

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 634.739.3:736(476)

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-7-23>

Поступила в редакцию 14.10.2024

Received 14.10.2024

Ж. А. Рупасова¹, С. Н. Авраменко¹, А. В. Ушакова¹,
Н. Б. Павловский¹, О. В. Дрозд¹, П. Н. Белый¹, Т. В. Шпитальная¹, Н. Н. Вечер²

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ С СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСИ

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси структуры корреляционных связей между уровнями антиоксидантной и ферментативной активности плодов, с одной стороны, и 12 показателями биохимического состава, с другой, в таксономическом ряду 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой (раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison*, позднеспелых – *Aurora*, *Rubel*) и районированных сортов, соответствующих данным группам спелости (*Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*). Выявлены существенные генотипические различия в ориентации и силе этих связей, обусловленные индивидуальными особенностями биохимического состава тестируемых объектов, свидетельствующие о выраженной сортоспецифичности анализируемых признаков. Обнаружено заметное сходство у представителей разных сортовых групп спектра органических соединений, наиболее значимых для формирования антиоксидантного комплекса плодов, наиболее выразительно проявившееся у ранне- и позднеспелых сортов и заключавшееся в доминирующей роли катехинов, танинов, лейкоантоцианов и флавонолов, тогда как у среднеспелых сортов, наряду с танинами и лейкоантоцианами, также свободных органических и гидроксикоричных кислот. При этом наименьшее влияние на антирадикальные свойства плодов голубики оказывали растворимые сахара и аскорбиновая кислота.

Установлена однотипная последовательность таксонов голубики в порядке снижения уровня взаимодействия отдельных компонентов антиоксидантного комплекса плодов с содержанием органических соединений разной химической природы при наибольшем проявлении наиболее сильных прямых корреляционных связей с источниками антиоксидантной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности у сорта *Hannah's Choice*, а с источниками каталазной и в меньшей степени пероксидазной активности – у сорта *Aurora*, на фоне минимального количества подобных взаимосвязей – у сорта *Harrison*, уступавшего в 1,6–2,1 раза по данному признаку лидирующим таксонам.

Ключевые слова: голубика высокорослая, ранне-, средне- и позднеспелые сорта, плоды, антиоксидантная и ферментативная активность, биохимический состав, структура корреляционных связей

Для цитирования: Генотипические особенности взаимосвязи компонентов антиоксидантного комплекса плодов голубики высокорослой с содержанием органических соединений при интродукции в Беларуси / Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, А. В. Ушакова [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2025. – Т. 70, № 1. – С. 7–23. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-7-23>

Zhanna A. Rupasova¹, Stanislav N. Avramenko¹, Anna V. Ushakova¹, Nikolay B. Pavlovsky¹, Olga V. Drozd¹,
Pavel N. Bely¹, Tamara V. Shpitalnaya¹, Nikolay N. Vecher²

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

GENOTYPIC FEATURES OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE COMPONENTS OF THE ANTIOXIDANT COMPLEX OF HIGH BLUEBERRY FRUITS AND THE CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS DURING INTRODUCTION IN BELARUS

Abstract. The article presents the results of a comparative study in the southern agroclimatic zone of Belarus in the taxonomic series of 6 new introduced varieties of highbush blueberry: early ripening – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, mid-season – *Bluegold*, *Harrison*, and late ripening – *Aurora*, *Rubel*, as well as the corresponding to these maturity groups zoned varieties *Weymouth*, *Bluecrop* and *Elliott* structures of correlation links between the levels of antioxidant and enzymatic activity, on the one hand, and 12 indicators of biochemical composition, on the other.

Significant genotypic differences in the orientation and strength of these links were revealed due to the individual characteristics of the biochemical composition of the tested objects, indicating a pronounced variety specificity of the analyzed traits.

A noticeable similarity was revealed in the representatives of different varietal groups in the spectra of organic compounds most significant for formation of the antioxidant complex of fruits, which was most clearly manifested in early and late ripening varieties and consisted of the dominant role of catechins, tannins, leucoanthocyanins and flavonols, and in mid-ripening varieties – along with tannins and leucoanthocyanins, also free organic and hydroxycinnamic acids.

At the same time, soluble sugars and ascorbic acid had the least effect on the antiradical properties of blueberry fruits. A uniform sequence of blueberry taxa was established in the order of decreasing the interaction level of individual components of the antioxidant complex of fruits with the content of organic compounds of different chemical nature with the greatest manifestation of the strongest direct correlation links with sources of antioxidant, peroxidase and polyphenoloxidase activity in the Hannah's Choice variety, and in the Aurora variety – with sources of catalase and, to a lesser extent, the peroxidase activity against the background of a minimum number of such interactions in the Harrison variety, which was 1.6–2.1 times inferior in this feature to the leading blueberry taxa.

Keywords: high blueberry early, mid- and late-ripening varieties, fruits, antioxidant and enzymatic activity, biochemical composition, structure of correlation links

For citation: Rupasova Zh. A., Avramenko S. N., Ushakova A. V., Pavlovsky N. B., Drozd O. V., Bely P. N., Shpitalnaya T. V., Veher N. N. Genotypic features of the relationship between the components of the antioxidant complex of high blueberry fruits and the content of organic compounds during introduction in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2025, vol. 70, no. 1, pp. 7–23 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-7-23>

Введение. В связи с проведением комплексной оценки процесса адаптации к почвенно-климатическим условиям южной агроклиматической зоны республики 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой (раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison* и позднеспелых – *Aurora*, *Rubel*), пополнивших коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси, осуществлено исследование биохимического состава и уровня антиоксидантной и ферментативной активности их плодов в сравнении с принятыми в качестве эталонов соответствующими их группам спелости районированными сортами *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*. В результате выявлена существенная зависимость биохимического состава, а также антиоксидантной и ферментативной активности ягодной продукции тестируемых таксонов от генотипа растений [1]. При этом было показано, что тестируемые раннеспелые сорта в 1,7–2 раза уступали сорту *Weymouth* по интегральному уровню питательной и витаминной ценности плодов по совокупности 14 показателей, а среднеспелые – превосходили в этом плане эталонный сорт *Bluecrop* в 2,3 и 8 раз при наибольших различиях у сорта *Bluegold*, превосходившего сорт *Harrison* по качественному составу плодов в 3,5 раза. Вместе с тем позднеспелый сорт *Aurora* в 2,5 раза отставал от районированного сорта *Elliott* по данному признаку, а сорт *Rubel*, напротив, превосходил его в этом отношении в 4,5 раза. В соответствующих таксономических группах обосновано лидирующее положение сортов *Weymouth*, *Bluegold* и *Rubel* по качественному составу плодов.

На основании данных исследований установлено, что наиболее высокой антиоксидантной и ферментативной активностью плодов характеризовались позднеспелые сорта голубики *Elliott* и особенно *Rubel*, тогда как наименьшей – среднеспелый сорт *Bluecrop*. При этом выявлено отставание обоих тестируемых раннеспелых сортов и позднеспелого *Aurora* от соответствующих районированных сортов по антиоксидантной, каталазной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности плодов и превышение их эталонных значений у обоих тестируемых среднеспелых сортов и позднеспелого сорта *Rubel*. Наряду с этим было обнаружено полное совпадение сортовых рядов голубики по изменению уровня антиоксидантной и ферментативной активности плодов, а также интегрального уровня их питательной и витаминной ценности по совокупности 14 биохимических характеристик. Данное обстоятельство косвенно указывало на высокую корреляционную связь антиоксидантных свойств плодов с высоким содержанием в них биологически активных соединений разной химической природы.

На наш взгляд, отмеченное совпадение обозначенных сортовых рядов обусловлено значительным сходством у исследуемых таксонов голубики содержания в плодах широкого спектра органических соединений, в том числе витаминов С и Р, обладающих высоким уровнем антирадикальной и ферментативной активности, а выявленные различия могли быть обусловлены

генотипическими особенностями обеспечения антиоксидантных свойств за счет иных органических соединений, не охваченных настоящими исследованиями. Ведь общеизвестно, что в биологических системах в качестве антиоксидантов (наряду с биофлавоноидами, обладающими данными свойствами) могут выступать соединения разной химической природы, способные ингибировать процессы свободнорадикального окисления, в том числе каротиноиды, белки, органические кислоты и даже растворимые сахара и пектиновые вещества [2–4].

В связи с этим особый научный интерес представляло выявление в плодах голубики основных источников антирадикальной и ферментативной активности в зависимости от генотипа растений. С этой целью в 2023–2024 гг. для ранне-, средне- и позднеспелых сортов были определены значения коэффициентов парной корреляции между антиоксидантной активностью (АОА) и активностью окислительно-восстановительных ферментов, с одной стороны, и содержанием органических соединений, являющихся, предположительно, источниками данной активности, с другой.

