

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГОБЕЗОПАСНЫЕ  
И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*NATURE MANAGEMENT, ECOLOGICALLY SAFE  
AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES*

*ПРЫРОДАКАРЫСТААННЕ, ЭКОЛАГАБЯСПЕЧНЫЯ  
І РЭСУРСАЗБЕРАГАЛЬНЫЯ ТЭХНАЛОГІІ*

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 574.24:579.64:581.5

**Е. А. Маслюков, А. П. Яковлев, Г. И. Булавко, А. А. Лешков**

*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: massl2001@yandex.by*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РИЗОСФЕРНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ  
В СОСТАВЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ  
И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНОГО СУБСТРАТА,  
РОСТ И РАЗВИТИЕ САЛАТА ЛИСТОВОГО**

**Аннотация.** Представлены результаты использования растворов бактериальных препаратов отечественного производства, действующими штаммами которых являлись *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas* и *Bacillus*, в условиях обедненного песчаного субстрата. В вариантах опыта наблюдалось усиление почвенного дыхания и увеличение почвенной микробомассы на 38 и 30 % относительно контрольного образца. Внесение препаратов «Бактопин» и «Гордебак» способствовало повышению подвижного фосфора в субстрате и почти не меняло уровень содержания обменного калия. Ответная физиологическая реакция растений салата листового на применение бактериальных препаратов проявилась в достоверно значимом увеличении содержания хлорофилла а (на 31 %) и каротиноидов (на 36 %), что способствовало заметному превышению морфометрических характеристик (высота растений, площадь листовой пластинки) и биопродукционных параметров (сухая масса надземной и подземной частей) в опытных вариантах относительно контрольного варианта в среднем в 1,86 и 1,31 раза. Лабораторный опыт проводили в 3-кратной повторности.

**Ключевые слова:** бактериальные препараты, песчаный субстрат, микробомасса, тест-культура, макроэлементный состав, пигментный комплекс

**E. A. Maslyukov, A. P. Yakovlev, G. I. Bulavko, A. A. Leshkov**

*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: massl2001@yandex.by*

**THE STUDY OF RHIZOSPHERE MICROORGANISMS EFFECTIVENESS IN BACTERIAL PREPARATIONS  
ON AGROCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SANDY SUBSTRATE, GROWTH  
AND DEVELOPMENT OF LETTUCE**

**Abstract.** The results of using domestically produced bacterial preparation solutions under depleted substrate conditions are presented. The active strains were *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas*, and *Bacillus*. The experimental variants demonstrated enhanced soil respiration and an increase in soil microbial mass by 38 and 30%, respectively, compared to the control sample. The addition of Bactopin and Gordebak increased available phosphorus in the substrate and had virtually no effect on exchangeable potassium levels. The amount of mobile phosphorus increased in the experimental variants which contained Bactopin and Gordebak, while the amount of exchangeable potassium did not change significantly. The physiological response of leaf lettuce plants to the bacterial preparations resulted in a significantly increased chlorophyll a (by 31 %) and carotenoid (by 36 %) content, which contributed to a noticeable increase in morphometric characteristics (plant height, leaf blade area) and bioproduction parameters (dry mass of aboveground and underground parts) relative to the control by an average of 1,86 and 1,31 times. The laboratory experiment was carried out in 3 repetitions.

**Keywords:** bacterial preparations, sandy substrate, microbial mass, test-culture, macronutrients composition, pigment complex

**Я. А. Маслюкоў, А. П. Якаўлеў, Г. І. Булаўка, А. А. Ляшкоў**

*Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі,  
Мінск, Беларусь, e-mail: massl2001@yandex.by*

**ДАСЛЕДАВАННЕ ЭФЕКТАЎНАСЦІ РЫЗАСФЕРНЫХ МІКРААРГАНІЗМАЎ У СКЛАДЗЕ БАКТЭРЫЯЛЬНЫХ  
ПРЭПАРАТАЎ НА АГРАХІМІЧНЫЯ І БІЯЛАГІЧНЫЯ ЎЛАСЦІВАСЦІ ПЯСЧАНАГА СУБСТРАТА,  
РОСТ І РАЗВІЦЦЁ САЛАТЫ ЛІСТАВОЙ**

**Анотацыя.** Прадстаўлены вынікі выкарыстання раствораў бактэрыяльных прэпаратаў айчыннай вытворчасці, штаммамі якіх з'яўляліся *Enterobacter*, *Rahnella*, *Pseudomonas* і *Bacillus*, ва ўмовах абедненага пясчанага субстрату.

