

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 634.737:581.5:581.522.4 (476)

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-4-309-320>

Поступила в редакцию 08.04.2024

Received 08.04.2024

Ж. А. Рупасова¹, А. П. Яковлев¹, Э. И. Коломиец², З. М. Алешенкова³,
Г. И. Булавко¹, С. П. Зимич¹, К. А. Добрянская¹

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Государственное научно-производственное объединение «Химический синтез и биотехнологии»,
Минск, Республика Беларусь

³Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОБИОТЫ КОРНЕОБИТАЕМОЙ ЗОНЫ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА ВЕРХОВОГО ТИПА ПОД ПОСАДКАМИ РАСТЕНИЙ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования в опытной культуре в географически удаленных на 250 км друг от друга Смолевичском районе Минской области и в более северном Докшицком районе Витебской области на рекультивируемых участках торфяной выработки верхового типа влияния минерального Basacot Plus 6 (N₁₅P₈K₁₂ кг/га д. в.) и отечественных биологических удобрений – азотфиксирующего и фосфатмобилизующего микробного МаКлоР в 5- и 10%-й концентрациях, а также органо-минерального Экогум-комплекса на микробиологические свойства субстрата под посадками виргинильных и генеративных растений раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* сортов клюквы крупноплодной в рамках идентичных полевых экспериментов. Установлено преимущественно ингибирующее влияние удобрений на совокупность основных характеристик микробиоты под посадками раннеспелого сорта и, напротив, стимулирующее влияние под посадками позднеспелого сорта. Под посадками раннеспелого сорта в Смолевичском районе, независимо от возраста растений, наиболее значительное ухудшение состояния микробиоценозов установлено при внесении минерального удобрения и обработках Экогум-комплексом, а в Докшицком районе – при использовании МаКлоРа, особенно в 5%-й концентрации.

Под посадками позднеспелого сорта клюквы в обоих районах исследований испытываемые удобрения, напротив, способствовали преимущественной активизации микробиологических процессов в зоне ризогенеза. При этом в Смолевичском районе, независимо от возраста растений, наибольшее стимулирующее влияние на них оказывало внесение минерального удобрения, а также использование Экогум-комплекса на виргинильных растениях и 5%-го МаКлоРа на генеративных. С продвижением к северу происходило заметное усиление позитивного воздействия испытываемых удобрений на формирование и функционирование микробиоты корнеобитаемой зоны позднеспелого сорта клюквы при наибольшей эффективности использования исключительно биологических удобрений, особенно бактериально-МаКлоР в 10%-й концентрации на виргинильных растениях и в 5%-й – на генеративных.

Ключевые слова: выработанный торфяник, клюква крупноплодная, сорта, минеральные и биологические удобрения, микробиоценоз, микробная масса, дыхательная и метаболическая активность

Для цитирования: Влияние минеральных и биологических удобрений на формирование микробиоты корнеобитаемой зоны выработанного торфяника верхового типа под посадками растений клюквы крупноплодной в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 309–320. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-4-309-320>

Zhanna A. Rupasova¹, Alexander P. Yakovlev¹, Emiliya I. Kolomiets², Zinaida M. Aleshchenkova³,
Galina I. Bulavko¹, Svetlana P. Zimich¹, Ksenia A. Dobryanskaya¹

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

²State Scientific and Production Association “Chemical Synthesis and Biotechnology”, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

EFFECT OF MINERAL AND BIOLOGICAL FERTILIZERS ON THE FORMATION OF THE MICROBIOTA OF THE ROOT ZONE OF THE DEVELOPED TOP-TYPE PEAT BOG UNDER THE PLANTING OF LARGE-FRUITED CRANBERRY PLANTS IN THE CONDITIONS OF BELARUS

Abstract. The results of a comparative study are presented on the influence of the mineral Basacot Plus 6 (N₁₅P₈K₁₂ kg/ha a. i.) and domestic biological fertilizers – nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing microbial MaKloR in 5 and 10 % concentrations, as well as organo-mineral Ecohum complex on the microbiological properties of the substrate under plantings of virginal and generative plants of early-ripening *Ben Lear* and late-ripening *Stevens* varieties of large-fruited cranberries in the experimental

culture in the recultivated areas of top-type peat excavation in identical experiments in the Smolevichi district of the Minsk region, geographically distant 250 km from each other and in the more northern Dokshitsy district of the Vitebsk region. It has been established that fertilizers have a predominantly inhibitory effect on the totality of the main characteristics of the microbiota under plantings of an early-ripening variety and, on the contrary, a stimulating effect under those of a late-ripening variety. Under plantings of an early ripening variety in the Smolevichi district, regardless of the age of plants, the most significant deterioration in the state of microbial cenoses was found when applying mineral fertilizer and treating with the Ecohum complex, and in the Dokshitsy district – when using MaKloR, especially in a 5 % concentration.

Under plantings of a late-ripening cranberry variety in the both areas under study, the tested fertilizers, on the contrary, contributed to the predominant activation of microbiological processes in the rhizogenesis zone. At the same time, in the Smolevichi district, regardless of the age of plants, the greatest stimulating effect on them was the application of mineral fertilizer, as well as the use of Ecohum complex on virginal plants and 5 % MaKloR on generative ones. As we moved north, there was a noticeable increase in the positive effect of the tested fertilizers on the formation and functioning of the microbiota of the root zone of the late-ripening cranberry variety, the greatest efficiency of using exclusively biological fertilizers, especially bacterial MaCloR in a 10 % concentration on virgin plants and 5 % on generative ones.