Материалы и методы исследования. Объектами исследований являлись плоды 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой (раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison* и позднеспелых – *Aurora*, *Rubel*), а также соответствующих данным группам спелости районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott*. В период созревания плодов опытных растений с использованием общепринятых методов биохимического анализа растительных объектов [5–12] в них определяли содержание сухих веществ, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую), растворимых сахаров, пектиновых веществ, собственно антоцианов и суммарное количество антоциановых пигментов, катехинов, флавонолов (в пересчете на рутин) и дубильных веществ (танинов). АОА этанольных экстрактов из свежих плодов определяли с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила [3, 13], активность пероксидазы (ПО) – по методу А. Н. Бояркина [14]; полифенолоксидазы (ПФО) – с пирокатехином [15]; каталазы (КАТ) – по методу А. Н. Баха и А. И. Опарина [16].

Все аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel [17].

Результаты и их обсуждение. С целью выявления компонентов биохимического состава плодов сортов голубики, обеспечивающих наиболее высокий уровень их антиоксидантной и ферментативной активности, при анализе структуры корреляционных связей, представленных в табл. 1, мы ориентировались главным образом на наиболее тесные из них, определяемые абсолютными значениями коэффициентов парной корреляции $r > 0,70$. При оценке прямых взаимодействий обозначенных признаков принимали во внимание также наличие связей, обладающих средней силой (0,50–0,69).

Как следует из табл. 2, из 432 статистических связей между 12 биохимическими характеристиками плодов 9 модельных сортов голубики высокорослой, с одной стороны, и уровнями АОА и активности исследуемых окислительно-восстановительных ферментов (КАТ, ПО и ПФО), с другой, на долю наиболее сильных положительных связей приходилось 188, или 43,5 % от их общего количества, а на долю прямых связей средней силы – 53, или 12,3 %, тогда как на долю сильных отрицательных связей – лишь 42, или 9,7 %. Обращает на себя внимание существенно большее количество прямых тесных взаимодействий между обозначенными признаками у растений голубики, нежели у таковых жимолости синей [18], свидетельствовавшее в первом случае о более широком спектре источников данной активности среди исследуемых компонентов биохимического состава плодов. При этом в общем сортовом ряду голубики суммарное количество сильных положительных связей, выявленных у АОА и ферментов окислительно-восстановительного цикла, варьировалось в сравнительно узком интервале – от 44 у активности ПФО до 49 у АОА и активности КАТ при изменении числа связей средней силы от 11 у показателей активности всех исследуемых ферментов до 20 у АОА. Остальная часть выявленных корреляционных связей обладала умеренной (0,30–0,49), слабой (0,20–0,29) и очень слабой (менее 0,19) силой. Что касается наиболее выразительных обратных связей, то их максимальное количество (по 13) выявлено у АОА и активности КАТ, а минимальное (4) – у активности ПО.

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции (Rx, y) между биохимическими характеристиками плодов сортов голубики высокорослой и уровнем их антиоксидантной и ферментативной активности
 Table 1. The coefficients of paired correlation (Rx, y) between the biochemical characteristics of fruits of tall blueberry varieties and the level of their antioxidant and enzymatic activity

Сорт	Свободные органические кислоты	Аскорбиновая кислота	Гидроксикоричные кислоты	Пектиновые вещества	Растворимые сахара	Дубильные вещества	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы	Сумма биофлавоноидов
АОА												
<i>Weymouth</i>	-0,23	-0,82	0,66	0,23	0,66	0,70	0,66	0,80	0,55	0,70	0,99	0,66
<i>Chanticleer</i>	-0,95	0,63	0,66	-0,23	0,70	0,99	0,80	0,80	0,90	0,80	-0,70	0,88
<i>Hannah's Choice</i>	0,70	0,90	0,99	-0,40	0,99	0,70	0,80	0,88	0,99	0,99	-0,74	-0,99
<i>Bluecrop</i>	0,23	-0,84	0,99	-0,40	-0,66	0,99	0,90	0,90	0,99	0,80	0,23	0,23
<i>Bluegold</i>	0,99	0,84	0,99	0,23	0,70	0,99	0,99	0,23	0,80	-0,90	0,30	0,10
<i>Harrison</i>	0,96	-0,58	0,66	0,66	0,66	0,99	0,60	0,90	0,60	-0,80	0,23	0,69
<i>Elliott</i>	0,96	0,54	0,53	0,40	-0,99	0,80	0,23	0,90	-0,23	-0,90	0,99	0,80
<i>Aurora</i>	0,99	-0,99	0,23	-0,23	-0,99	0,99	0,60	0,88	0,60	0,90	0,78	-0,99
<i>Rubel</i>	-0,23	-0,65	0,66	-0,30	0,23	0,70	0,66	0,74	-0,66	0,80	0,66	0,45
Активность КАТ												
<i>Weymouth</i>	0,23	0,10	0,30	0,99	-0,66	0,99	0,23	0,33	0,99	0,99	-0,99	0,33
<i>Chanticleer</i>	-0,23	-0,99	0,30	-0,88	0,23	-0,99	-0,99	-0,80	0,99	0,70	0,86	-0,23
<i>Hannah's Choice</i>	0,99	-0,88	-0,23	-0,23	-0,66	-0,80	0,99	0,60	0,80	-0,23	0,80	0,70
<i>Bluecrop</i>	0,80	-0,70	0,99	0,23	0,40	0,80	0,70	0,66	-0,50	0,50	0,70	0,66
<i>Bluegold</i>	0,90	0,66	0,99	0,66	0,23	-0,80	0,66	0,70	0,66	0,23	0,23	0,50
<i>Harrison</i>	0,23	-0,66	0,88	0,78	0,23	0,80	-0,45	0,88	0,70	0,66	0,44	0,44
<i>Elliott</i>	0,74	-0,23	0,74	-0,88	0,70	0,80	-0,23	0,90	0,88	0,74	-0,50	0,66
<i>Aurora</i>	0,88	0,99	-0,66	0,99	-0,99	0,74	0,88	0,90	0,90	0,90	0,23	0,80
<i>Rubel</i>	0,23	0,99	0,23	0,99	-0,99	0,80	0,99	0,99	-0,23	0,90	0,99	0,99
Активность ПО												
<i>Weymouth</i>	0,33	0,99	0,23	0,99	0,33	0,23	0,99	0,99	-0,60	0,99	0,30	0,23
<i>Chanticleer</i>	0,44	0,80	0,40	0,71	0,66	0,50	-0,99	-0,23	0,66	0,99	0,99	0,74
<i>Hannah's Choice</i>	0,60	0,60	0,90	0,70	0,99	0,50	0,90	0,99	0,66	0,99	0,90	0,88
<i>Bluecrop</i>	0,99	-0,99	-0,50	0,99	-0,66	-0,60	-0,80	0,10	0,66	0,90	0,23	0,70
<i>Bluegold</i>	0,80	-0,60	0,40	0,23	-0,50	0,99	0,23	0,23	0,88	0,23	-0,50	-0,66
<i>Harrison</i>	0,30	-0,33	0,44	0,74	-0,23	0,80	-0,40	0,50	0,99	-0,50	-0,45	0,80

Показатели	Активность ПФО										
	AOA	Активность КАТ		Активность ПО		Активность ПФО		Активность КАТ		AOA	
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	
<i>Elliott</i>	0,66	-0,23	0,99	-0,10	0,88	0,40	-0,23	-0,60	0,80	-0,40	0,99
<i>Aurora</i>	0,66	-0,33	0,88	0,70	0,99	0,10	-0,40	0,88	0,80	0,23	0,99
<i>Rubel</i>	-0,23	-0,99	0,78	0,71	0,70	0,99	-0,40	0,80	0,74	0,70	0,40
<i>Weymouth</i>	0,99	-0,80	0,74	0,55	0,74	0,50	0,10	0,50	0,88	0,50	0,23
<i>Chanticleer</i>	0,80	0,23	0,66	-0,23	0,98	0,23	0,23	0,88	0,10	0,74	-0,50
<i>Hannah's Choice</i>	0,45	-0,60	0,98	0,88	0,99	0,99	0,90	0,99	0,74	-0,23	0,99
<i>Bluescrop</i>	-0,23	0,60	0,80	0,99	0,10	-0,23	0,88	0,99	0,74	-0,50	0,88
<i>Bluesgold</i>	-0,20	-0,50	0,88	0,45	0,23	0,74	0,88	0,99	0,66	-0,88	0,88
<i>Harrison</i>	0,10	-0,80	0,70	-0,74	0,23	0,55	0,80	-0,50	-0,80	-0,99	0,88
<i>Elliott</i>	0,25	0,99	0,78	0,23	0,50	0,60	0,99	-0,74	0,88	0,88	0,23
<i>Aurora</i>	0,99	-0,50	0,50	-0,74	-0,80	0,80	-0,50	-0,23	0,75	0,88	0,45
<i>Rubel</i>	-0,10	0,23	0,10	0,55	-0,90	0,90	0,23	0,10	0,45	0,10	0,74