У варьянтах вопыту назіралася ўзмацненне глебавага дыхання і павелічэнне глебавай мікробамасы на 38 і 30 % адносна кантрольнага варьянта. Унясенне прэпаратаў “Бактапін” і “Гардэбак” спрыяла павышэнню рухомага фосфару ў субстраце і амаль не мяняла ўзровень утрымання абменнага калію. Зваротная фізіялагічная рэакцыя раслін салаты ліставой на ўжыванне бактэрыяльных прэпаратаў выявілася ў пэўна значным павелічэнні ўтрымання хларафіла а (на 31 %) і караціноідаў (на 36 %), што спрыяла значнаму павышэнню марфаметрычных характарыстык (вышыня раслін, плошча ліставай пласцінкі) і біяпрадукцыйных параметраў (сухая маса надземнай і падземнай частак) у вопытных варьянтах адносна кантрольнага варьянта ў сярэднім у 1,86 і 1,31 раза. Лабараторны вопыт праводзілі ў 3-кратнай паўторнасці.

**Ключавыя словы:** бактэрыяльныя прэпараты, пяшчаны субстрат, мікробамаса, тэст-культура, макраэлементны склад, пігментны комплекс

**Введение.** Применение экологически безопасных бактериальных препаратов в рамках проведения биологического этапа рекультивации – один из современных биотехнологических методов, предлагаемый как альтернатива внесению традиционных синтетических удобрений [1]. Показано, что использование бактериальных удобрений, созданных на основе хозяйственно ценных штаммов микроорганизмов, благоприятно сказывается на вызревании культур, усвоении макроэлементов, устойчивости к фитопатогенам [2]. Внесение данных препаратов способствует как активизации почвообразовательного процесса, так и последующему рациональному использованию территорий, нарушенных в ходе антропогенного вмешательства [3, 4]. Полагаем, что одновременно с проведением полевых исследований в зависимости от направления рекультивации (сельскохозяйственная, лесохозяйственная, рекреационная и т. д.) необходимо планировать и проводить эксперименты в лабораторных условиях с применением различных тест-объектов с моделированием эдафических условий и изучением ответной реакции самих растений на данный агротехнический прием. Целью нашей работы стало исследование микробиологических и агрохимических характеристик песчаного субстрата и оценка отдельных морфофизиологических показателей растений салата листового на внесение бактериальных препаратов отечественного производства.

**Материалы и методы исследования.** В лабораторном эксперименте использовали песчаный субстрат, отобранный на карьере ПГС «Рутковское» (Гродненская обл., Новогрудский р-н), в котором содержались: минеральный азот (аммонийная форма –  $92,8 \pm 2,1$  мг/кг, нитратная форма –  $22,9 \pm 0,9$  мг/кг); подвижный фосфор ( $140,3 \pm 2,7$  мг/кг), обменный калий ( $39,1 \pm 4,4$  мг/кг), что в соответствии с критериями агрохимических величин [5] позволяет отнести его к субстратам с крайне низким уровнем обеспеченности основными элементами питания.

В работе использовали салат листовой среднераннего сорта Джентилина, широко распространенный тест-объект семейства Астровые. Семена высевали на глубину  $\approx 1$  см в ячейки микроплаты  $V = 80$  см<sup>3</sup>. Одновременно с посевом семян в субстрат вносили 2%-й раствор препаратов «АгроМик», «Гордебак», «Бактопин» и «Бактавен» в объеме 10 мл/ячейка. В контрольном варианте производили полив ячеек водой в том же объеме. Последующие обработки выполняли с периодичностью 1 раз в 3 недели от момента посева (2 обработки). Выращивание производили без досвечивания, в условиях естественного дневного освещения при продолжительности светового дня 11–12 ч. Для поддержания влажности субстрата на уровне 60–80 % от полной влагоемкости (ПВ) выполняли полив водой. Повторность опыта – 3-кратная.