Keywords: exhausted peat bog, large-fruited cranberry, varieties, mineral and biological fertilizers, microbial cenosis, microbial mass, respiratory and metabolic activity

For citation: Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Kolomiets E. I., Aleshchenkova Z. M., Bulavko G. I., Zimich S. P., Dobryanskaya K. A. Effect of mineral and biological fertilizers on the formation of the microbiota of the root zone of the developed top-type peat bog under the planting of large-fruited cranberry plants in the conditions of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2024, vol. 69, no. 4, pp. 309–320 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-4-309-320>

Введение. В связи с совершенствованием в Беларуси разработанной учеными Центрального ботанического сада НАН Беларуси технологии фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений верхового типа путем создания локальных агроценозов интродуцированных сортов клюквы крупноплодной на основе соблюдения принципов органического земледелия особого внимания заслуживают вопросы оптимизации минерального питания данной культуры с использованием экологически безопасных биологических удобрений. Значительный интерес при этом представляет комплексное изучение влияния на основные характеристики формирующихся в корнеобитаемой зоне субстрата микробиомов под посадками виргинильных и генеративных растений модельных сортов клюквы не только традиционно применяемого при ее возделывании полного минерального удобрения, но и разработанных в УП «Белуниверсалпродукт» (Республика Беларусь) и в Институте микробиологии НАН Беларуси новых препаратов – органо-минерального (Экогум-комплекс) и бактериального (MaKloR), соответствующих биологической природе данного интродуцента. Их применение представляется особо актуальным в связи с принятым в Беларуси в 2018 г. Законом об органическом земледелии, существенно ужесточающим требования к качеству экологически чистой растениеводческой продукции, при производстве которой ограничено использование любых химических средств, в том числе минеральных удобрений. В этой связи в 2020–2021 гг. в рамках полевых экспериментов на рекультивируемых участках выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений верхового типа – «Радемье-Зеленоборское» в Смолевичском районе Минской области и «Рамжино-Журавлевское» в удаленном на 250 км к северу Докшицком районе Витебской области – в рамках однотипных полевых экспериментов с применением вышеуказанных удобрений выполнены сравнительные исследования микробиологических свойств торфяного субстрата в корнеобитаемой зоне виргинильных и генеративных растений раннеспелого сорта *Ben Lear* и позднеспелого сорта *Stevens* клюквы крупноплодной.

Материалы и методы исследования. Основные наблюдения выполнены в условиях сезона 2020 г., характеризовавшегося преимущественно близкими к средней климатической норме или несколько уступающими ей температурными показателями при наиболее теплом июне (в обоих районах исследований отмечено превышение их средних многолетних значений на 21–36 %). При этом данный сезон характеризовался весьма неравномерным выпадением осадков, обусловившим в Смолевичском районе дефицит влаги в пределах 5–77 % в апреле, мае, июле и сентябре при ее избытке на уровне 14–68 % в июне и августе. В Докшицком же районе практически на всем протяжении вегетационного периода наблюдался острый дефицит влаги с отставанием количества выпавших осадков от средней многолетней нормы на 28–47 %, и лишь в мае оно превысило ее на 12 %.

В обоих районах исследования выполнены в рамках однотипных полевых экспериментов с 5-вариантной схемой: **1** – контроль, без внесения удобрений; **2** – припосадочное (в мае) луночное внесение минерального удобрения Basacot Plus 6 ($N_{15}P_8K_{12}$ кг/га д. в.) из расчета 1,5 г под растение; **3** – некорневая обработка вегетирующих растений раствором удобрения Экогум-комплекс в концентрации 15 мл на 3 л воды из расчета 75 мл на растение; **4** – припосадочное (в мае) луночное внесение 5%-го раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение; **5** – припосадочное (в мае) луночное внесение 10%-го раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение. Повторность опытов трехкратная, в каждом варианте высажено по 15 растений каждого сорта клюквы крупноплодной.

Исследование микробиологических свойств торфяного субстрата в полевых экспериментах осуществляли трижды за сезон. Определение массы активно функционирующих микроорганизмов в торфяном субстрате проводили с использованием физиологического метода [1] в трехкратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с помощью программы Excel.

Результаты и их обсуждение. По нашим наблюдениям, запасы активно функционирующей микробной массы в корнеобитаемой зоне выработанного торфяника соответствовали значениям, свойственным слаборазвитому микробоценозу, поскольку исходная величина данного показателя варьировалась в рамках эксперимента в диапазоне 283–489 мкг С/г торфа, что было вполне сопоставимо с результатами, полученными нами ранее под посадками вересковых [2]. При этом выделение углекислого газа из торфяного субстрата, обеспечиваемое корнями опытных растений и почвенными микроорганизмами (за счет трансформации органического вещества), варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 25–45 мкг CO_2 /г торфа в сутки.

Интегральным показателем активности микробоценоза считается метаболический коэффициент (qCO_2), представляющий собой соотношение интенсивности дыхания почвы и микробной массы. Как правило, определение последней проводят в лабораторных условиях с использованием биохимических или кинетических методов, что предполагает предварительное получение коэффициентов пересчета. Поскольку данные методы трудно сопоставимы между собой, для упрощения и стандартизации процедуры определения метаболического коэффициента вместо величины микробной массы предложено использовать скорость субстрат-индуцированного дыхания [3]. В этом случае значение метаболического коэффициента рассчитывают как отношение скоростей выделения CO_2 из небогатенного торфа (V_{basal}) и торфа, в который внесен избыток доступного дыхательного субстрата (V_{SIR}), в частности глюкозы ($qCO_2 = V_{\text{basal}}/V_{\text{SIR}}$). Данный способ расчета существенно упрощает процедуру определения данного показателя и позволяет проводить сравнение результатов, полученных разными авторами. К примеру, для микробоценозов болот таежной зоны он обычно варьировался в интервале 0,01–0,1 [4], тогда как в нашем эксперименте в Смоленском районе его значения также не превышали 0,09–0,11, а в Докшицком районе оказались еще ниже – 0,05–0,08, что свидетельствовало о весьма слабой микробиологической активности торфяного субстрата в обоих районах исследований.