Таблица 2. Количество проявлений наиболее тесной корреляционной связи ($r > 0,70$) между биохимическими характеристиками плодов и уровнем их антиоксидантной и ферментативной активности в сортовых рядах голубики высокорослой разных сроков созревания

Table 2. The number of manifestations of the closest correlation ($r > 0,70$) between the biochemical characteristics of fruits and the level of their antioxidant and enzymatic activity in the varietal rows of tall blueberries of different maturation periods

Показатели	АОА		Активность КАТ		Активность ПО		Активность ПФО		Суммарное количество проявлений связи		
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	
Раннеспелые сорта											
Свободные органические кислоты	1	1	1	0	0	0	0	0	2	4	1
Аскорбиновая кислота	1	1	0	2	2	0	0	1	0	3	4
Гидроксикоричные кислоты	1	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0
Пектиновые вещества	0	0	1	1	3	0	0	0	2	6	1
Растворимые сахара	2	0	0	0	1	0	0	0	1	4	0
Дубильные вещества	3	0	1	2	0	0	0	0	3	7	2
Собственно антоцианы	2	0	1	1	2	1	1	0	1	6	2
Лейкоантоцианы	3	0	0	1	2	0	0	0	1	6	1
Сумма антоциановых пигментов	2	0	3	0	0	0	0	0	2	7	0
Катехины	3	0	2	0	3	0	0	0	2	10	0
Флавонолы	1	2	2	1	2	0	0	0	1	6	3
Сумма биофлавоноидов	1	1	1	0	2	0	0	0	1	5	1
Суммарное количество связей	20/7*	5	12/1	8	18/7	1	1	19/5	1	69/20	15
Среднеспелые сорта											
Свободные органические кислоты	2	0	2	0	2	0	0	0	0	6	0

Окончание табл. 2

Показатели	АОА		Активность КАТ		Активность ПО		Активность ПФО		Суммарное количество проявлений связей	
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная
Аскорбиновая кислота	1	1	0	1	0	1	0	1	1	4
Гидроксикоричные кислоты	2	0	3	0	0	0	3	0	8	0
Пектиновые вещества	0	0	1	0	2	0	1	1	4	1
Растворимые сахара	1	0	0	0	0	0	1	1	2	1
Дубильные вещества	3	0	2	1	2	0	0	0	7	1
Собственно антоцианы	2	0	1	0	0	1	1	0	4	1
Лейкоантоцианы	2	0	2	0	0	0	3	0	7	0
Сумма антоциановых пигментов	2	0	1	0	2	0	2	0	7	0
Катехины	1	2	0	0	1	0	1	1	3	3
Флавонолы	0	0	1	0	0	0	0	2	1	2
Сумма биофлавоноидов	0	0	0	0	2	0	3	0	5	0
Суммарное количество связей	16/6	3	13/9	2	11/2	2	15/4	6	55/21	13
Позднеспелые сорта										
Свободные органические кислоты	2	0	2	0	0	0	1	0	5	0
Аскорбиновая кислота	0	1	2	0	0	1	1	0	3	2
Гидроксикоричные кислоты	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0
Пектиновые вещества	0	0	2	1	3	0	0	0	5	1
Растворимые сахара	0	2	1	2	2	0	0	1	3	5
Дубильные вещества	3	0	3	0	3	0	0	2	9	2
Собственно антоцианы	0	0	2	0	1	0	2	0	5	0
Лейкоантоцианы	3	0	3	0	0	0	1	0	7	0
Сумма антоциановых пигментов	0	0	2	0	2	0	0	1	4	1
Катехины	2	1	3	0	3	0	1	1	9	2
Флавонолы	2	0	1	0	1	0	2	0	6	0
Сумма биофлавоноидов	1	1	2	0	2	0	1	0	6	1
Суммарное количество связей*	13/7	5	24/1	3	17/2	1	10/2	5	64/12	14
Суммарное количество связей в общем сортовом ряду	49/20	13	49/11	13	46/11	4	44/11	12	188/53	42

Примечание. * – перед чертой указано количество наиболее тесных связей, после черты – количество связей средней силы.

Вместе с тем у представителей разных сортовых групп голубики выявлены заметные различия в количестве наиболее сильных положительных связей между активностью исследуемых компонентов антиоксидантного комплекса и содержанием в плодах органических соединений, что однозначно свидетельствовало о влиянии сроков их созревания на уровень взаимодействия данных элементов метаболической системы растений.

Так, у показателя АОА, при сходном у всех сортовых групп количестве прямых корреляционных связей средней силы, наибольшим числом наиболее сильных характеризовались раннеспелые сорта голубики, тогда как наименьшим – позднеспелые при промежуточном положении среднеспелых сортов (см. табл. 2). Аналогичный характер различий между сортовыми группами голубики установлен и для активности ПФО. При этом для активности КАТ показана противоположная картина: максимальное количество прямых сильных связей у позднеспелых сортов и минимальное – у раннеспелых. Несмотря на близкое к минимальному количество подобных связей у среднеспелых сортов, выявленное у них значительное количество прямых связей средней силы (9) позволило отнести последние к объектам со сравнительно высоким уровнем взаимодействия активности КАТ с компонентами биохимического состава плодов, сопоставимым с соответствующим уровнем у позднеспелых сортов. Что касается различий между сортовыми группами голубики по степени выразительности подобных взаимосвязей у активности ПО, то наибольшей она была у раннеспелых сортов, отмеченных также максимальным для данного фермента количеством связей средней силы, а наименьшей – у среднеспелых сортов.

Как видим, у раннеспелых сортов голубики, характеризовавшихся наиболее высоким уровнем взаимосвязи уровня АОА плодов с содержанием действующих веществ, он был обусловлен органическими соединениями, являющимися источниками преимущественно пероксидазной и полифенолоксидазной активности, тогда как у позднеспелых сортов, обладавших наименьшим уровнем этого взаимодействия, основную роль в его обеспечении играли соединения, активизировавшие главным образом работу КАТ и ПО. При этом у среднеспелых сортов, занимавших промежуточное положение между ранне- и позднеспелыми сортами, приоритетную роль в формировании антиоксидантной активности играли органические соединения, выступавшие в качестве источников каталазной и полифенолоксидазной активности. Показанные индивидуальные особенности взаимодействия компонентов антиоксидантного комплекса плодов ранне-, средне- и позднеспелых сортов голубики с содержанием органических соединений разной химической природы нашли отражение в соответствующих различиях между сортовыми группами по общему количеству наиболее значимых (сильных и средних) положительных связей при лидирующем положении раннеспелых сортов (см. табл. 2).

Сопоставление в сортовых рядах голубики количества наиболее интересующих нас самых тесных положительных связей между анализируемыми характеристиками антиоксидантного комплекса и показателями биохимического состава плодов выявило заметные генотипические различия, что свидетельствовало об их выраженной сортоспецифичности, обусловленной индивидуальными особенностями качественного состава ягодной продукции (табл. 3). Так, в группе раннеспелых сортов лидирующее положение по общему количеству прямых наиболее сильных связей принадлежало сорту *Hannah's Choice*, среди среднеспелых – сорту *Bluecrop*, а среди позднеспелых сортов – сорту *Aurora*. При этом максимальное количество самых тесных положительных связей комплекса биохимических характеристик с уровнем АОА (7–9) выявлено у сортов *Chanticleer*, *Bluegold* и *Hannah's Choice*, а минимальное (3) – у сортов *Harrison* и *Rubel*. Максимальным количеством сильных связей с уровнем активности КАТ (7–9) характеризовались сорта *Elliott* и *Aurora*, а минимальным (3) – сорта *Chanticleer* и *Bluegold*. Наибольшим количеством сильных связей с уровнем активности ПО (7–8) отмечены сорта *Hannah's Choice* и *Rubel*, а наименьшим (3), как и в предыдущем случае, – сорт *Bluegold*.

Вместе с тем наименьшее количество тесных связей с активностью ПФО, как и с уровнем АОА, выявлено у сортов *Harrison* и *Rubel*. Несмотря на высокое содержание в плодах голубики биофлавоноидов, в том числе антоциановых пигментов, в метаболизме которых данный фермент играет ключевую роль [19–23], общее количество прямых сильных связей комплекса органических соединений с уровнем активности ПФО было сопоставимо с установленным для АОА,

КАТ и ПО, а у позднеспелых сортов даже уступало ему. Заметим, что общее количество тесных отрицательных связей у антиоксидантного комплекса плодов голубики, как и у его отдельных компонентов, со спектром биохимических показателей оказалось в несколько раз меньше, чем положительных, особенно у сортов *Aurora* и *Chanticleer*.

Т а б л и ц а 3. Количество наиболее тесных корреляционных связей ($r > 0,70$) комплекса биохимических характеристик плодов отдельных сортов голубики высокорослой с уровнем их антиоксидантной и ферментативной активности

Table 3. The number of the closest correlations ($r > 0.70$) of the complex of biochemical characteristics of fruits of individual varieties of tall blueberries with the level of their antioxidant and enzymatic activity

Сорт	АОА		Активность КАТ		Активность ПО		Активность ПФО		Суммарное количество связей	
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная
<i>Weymouth (st)</i>	4	1	4	1	5	0	5	1	18	3
<i>Chanticleer</i>	7	2	3	5	5	1	5	0	20	8
<i>Hannah's Choice</i>	9	2	5	2	8	0	9	0	31	4
<i>Bluecrop (st)</i>	6	1	5	1	4	2	6	1	21	5
<i>Bluegold</i>	7	1	3	0	3	0	6	1	19	2
<i>Harrison</i>	3	1	5	0	4	0	3	4	15	5
<i>Elliott (st)</i>	5	2	7	1	4	0	4	2	20	5
<i>Aurora</i>	5	3	9	1	6	0	4	2	24	6
<i>Rubel</i>	3	0	8	1	7	1	2	1	20	3

Выявленные сортовые различия в степени проявления взаимосвязи уровня АОА и активности окислительно-восстановительных ферментов с совокупностью биохимических характеристик плодов голубики в значительной мере обусловлены индивидуальным вкладом отдельных органических соединений в обеспечение данной активности. Анализируя табл. 2, можем убедиться, что в общем сортовом ряду растений данного вида количество установленных у каждого предполагаемого ее источника самых сильных связей с исследуемыми компонентами антиокислительной системы варьировалось от 0 до 3. При этом, независимо от сроков созревания плодов, наибольшим для АОА оно было у танинов, что наблюдалось и у растений жимолости синей [18], а у ранне- и позднеспелых сортов голубики – также у лейкоантоцианов, а с учетом прямых связей средней силы – и у других компонентов Р-витаминного комплекса, а также у гидроксикоричных кислот.

Наиболее активным участием в обеспечении каталазной активности плодов голубики (особенно у позднеспелых сортов) характеризовались антоциановые пигменты, а также гидроксикоричные кислоты и танины, тогда как для активности пероксидазы наиболее выраженная взаимосвязь (особенно у ранне- и позднеспелых сортов) установлена с содержанием катехинов, пектиновых и дубильных веществ. Что касается полифенолоксидазной активности, то для нее показано наиболее сильное проявление зависимости (особенно у ранне- и среднеспелых сортов) от содержания гидроксикоричных кислот, а также от такового танинов (у раннеспелых сортов) и лейкоантоцианов (у среднеспелых). Наименьшее количество самых тесных связей между исследуемыми признаками выявлено у позднеспелых сортов голубики. В ряде случаев установлено заметное участие в формировании антиоксидантного комплекса плодов голубики не только пектиновых веществ, но и растворимых сахаров, а также аскорбиновой и титруемых кислот, что мы, кстати, наблюдали и в плодах жимолости синей [18] и что подтверждалось проявлением не только тесных положительных связей, но и связей средней силы (см. табл. 2).

На основании суммирования числа индивидуальных для каждого биохимического показателя тесных положительных связей с обозначенными компонентами антиоксидантного комплекса плодов голубики выявлены действующие вещества, в наибольшей степени обеспечивавшие работу их антиокислительной системы. Так, у раннеспелых сортов суммарное количество подобных связей в спектре органических соединений варьировалось от 3 до 10 при наибольших значениях у танинов, антоциановых пигментов и особенно у катехинов. У среднеспелых сортов голубики при диапазоне варьирования данного признака от 1 до 8 приоритетную роль в обеспечении антиокси-

дантных свойств плодов играли антоциановые пигменты, танины и особенно гидроксикоричные кислоты. У позднеспелых сортов при изменении суммарного количества прямых тесных связей между исследуемыми показателями от 2 до 9 основными источниками антирадикальной активности плодов следовало признать лейкоантоцианы, но в наибольшей степени – танины и катехины.

Нетрудно убедиться, что, независимо от сортовой принадлежности растений голубики, наиболее высокий уровень антиоксидантной и ферментативной активности плодов был обусловлен антоциановыми пигментами, танинами и катехинами, а в отдельных случаях – и гидроксикоричными кислотами, что наблюдалось и в аналогичных исследованиях с растениями жимолости синей [18]. Подобные результаты получены нами ранее при оценке влияния способа размножения голубики высокорослой на биохимический состав плодов [24]. Наряду с этим выявлены органические соединения с наименьшим суммарным количеством сильных положительных связей с компонентами антиоксидантного комплекса, указывавшие на их второстепенную роль в его формировании. Так, независимо от сортовой принадлежности растений, к таковым следовало отнести аскорбиновую кислоту и в меньшей степени – растворимые сахара.

Как видим, большинство исследуемых органических соединений принимало выраженное в разной степени участие в обеспечении антирадикальных свойств плодов голубики, что согласуется с результатами исследований данной способности у биофлавоноидов [19–21, 23, 25], свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот [26, 27], а также пектинов [4], танинов [20, 28] и даже растворимых сахаров [29]. Вместе с тем, несмотря на индивидуальный характер проявления наиболее тесных прямых связей между анализируемыми признаками, свидетельствующий об их выраженной сортоспецифичности, в общем таксономическом ряду лишь в единичных случаях наличие подобных связей выявлено у отдельных таксонов голубики (см. табл. 1). Так, для уровня активности КАТ только у позднеспелого сорта *Elliott* установлена весьма тесная положительная связь с содержанием растворимых сахаров, для уровня активности ПО – у раннеспелого сорта *Hannah's Choice* с содержанием гидроксикоричных кислот, а для уровня активности ПФО – у сорта *Elliott* с содержанием аскорбиновой кислоты. Для остальных же показателей биохимического состава плодов установлено совпадение тесного прямого взаимодействия между уровнем антиоксидантной и ферментативной активности, с одной стороны, а с другой – с содержанием в них органических соединений разной химической природы одновременно у нескольких или у всех таксонов голубики.

Заметим, что в общем сортовом ряду количество сильных положительных связей для уровня АОА варьировалось от 2 до 9, но наибольшим оно было с содержанием в плодах лейкоантоцианов и особенно танинов, а наименьшим – с содержанием аскорбиновой кислоты и общим количеством биофлавоноидов (см. табл. 1). Напомним, что в аналогичных исследованиях с растениями жимолости синей наблюдалась похожая картина [18], но приоритетная роль в обеспечении АОА ее плодов, наряду с танинами, принадлежала собственно антоцианам. Вместе с тем в обеспечении антирадикальных свойств плодов голубики проявились заметные генотипические различия по спектру органических соединений, являющихся источниками антиоксидантной активности. Так, у раннеспелых сортов приоритетная роль при этом принадлежала обеим группам антоциановых пигментов, катехинам, танинам и растворимым сахарам, у среднеспелых – не только обеим группам антоциановых пигментов и танинам, но и свободным органическим и гидроксикоричным кислотам, а у позднеспелых сортов – лейкоантоцианам, катехинам, флавонолам, титруемым кислотам и, как и в двух предыдущих случаях, танинам. Как видим, независимо от сроков созревания плодов голубики высокорослой, основными источниками их антиоксидантной активности являлись танины и биофлавоноиды, особенно антоциановые пигменты.

Исследование в таксономическом ряду голубики структуры корреляционных связей между активностью ферментов окислительно-восстановительного цикла и содержанием в плодах органических соединений, как и для уровня АОА, показало заметные генотипические различия в ориентации и силе этих связей, обусловленные индивидуальными особенностями биохимического состава плодов опытных растений, что свидетельствовало о выраженной сортоспецифичности анализируемых признаков. Вместе с тем сила и направленность выявленных взаимодействий в значительной степени определялись природой и функциональной ролью самих

ферментов. Тем не менее для активности каждого из них, как и для АОА, в большинстве случаев обнаружено совпадение наиболее тесных прямых связей с содержанием действующих веществ одновременно у нескольких таксонов голубики (см. табл. 1).

Так, в общем сортовом ряду количество сильных положительных связей у уровня активности КАТ варьировалось от 1 до 6, но наибольшим оно было (как и у АОА) с содержанием в плодах антоциановых пигментов, главным образом лейкоантоцианов и особенно танинов, а наименьшим (по 1–2 связи) – с содержанием аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров. При этом выявлены заметные генотипические различия не только по спектру органических соединений, являвшихся основными источниками каталазной активности, но и по количеству наиболее сильных прямых связей, максимальному у позднеспелых сортов голубики. Заметим, что у раннеспелых сортов приоритетная роль в обеспечении работы данного фермента принадлежала антоциановым пигментам, катехинам и флавонолам, у среднеспелых – танинам, свободным органическим и гидроксикоричным кислотам, а у позднеспелых сортов – аскорбиновой и свободным органическим кислотам, пектиновым веществам и танинам, обеим группам антоциановых пигментов и катехинам. Нетрудно убедиться не только в заметном изменении, но и в расширении спектра действующих веществ, участвующих в функционировании каталазы, в ряду от раннеспелых к позднеспелым сортам, что согласуется с выявленным нами в этих исследованиях существенным увеличением в этом ряду содержания в плодах основных групп биофлавоноидов, а на участие каталазы в фенольном метаболизме есть указание в работе М. Kofroňová с соавт. [29]. В свою очередь, это косвенно свидетельствовало о соответствующем усилении в данном направлении антиоксидантных свойств плодов голубики.

На основании аналогичных исследований с ферментом ПО, как и в предыдущем случае, установлено наличие тесных прямых корреляционных связей ее активности со всеми исследуемыми соединениями, количество которых в общем таксономическом ряду варьировалось от 1 до 8 (см. табл. 1). При этом наибольшим оно было с содержанием катехинов и пектиновых веществ, а наименьшим – с таковым свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, а также лейкоантоцианов (по 1–2 связи). Нетрудно убедиться в заметном ослаблении роли антоциановых пигментов в функционировании данного фермента по сравнению с АОА и активностью КАТ на фоне усиления взаимодействия с пектиновыми веществами. Вместе с тем наименьшим количеством наиболее сильных положительных связей между активностью ПО и содержанием действующих веществ характеризовались представители среднеспелых сортов голубики, а наибольшим – раннеспелый сорт *Hannah's Choice* и позднеспелые *Rubel* и *Aurora*, первый из которых отмечен также максимальным числом аналогичных связей у антиоксидантной, а оба вторых – у каталазной активности.

Но, как и в предыдущих случаях, у представителей исследуемых сортовых групп голубики выявлены заметные различия в спектрах органических соединений, выступавших в качестве основных источников пероксидазной активности плодов. Как следует из табл. 1, только у раннеспелых сортов обнаружено доминирование ее сильной взаимосвязи с содержанием аскорбиновой кислоты, собственно антоцианов, лейкоантоцианов и флавонолов на фоне преобладания у всех сортовых групп прямой тесной связи с содержанием пектиновых веществ, катехинов и общим количеством биофлавоноидов. Это согласуется с распространенным мнением о возможности участия ПО (наряду с ПФО) в реакциях фенольного метаболизма [19, 23, 29]. Индивидуальной особенностью среднеспелых сортов голубики явилось наличие сильной положительной связи между активностью ПО и содержанием свободных органических кислот на фоне отчетливо выраженного сходства с позднеспелыми сортами в существовании подобной связи с содержанием танинов и антоциановых пигментов.

Анализ структуры корреляционных связей между уровнем активности ПФО и содержанием органических соединений в плодах исследуемых сортов голубики, как и во всех предыдущих случаях, выявил в ней как существенные генотипические различия, так и значительное количество совпадений в их проявлении в основном у раннеспелых и среднеспелых сортов. Поскольку данная оксидаза является основным ферментом фенольного метаболизма, то для уровня ее активности следовало ожидать более выраженного, чем у КАТ и ПО, взаимодействия с соединениями фенольной природы, которыми чрезвычайно богаты плоды голубики. Однако это предполо-

жение лишь отчасти подтверждают данные табл. 1, показавшие в ряду наиболее тесных прямых корреляционных связей между уровнем ПФО и содержанием в плодах органических соединений разной химической природы, количество которых варьировалось от 1 до 7, наличие сходного и даже уступавшего выявленному у активности КАТ и ПО числа ее сильных взаимодействий с основными компонентами биофлавоноидного комплекса. Вместе с тем наибольшим участием в обеспечении полифенолоксидазной активности в плодах голубики характеризовались гидроксикоричные кислоты, относящиеся к соединениям С₆-С₃-ряда [23], что подтверждалось максимальным количеством тесных прямых связей уровня ПФО с их содержанием.

В связи с многофункциональным характером проявления активности окислительно-восстановительных ферментов в метаболизме растений и возможностью их взаимозаменяемости в осуществлении многих процессов их жизнедеятельности, в данном случае источниками полифенолоксидазной активности, скорее всего, являлись органические соединения иной химической природы. В подтверждение этому свидетельствовало проявление в ряде случаев сильной положительной связи с содержанием в плодах титруемых кислот, растворимых сахаров, а также пектиновых и дубильных веществ (см. табл. 1). Указания на возможность участия свободных органических кислот в окислительно-восстановительных процессах в растительных клетках встречаются в работе Н. А. Алексеевны с соавт. [27]. При этом в сортовом ряду голубики для активности ПФО и ПО выявлена разная степень проявления их корреляционных связей с содержанием дубильных и пектиновых веществ. Возможность участия последних в формировании антиоксидантных свойств растительных объектов показана в работах А. А. Злобина с соавт., Ж. А. Рупасовой с соавт. [4, 24], что является еще одним подтверждением гибкости комплекса терминальных оксидаз в обеспечении антирадикальных свойств ягодной продукции данного вида.

Особый интерес в структуре корреляционных связей полифенолоксидазной активности плодов вызывает проявление в ряде случаев ее прямого тесного взаимодействия с содержанием растворимых сахаров (см. табл. 1). В исследованиях М. Kofroňová с соавт. [29] доказана способность углеводов (особенно сахарозы, рафинозы и фруктозы) обеспечивать антиоксидантную защиту растений за счет предоставления энергии и молекул углерода для синтеза ферментов окислительно-восстановительного цикла. Кроме того, сахароза в сочетании с глюкозой может контролировать экспрессию генов, связанных со стрессоустойчивостью, что особенно важно для адаптации интродуцируемых растений к новым почвенно-климатическим условиям. По мнению этих авторов, передача сигналов, опосредованная сахарозой, важна для регуляции синтеза аскорбата и фенольных соединений, в том числе антоциановых пигментов, что подтвердилось и в наших исследованиях проявлением у тестируемых сортов голубики положительных связей разной силы между активностью ПФО и содержанием в плодах растворимых сахаров. Вместе с тем, несмотря на то что аскорбиновая кислота является общепризнанным стабилизатором фенольных соединений [23, 30], которыми так богаты плоды голубики, ее роль в повышении их антирадикального статуса, как и в активизации работы исследуемых ферментов окислительно-восстановительного цикла, оказалась минимальной.

Подобно КАТ и ПО, у активности ПФО выявлены заметные генотипические различия по спектрам органических соединений, являющихся источниками данной активности (см. табл. 1). Заметим, что при диапазоне варьирования в таксономическом ряду количества самых тесных прямых связей между активностью данного фермента и содержанием действующих веществ от 2 до 9, наибольшим оно было, как и у пероксидазной активности, у раннеспелого сорта *Hannah's Choice*, а наименьшим – у позднеспелого сорта *Rubel*. При этом среди трех исследуемых сортовых групп голубики минимальным количеством сильных положительных связей у активности ПФО характеризовались позднеспелые сорта. Заметим, что на фоне выявленных генотипических различий в структуре корреляционных связей у раннеспелых и среднеспелых сортов обнаружено определенное сходство в спектрах органических соединений, являвшихся источниками полифенолоксидазной активности. В частности, для всех без исключения представителей этих сортовых групп установлены наиболее сильные прямые корреляционные связи с содержанием гидроксикоричных кислот, тогда как среди позднеспелых сортов подобная связь обнаружена лишь у районированного сорта *Elliott*. Наряду с этим, с учетом связей средней силы, у них вы-

явлено отчетливое взаимодействие активности ПФО с содержанием пектиновых веществ, собственно антоцианов и катехинов, наиболее выраженное у раннеспелых сортов.

Что же касается индивидуальных для каждой сортовой группы доминирующих источников активности данного фермента, то с учетом ее корреляционных связей средней силы с содержанием исследуемых соединений, у раннеспелых сортов к ним следовало отнести свободные органические кислоты, танины и растворимые сахара, а у среднеспелых сортов – лейкоантоцианы. Несмотря на выявленные у исследуемых терминальных оксидаз различия в спектрах связанных с ними компонентов биохимического состава плодов разноспелых сортов голубики, установлено заметное участие всех органических соединений в формировании их антиокислительной системы, но при разной степени его проявления, что подтверждалось наличием между ними прямых корреляционных связей разной силы (см. табл. 1). При этом наибольшее количество самых тесных из них могло свидетельствовать о приоритетной роли каждого органического соединения в обеспечении антирадикальных свойств плодов, тогда как максимальное количество наиболее сильных обратных связей позволяло предположить ингибирующее влияние на них того или иного соединения.

Анализируя табл. 2, можем убедиться, что в сортовом ряду раннеспелых сортов голубики основную роль в обеспечении высокого уровня АОА играли танины, лейкоантоцианы и близкие им по химической природе катехины при менее выраженном участии собственно антоцианов и растворимых сахаров. Основными источниками каталазной активности являлись антоциановые пигменты и в меньшей степени – катехины и флавонолы, тогда как пероксидазной – пектиновые вещества, основные группы биофлавоноидов (особенно катехины) и в меньшей степени – аскорбиновая кислота. Наибольшее участие в обеспечении полифенолоксидазной активности плодов раннеспелых сортов голубики принимали гидроксикоричные кислоты, танины и в меньшей степени – свободные органические кислоты, пектины, антоциановые пигменты и катехины.

В сортовом ряду среднеспелых сортов голубики приоритетная роль в обеспечении антирадикальной активности плодов принадлежала танинам и в меньшей степени – свободным органическим и гидроксикоричным кислотам, а также антоциановым пигментам. При этом основными источниками каталазной активности следовало признать гидроксикоричные и в меньшей степени – титруемые кислоты, а также танины, лейкоантоцианы и катехины, тогда как таковыми пероксидазной активности – свободные органические кислоты, биофлавоноиды, пектиновые и дубильные вещества, а полифенолоксидазной – гидроксикоричные кислоты и лейкоантоцианы.

Что касается позднеспелых сортов голубики, то у них основными источниками АОА плодов являлись танины, лейкоантоцианы и в меньшей степени – флавонолы, катехины и свободные органические кислоты. Значительное участие в обеспечении их каталазной активности принимало абсолютное большинство органических соединений при лидирующем положении танинов, лейкоантоцианов и катехинов, а в активизации фермента ПО основную роль играли пектиновые и дубильные вещества, катехины и в меньшей степени – растворимые сахара. Приоритетное положение в обеспечении полифенолоксидазной активности плодов позднеспелых сортов голубики принадлежало собственно антоцианам и флавонолам (см. табл. 2).

На наш взгляд, столь разноплановая картина корреляционных связей исследуемых компонентов антирадикальной системы плодов представителей разных сортовых групп голубики с содержанием в них широкого спектра органических соединений обусловлена генотипическими различиями их биохимического состава и вероятностным включением в метаболические процессы других видов оксидаз, которые остались за рамками настоящих исследований. На основании суммирования в рассматриваемых сортовых рядах количества наиболее тесных прямых связей всех компонентов антиоксидантного комплекса с содержанием исследуемых органических соединений была обозначена нижеприведенная последовательность биохимических характеристик по мере снижения их влияния на совокупность антирадикальных свойств плодов голубики:

раннеспелые сорта: *катехины >> танины > собственно антоцианы = лейкоантоцианы = флавонолы = пектиновые вещества > гидроксикоричные кислоты > свободные органические кислоты = растворимые сахара > аскорбиновая кислота;*

среднеспелые сорта: *гидроксикоричные кислоты > танины = лейкоантоцианы > свободные органические кислоты > пектиновые вещества = собственно антоцианы > катехины > растворимые сахара > аскорбиновая кислота > флавонолы;*

позднеспелые сорта: катехины = танины > лейкоантоцианы > флавонолы > собственно антоцианы > свободные органические кислоты = пектиновые вещества > аскорбиновая кислота = растворимые сахара > гидроксикоричные кислоты.

Нетрудно убедиться в наличии заметного сходства у представителей разных сортовых групп голубики в спектрах наиболее значимых для формирования антиоксидантного комплекса плодов органических соединений, характеризовавшихся наибольшим количеством прямых тесных связей с компонентами данного комплекса. При ориентации на количество этих связей, превышавшее 6, наиболее выразительно данное сходство проявилось у ранне- и позднеспелых сортов и заключалось в наибольшем участии в метаболических процессах в качестве источников антирадикальной и ферментативной активности катехинов, танинов, лейкоантоцианов и флавонолов на фоне наименьшего участия в них аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров. При этом у раннеспелых сортов в ряду показателей биохимического состава плодов выявлено незначительное усиление по сравнению с позднеспелыми сортами роли собственно антоцианов, пектиновых веществ и гидроксикоричных кислот на фоне ослабления таковой лейкоантоцианов, флавонолов и аскорбиновой кислоты. В отличие от представителей этих сортовых групп, у среднеспелых сортов голубики наибольшим участием в формировании антиокислительной системы плодов, наряду с танинами и лейкоантоцианами, характеризовались свободные органические и гидроксикоричные кислоты. Но, как и в двух предыдущих случаях, наименьшее влияние на этот процесс оказывали растворимые сахара и аскорбиновая кислота.

Суммирование у каждого исследуемого сорта голубики количества самых тесных прямых связей у отдельных компонентов антиоксидантного комплекса плодов с содержанием в них органических соединений разной химической природы (см. табл. 3) позволило выявить в общем сортовом ряду таксоны с наиболее высокой и, соответственно, наиболее низкой антирадикальной и ферментативной активностью плодов и обозначить их нижеприведенную последовательность в рядах снижения данных показателей:

по общему уровню **антирадикальной и ферментативной активности:** *Hannah's Choice* > *Aurora* > *Bluecrop* > *Rubel* > *Chanticleer* = *Elliott* = *Rubel* > *Bluegold* > *Weymouth* > *Harrison*;

по уровню **АОА:** *Hannah's Choice* > *Chanticleer* = *Bluegold* > *Bluecrop* > *Elliott* = *Aurora* > *Weymouth* > *Harrison* = *Rubel*;

по уровню **активности КАТ:** *Aurora* > *Rubel* > *Elliott* > *Hannah's Choice* = *Bluecrop* = *Harrison* > *Weymouth* > *Chanticleer* = *Bluegold*;

по уровню **активности ПО:** *Hannah's Choice* > *Rubel* > *Aurora* > *Weymouth* = *Chanticleer* > *Bluecrop* = *Harrison* = *Elliott* > *Bluegold*;

по уровню **активности ПФО:** *Hannah's Choice* > *Bluecrop* = *Bluegold* > *Weymouth* = *Chanticleer* > *Elliott* = *Aurora* > *Harrison* > *Rubel*.

Нетрудно убедиться в заметном сходстве последовательности таксонов голубики в приведенных рядах, обусловленном индивидуальным вкладом каждого из них в общую структуру корреляционных связей тесных прямых взаимодействий отдельных составляющих антиоксидантного комплекса плодов с содержанием органических соединений разной химической природы в соответствии с особенностями их биохимического состава.

При этом наибольшим количеством наиболее сильных прямых взаимосвязей характеризовалась антиокислительная система новых интродуцируемых сортов (раннеспелого *Hannah's Choice* и позднеспелого *Aurora*), поддержание высокого уровня которой обеспечивалось наиболее значительным в сортовом ряду спектром действующих веществ, являвшихся источниками в первом случае антиоксидантной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности, а во втором – каталазной и в меньшей степени – пероксидазной. Заметим, что минимальное число подобных взаимодействий у антирадикальной системы, уступавшее в 1,6–2,1 раза таковому у лидирующих по данному признаку таксонов голубики, выявлено у интродуцируемого сорта *Harrison*, отмеченного довольно слабым участием исследуемых компонентов биохимического состава плодов в обеспечении его антиоксидантной и ферментативной активности.

Заключение. В результате сравнительного исследования в южной агроклиматической зоне Беларуси в таксономическом ряду 6 новых интродуцируемых сортов голубики высокорослой (раннеспелых – *Chanticleer*, *Hannah's Choice*, среднеспелых – *Bluegold*, *Harrison* и позднеспелых –

лых – *Aurora*, *Rubel*), а также соответствующих данным группам спелости районированных сортов *Weymouth*, *Bluecrop* и *Elliott* структуры корреляционных связей между уровнями антиоксидантной и ферментативной активности, с одной стороны, и 12 показателями биохимического состава, с другой, выявлены существенные генотипические различия в ориентации и силе этих связей, обусловленные индивидуальными особенностями биохимического состава тестируемых объектов, свидетельствовавшие о выраженной сортоспецифичности анализируемых признаков.

Раннеспелые сорта голубики характеризовались наиболее высоким уровнем взаимосвязи АОА плодов с органическими соединениями, являющимися источниками преимущественно пероксидазной и полифенолоксидазной активности, тогда как у позднеспелых сортов, обладавших наименьшим уровнем этого взаимодействия, основную роль в ее обеспечении играли соединения, активизировавшие главным образом работу КАТ и ПО, а у среднеспелых сортов, занимавших в этом плане промежуточное положение, приоритетное значение имели действующие вещества, выступавшие в качестве источников каталазной и полифенолоксидазной активности.

