüger E., Dietrich H., Hey M, Patz C.-Det. Effects of cultivar, yield, berry weight, temperature and ripening stage on bioactive compounds of black currants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2011;(84):40-46.
- Myasishcheva N.V., Artemova E.N. Biologically active substances of black currant berries of new varieties (Biologicheski aktivnye veshchestva yagod chernoy smorodiny novykh sortov). *Voprosy pitaniya = Nutrition Issues*. 2013;(5):68-71. [in Russian] (Мясищева Н.В., Артемова Е.Н. Биологически активные вещества ягод черной смородины новых сортов. *Вопросы питания*. 2013;(5):68-71).
- Ochmian I., Dobrowolska A., Chełpiński P. Physical parameters and chemical composition of fourteen blackcurrant cultivars (*Ribes nigrum* L.). *Notular Botanicae Horti Agrobotanica*. 2014;42(1):160-167.
- Paunović S. M., Maskovic P., Nicolich M., Miletic R. Bioactive compounds and antimicrobial activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) berries and leaves extract obtained by different soil management system. *Scientia Horticulture* 2017;222:69-75. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.05.015
- Petrova S.N., Kuznetsova A.A. Composition of fruit and leaves of black currant *Ribes nigrum* (review) (Sostav plodov i listyev smorodiny chernoi *Ribes nigrum* [obzor]). *Khimiya rastitelnogo syrya = Chemistry of Raw Plant Materials*. 2014;(4):43-50. [in Russian] (Петрова С.Н., Кузнецова А.А. Состав плодов и листьев смородины черной *Ribes nigrum* (обзор). *Химия растительного сырья*. 2014;4:43-50).
- Prichko T.G., Yakovenko V.V., Germanova M.G. Biochemical indicators of currant berries' quality according to variety peculiarities (Biokhimicheskiye pokazateli kachestva yagod smorodiny s uchetom sortovykh osobennostey). *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii = Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2017;45(3):1-9. [in Russian] (Причко Т.Г., Яковенко В.В., Германова М.Г. Биохимические показатели качества ягод черной смородины с учетом сортовых особенностей. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2017;45(3):1-9). URL: <http://journal.kubansad.ru/pdf/17/03/09.pdf> [дата обращения: 02.06.2019].
- Rubinskiene M., Viskelis P., Jasutiene I., Duchovskis P., Bobinas C. Changes in biologically active constituents during ripening in black currants. *Ornam. Plant. Res*. 2006;14 Suppl 2:237-246.
- Samorodova-Bianki G.B., Streltsina S.A. Research on biologically active substances in fruits. Guidelines (Issledovaniye biologicheski aktivnykh veshchestv plodov. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А. Исследование биологически активных веществ плодов. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1989).
- Seglina D., Krasnova I., Ruisa S., Strautina S., Heidemane G. Research on antioxidant activity of berries grown in Latvia. *Proceedings of International Scientific Conference "Sustainable Fruit Growing: From Plant to Product"*; 2008 May 28-31; Jurmala-Dobele, Latvia. Dobele: Latvia State Institute of Fruit-Growing; 2008. p.265-272.
- Shaposhnik E.I., Deineka L.A., Sorokopudov V.N., Deineka V.I., Burmenko YU. V., Kartushinskiy V.V., Tregubov A.V. Biologically active substances of *Ribes* L. fruits. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Ser.: Natural Sciences*. 2011;9(15-2):239-249. [in Russian] (Шапошник Е.И., Дейнека Л.А., Сорокапудов В.Н., Дейнека В.И., Бурменко Ю.В., Картушинский В.В., Трегубов А.В. Биологически активные вещества плодов *Ribes* L. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки*. 2011;9(15-2):239-249).
- Shelenga T.V., Streltsina S.A., Sorokin A.A., Shavarda A.L., Firsov G.A., Vasilyev I.P., Volchanskaya A.V. Biochemical characteristics of "red-fruited" viburnum accessions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* 2012;170:216-221. [in Russian] (Шеленга Т.В., Стрельцина С.А., Сорокин А.А., Шаварда А.Л., Фирсов Г.А., Васильев И.П., Волчанская А.В. Биохимическая характеристика плодов красноплодной калины (*Viburnum* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:216-221).
- Shirko T.S., Yaroshevich I.V. Biochemistry and fruit quality (Biohimiya i kachestvo plodov). In: *Fruit growing*

- (*Plodovodstvo*). Minsk; 1991. p.158-180 [in Russian] (Ширко Т.С., Ярошевич И.В. Биохимия и качество плодов. В кн.: *Плодоводство*. Минск; 1991. С.158-180).
- Streltsina S.A., Plekhanova M.N., Tikhonova O.A., Sabitov A. Sh., Arsenyeva T.V., Pupkova N.A. Comparative assessment of wild small-fruit species according to the composition and content of bioactive phenol compounds. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 2007;161:157-164. [in Russian] (Стрельцина С.А., Плеханова М.Н., Тихонова О.А., Сабитов А.Ш., Арсеньева Т.В., Пупкова Н.А. Сравнительная оценка дикорастущих видов ягодных культур по составу и содержанию биологически активных фенольных соединений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;161:157-164).
- Streltsina S.A., Sabitov A.Sh., Samorodova-Bianki G.B. Phenolic compounds of the berries of some types of currants (*Ribes L.*) (Fenolnye soedineniya yagod nekotorykh vidov smorodiny [*Ribes L.*]). *Nauchno-tehnicheskyy byulleten VIR = Scientific and Technical Bulletin of VIR*. 1992;(221):64-67. [in Russian] (Стрельцина С.А., Сабитов А.Ш., Самородова-Бианки Г.Б. Фенольные соединения ягод некоторых видов смородины (род *Ribes L.*) *Научно-технический бюллетень ВИР*. 1992;(221):64-67).
- Vigorov L.I. Medicinal crops garden (Sad lechebnykh kultur). Sverdlovsk; 1976. [in Russian]. (Вигоров Л. И. Сад лечебных культур. Свердловск; 1976).
- Viskalis P., Bobinaite R., Rubinskiene M., Sasnauskas A., Lanauskas J. Chemical composition and antioxidant activity of small fruits. In: A.I.L. Maldonado (ed.). *Horticulture*. InTech: 2012. p.75-102. DOI: 10.5772/35723
- Vysochina G.I. Phenolic compounds in the systematics and phylogeny of the family Polygonaceae (Fenolnyye soyedineniya v sistematike i filogenii semeystva Polygonaceae). Novosibirsk: Nauka; 2004. [in Russian] (Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства Гречишных. Новосибирск: Наука; 2004).
- Yanchuk T.V. Assessment of black currant gene pool for ascorbic acid and phenolic contents in berries. *Contemporary Horticulture*. 2013;(4):1-10. [in Russian] (Янчук Т.В. Оценка генофонда смородины черной по содержанию аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в ягодах. *Современное садоводство*. 2013;(4):1-10). URL: <http://journal.vniispk.ru> [дата обращения: 18.01.2019].

#### Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

#### Для цитирования/How to cite this article

Тихонова О.А., Шеленга Т.В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):50-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58

Tikhonova O.A., Shelenga T.V. Bioactive substances of black currant berries in the conditions of Northwestern Russia. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(3):50-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

#### Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-3-50-58>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest