

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРНЕОБИТАЕМОЙ ЗОНЫ ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА ВЕРХОВОГО ТИПА ПОД ПОСАДКАМИ РАСТЕНИЙ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Ж. А. РУПАСОВА, А. П. ЯКОВЛЕВ, Г. И. БУЛАВКО,  
С. П. ЗИМИЧ, К. А. ДОБРЯНСКАЯ

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220012

Э. И. КОЛОМИЕЦ

ГНПО «Химический синтез и биотехнологии НАН Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220141

З. М. АЛЕЩЕНКОВА

ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220084

(Поступила в редакцию 12.04.2024)

Приведены результаты исследования в опытной культуре в географически удаленных на 250 км друг от друга Смолевичском р-не Минской обл. и в более северном Докшицком р-не Витебской обл. 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 фосфатмобилизирующего микробного MaKloP в 5- и 10%-ной концентрациях, а также органо-минерального Экогум-комплекс на сезонную динамику основных характеристик микробиоты корнеобитаемой зоны торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной - раннеспелого Ben Lear и позднеспелого Stevens в рамках идентичных полевых экспериментов. Выявлены профилирующие тенденции в их сезонной динамике с оценкой влияния на нее биотических и абиотических факторов. Показано, что независимо от географического положения района исследований, генотипа и возраста растений клюквы, а также вида удобрений, наблюдалось преимущественное усиление дыхательной активности микробиоценозов в первой половине вегетационного периода с достижением максимальных значений в июле и последующее снижение к окончанию сезона. При этом в динамике метаболической активности аналогичные тенденции прослеживались в основном в Докшицком р-не, тогда как в Смолевичском значительное влияние на нее оказывал возраст культуров. В отличие от данных характеристик микробиоты, сезонный ход изменений численности (массы) микроорганизмов в основном определялся географическим положением района исследований и в меньшей степени видом удобрений. Установлено наименьшее проявление индивидуального характера влияния испытываемых агроприемов на массу микроорганизмов и наибольшее на показатели дыхательной и метаболической активности микробиомов.

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

We have presented results of research into crops in geographically distant districts located 250 km from each other: Smolevichi district of the Minsk region, and the more northern Dokshitsy district of Vitebsk region. The experiment was in the reclaimed areas of high-moor peat excavation, under the influence of mineral Basacot Plus 6 ( $N_{15}P_8K_{12}$  kg/ha of acting substance) and domestic biological fertilizers – nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing microbial MaKloR in 5 and 10 % concentrations, as well as the organo-mineral Ecohum complex. We examined seasonal dynamics of the main characteristics of microbiota of the root zone of peat substrate under plantings of large-fruited cranberry plants – early-ripening Ben Lear and late-ripening Stevens in the framework of identical field experiments. Profiling trends in their seasonal dynamics were identified with an assessment of the influence of biotic and abiotic factors on it. It was shown that, regardless of the geographical location of the study area, the genotype and age of cranberry plants, as well as the type of fertilizer, there was a predominant increase in the respiratory activity of microbial communities in the first half of the growing season, reaching maximum values in July and a subsequent decrease towards the end of the season. At the same time, in the dynamics of metabolic activity, similar trends were observed mainly in the Dokshitsy district, while in the Smolevichi district it was significantly influenced by the age of the cultivars. In contrast to these characteristics of the microbiota, the seasonal course of changes in the number (mass) of microorganisms was mainly determined by the geographical location of the study area and, to a lesser extent, by the type of fertilizer. The least manifestation of the individual nature of influence of the tested agricultural practices on the mass of microorganisms and the greatest on the indicators of respiratory and metabolic activity of microbiomes were established.

**Key words:** exhausted peat bog, large-fruited cranberry, varieties, mineral and biological fertilizers, microbial community, microbial mass, respiratory and metabolic activity.

### Введение

В связи с совершенствованием разработанной учеными Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси технологии фиторекультивации выбывших из промышленной экс-

плуатации 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 обретает комплексное исследование влияния на сезонную динамику основных характеристик микробоценозов, формирующихся в корнеобитаемой зоне субстрата под посадками разновозрастных 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 биологических препаратов – органо-минерального (Экогум-комплекс) и бактериального (МаКлоР), 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 р-не Минской обл. и «Рамжино-Журавлевское» в удаленном на 250 км к северу Докшицком р-не Витебской обл. в рамках однотипных полевых экспериментов с применением вышеуказанных удобрений проведены сравнительные исследования микробиологических свойств торфяного субстрата в корнеобитаемой зоне виргинильных и генеративных растений раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* модельных сортов клюквы крупноплодной.