В период наблюдений, как и в наших более ранних аналогичных исследованиях с другим представителем вересковых – голубикой высокорослой [5], в опытах с клюквой крупноплодной на фоне испытываемых агроприемов выявлены весьма значительные различия количественных показателей основных характеристик микробоценозов корнеобитаемой зоны торфяного субстрата в зависимости от комплекса биотических и абиотических факторов. Они нашли отражение в разной ширине диапазонов варьирования внутрисезонных изменений исследуемых показателей в рамках экспериментов, представление о величине которых, независимо от ориентации, можно составить на основании табл. 1. Нетрудно убедиться, что наименее выразительными оказались данные различия по численности микроорганизмов, тогда как наибольшими – по дыхательной и метаболической активности, что косвенно свидетельствовало о разной степени влияния испытываемых агроприемов на обозначенные характеристики микробиоты – менее значительной в первом случае и более значительной во втором. Вместе с тем выявленные при этом межвариантные различия исследуемых показателей убедительно свидетельствовали об индивидуальном характере влияния испытываемых агроприемов на жизнедеятельность микробиоты остаточного слоя торфяной залежи.

Таблица 1. Диапазоны внутрисезонных изменений относительно контроля основных характеристик микробиомов корнеобитаемой зоны торфяного субстрата в вариантах опытов с использованием удобрений под посадками клюквы крупноплодной в районах исследований, %

Table 1. Ranges of intraseasonal changes with respect to the control in the main characteristics of the microbiomes of the root zone of the peat substrate in the variants of experiments using fertilizers under plantings of large-fruited cranberries in the study areas, %

Вариант опыта	Сорт <i>Ben Lear</i>			Сорт <i>Stevens</i>		
	С _{биом} , мкг/г торфа	Дыхание, мкг CO ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэфф.	С _{биом} , мкг/г торфа	Дыхание, мкг CO ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэфф.
Смолевичский район						
<i>Виргинильные растения</i>						
2	1–15	21–137	12–157	1–6	35–89	25–44
3	4–26	18–102	33–87	10–21	3–70	33–88
4	8–13	10–59	10–64	17–22	2–27	5–200
5	10–71	41–119	37–39	2–11	24–73	10–33
<i>Генеративные растения</i>						
2	1–2	13–144	12–129	20–28	3–21	12–100
3	14–58	41–129	33–36	14–22	32–80	14–56
4	10–23	16–82	6–60	21–23	20–144	7–100
5	3–4	11–56	6–46	8–31	9–16	20–33
Докшицкий район						
<i>Виргинильные растения</i>						
2	2–44	56–162	59–175	1–3	8–21	13–33
3	7–23	46–148	56–167	24–54	46–83	50–155
4	1–8	52–189	56–167	26–131	47–60	33–63
5	2–28	55–215	63–216	19–36	46–130	16–33
<i>Генеративные растения</i>						
2	Не определяли			4–38	26–42	36–47
3				1–45	37–173	53–150
4				8–14	48–126	44–100
5				1–8	7–8	11–13

Наиболее объективное представление о степени данного влияния на протяжении вегетационного периода можно составить на основе сопоставления относительных различий исследуемых показателей с контролем в вариантах полевого опыта, в результате которого выявлена весьма неоднозначная картина данных различий (табл. 2, 3). При этом в Смолевичском районе в весенний период, для которого обычно характерна наибольшая активность микробиоценозов, в корнеобитаемой зоне виргинильных растений раннеспелого и позднеспелого сортов клюквы во всех вариантах опыта с применением удобрений наблюдалось отставание от контроля величины микробной массы (на 20–44 и 15–26 % соответственно), наименьшее при внесении минерального удобрения, наибольшее в первом случае при использовании Экогум-комплекса и 10%-го МаКлоРа, а во втором – при применении 5%-й концентрации МаКлоРа.

Как видим, наименее выраженное ингибирующее воздействие на численность активно функционирующих микроорганизмов под обоими таксонами клюквы в начале сезона оказывало минеральное удобрение. На наш взгляд, показанное снижение массы микроорганизмов в субстрате относительно контроля в весенний период года, скорее всего, связано с усилением конкуренции между культивируемыми растениями и микробиоценозами за элементы минерального питания. Очевидно, темпы переработки органического вещества торфа и высвобождения из него питательных элементов в это время уступали скорости их потребления организмами, что приводило к снижению микробной массы в корнеобитаемом слое субстрата за счет сокращения численности менее конкурентоспособных видов. Вместе с тем отставание от контроля вариантов опыта с использованием удобрений по интенсивности выделения из субстрата углекислого газа, определяемой темпами окисления органических веществ в процессе дыхания эдафобионтов, оказалось

Таблица 2. Относительные различия с контролем основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной в вариантах полевого опыта с использованием удобрений в Смолевичском районе в зависимости от времени года, %

Table 2. Relative differences with the control of the main characteristics of the microbiota of the root layer of the peat substrate under plantings of cranberry plants in the variants of the field experiment using fertilizers in the Smolevichi district depending on the time of year, %

Вариант опыта	Май			Июль			Сентябрь		
	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг СО ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг СО ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг СО ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.
Виргинильные растения									
<i>Сорт Ben Lear</i>									
2	-20,0	-28,2	-11,1	-20,7	-7,5	-30,0	-8,6	-14,3	-5,3
3	-44,2	-25,7	+33,3	-29,8	-18,3	-20,0	–	-21,7	-21,1
4	-21,3	-15,0	+11,1	-15,1	-49,0	+10,0	–	-5,4	-5,3
5	-41,6	-17,0	+44,4	–	–	-20,0	+21,3	-32,0	-42,1
<i>Сорт Stevens</i>									
2	-14,5	+5,2	+20,0	-8,0	+18,5	+80,0	–	+5,1	–
3	-24,5	-7,4	+20,0	–	-5,5	+60,0	+10,2	+25,4	+15,4
4	-25,8	-10,6	+10,0	–	-31,9	–	-17,4	-4,9	+15,4
5	-24,0	<u>-16,8</u>	–	-10,9	-13,8	+80,0	-6,0	-10,6	-7,7
Генеративные растения									
<i>Сорт Ben Lear</i>									
2	–	-30,8	-30,0	-8,8	-6,1	–	+16,6	–	-12,5
3	-29,6	-23,5	+10,0	–	–	-6,3	+11,2	-28,1	-37,5
4	–	–	–	-5,0	–	–	-5,3	–	+6,3
5	-11,5	–	+10,0	-16,6	-14,7	–	+4,7	-4,6	-6,3
<i>Сорт Stevens</i>									
2	+22,1	+7,8	-27,3	-13,4	–	+14,3	-37,3	–	+63,6
3	-5,1	–	-18,2	–	-6,9	–	-13,4	-10,9	+9,1
4	–	-16,2	-36,4	+8,9	+10,3	–	–	+25,1	+36,4
5	+10,1	+23,7	-9,1	-10,5	-22,8	-14,3	-29,1	–	+45,5

Примечание. Здесь и в табл. 3 прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

также более выразительным под сортом *Ben lear*, нежели под сортом *Stevens*, при минимальном его проявлении в первом случае при внесении обеих концентраций МаКлоРа и максимальном – при обработках.

Применение Экогум-комплекса и внесение минерального удобрения на посадках позднеспелого сорта обеспечило даже незначительное позитивное влияние на дыхательную активность микробиома, тогда как применение 10 %-го МаКлоРа, напротив, обусловило наиболее выраженное ее подавление.

Заметим, что из-за выявленных различий в степени влияния испытываемых агроприемов на интенсивность дыхания и величину микробной массы микробоценозов, соотношением которых определяется его метаболическая активность, значения соответствующего коэффициента в весенний период года под посадками виргинильных растений обоих таксонов клюквы в Смолевичском районе почти во всех вариантах опыта с использованием удобрений превышали контрольные на 11–44 % под раннеспелым сортом и на 10–20 % под позднеспелым, что следует рассматривать как позитивный результат, наиболее выраженный при применении Экогум-комплекса, а также 10%-го МаКлоРа в первом случае и минерального удобрения во втором.

В середине лета для большинства вариантов опыта с использованием удобрений, особенно биологических, показано заметное нивелирование различий с контролем по запасам микробной массы, особенно под позднеспелым сортом, при сохранении преимущественного отставания от него по данному признаку на фоне неоднозначных тенденций в изменении дыхательной

Таблица 3. Относительные различия с контролем основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной в вариантах полевого опыта с использованием удобрений в Докшицком районе в зависимости от времени года, %

Table 3. Relative differences with the control of the main characteristics of the microbiota of the root layer of the peat substrate under plantings of cranberry plants in the variants of the field experiment using fertilizers in the Dokshitsky district, depending on the time of year, %

Вариант опыта	Май			Июль			Сентябрь		
	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг CO ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг CO ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.	С _{биом} [*] мкг/г торфа	Дыхание, мкг CO ₂ /г торфа в сутки	Метаб. коэф.
Виргинильные растения									
<i>Сорт Ben Lear</i>									
2	–	+4,5	–	+8,2	+29,7	+22,2	+13,3	–13,8	–22,2
3	+19,6	–11,3	–25,0	+20,3	–	–11,1	+8,0	–15,5	–22,2
4	+7,1	–25,1	–25,0	+17,1	–	–11,1	–7,9	–25,8	–22,2
5	–	–21,3	–25,0	+8,8	+17,8	+5,5	–	–20,6	–22,2
<i>Сорт Stevens</i>									
2	–15,4	–5,9	+14,3	–	–58,7	–59,1	–37,3	–	+50,0
3	–	+43,3	+28,6	–8,2	–5,0	+4,5	–13,4	+14,6	+33,3
4	–18,9	+47,8	+71,4	+19,9	–14,1	–27,3	–	–	–
5	–11,0	+38,8	+57,1	+42,5	+15,7	–18,2	–29,1	+41,6	+100,0
Генеративные растения									
<i>Сорт Stevens</i>									
2	–27,0	+54,5	+120,0	+4,9	–26,6	–28,6	–	+25,1	+33,3
3	–16,3	–10,0	+20,0	+17,1	–18,1	–28,6	+14,6	+18,8	+16,7
4	–17,9	+44,4	+80,0	+29,1	+8,7	–14,3	–19,8	+31,2	+66,7
5	–	+54,5	+60,0	+29,6	–44,9	–57,1	–13,2	+17,1	+33,3

и метаболической активности микробиоценоза по сравнению с весенним периодом. Вместе с тем на данном этапе отмечено заметное усиление влияния генотипа растений на степень проявления различий опытных вариантов с контролем по основным характеристикам микробиоты, поддерживавшееся до конца вегетационного периода. При этом для зоны ризогенеза раннеспелого сорта доминирующей тенденцией в формировании микробиоценоза на фоне испытываемых удобрений являлось отставание исследуемых показателей от контроля, тогда как для таковой позднеспелого в ряде случаев получен положительный эффект, преимущественно в отношении метаболической активности (см. табл. 2). На наш взгляд, это могло быть обусловлено разным количественным и качественным составом корневых выделений у модельных сортов клюквы, оказывавших вкуче с используемыми удобрениями неоднозначное влияние на исследуемые показатели.

Что касается генеративных растений клюквы, вступивших в фазу плодоношения, то, как и у более молодых экспериментальных аналогов, в первой половине вегетационного периода установлено доминирование отставания опытных вариантов от контроля по исследуемым характеристикам микробиоты, особенно под посадками раннеспелого сорта, хотя и проявившееся в меньшей степени, чем в опыте с виргинильными растениями. При этом в ряде вариантов расхождения с контролем оказались столь незначительными, что даже не нашли статистического подтверждения (см. табл. 2). Вторая же половина сезона отмечена существенным усилением относительно контроля влияния генотипа опытных растений на характер изменений исследуемых показателей в вариантах с использованием удобрений. При этом под посадками раннеспелого сорта установлено увеличение численности микроорганизмов на 5–17 % на фоне отставания от него на 13–37 % под посадками позднеспелого, причем в обоих случаях наибольшие контрасты выявлены при внесении минерального удобрения. Противоположная картина наблюдалась при анализе подобных изменений метаболической активности микробиоты относительно контроля – преимущественное снижение на 6–38 % под сортом *Ben Lear* и увеличение на 9–64 % под сортом *Stevens* (табл. 2). Нетрудно убедиться, что основные характеристики микробиоценозов, сформиро-

вавшихся под посадками сортов клюквы крупноплодной в Смолевичском районе, в значительной степени определялись генотипом и возрастом опытных растений.

Проведение аналогичного эксперимента в удаленном на расстояние 250 км к северу Докшицком районе позволило определить также влияние географического фактора на изменение исследуемых характеристик микробиомов при использовании удобрений. Как следует из табл. 3, здесь также отчетливо проявились изменения направленности и степени возрастных и генотипических различий относительно контроля, но при этом, в отличие от Смолевичского района, в большинстве случаев они свидетельствовали о существенном улучшении всех показателей на фоне испытываемых агроприемов, особенно под посадками генеративных растений клюквы. Заметим, что в начале сезона применение удобрений под виргинильными растениями раннеспелого сорта способствовало увеличению по сравнению с контролем запасов микробной массы на 7–20 % (при использовании Экогум-комплекса и 5%-го МаКлоРа). При этом в большинстве вариантов опыта отмечено снижение на 11–25 % дыхательной и метаболической активности при противоположной картине данных изменений под посадками позднеспелого сорта с преимущественным уменьшением численности микроорганизмов на 11–19 %, сопровождаемым усилением дыхательного процесса на 44–55 %, а метаболической активности – на 14–71 %.

В середине вегетационного периода в корнеобитаемой зоне субстрата в вариантах опыта с использованием удобрений наблюдалась противоположная установленной в весенний период картина изменения данных показателей, характеризовавшаяся превышением на 8–20 % контрольного уровня запасов микробной массы под сортом *Ben Lear*, тогда как под сортом *Stevens* подобное превышение на 20–43 % выявлено лишь при внесении МаКлоРа при неоднозначных изменениях в обоих случаях дыхательной и метаболической активности и наиболее выраженных контрастах на фоне внесения минерального удобрения. В конце вегетационного периода в основных чертах сохранилась установленная в начале сезона картина различий тестируемых вариантов опыта с контролем по основным характеристикам микробиоты под виргинильными растениями клюквы, но при иной степени проявления данных различий (табл. 3). Несмотря на то что в Докшицком районе аналогичные исследования с генеративными растениями клюквы проводили лишь на примере позднеспелого сорта *Stevens*, тем не менее они показали определенное сходство профилирующих тенденций в направленности изменений исследуемых показателей под действием испытываемых удобрений с установленными в эксперименте с виргинильными растениями.

Вместе с тем из-за показанного выше значительного влияния комплекса биотических и абиотических факторов на процессы формирования микробиомов под посадками опытных растений в районах исследований не представлялось возможным выявить наиболее эффективные агроприемы, способствовавшие наибольшему улучшению их основных характеристик. С целью определения самого результативного агроприема в каждом варианте опыта с применением удобрений проведено суммирование установленных различий данных характеристик с контролем (с учетом их знака) в начале, середине и конце вегетационного периода (табл. 4). Как и следовало ожидать, направленность и величина отклонений от контроля совокупности основных характеристик микробиома корнеобитаемой зоны субстрата на фоне испытываемых агроприемов определялись комплексом биотических и абиотических факторов, в том числе генотипом и возрастом растений, а также географическим положением района исследований. При этом в условиях Смолевичского района под посадками виргинильных растений раннеспелого сорта клюквы на протяжении всего вегетационного периода выявлено отставание от контроля на 11–68 % данного интегрального показателя во всех вариантах опыта с использованием удобрений, наиболее значительное в июле, особенно при обработках Экогум-комплексом, и в меньшей, причем сходной, степени – при внесении 5 %-го МаКлоРа и минерального удобрения. Заметим, что в последнем случае установлено аналогичное ингибирующее воздействие на совокупность исследуемых показателей в самом начале сезона, тогда как в его конце подобный эффект обнаружен при внесении бактериального удобрения в 10%-й концентрации, оказавшем, напротив, наиболее щадящее, хотя и негативное влияние на характеристики микробиома в весенне-летний период (табл. 4).

Таблица 4. Относительные различия с контролем совокупности основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата в районах исследований под посадками растений клюквы крупноплодной в вариантах опыта с использованием удобрений в зависимости от времени года, %

Table 4. Relative differences with control of the set of main characteristics of the microbiota of the root-inhabited layer of peat substrate in the study areas under plantings of large-fruited cranberry plants in the experimental variants using fertilizers, depending on the season, %