Лидирующее положение по общему количеству прямых тесных корреляционных связей ($r > 0,70$) антиоксидантного комплекса плодов у раннеспелых сортов принадлежало сорту *Hannah's Choice*, у среднеспелых – сорту *Bluecrop*, а у позднеспелых – сорту *Aurora*. Максимальное количество сильных положительных связей комплекса биохимических показателей плодов с уровнем АОА выявлено у сортов *Chanticleer*, *Bluegold* и *Hannah's Choice*, с уровнем активности КАТ – у сортов *Elliott* и *Aurora*, с уровнем активности ПО – у сортов *Hannah's Choice* и *Rubel*, а с уровнем активности ПФО – у сорта *Hannah's Choice*. При этом сила и направленность выявленных взаимодействий в значительной степени определялись как генотипом растений, так и природой, и функциональной ролью обозначенных ферментов. Тем не менее для активности каждого из них (как и для АОА) в большинстве случаев обнаружено совпадение наиболее тесных прямых связей с содержанием тех или иных действующих веществ одновременно у нескольких таксонов голубики.

Обосновано участие всех определявшихся органических соединений в формировании антиоксидантного комплекса плодов голубики, но при разной степени проявления у его отдельных компонентов, подтвержденное наличием между ними прямых взаимосвязей разной силы. Выявлено заметное сходство у представителей разных сортовых групп в спектрах наиболее значимых для формирования антиоксидантного комплекса плодов органических соединений, наиболее выразительно проявившееся у ранне- и позднеспелых сортов и заключающееся в доминирующей роли катехинов, танинов, лейкоантоцианов и флавонолов, а у среднеспелых сортов (наряду с танинами и лейкоантоцианами) – также свободных органических и гидроксикоричных кислот. При этом наименьшее влияние на антирадикальные свойства плодов голубики оказывали растворимые сахара и аскорбиновая кислота.

Установлена однотипная последовательность таксонов голубики в порядке снижения уровня взаимодействия отдельных компонентов антиоксидантного комплекса плодов с содержанием органических соединений разной химической природы при наибольшем проявлении наиболее сильных прямых корреляционных связей с источниками антиоксидантной, пероксидазной и полифенолоксидазной активности у сорта *Hannah's Choice*, с источниками каталазной – у сорта *Aurora* и в меньшей степени пероксидазной активности на фоне минимального количества подобных взаимодействий – у сорта *Harrison*, уступавшего в 1,6–2,1 раза по данному признаку лидирующим таксонам голубики.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Генотипические особенности биохимического состава и антиоксидантного комплекса плодов сортов голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, К. А. Добрянская [и др.] // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 185–196.
2. Активность компонентов антиоксидантной системы дикорастущих видов растений Беларуси / В. И. Домаш, О. А. Иванов, Т. П. Шарпио, С. А. Забрейко // Современные проблемы естествознания в науке и общеобразовательном процессе: материалы Респ. науч.-практ. конф. 24 нояб. 2017 г., Минск / редкол.: И. А. Жукова (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – С. 77–79.

3. Антиоксидантная активность белков отдельных видов дикорастущих растений Беларуси и Монголии / В. И. Домаш, О. А. Иванов, Т. П. Шарпио [и др.] // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси. – Минск, 2017. – Вып. 46. – С. 190–199.
4. Злобин, А. А. Антиоксидантная и антимикробная активность пектинов ряда растений европейского севера России / А. А. Злобин, Е. А. Мартинсон, Ю. С. Оводов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. – 2011. – № 3 (7). – С. 33–37.
5. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учеб. пособие / сост.: М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 107 с.
6. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники: дис. ... канд. фармацевт. наук: 15.00.02 / Марсов Николай Григорьевич; Перм. гос. фармацевт. акад. – Пермь, 2006. – 200 л.
7. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреева, Г. И. Калинкина, Н. Э. Коломиец, Н. В. Исайкина // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
8. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош, Ю. В. Перуанский; под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 429 с.
9. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введ. 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
10. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея Союза Советских Социалистических Республик / М-во здравоохранения СССР; редкол.: Ю. Г. Бобков [и др.]. – 11-е изд. – М., 1987. – Вып. 1: Общие методы анализа. – С. 286–287.
11. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Труды III Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод, 27–30 сент. 1966 г., Свердловск / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР; Урал. лесотехн. ин-т. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
12. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. – The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. E. Hillis // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1959. – Vol. 10, N 1. – P. 63–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>
13. Dung, N. T. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds / N. T. Dung, J. M. Kim, S. C. Kang // Food and chemical toxicology. – 2008. – Vol. 46, N 12. – P. 3632–3639. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.013>
14. Чупахина, Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум / авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград: Калинингр. гос. ун-т, 2000. – 59 с.
15. Кинетические, биохимические и биологические методы анализа. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине специализации «Кинетические, биохимические и биологические методы анализа» для студентов специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» / Курган. гос. ун-т, сост. Л. В. Мостальгина. – Курган: [б. и.], 2016. – 30 с.
16. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2006. – Ч. 1. – 107 с.
17. Лакин, Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
18. Генотипические особенности взаимосвязи компонентов антиоксидантного комплекса плодов жимолости синей с содержанием органических соединений разной химической природы при интродукции в Беларуси / Ж. А. Рупасова, С. Н. Авраменко, К. А. Добрянская [и др.] // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2024. – № 4. – С. 49–63.
19. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карабанов. – Минск: Ураджай, 1981. – 79 с.
20. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
21. Jakovljevic, Z. D. Seasonal variability of *Chelidonium majus* L. secondary metabolites content and antioxidant activity / Z. D. Jakovljevic, S. M. Stankovic, D. M. Topuzovic // Experimental and clinical sciences journal. – 2013. – Vol. 12. – P. 260–268.
22. Jiménez, M. Myricetin, an antioxidant flavonol, is a substrate of polyphenol oxidase / M. Jiménez, F. García-Carmona // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1999. – Vol. 79, N 14. – P. 1993–2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199911\)79:14<1993::AID-JSFA467>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199911)79:14<1993::AID-JSFA467>3.0.CO;2-H)
23. Вольнец, А. П. Фенольные соединения в жизнедеятельности растений / А. П. Вольнец. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 283 с.
24. Физиолого-биохимические основы применения микроклонального способа размножения голубики высокорослой для получения оздоровленного посадочного материала / Ж. А. Рупасова, О. В. Чижик, Н. Б. Павловский [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2022. – 136 с.
25. Логвина, А. О. Исследование антирадикальной активности полифенолсодержащих экстрактов каллусных культур *Trigonella foenugraecum* / А. О. Логвина // Биология – наука XXI века: 16-я Пуш. междунар. школа-конф. молодых ученых, Пушино, 16–21 апр. 2012 г.: сб. тез. / Пуш. науч. центр РАН, Пуш. гос. естественно-науч. ин-т. – Пушино, 2012. – С. 183–184.
26. Зайцева, Н. В. Сравнительное исследование химического состава различных органов щавеля конского / Н. В. Зайцева // Аспирантский вестник Поволжья. – 2012. – Т. 12, № 5–6. – С. 279–281.
27. Обзор катализаторов, применяемых в синтезе сложных эфиров ароматических карбоновых кислот / Н. А. Алексеевна, А. С. Плотнокова, Л. А. Бахолдина, А. Л. Верещагин // Прикладные аспекты инноваций в биотехнологии: мате-

риалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию юбилею кафедры «Биотехнология», Бийск, 14–16 июня 2017 г. / Алт. гос. техн. ун-т. – Бийск, 2017. – С. 23–26.

28. Сравнительная оценка антиоксидантных свойств водных экстрактов танидосодержащих лекарственных растений / Е. И. Рябина, Е. Е. Зотова, Н. И. Пономарева, А. П. Васильева // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2011. – № 1. – С. 52–56.

29. Kofroňová, M. Two facets of world arsenic problem solution: crop poisoning restriction and enforcement of phytoremediation / M. Kofroňová, P. Mašková, H. Lipavská // *Planta*. – 2018. – Vol. 248. – P. 19–35. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2906-x>

30. Медведев, С. С. Физиология растений: учеб. для студентов и аспирантов биол. фак. ун-тов / С. С. Медведев. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. – 334 с.

References

1. Rupasova Zh. A., Avramenko S. N., Dobryanskaya K. A., Sulim D. O., Pavlovskii N. B., Drozd O. V. Genotypic features of the biochemical composition and antioxidant complex of fruits of highbush blueberry varieties (*Vaccinium corymbosum* L.) in the conditions of Belarus. *Prirodopol'zovanie* [Nature Management], 2024, no. 1, pp. 185–196 (in Russian).

2. Domash V. I., Ivanov O. A., Sharpio T. P., Zabreiko S. A. Activity of components of the antioxidant system of wild plant species of Belarus. *Sovremennye problemy estestvoznaniya v nauke i obshcheobrazovatel'nom protsesse: materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoi konferentsii, 24 noyabrya 2017 goda, Minsk* [Modern problems of natural science in science and general educational process: materials of the Republican scientific and practical conference, November 24, 2017, Minsk]. Minsk, 2017, pp. 77–79 (in Russian).