#### **Основная часть**

Основные наблюдения выполнены в условиях сезона 2020 г., характеризовавшегося преимущественно близкими к средней климатической норме или несколько уступавшими ей температурными показателями при наиболее теплом июне, в котором 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 р-не дефицит влаги в пределах 5–77 % в апреле, мае, июле и сентябре при ее избытке на 14–68 % в июне и августе. В Докшицком же р-не 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 осуществлены 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%-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение; **5** – припосадочное (в мае) луночное внесение 10%-ного 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 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Общеизвестно, что микроорганизмы в почве находятся как в активном, так и в покоящемся состоянии (в виде спор). Поскольку многочисленные экологические функции может выполнять только активная часть микробного населения, то становится понятным интерес исследователей к ее изучению. По данным И. Д. Гродницкой [2], масса гетеротрофных микроорганизмов в болотной почве таежной зоны на глубине 0–10 см составляет лишь около 150 мкг С/г.

В нашем же эксперименте запасы активно функционирующей микробной массы в корнеобитаемом слое выработанного торфяника соответствовали значениям, свойственным слаборазвитому микробоценозу. Так, в 2020 г., принятом нами в качестве примера, в котором анализ микробиоты в обоих районах исследований осуществлялся на протяжении всего вегетационного периода, 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 в этом районе под посадками вересковых [3].

Широко применяемым при оценке микробиологической активности информативным показателем является дыхание почвы, обеспечиваемое двумя основными живыми компонентами – корнями растений и почвенными микроорганизмами (за счет трансформации органического вещества), причем вклад последних в общее количество выделяемой двуокиси углерода может достигать 90 % [4]. В наших же исследованиях величина данного показателя варьировалась в рамках эксперимента в диапазоне 25–45 мкг CO<sub>2</sub>/г торфа в сутки.

Интегральным показателем активности микробного сообщества считается метаболический коэффициент ( $qCO_2$ ), представляющий собой отношение интенсивности дыхания почвы к микробной массе. 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 [5]. В этом случае значение метаболического коэффициента рассчитывают, как отношение скоростей выделения CO<sub>2</sub> из небогатого торфа ( $V_{basal}$ ) и торфа, в который внесен избыток доступного дыхательного субстрата ( $V_{SIR}$ ), в частности, глюкозы, ( $qCO_2 = V_{basal}/V_{SIR}$ ). Данный способ расчета существенно упрощает процедуру определения данного показателя и позволяет проводить сравнение результатов, полученных разными авторами.

К примеру, для микробных сообществ болот таежной зоны он обычно варьируется в интервале 0,01–0,1 [2]. В нашем эксперименте в Смолевичском р-не коэффициент метаболической активности микробиоты корнеобитаемой зоны субстрата также не превышал 0,09–0,11, а в Докшицком р-не оказался еще ниже –0,05–0,08, что свидетельствовало о весьма слабой микробиологической активности торфяного субстрата в обоих районах исследований (табл.1 и.2).

Как и в наших более ранних аналогичных исследованиях с другим представителем вересковых – голубикой высокорослой [3], в эксперименте с клюквой крупноплодной в период наблюдений выявлены весьма выразительные генотипические, возрастные, межвариантные, а также внутри- и межсезонные различия основных характеристик микробиоты в корнеобитаемом слое субстрата, что объясняется не только индивидуальными условиями развития и функционирования микробных сообществ, создаваемыми модельными сортами на фоне испытываемых агроприемов, но и существенным влиянием на данные процессы комплекса биотических и абиотических факторов. При этом на протяжении всего периода наблюдений, независимо от генотипа растений, во всех вариантах опыта прослеживалась определенная общность тенденций в сезонной динамике исследуемых показателей.

Общеизвестно, что динамика численности микроорганизмов включает кратковременные и сезонные изменения. При этом в почвах зонально-географического ряда периоды активного развития почвенного микробиома в годовом цикле приходится на разное время, в зависимости от типа субстрата и сформированных на нем растительных комплексов, а также от гидротермического режима сезона и сроков поступления органических остатков в зону ризогенеза. В условиях средней полосы с умеренным климатом обычно выделяются весенний и осенний максимумы активности почвенных микроорганизмов с некоторым снижением ее летом при уменьшении в почве запасов влаги, а также в холодный зимний период года [6]. Наряду с этим определенные коррективы в развитие и растений, и микроорганизмов вносит также гидротермический режим вегетационного периода. Рассмотрим особенности этого процесса в корнеобитаемой зоне торфяного субстрата в контрольном варианте опытов в обоих районах исследований на примере типичного для Беларуси по погодным условиям сезона 2020 г.

Определение дыхательной активности микроорганизмов под посадками разновозрастных растений клюквы в контрольном варианте опыта выявило существенные различия. Так, в Смолевичском р-не под генеративными растениями сорта *Ben Lear* выделение CO<sub>2</sub> оказалось заметно менее значительным, чем под виргинильными. Тем не менее в обоих случаях прослеживалась однотипная, но выраженная в разной степени, сезонная динамика данного показателя, характеризовавшаяся усилением выделения двуокиси углерода от мая к июлю и последующим его снижением к сентябрю. При этом и под виргинильными, и под генеративными растениями раннеспелого сорта к середине вегетационно-

го периода отмечено усиление на 84 и 80 % выделения CO<sub>2</sub> по сравнению с началом сезона и последующее его ослабление на 14 и 21 % к его завершению. Подобная динамика сезонных изменений дыхательной активности торфяного субстрата в контроле при относительной сопоставимости ее абсолютных значений под посадками виргинильных и генеративных растений наблюдалась также под посадками сорта *Stevens*. При этом в ней прослеживалось увеличение к июлю выделения CO<sub>2</sub> на 67 и 85 % при снижении данного показателя к сентябрю на 27 и 29 % (табл. 1).

Величина микробной массы под виргинильными растениями раннеспелого сорта в контрольном варианте опыта, как и дыхательная активность, на протяжении большей части сезона оказалась выше, чем под генеративными растениями, но в обоих случаях характеризовалась сходным характером сезонных изменений с максимумом в середине вегетационного периода и снижением на 26 % к его окончанию. При этом под генеративными растениями раннеспелого сорта сезонная динамика численности микроорганизмов была аналогичной выявленной для дыхательной активности с ее увеличением к июлю на 11 % по сравнению с началом сезона и снижением на 22 % к его завершению.

Что касается позднеспелого сорта клюквы, то в отличие от раннеспелого, на протяжении большей части вегетационного периода величина микробной массы под виргинильными растениями оказалась ниже, чем под генеративными, с максимальным значением в начале и постепенным снижением на 10 % к концу сезона. Вместе с тем под генеративными растениями сорта *Stevens* ход сезонных изменений микробной массы был таким же, как у дыхательной активности, и характеризовался весенне-летним подъемом на 13 % и идентичным по величине снижением к сентябрю. На наш взгляд, выявленные различия в динамике данного показателя под посадками разновозрастных растений позднеспелого сорта клюквы обусловлены более развитой у генеративных растений корневой системой, снабжающей верхний слой субстрата большим, чем у менее мощных растений раннеспелого сорта, количеством метаболитов, являющихся основным источником углерода и энергии для функционирования микроорганизмов.

Что касается коэффициента метаболической активности микробиома в контрольном варианте опыта под посадками виргинильных растений раннеспелого сорта *Ben Lear*, то для него показано отсутствие значимых изменений в первой половине вегетационного периода и повышение на 90 % во второй, тогда как под генеративными растениями наблюдалось увеличение данного показателя в весенне-летний период на 60 % с последующей его стабилизацией на достигнутом уровне до конца сезона. В отличие от раннеспелого сорта, метаболическая активность микробиома под виргинильными растениями позднеспелого сорта *Stevens* в контрольном варианте опыта в первой половине сезона характеризовалась снижением на 50 % и последующим повышением на 160 % к концу вегетации. Противоположная картина сезонной динамики величины данного показателя наблюдалась в микробиоме под генеративными растениями позднеспелого сорта с ее увеличением на 27 % до максимального уровня в середине вегетационного периода и снижением на 21 % к его окончанию (табл. 1).

При сравнении сезонных изменений исследуемых характеристик микробиомов под посадками разновозрастных растений модельных сортов клюквы в контрольном варианте аналогичного эксперимента в более северном Докшицком р-не выявлены как черты сходства, так и определенные различия со Смолевичским р-ном, обусловленные влиянием географического фактора. Так, под виргинильными растениями ранне- и позднеспелого сортов первая половина вегетационного периода здесь отмечена заметной стабильностью численности микроорганизмов, тогда как вторая – ее увеличением соответственно на 37 и 63 %. При этом для генеративных растений, представленных только сортом *Stevens*, в весенне-летний период показано снижение данного показателя на 28 % и его увеличение на 48 % к завершению сезона (табл. 2).

Таблица 1. Основные характеристики микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной в вариантах полевого опыта с использованием удобрений в Смолевичском р-не в зависимости от времени года

Вариант опыта	Май			Июль			Сентябрь		
	С <sub>биом</sub> , мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент	С <sub>биом</sub> , мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент	С <sub>биом</sub> , мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент
<b>Виргинильные растения</b>									
<b>сорт Ben Lear</b>									
1	381,3±9,7	40,1±1,1	0,09	382,3±8,4	73,6±2,3	0,10	283,2±7,5	63,1±0,8	0,19
2	305,0±15,1	28,8±1,1	0,08	303,2±7,9	68,1±2,2	0,07	258,9±6,6	54,1±0,7	0,18
3	212,7±9,4	29,8±1,1	0,12	268,3±14,0	60,1±1,2	0,08	279,8±17,8	49,4±0,8	0,15
4	300,0±15,7	34,1±0,5	0,10	324,5±13,9	37,5±1,0	0,11	281,2±7,2	59,7±1,4	0,18
5	222,6±25,3	33,3±0,6	0,13	380,9±8,2	73,1±0,7	0,08	343,6±12,5	42,9±2,0	0,11
<b>сорт Stevens</b>									
1	359,6±15,4	40,4±0,5	0,10	338,9±7,9	67,4±1,4	0,05	326,9±7,0	49,2±1,0	0,13
2	307,5±9,7	42,5±1,1	0,12	311,9±13,4	79,9±2,3	0,09	331,6±13,5	51,7±2,0	0,13
3	271,6±1,6	37,4±2,5	0,12	328,1±8,4	63,7±2,4	0,08	360,2±7,2	61,7±1,6	0,15
4	266,7±15,7	36,1±2,6	0,11	324,9±7,2	45,9±1,3	0,05	269,9±6,9	46,8±0,8	0,15
5	273,2±8,9	33,6±0,5	0,10	302,1±8,8	58,1±1,4	0,09	307,4±6,6	44,0±2,6	0,12
<b>Генеративные растения</b>									
<b>сорт Ben Lear</b>									
1	335,8±85,8	38,3±1,6	0,10	371,6±8,7	68,9±1,5	0,16	288,6±6,9	54,8±1,4	0,16
2	342,2±8,8	26,5±1,5	0,07	338,9±8,8	64,7±1,3	0,16	336,6±13,7	56,3±0,8	0,14
3	236,5±15,4	29,3±0,8	0,11	374,4±9,0	67,1±1,4	0,15	320,8±12,6	39,4±1,4	0,10
4	321,8±8,3	36,7±1,5	0,10	353,2±8,9	66,9±1,4	0,16	273,4±11,7	56,3±1,3	0,17
5	297,2±26,5	37,7±1,3	0,11	310,0±8,6	58,8±0,8	0,16	302,3±13,0	52,3±3,9	0,15
<b>сорт Stevens</b>									
1	357,2±15,3	35,8±1,6	0,11	404,8±14,3	66,3±1,9	0,14	351,4±12,7	47,0±0,8	0,11
2	436,2±7,9	38,6±1,8	0,08	350,4±16,1	64,9±3,8	0,16	220,4±11,5	47,1±1,3	0,18
3	339,0±30,4	34,2±2,7	0,09	387,7±21,8	61,7±5,2	0,14	304,4±17,8	41,9±5,7	0,12
4	363,6±15,8	30,0±2,8	0,07	440,9±43,7	73,1±1,3	0,14	339,7±7,3	58,8±4,4	0,15
5	393,4±17,5	44,3±1,5	0,1	362,5±8,1	51,2±0,7	0,12	249,1±7,0	46,7±2,7	0,16

Таблица 2. Основные характеристики микробиоты корнеобитаемого слоя торфяного субстрата под посадками растений клюквы крупноплодной в вариантах полевого опыта с использованием удобрений в Докшицком р-не в зависимости от времени года