Препараты разработаны Институтом микробиологии НАН Беларуси.

«АгроМик» содержит азотфиксирующий штамм *Agrobacterium* sp. и фосфатмобилизирующий штамм *Pseudomonas* sp. с титром не менее  $1,0 \times 10^9$  КОЕ/мл и добавлением арбускулярно-микоризных грибов рода *Glomus*. Препарат обширно тестировали на растениях льна масличного [6], ячменя голозерного [7], оценивали некоторые биохимические аспекты развития плодов голубики в условиях выработанного торфяника [8].

«Гордебак» получен путем совместного глубинного культивирования ассоциативного *Enterobacter* sp. В-402Д и фосфатмобилизирующего *Enterobacter* sp. В-409Д ( $(5,0-6,0) \times 10^9$  КОЕ/мл). Помимо указанных тест-объектов препарат положительно воздействует на приживаемость и укоренение микроклонально размноженных растений березы и осины [9].

«Бактопин» включает совместно культивируемые бактерии diaзотрофа *Rahnella aquatilis* БИМ В-704Д ( $2,3 \times 10^9$  КОЕ/мл) и гетеротрофного ростстимулирующего фосфатмобилизирующего микроорганизма *Pseudomonas putida* БИМ В-702Д ( $1,8 \times 10^9$  КОЕ/мл) с добавлением популяции АМГ. Положительный эффект препарат оказывает на ростовые качества и ризосферную биогенность озимого и ярового рапса [10].

Основа препарата «Бактавен» – штамм *Bacillus subtilis* БИМ-В760Д (не менее  $0,1 \times 10^9$  КОЕ/мл). Фитопротекторное действие препарата обуславливается антифунгальной активностью. Подтверждена биологическая эффективность в отношении корневых гнилей овса (59,9 %), красно-бурой пятнистости (26,3 %), способствующая увеличению урожайности зерна овса на 2,3–3,0 ц/га [2], а также его продуктивности против корневых и прикорневых гнилей томата защищенного грунта (52,4 %) с прибавкой урожая 1,2 кг/м<sup>2</sup> [11].

После двух месяцев культивирования опытных растений по общепринятым в агрохимии [12] и почвенной микробиологии [13, 14] методам определяли содержание доступных форм основных элементов питания, а также почвенное дыхание, биомассу микроорганизмов и коэффициент метаболической активности. Растения салата листового извлекали из субстрата, отмывали корневую систему водой, определяли сырую и сухую массу надземной и подземной частей, площадь листовой поверхности (ImageJ, NIH, США).

Путем экстракции в ацетоне определяли содержание хлорофилла и каротиноидов; по методу Лебеяднца проводили мокрое озоление в концентрированной азотной кислоте [15]. Методом пламенной фотометрии определяли содержание катионов натрия и калия в листовых пластинках растений (BWB Flash, Великобритания).

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов вариационной статистики в программах MS Excel 2010 и STATISTICA v. 12.0.

**Результаты и их обсуждение.** Поскольку при выращивании салата использованы штаммы микроорганизмов, то одним из базовых показателей для оценки их эффективности является его микробиологическая активность, определяемая по активности дыхания почвы, величине микробной массы в 1 г почвы и метаболическому коэффициенту, отражающему количество образованного CO<sub>2</sub> на единицу микробной массы. Изучаемые характеристики субстрата получены по окончании культивирования (табл. 1).

Таблица 1. Показатели микробиологической активности субстрата

Вариант	Дыхание почвы, мкгСО <sub>2</sub> /г почвы/ч	Биомасса, мкгС/ почвы	Коэффициент метаболической активности микроорганизмов (qCO <sub>2</sub> )
Контрольный образец	0,76 ± 0,04	245,2 ± 12,5	0,23
«АгроМик»	0,91 ± 0,02*	275,6 ± 14,0*	0,25
«Гордебак»	1,13 ± 0,05*	301,5 ± 7,0*	0,22
«Бактопин»	1,09 ± 0,05*	377,6 ± 13,4*	0,28
«Бактавен»	1,05 ± 0,05*	246,9 ± 11,9	0,32

Примечание. \* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ .

Усиление почвенного дыхания и общей микробомассы свидетельствует о том, что действующие штаммы препаратов успешно ассимилированы в корнеобитаемой зоне растений и оказывали на испытываемые растения физиологические эффекты. Максимальное положительное влияние на микробомассу и базальное дыхание субстрата проявилось при внесении препаратов «Гордебак» и «Бактопин». Причем если различия между данными препаратами по респирации дыхания оказались относительно небольшими (не более 3,7 %), то микробная биомасса в варианте с применением «Бактопина» на 25 % превышала аналогичный показатель для «Гордебак» и более чем на 50 % – контрольный вариант. Аналогичные закономерности показаны и в полевом эксперименте в посадках лесных культур сосны обыкновенной и ели европейской [16].

Микробный метаболический коэффициент является интегральным показателем состояния почвенного микробного сообщества и мерой устойчивости почв к различным воздействиям, так как отражает эффективность использования субстрата [17]. Поскольку эмиссия СО<sub>2</sub>–С из почвы характеризует разложение органического вещества, а содержание С<sub>мик</sub> в почве – синтез, то их отношение, выраженное в величине qCO<sub>2</sub>, пригодно для оценки сбалансированности между процессами синтеза и минерализации органического вещества почвы [18]. Микробный метаболический коэффициент как показатель экофизиологического статуса почвенных микроорганизмов может отражать устойчивость микробного сообщества почвы, в том числе и при внесении препаратов. Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о более благоприятном и стабильном состоянии микробного сообщества в вариантах с внесением бактериальных препаратов, особенно «Бактавена» и «Бактопина».

Активизация биологической активности почвы и увеличение объема микробной биомассы формируют эффективное плодородие почв. Все агротехнические мероприятия, способствующие увеличению этих показателей, работают на стабилизацию эффективного плодородия почвы и получение биологически чистой растениеводческой продукции вследствие обеспечения растений элементами питания, формирующими в процессе биологического круговорота, а не за счет внесения химических удобрений.

Проведенный по окончании опыта агрохимический анализ почвы показал, что содержание доступных для растений форм минерального азота в эксперименте оказалось ниже контрольного образца почти для всех микробиологических препаратов (табл. 2). Только использование «АгроМика» способствовало повышению содержания аммонийной формы азота относительно контрольного варианта. Определение содержания нитратной формы азота в прикорневой зоне растений характеризовалось снижением в 1,5–4,3 раза уровня его накопления (для «Гордебак» и «Бактавена» также). Выявленная закономерность, по нашему мнению, может рассматриваться как положительный эффект в вопросе сдерживания накопления нитратов в растениеводческой продукции.

Увеличение содержания подвижных форм фосфора в вариантах, обрабатываемых «Гордебак» и «Бактопином», говорит об эффективности применения фосфатмобилизирующих штаммов в составе препаратов. Из табл. 2 видно, что в этих вариантах количество подвижного фосфора выросло относительно контроля в 1,40 и 1,26 раза соответственно. Инокуляция данными штаммами обеспечивает улучшенный режим фосфатного питания растений. Трансформация труднорастворимых соединений фосфора – один из агроприемов повышения фосфорного питания в условиях низкой обеспеченности (менее 200 мг/кг). Некоторые ученые отмечают, что эффективные бактериальные изоляты высвобождают в ризосферу сво-

Таблица 2. Агрохимические показатели прикорневой зоны субстрата

Вариант	$m(N-NH_4)$ , мг/кг почвы	$m(N-NO_3)$ , мг/кг почвы	$m(P_2O_5)$ , мг/кг почвы	$m(K_2O)$ , мг/кг почвы
Контрольный вариант	91,6 ± 1,4	22,7 ± 1,1	143,6 ± 2,4	38,3 ± 5,1
«АгроМик»	110,5 ± 2,1	10,9 ± 0,9*	126,5 ± 2,8	39,7 ± 1,4
«Гордебак»	81,8 ± 1,7*	15,3 ± 0,7*	200,3 ± 2,8*	40,1 ± 2,5
«Бактопин»	90,6 ± 1,4	10,7 ± 0,7*	180,8 ± 1,9*	40,9 ± 3,6
«Бактавен»	85,6 ± 1,7*	5,3 ± 0,4*	147,8 ± 1,8	41,0 ± 2,7

Примечание. \* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ .

бодный фосфор из трикальцийфосфата, констатируя, что эффективность штаммов для солиubilизации фосфата в большей мере зависит от специфичности фермента фосфатазы, чем от ее количества, выделяемого в среду [19]. Среди всех изученных в эксперименте штаммов наибольшее количество фосфора выделял один из штаммов *Enterobacter* в составе препарата «Гордебак».

Крайне незначительными оказались в песчаном субстрате запасы калия (38,3–41,0 мг/кг а. с. п.), которые даже при внесении препаратов кардинально картину не меняли, а содержание его обменной формы в эксперименте достоверно не отличалось от контрольного образца, что, исходя из физиологических потребностей культивируемых растений, следует рассматривать как необходимость ежегодного дополнительного внесения.

Кроме того, учитывая, что растения и микроорганизмы нуждаются в одних и тех же макро- и микроэлементах, за счет чего меняются условия питания и жизнедеятельности для самих растений и микробов, полагаем, что добавленные активные штаммы бактерий способствуют более полному использованию минеральных макроэлементов, а это, в свою очередь, ускоряет рост растений и, следовательно, вынос элементов из почвы. В пользу этого свидетельствует также научно установленный факт, что эффективность работы бактериальных препаратов в комплексе с полным минеральным удобрением в посадках кукурузы повышается в 2,0–2,5 раза [20].

Поскольку изменения доступности элементов в почве прямо отражаются на их концентрации в тканях растений, мы проследили для отдельных макроэлементов за уровнем их накопления в зеленой массе. Необходимый для интенсивного апикального роста, кущения, листообразования азот при аммонификации в процессе превращения гетеротрофными микроорганизмами органического азота почвы в  $NH_4^+$  интенсивнее протекал в вариантах с «Бактопином» и «Бактавеном», где содержание нитрантной формы азота в зеленой массе снижалось на 19 и 23 % соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

Для вариантов с применением «Бактопина» и «Бактавена» уровень катионов натрия и калия в надземной фитомассе в 2,0 и 1,4 раза оказался выше, что может свидетельствовать об улучшении метаболического потенциала за счет его регуляции и, как следствие, адаптации к неблагоприятным условиям среды. Аналогичные закономерности установлены [21] при добавлении штамма *Bacillus*, что значимо увеличивало накопление калия в растительной продукции как в сочетании с минеральными NPK-удобрениями, так и при отдельном применении (вариант «Бактавен»).

Значимым показателем физиологического состояния растений является содержание в листьях пигментов хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов. Поскольку пигменты интегрированы в мембраны хлоропластов и связаны с белками, их количественное содержание и соотношение могут отражать особенности адаптации фотосинтетического аппарата в целом и обеспечивать его функциональную диагностику. Изменения в составе пигментного комплекса можно также рассматривать в качестве индикаторов механизма адаптации растений к условиям внешней среды [22].

Сравнение исследуемых показателей в контрольном образце и вариантах опыта с внесением удобрений выявило существенные межвариантные различия в характере и степени ответной реакции пигментного комплекса ассимилирующих органов салата на испытываемые агроприемы. Диапазоны варьирования показателей зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) в листьях салата менее выразительно проявились в варианте с обработкой «АгроМиком» (рис. 1). Так, в листовой ткани опытных растений наблюдалось незначительное увеличение (не более чем на 16 %) общего содержания зеленых пластидных пигментов относительно контрольного варианта.

Для трех препаратов («Гордебак», «Бактопин» и «Бактавен») установлено достоверное превышение уровня содержания хлорофиллов в зеленой массе салата относительно контрольного образца, максимальное различие в котором при внесении «Бактопина» достигало для хлорофиллов *a* и *b* – 1,4 раза, при промежуточном положении изучаемых характеристик для «Гордебака» и «Бактавена».

Общеизвестно, что каротиноидам, выполняющим роль светосборщиков и фотопротекторов, принадлежит особо важная роль в процессе фотосинтеза, в связи с чем активизацию их накопления в листовой ткани под действием внешних агентов следует рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата и предотвращение его фотодинамической деструкции.

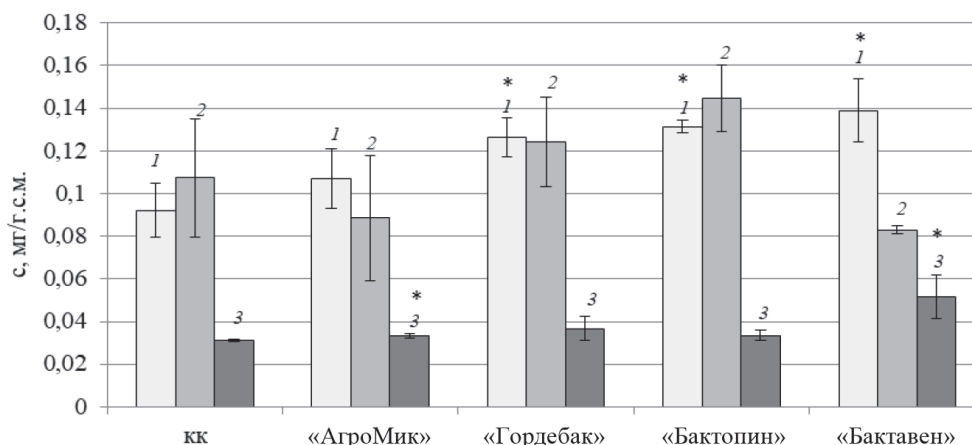


Рис. 1. Характеристика пигментного комплекса листьев салата в лабораторном эксперименте: 1 – хлорофилл а, 2 – хлорофилл б, 3 – каротиноиды (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

Достоверное увеличение уровня содержания каротиноидов в эксперименте отмечено только в вариантах с применением «Гордебака» и «Бактавена». Сходные результаты использования микробных препаратов наблюдаются при проведении экспериментов на растениях голубики высокорослой и льна масличного [23, 24], ели европейской [16].

Таким образом, показанные выше изменения в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов опытных растений салата под действием испытываемых агроприемов обусловили достоверное увеличение в вариантах опыта с внесением микробных удобрений соотношения содержания хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контрольным, что свидетельствовало об определенном усилении в нем роли зеленых пигментов. Учитывая, что активизация биосинтеза пластидных пигментов под действием регулируемых факторов может косвенно подтверждать увеличение продуктивности растений, что экспериментально доказано [25, 26], следовало ожидать проявления подобной согласованности позитивных эффектов и в наших исследованиях.

Успешностью фотосинтеза, протекающего в ассимилирующих органах растений, определяется развитие надземной части. Для оценки биоморфометрических показателей роста салата исследовали растения после двух месяцев выращивания, измеряя общую длину надземной части растения (от корневой шейки до кончика верхнего листа), определяя площадь листовой пластинки, а также параметры сырой и сухой массы надземной и подземной частей тест-культуры.

Установлено, что при внесении в субстрат всех микробиологических препаратов наблюдалось выраженное увеличение биоморфометрических показателей растений (рис. 2). Так, максимальные различия общей длины надземной части растений по сравнению с контролем отмечены при обработке «Бактавеном» на 73 %. Сходные величины различий более 41 % установлены для трех других препаратов.

В ходе исследований удалось установить также, что при внесении «Бактавена», по сравнению с контрольным вариантом, увеличивалась и площадь листового аппарата салата (в 3,2 раза), в то время как обработка «АгроМиком», «Гордебакком» и «Бактопином» способствовала не такому существенному увеличению площади листового аппарата к контролю соответственно в 1,6, 1,2 и 1,4 раза. При этом количество листьев в исследуемых вариантах значимо не различалось, а диаметр основания стебля был больше на 71 % относительно контрольного в варианте с добавлением «Бактавена».