3. Domash V. I., Ivanov O. A., Sharpio T. P., Zabreiko S. A., Batkhuu G. Zh., Batsuren T. D., Tuul B. B. Antioxidant activity of proteins of some species of wild plants of Belarus and Mongolia. *Botanika (issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov* [Botany (research): collection of scientific papers]. Minsk, 2017, iss. 46, pp. 190–200 (in Russian).

4. Zlobin A. A., Martinson E. A., Ovodov Yu. S. Antioxidant and antimicrobial activity of pectins of some plants of the European North of Russia. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk* [Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2011, no. 3 (7), pp. 33–37 (in Russian).

5. Kusakina M. G., Suvorov V. I., Chudinova L. A. (ed). *Large workshop "Biochemistry". Laboratory work*. Perm, Perm State National Research University, 2012. 107 p. (in Russian).

6. Marsov N. G. *Phytochemical study and biological activity of cranberries, cranberries and blueberries*. Ph. D. Thesis. Perm, 2006. 200 p. (in Russian).

7. Andreeva V. Yu., Kalinkina G. I., Kolomiets N. E., Isaikina N. V. The method of determining anthocyanins in the fruits of aronia chernoplodnaya. *Farmatsiya* [Pharmacy], 2013, no. 3, pp. 19–21 (in Russian).

8. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P., Peruanskii Yu. V. *Methods of biochemical research of plants*. 3rd ed. Leningrad, Agropromizdat. Leningradskoe otdelenie Publ., 1987. 429 p. (in Russian).

9. State Standard 8756.2-82. *Methods for the determination of dry substances*. Moscow, Publishing House of Standards, 1982. 5 p. (in Russian).

10. Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials. *State Pharmacopoeia of the Union of Soviet Socialist Republics*. 11th ed. Moscow, 1987, iss. 1, pp. 286–287 (in Russian).

11. Skorikova Yu. G., Shaftan E. A. Methodology for the determination of anthocyanins in fruits and berries. *Trudy III Vsesoyuznogo seminara po biologicheski aktivnym (lechebnym) veshchestvam plodov i yagod, 27–30 sentyabrya 1966 goda, Sverdlovsk* [Proceedings of the III All-Union Seminar on Biologically Active (Medicinal) Substances of Fruits and Berries, September 27–30, 1966, Sverdlovsk]. Sverdlovsk, 1968, pp. 451–461 (in Russian).

12. Swain T., Hillis W. E. The phenolic constituents of *Prunus Domenstica*. 1. – The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1959, vol. 10, no. 1, pp. 63–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>

13. Dung N. T., Kim J. M., Kang S. C. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food and chemical toxicology*, 2008, vol. 46, no. 12, pp. 3632–3639. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.013>

14. Chupakhina G. N. *Physiological and biochemical methods of plant analysis: practicum*. Kaliningrad, Kaliningrad State University, 2000. 59 p. (in Russian).

15. Mostalygina L. V. (ed.). *Kinetic, biochemical and biological methods of analysis. Methodological guidelines for performing laboratory work in the discipline of specialization "Kinetic, biochemical and biological methods of analysis" for students of the specialty 04.05.01 "Fundamental and Applied Chemistry"*. Kurgan, 2016. 30 p. (in Russian).

16. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova M. G. *A large workshop on bioecology. Pt. I*. Yoshkar-Ola, Mari State University, 2006. 107 p. (in Russian).

17. Lakin G. F. *Biometry*. 4th ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p. (in Russian).

18. Rupasova Zh. A., Avramenko S. N., Dobryanskaya K. A., Sulim D. O., Pavlovskii N. B., Ral'tsevich A. V., Belyi P. N., Getko N. V., Vecher N. N. Genotypic features of the interaction of components of the antioxidant complex of blue honeysuckle fruits containing organic compounds of different chemical nature during their introduction to Belarus. *Vestnik Fonda fundamental'nykh issledovaniy* [Bulletin of the Foundation for Fundamental Research], 2024, no. 4, pp. 49–63 (in Russian).

19. Karabanov I. A. *Flavonoids in plants*. Minsk, Uradzhai Publ., 1981. 80 p. (in Russian).

20. Zaprometov M. N. *Phenolic compounds: distribution, metabolism and functions*. Moscow, Nauka Publ., 1993. 272 p. (in Russian).

21. Jakovljevic Z. D., Stankovic S. M., Topuzovic D. M. Seasonal variability of *Chelidonium majus* L. secondary metabolites content and antioxidant activity. *Experimental and clinical sciences journal*, vol. 12, 2013, pp. 260–268.

22. Jiménez M., García-Carmona F. Myricetin, an antioxidant flavonol, is a substrate of polyphenol oxidase. *Journal of Food and Agricultural Science*, 1993, vol. 79, no. 4, pp. 1993–2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199911\)79:14<1993::AID-JSFA467>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199911)79:14<1993::AID-JSFA467>3.0.CO;2-H)
23. Volynets A. P. *Phenolic compounds in plant life*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013. 283 p. (in Russian).
24. Rupasova Zh. A., Chizhik O. V., Pavlovskii N. B., Reshetnikov V. N., Kutas E. N. *Physiological and biochemical bases for the application of the microclonal method of highbush blueberry propagation to obtain green planting material*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2022. 136 p. (in Russian).
25. Logvina A. O. Investigation of the antiradical activity of polyphenol-containing extracts of callus cultures. *Trigonella foenum-graecum*. *Biologiya – nauka XXI veka: 16-ya Pushchinskaya mezhdunarodnaya shkola-konferentsiya molodykh uchenykh, Pushchino, 16–21 aprelya 2012 goda: sbornik tezisev* [Biology – Science of the 21st Century: 16th Pushchino International School-Conference of Young Scientists, Pushchino, April 16–21, 2012: Abstracts]. Pushchino, 2012, pp. 183–184 (in Russian).
26. Zaitseva N. V. Comparative study of the chemical composition of various organs of horse sorrel. *Aspirantskii vestnik Povolzh'ya* [Postgraduate Bulletin of the Volga Region], 2012, vol. 12, no. 5–6, pp. 279–281.
27. Alekseevna N. A., Plotnikova A. S., Bakholdina L. A., Vereshchagin A. L. Review of catalysts used in the synthesis of aromatic carboxylic acid esters. *Prikladnye aspekty innovatsii v biotekhnologii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 20-letnemu yubileyu kafedry "Biotekhnologii", Biisk, 14–16 iyunya 2017 goda* [Applied aspects of innovations in biotechnology: materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of Biotechnology, Biysk, June 14–16, 2017]. Biysk, 2017, pp. 23–26 (in Russian).
28. Ryabinina E. I., Zotova E. E., Ponomareva N. I., Vasil'eva A. P. Comparative assessment of antioxidant properties of aqueous extracts of tannin-containing medicinal plants. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series Chemistry. Biology. Pharmacy], 2011, no. 1, pp. 52–56 (in Russian).
29. Kofroňová M., Mašková P., Lipavská H. Two facets of world arsenic problem solution: crop poisoning restriction and enforcement of phytoremediation. *Planta*, 2018, vol. 248, pp. 19–35. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2906-x>
30. Medvedev S. S. *Plant physiology*. St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg University, 2004. 334 p. (in Russian).

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – член-корреспондент, д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Авраменко Станислав Николаевич – мл. науч. сотрудник, магистрант. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: auramenkastas@gmail.com

Ушакова Анна Владимировна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: uschakowaanna_19@mail.ru

Павловский Николай Болеславович – канд. биол. наук, доцент, заведующий отраслевой лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pavlovskiy@tut.by

Дрозд Ольга Владимировна – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Drozd_OlgaW@rambler.ru

Белый Павел Николаевич – канд. биол. наук, доцент, ученый секретарь. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: belyj@cbg.org.by

Шпитальная Тамара Васильевна – канд. биол. наук, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: T.Shpitalnaya@cbg.org.by

Вечер Николай Николаевич – канд. биол. наук, доцент. Белорусский государственный аграрный технический университет (пр-т Независимости, 99, 220023, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: vnn.agr@bsatu.by

Information about the authors

Zhanna A. Rupasova – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Professor, Chief Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Stanislav N. Avramenko – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: auramenkastas@gmail.com

Anna V. Ushakova – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: uschakowaanna_19@mail.ru

Nikolay B. Pavlovsky – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavlovskiy@tut.by

Olga V. Drozd – Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Drozd_OlgaW@rambler.ru

Pavel N. Bely – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Scientific Secretary. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belyj@cbg.org.by

Tamara V. Shpitalnaya – Ph. D. (Biol.), Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: T.Shpitalnaya@cbg.org.by

Nikolay N. Vecher – Ph. D. (Biol.), Associate Professor. Belarusian State Agrarian Technical University (BSATU) (Independence Avenue, 99, 220023, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vnn.agr@bsatu.by