Вариант опыта	Сорт <i>Ben Lear</i>				Сорт <i>Stevens</i>			
	Май	Июль	Сентябрь	Совокупный эффект за сезон	Май	Июль	Сентябрь	Совокупный эффект за сезон
Смолевичский район <i>Виргинильные растения</i>								
2	-59,3	-58,2	-28,2	-145,7	+10,7	+90,5	+5,1	+106,3
3	-36,6	-68,1	-42,8	-147,5	-11,9	+54,5	+51,0	+93,6
4	-25,2	-54,1	-10,7	-90,0	-26,4	-31,9	-6,9	-65,2
5	-14,2	-20,0	-52,8	-87,0	-40,8	+55,3	-24,3	-9,8
<i>Генеративные растения</i>								
2	-60,8	-14,9	+4,1	-71,6	+2,6	+0,9	+26,3	+29,8
3	-43,1	-6,3	-54,4	-103,8	-23,3	-6,9	-15,2	-45,4
4	0	-5,0	+1,0	-4,0	-52,6	+19,2	+61,5	+28,1
5	-1,5	-31,3	-6,2	-39,0	+24,7	-47,6	+16,4	-6,5
Докшицкий район <i>Виргинильные растения</i>								
2	+4,5	+60,1	-22,7	+41,9	-7,0	-117,8	+12,7	-112,1
3	-16,7	+9,2	-29,7	-37,2	+71,9	-8,7	+34,5	+97,7
4	-43,0	+6,0	-55,9	-92,9	+100,3	-21,5	0	+78,8
5	-46,3	+32,1	-42,8	-57,0	+84,9	+40,0	+112,5	+237,4
<i>Генеративные растения</i>								
2	Не определяли				+147,5	-50,3	+58,4	+155,6
3					-6,3	-29,6	+50,1	+14,2
4					+106,5	+23,5	+78,1	+208,1
5					+114,5	-72,6	+37,2	+79,1

В отличие от сорта *Ben Lear*, для корнеобитаемой зоны виргинильных растений сорта *Stevens* в ряде случаев показано, напротив, позитивное влияние агроприемов на формирующийся микробиоценоз, в частности внесения минерального удобрения – на протяжении всего вегетационного сезона, обработок Экогум-комплексом – в летне-осенний и 10%-го МаКлоРа – в летний период, на что указывало превышение контрольного уровня совокупности исследуемых показателей в этих вариантах опыта на 5–91 %, наиболее значительное при внесении минерального удобрения. В Смолевичском районе противоположное по результативности влияние испытываемых агроприемов на микробиоту зоны ризогенеза сортов клюквы с разными сроками созревания плодов выявлено также под посадками генеративных растений. Тем не менее в большинстве вариантов опыта с раннеспелым сортом нельзя не отметить ослабления негативного воздействия удобрений на совокупность исследуемых характеристик преимущественно в летне-осенний период при аналогичном установленному у более молодых экспериментальных аналогов ее отставании от контроля в начале сезона при обработках Экогум-комплексом и внесении минерального удобрения, а в его середине – при использовании 10%-го МаКлоРа. При этом под посадками позднеспелого сорта клюквы наблюдалось заметное смещение позитивного влияния испытываемых агроприемов на совокупность анализируемых характеристик микробиоты на осенний период, что подтверждалось превышением контрольного уровня на 16–62 %, наиболее значительным, как и в летний период, при использовании 5%-го МаКлоРа (табл. 4).

В аналогичном эксперименте в более северном Докшицком районе, как и в Смолевичском, для зоны ризогенеза виргинильных растений сорта *Ben Lear* также показано преобладание негативного влияния удобрений на данный показатель в начале и в конце вегетации, особенно на фоне

внесения бактериального удобрения, но, в отличие от более южного района, в летний период во всех вариантах опыта с использованием удобрений выявлен существенный позитивный эффект с превышением контрольного уровня на 6–60 %, наиболее значимый при внесении 10%-го МаКлоРа и особенно минерального удобрения (табл. 4). При этом начало и окончание вегетационного сезона, напротив, отмечены заметным ингибированием по сравнению с контролем микробиологических процессов в корнеобитаемой зоне раннеспелого сорта, наиболее значительным при использовании микробного удобрения, тогда как в зоне ризогенеза виргинильных растений сорта *Stevens* наблюдалась противоположная картина, что, впрочем, было характерно и для Смолевичского района.

Вместе с тем нельзя не отметить, что выявленные различия под посадками виргинильных растений модельных сортов в Докшицком районе проявились намного выразительнее и свидетельствовали о наибольшей активизации микробиологических процессов в начале и в конце вегетационного периода с превышением контрольных значений в большинстве вариантов опыта на 72–100 и 13–113 % соответственно и их ингибировании на 9–118 % в середине сезона. При этом независимо от времени года наиболее высокая результативность в усилении микробиологической активности в торфяном субстрате установлена при использовании Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа, а наименьшая – при внесении минерального удобрения (табл. 4).

Довольно схожая с этой, но более выразительная картина ответной реакции микробиоты корнеобитаемой зоны позднеспелого сорта клюквы на испытываемые агроприемы наблюдалась и под посадками генеративных растений. Как и под виргинильными аналогами, наибольшее проявление стимулирующего влияния удобрений на совокупность ее основных характеристик выявлено в начале и в конце вегетационного периода при доминировании отрицательного эффекта от их применения в середине сезона. Но, в отличие от корнеобитаемой зоны более молодых растений сорта *Stevens*, в корнеобитаемой зоне плодоносящих растений наиболее результативным в плане активизации в ней микробиологических процессов на всех этапах сезонного цикла их развития оказалось внесение не 10%-го, а 5%-го МаКлоРа (табл. 4).