Вариант опыта	Май			Июль			Сентябрь		
	С биом, мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент	С биом, мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент	С биом, мкг/г торфа	дыхание, мкг CO <sub>2</sub> /г торфа в сутки	метаболический коэффициент
<b>Виргинильные растения</b>									
<b>сорт Ben Lear</b>									
1	312,4±18,24	29,1±1,1	0,08	288,8±18,1	61,3±5,9	0,18	395,9±9,2	40,7±1,4	0,09
2	308,2±7,2	30,4±1,1	0,08	312,7±16,4	79,5±2,8	0,22	448,7±18,3	35,1±1,4	0,07
3	373,5±7,4	25,8±0,7	0,06	347,6±16,4	64,0±7,5	0,16	427,6±16,8	34,4±0,8	0,07
4	334,6±7,2	21,8±0,6	0,06	338,3±9,9	63,1±4,9	0,16	364,5±15,6	30,2±0,7	0,07
5	309,7±18,1	22,9±0,6	0,06	314,2±19,7	72,2±3,9	0,19	402,9±17,3	32,3±1,2	0,07
<b>сорт Stevens</b>									
1	337,7±36,7	26,8±0,6	0,07	287,6±15,1	73,9±1,1	0,22	468,4±16,9	32,9±0,8	0,06
2	285,6±12,2	25,2±1,9	0,08	292,1±9,5	30,5±0,7	0,09	293,7±15,4	31,5±1,8	0,09
3	346,2±12,5	38,4±0,6	0,09	264,0±9,4	70,2±1,4	0,23	405,7±23,7	37,7±3,7	0,08
4	273,8±11,7	39,6±1,0	0,12	344,8±32,5	63,5±0,7	0,16	452,8±9,7	33,6±2,6	0,06
5	300,4±7,0	37,2±1,6	0,11	409,7±19,7	85,5±1,9	0,18	331,9±9,4	46,6±1,5	0,12
<b>Генеративные растения</b>									
<b>сорт Stevens</b>									
1	456,1±16,5	27,9±1,5	0,05	330,1±19,2	83,6±1,9	0,21	489,4±17,7	36,2±0,8	0,06
2	333,1±9,7	43,1±0,9	0,11	346,4±8,8	61,4±3,5	0,15	477,1±17,3	45,3±1,4	0,08
3	381,6±10,0	25,1±0,9	0,06	386,6±19,7	68,5±1,5	0,15	560,8±27,5	43,0±0,9	0,07
4	374,3±9,5	40,3±2,5	0,09	426,3±9,9	90,9±3,9	0,18	392,6±10,0	47,5±0,8	0,10
5	464,1±16,8	43,1±0,9	0,08	427,8±33,6	46,1±1,4	0,09	424,9±18,2	42,4±4,6	0,08

В отличие от показателя микробной массы, для изменения дыхательной активности микробиомов в контрольном варианте опыта, независимо от возраста растений, в первой половине вегетационного периода установлено сходство с таковым в Смолевичском р-не, состоявшее в более выраженном ее увеличении на 110–199 % и ослаблении во второй его половине на 34–57 %. Аналогичным ходом сезонных изменений характеризовалась также величина метаболического коэффициента микробиомов с диапазонами ее увеличения на 125–320 % и уменьшения на 50–73 %.

Нетрудно убедиться в наличии существенных генотипических, возрастных и межрегиональных различий в сезонной динамике исследуемых показателей в контрольном варианте опыта, являющемся относительно чистым агрофоном для оценки влияния испытываемых агроприемов на формирование микробценозов корнеобитаемой зоны субстрата. Обращает на себя внимание, что в направленности изменений их основных характеристик в течение вегетационного периода в большинстве вариантов опыта с использованием удобрений обнаружено совпадение с таковыми в контроле, но с иной степенью выразительности. При этом, за редким исключением, в большинстве случаев выявлена отчетливая одновекторность данных изменений, свидетельствующая об однотипном характере ответной реакции микробиомов на совокупность внешних воздействий (табл. 1, 2). Так, независимо от географического положения района исследований, генотипа и возраста растений клюквы, а также вида удобрений, преобладающей тенденцией в сезонной динамике дыхательной активности микробценозов на фоне испытываемых агроприемов являлось ее усиление в первой половине вегетационного периода с достижением максимальных значений в июле и последующее снижение к окончанию сезона. Вместе с тем в динамике их метаболической активности аналогичные тенденции прослеживались в основном в Докшицком р-не, тогда как в Смолевичском значительное влияние на сезонные изменения данного показателя оказывал возраст культиваров. Так, если под виргинильными растениями в первой половине вегетации доминировало снижение метаболического коэффициента, особенно под посадками позднеспелого сорта, с последующим его увеличением во второй ее половине, то под генеративными растениями наблюдалась противоположная картина, подобная выявленной в динамике дыхательной активности микробиомов (табл. 1, 2).