Стимулирующий эффект вносимых бактериальных препаратов на биометрические показатели растений салата отражался как на суммарном весе растений, так и на весе надземной части и корня. Установлено, что внесение только «АгроМика» и «Бактавена», по сравнению с контрольным образцом, способствовало достоверному увеличению общего веса растений в 1,9 и 3,7 раза соответственно (рис. 3). При этом если для первого препарата относительно контрольного варианта наблюдалось преимущественное накопление показателей общего сухого веса растений за счет надземной части, то для второго – равномерное долевое участие изучаемых характеристик и листьев, и корня. Увеличение же накопления сухой массы корня растений в варианте с применением «Бактопина» не принесло ожидаемого результата по приросту надземной части салата.

Выявленные нами закономерности согласуются с данными, показавшими, что «АгроМик» способствовал усилению ростовых параметров древесных и декоративных культур за счет продуцирования штаммами индолил-3-уксусной кислоты, являющейся стимулятором роста и развития растений, а также возможности бактерий рода *Pseudomonas* к синтезу ауксина и усилению амилазной активности [27]. Наибольшая продуктивность растений с применением «Бактавена» в стрессовых условиях объясняется продуцированием штаммами рода *Bacillus* широкого спектра липопептидов и сидерофоров [28].

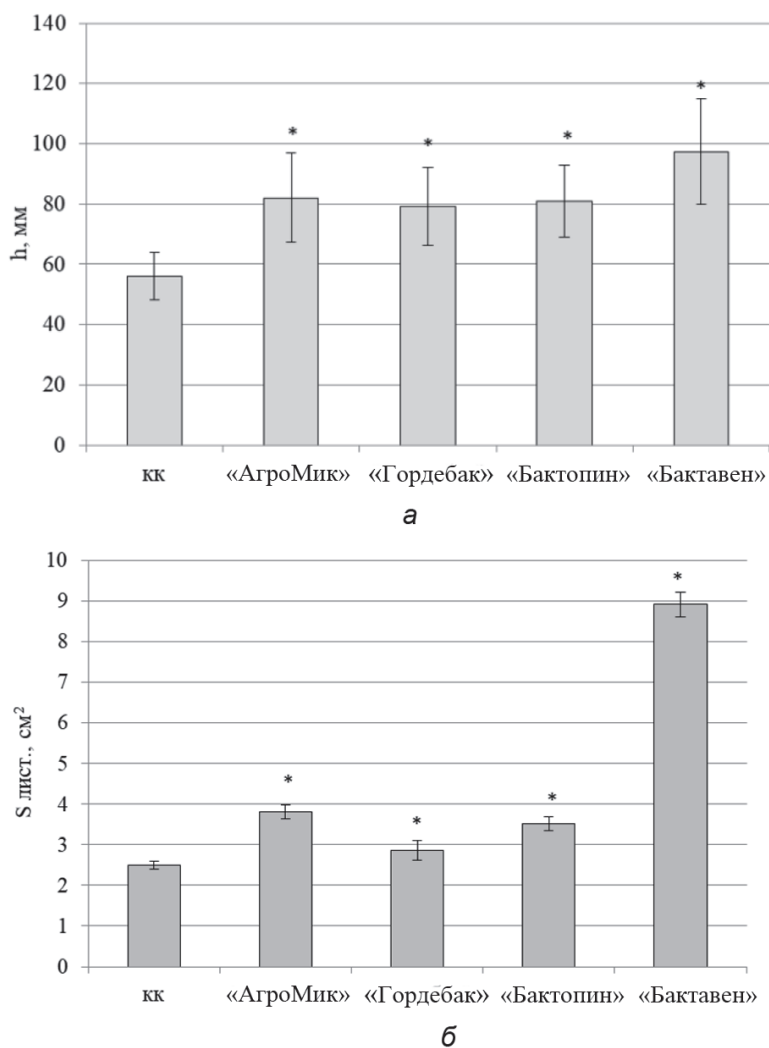


Рис. 2. Параметры общей длины надземной части (а) и площади листовой поверхности (б) опытных растений в лабораторном эксперименте (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