Как видим, испытываемые удобрения оказывали весьма значительное, причем в большинстве случаев неоднозначное влияние на формирование микробиоты корнеобитаемой зоны торфяного субстрата под посадками разновозрастных растений модельных сортов клюквы крупноплодной. Различия темпов активизации или ингибирования микробиологических процессов в зоне ризогенеза разновозрастных растений модельных сортов клюквы на основных этапах сезонного развития в районах исследований проявились в разной направленности и степени значимых различий с контролем по каждому обозначенному признаку, а также по их совокупности (см. табл. 2–4). Однако из-за существенных расхождений в результативности испытываемых удобрений в плане активизации микробиологических процессов на протяжении вегетационного периода не представлялось возможным выявление в рамках эксперимента наиболее эффективного агроприема, который мог бы свидетельствовать о наиболее значительном за весь сезон позитивном влиянии на данные процессы. В этих целях мы сочли целесообразным в каждом варианте опыта с использованием удобрений ориентироваться на величину совокупного эффекта, полученного путем суммирования частных эффектов в начале, середине и конце вегетационного периода (с учетом их знака) и интегрировавшего в себе индивидуальные особенности ответной реакции соответствующих микробсообществ на комплексное воздействие биотических и абиотических факторов.

Как следует из табл. 4, независимо от географического положения района исследований и возраста растений раннеспелого сорта испытываемые удобрения оказали в основном ингибирующее влияние на совокупность основных характеристик микробсообщества корнеобитаемой зоны, наиболее значительное под посадками виргинильных растений при внесении минерального удобрения и обработках Экогум-комплексом, оказавших также максимальное отрицательное воздействие на состояние микробиоты под генеративными растениями данного сорта. Как и под посадками его более молодых экспериментальных аналогов, значительный негативный эффект в этом плане наблюдался на фоне внесения минерального удобрения при наиболее щадящем, хотя и отрицательном, воздействии микробного удобрения, особенно в 5%-й концентрации, обусловившем практически полное отсутствие различий с контролем по совокупности исследуемых характеристик.

Ингибирующее воздействие биологических удобрений на состояние микробиоты под посадками сорта *Ben Lear* за вегетационный период в целом проявилось и в условиях более северного Докшицкого района, в котором, в отличие от Смолевичского, наибольший отрицательный эффект обеспечивало внесение бактериального удобрения, особенно в 5%-й концентрации, тогда как наименее значительный эффект установлен при обработках растений Экогум-комплексом. Заметим, что впервые в данном эксперименте получен довольно выразительный положительный результат на фоне внесения минерального удобрения.

Совершенно иной характер результирующего за сезон воздействия испытываемых агроприемов на функционирование микробиомов в обоих районах исследований выявлен под посадками позднеспелого сорта клюквы. Так, в Смолевичском районе, независимо от возраста растений, стимулирующее влияние на протекающие в них процессы оказывало внесение минерального удобрения, наиболее значительное под виргинильными растениями при схожей с ним результативности обработок Экогум-комплексом, тогда как под генеративными растениями сходным по эффективности с внесением минерального удобрения было использование 5%-го МаКлоРа. При этом в обоих случаях, несмотря на негативное в целом влияние на развитие микробсообществ под посадками сорта *Stevens* 10 %-го МаКлоРа, его применение оказалось самым щадящим в ряду используемых в эксперименте биологических удобрений.

Вместе с тем позитивное влияние испытываемых агроприемов на функционирование микробиомов корнеобитаемой зоны позднеспелого сорта клюквы наиболее выразительно проявилось в условиях Докшицкого района. Как следует из табл. 4, исключительно эффективным в этом плане оказалось использование всех биологических удобрений, особенно бактериального МаКлоР в 10%-й концентрации на виргинильных растениях и в 5%-й – на генеративных. Что касается обработок Экогум-комплексом, то наиболее результативными они были при применении на виргинильных растениях сорта *Stevens*. Однако представляется труднообъяснимым впервые полученный в данном эксперименте весьма существенный отрицательный эффект от внесения минерального удобрения в плане интегрального воздействия на параметры жизнедеятельности микробсообщества под виргинильными растениями позднеспелого сорта на фоне весьма значительного позитивного влияния на них данного агроприема под генеративными растениями.

Нетрудно убедиться, что формирование и функционирование микробиомов корнеобитаемой зоны торфяного субстрата под экспериментальными посадками разновозрастных растений модельных сортов клюквы крупноплодной при использовании удобрений разной химической природы в значительной степени определялись комплексным воздействием широкого спектра биотических и абиотических факторов. Вместе с тем, как показали результаты настоящих исследований, независимо от возраста растений наиболее значительное влияние на восприимчивость микробсообществ к изменению агрохимического фона оказывала сортовая принадлежность опытных растений. Так, если под посадками раннеспелого сорта испытываемые удобрения производили преимущественно ингибирующее воздействие на формирование и функционирование микробиоты, то под посадками позднеспелого сорта – напротив, стимулирующее.

С аналогичным проявлением доминирующей роли видо- и сортоспецифичности культиваров при оценке влияния агроприемов с использованием минеральных и бактериальных удобрений на функционирование микробсообществ корнеобитаемой зоны торфяного субстрата на севере республики мы сталкивались также в более ранних исследованиях с растениями узколистной голубики и разновозрастных сортов высокорослой голубики [5]. На наш взгляд, выявленные в данном эксперименте весьма существенные различия основных характеристик микробиомов в зависимости от генотипа культиваров позволяют предположить их обусловленность разным химическим составом корневых выделений сортов клюквы с разными сроками созревания плодов, имеющих, очевидно, первостепенное значение для функционирования сообществ микроорганизмов в зоне ризогенеза.

Заключение. В результате изучения в опытной культуре в географически удаленных на 250 км друг от друга Смолевичском районе Минской области и в более северном Докшицком районе Витебской области на рекультивируемых участках торфяной выработки верхового типа влияния минерального Basacot Plus 6 ($N_{15}P_8K_{12}$ кг/га д. в.) и отечественных биологических удобрений –

азотфиксирующего и фосфатмобилизующего микробного МаКлоР в 5- и 10%-й концентрациях, а также органо-минерального Экогум-комплекса на микробиоту корнеобитаемой зоны торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной – раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* сортов в рамках идентичных полевых экспериментов установлено, что наиболее значительное влияние на ее состояние и функционирование при варьировании агрохимического фона в рамках эксперимента оказывает сортовая принадлежность опытных растений. Это подтверждалось преимущественно ингибирующим влиянием испытываемых удобрений на совокупность основных характеристик микробиоты под посадками раннеспелого сорта и, напротив, стимулирующим – под посадками позднеспелого сорта. Выявленные в эксперименте весьма существенные различия основных микробиологических показателей в зависимости от генотипа культиваров позволили предположить их обусловленность разным химическим составом корневых выделений сортов клюквы с разными сроками созревания плодов, имевших, очевидно, первостепенное значение для функционирования сообществ микроорганизмов в зоне ризогенеза.