В отличие от данных показателей, сезонный ход изменений численности микроорганизмов в корнеобитаемой зоне субстрата в основном определялся географическим положением района исследований и в меньшей степени видом испытываемых удобрений. Так, если в Смолевичском р-не, независимо от генотипа и возраста растений, в первой половине вегетационного периода он характеризовался преобладанием накопительных тенденций исключительно при использовании биологических удобрений и преимущественным снижением либо стабилизацией данного показателя во второй его половине, то в Докшицком р-не увеличение микробной массы к середине сезона в этих вариантах опыта происходило лишь под посадками виргинильных растений сорта *Stevens* и продолжалось до конца вегетационного периода. При этом для корнеобитаемой зоны виргинильных растений раннеспелого сорта *Ben Lear*, независимо от вида удобрений, во второй половине сезона показано существенное увеличение численности микроорганизмов. Что же касается генеративных растений позднеспелого сорта *Stevens*, то в динамике данного показателя проявились весьма неоднозначные тенденции, указывавшие на его непрерывное увеличение на протяжении всего вегетационного периода на фоне внесения минерального удобрения, а при обработках растений Экогум-комплексом - только во второй его половине. При этом использование 5%-ного МаклоРа обеспечивало заметное накопление микробной массы в весенне-летний период и ее снижение к окончанию сезона, тогда как в варианте с внесением микробного удобрения в 10%-ной концентрации наблюдалась противоположная картина (табл. 1, 2). Вместе с тем несмотря на показанную выше определенную общность профилирующих тенденций в сезонной динамике основных характеристик микробиоты корнеобитаемого слоя субстрата под посадками модельных сортов клюквы крупноплодной в районах исследований, выявленные при этом межвариантные различия изменений исследуемых показателей убедительно свидетельствовали об индивидуальном характере влияния испытываемых агроприемов на жизнедеятельность микробиоты остаточного слоя торфяной залежи.

### **Заключение**

В результате исследования в опытной культуре в географически удаленных на 250 км друг от друга Смолевичском р-не Минской обл. и в более северном Докшицком р-не Витебской обл. на рекультивируемых участках торфяной выработки верхового типа влияния минерального Basacot Plus 6 (N<sub>15</sub>P<sub>8</sub>K<sub>12</sub> кг/га д.в.) и отечественных биологических удобрений – азотфиксирующего и фосфатмобилизующего микробного МаклоР в 5- и 10%-ной концентрациях, а также органо-минерального Экогум-комплекс на сезонную динамику основных характеристик микробиоты корнеобитаемой зоны торфяного суб-

страта под посадками растений клюквы крупноплодной – раннеспелого *Ben Lear* и позднеспелого *Stevens* – в рамках идентичных полевых экспериментов выявлены профилирующие тенденции в их сезонной динамике с оценкой влияния на нее биотических и абиотических факторов. Показано, что независимо от географического положения района исследований, генотипа и возраста растений клюквы, а также вида удобрений, наблюдалось преимущественное усиление дыхательной активности микробсообществ в первой половине вегетационного периода с достижением максимальных значений в июле и последующее снижение к окончанию сезона. При этом в динамике метаболической активности аналогичные тенденции прослеживались в основном в Докшицком р-не, тогда как в Смолевичском значительное влияние на нее оказывал возраст культиваров. В отличие от данных характеристик микробиома, сезонный ход изменений численности (массы) микроорганизмов в основном определялся географическим положением района исследований и в меньшей степени видом удобрений. Установлено наименьшее проявление индивидуального характера влияния испытываемых агроприемов на массу микроорганизмов и наибольшее на показатели дыхательной и метаболической активности микробиомов.

#### ЛИТЕРАТУРА

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. V. 10. – P. 215–221.
2. Гродницкая И. Д., Трусова М. Ю. Микробные сообщества и трансформация соединений углерода в болотных почвах таежной зоны // *Почвоведение.* – 2009. – № 9. – С. 1099–1107.
3. Эффективность микробных удобрений при возделывании голубики на выработанных торфяниках Беларуси / Ж. А. Рупасова и др. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 236 с.
4. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 256 с.
5. Мирчинк Т. Г., Паников Н. С. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве // *Успехи микробиологии.* – М.: Наука, 1985. – Т. 20. – С. 198–226.
6. Горбенко А. Ю., Паников Н. С. Количественное описание динамики роста гетеротрофных микроорганизмов в почве в связи с первичным продукционным процессом в биогеоценозе // *Журнал общей биологии.* – 1989. – Т.1, № 1. – С. 38–59.