При этом в Смолевичском районе наиболее значительное ухудшение состояния микробоценозов под посадками виргинильных растений сорта *Ben Lear* показано при внесении минерального удобрения и обработках Экогум-комплексом, оказавших также максимальное отрицательное воздействие на него, и под посадками генеративных растений. Наряду с этим весьма выразительный негативный эффект в этом плане получен на фоне внесения минерального удобрения при наиболее щадящем, хотя и отрицательном, воздействии микробного удобрения, особенно в 5%-й концентрации. Установлено, что в условиях более северного Докшицкого района наибольший отрицательный эффект в формировании микробоценозов под раннеспелым сортом обеспечивало внесение МаКлоРа, особенно в 5%-й концентрации, тогда как наименьший установлен при обработках растений Экогум-комплексом.

Показано, что в обоих районах исследований под посадками позднеспелого сорта клюквы испытываемые агроприемы, напротив, способствовали преимущественной активизации микробиологических процессов в зоне ризогенеза. При этом в Смолевичском районе, независимо от возраста растений, стимулирующее влияние на них оказывало внесение минерального удобрения, наиболее значительное под виргинильными растениями при схожей с ним результативности обработок Экогум-комплексом, тогда как под генеративными растениями близким по эффективности внесению минерального удобрения было использование 5%-го МаКлоРа. Независимо от возраста растений, несмотря на негативное в целом влияние на развитие микробоценозов 10%-го МаКлоРа, его применение оказалось самым щадящим из используемых в данном эксперименте биологических удобрений.

Установлено, что с продвижением к северу происходило заметное усиление позитивного воздействия испытываемых удобрений на формирование и функционирование микробиомов корнеобитаемой зоны позднеспелого сорта клюквы, что подтверждалось более высокими значениями их основных характеристик в Докшицком районе, нежели в Смолевичском. При этом самым эффективным в этом плане оказалось использование в эксперименте исключительно биологических удобрений, особенно бактериального МаКлоР в 10%-й концентрации на виргинильных растениях и в 5%-й – на генеративных. При этом обработки растений Экогум-комплексом наиболее результативными оказались при применении на виргинильных растениях данного сорта.

Список использованных источников

1. Anderson, J. P. S. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / J. P. S. Anderson, K. H. Domsch // *Soil Biol. Biochem.* – 1978. – Vol. 10, N 3. – P. 215–221. [http://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](http://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
2. Рупасова, Ж. А. Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе возделывания ягодных растений сем. Ericaceae / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 282 с.
3. Мирчинк, Т. Г. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве / Т. Г. Мирчинк, Н. С. Паников // *Успехи микробиологии.* – 1985. – Т. 20. – С. 198–226.
4. Гродницкая, И. Д. Микробные сообщества и трансформация соединений углерода в болотных почвах таежной зоны / И. Д. Гродницкая, М. Ю. Трусова // *Почвоведение.* – 2009. – № 9. – С. 1099–1107.
5. Эффективность микробных удобрений при возделывании голубики на выработанных торфяниках Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск: Беларус. навука. – 2020. – 236 с.

References

1. Anderson J. P. S., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, vol. 10, no. 3, pp. 215–221. [http://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](http://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
2. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P. *Phytorecultivation of peat deposits in the north of Belarus that have been abandoned from industrial exploitation based on the cultivation of berry plants of the family. Ericaceae*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2011. 282 p. (in Russian).
3. Mirchink T. G., Panikov N. S. Modern approaches to assessing the biomass and productivity of fungi and bacteria in the soil. *Uspekhi mikrobiologii* [Advances in microbiology], 1985, vol. 20, pp. 198–226 (in Russian).
4. Grodnitskaya I. D., Trusova M. Yu. Microbial communities and transformation of carbon compounds in swamp soils of the taiga zone. *Pochvovedenie* [Soil science], 2009, no. 9, pp. 1099–1107 (in Russian).
5. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Kolomiets E. I., Aleshchenkova Z. M. *The effectiveness of microbial fertilizers in the cultivation of blueberries on the exhausted peat bogs of Belarus*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 236 p. (in Russian).

Информация об авторах

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

Яковлев Александр Павлович – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Коломиец Эмилия Ивановна – член-корреспондент, д-р биол. наук, профессор, генеральный директор. Государственное научно-производственное объединение «Химический синтез и биотехнологии» (ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by

Алещенкова Зинаида Михайловна – д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник. Институт микробиологии НАН Беларуси (ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleschenkova@mbio

Булавко Галина Ивановна – канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bulavkog@mail.ru

Зимич Светлана Павловна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: antohina_lana@mail.ru

Добрянская Ксения Андреевна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: K.dobryaskaya01@gmail.com

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, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Alexander P. Yakovlev – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Emiliya I. Kolomiets – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Professor, General Director. State Scientific and Production Association “Chemical Synthesis and Biotechnology” (2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by

Zinaida M. Aleshchenkova – D. Sc. (Biol.), Chief Researcher. Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleschenkova@mbio

Galina I. Bulavko – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bulavkog@mail.ru

Svetlana P. Zimich – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antohina_lana@mail.ru

Ksenia A. Dobryanskaya – Junior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: K.dobryaskaya01@gmail.com