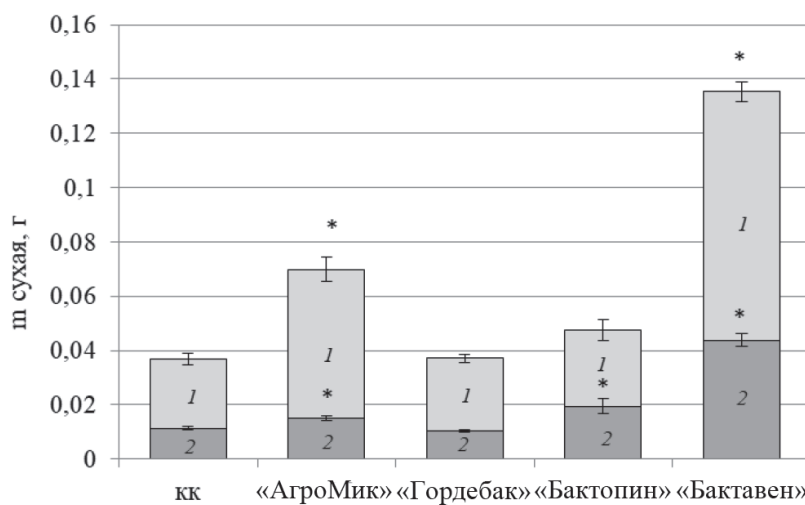


Рис. 3. Показатели веса сухой фитомассы надземной и подземной частей изучаемых растений: 1 – надземная масса, 2 – подземная масса (\* – статистически значимые различия при  $p \leq 0,05$ )

**Выводы.** Таким образом, проведенный нами лабораторный опыт по моделированию технологического этапа биологической рекультивации нарушенных земель позволил оценить отдельные эдафические характеристики субстрата, морфологические и физиологические показатели вегетативной массы растений. Во всех опытных вариантах отмечено усиление почвенного дыхания, а для «АгроМика», «Гордебака» и «Бактопина» – увеличение бактериальной микробомассы, что свидетельствует об активной колонизации песчаного субстрата. Результаты агрохимических анализов подтверждают активизацию процессов фосфатмобилизации и нитрификации, а изменение пигментного состава говорит об активных фотосинтетических процессах и усилении общей продуктивности.

Полученные результаты подтверждают перспективы использования отечественных бактериальных препаратов в качестве компонентов комплексных биоудобрений, применение которых актуально для био-безопасных технологий и экологизации агропроизводства. В частности, использование микробиологических препаратов, обладающих высокой активностью в процессах мобилизации биогенных элементов, весьма перспективно и их можно предложить для оздоровления и повышения плодородия почв, усиления питания растений и получения качественной продукции.

### Список использованных источников

1. Биотехнологические подходы создания лесных культур на площадях песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев, Е. А. Маслюков, Г. И. Булавко [и др.] // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: материалы науч.-практ. конф., Красноярск, 17 дек. 2024 г. / ФГБОУ ВО «Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева». – Красноярск, 2024. – С. 244–247.
2. Применение биопестицида Бактавен для защиты посевов овса от болезней / А. Г. Власов, В. Н. Купцов, С. П. Халецкий, Э. И. Коломиец // Вестник защиты растений. – 2017. – № 2 (92). – С. 40–45.
3. Влияние микробных препаратов на физико-химические и агрохимические свойства городских почв в условиях воздействия остаточных количеств противогололедных реагентов (на примере г. Могилева) / А. М. Николаичук, А. П. Яковлев, М. Н. Вашкевич [и др.] // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем : сб. материалов XVI Междунар. науч. экол. конф., посвящ. памяти Александра Владимировича Присного, 24–26 нояб. 2020 г. / отв. ред. Ю. А. Присный. – Белгород : ИД «БелГУ»; НИУ «БелГУ», 2020. – С. 305–310.
4. Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами / Л. В. Помазкина, Е. В. Лубнина, С. Ю. Зорина, А. С. Лаврентьева. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН. – 2004. – 225 с.
5. Справочник агрохимика / В. А. Калюк, В. В. Лапа, Н. И. Смяян [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Мн. : Бел. наука, 2007. – 390 с.
6. Маслинская, М. Е. Влияние биопрепаратов на формирование биометрических показателей, накопление биомассы и структуру урожайности льна масличного / М. Е. Маслинская // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2023. – № 59. – С. 181–189.
7. Влияние средств защиты и микробиологического препарата на начальные этапы роста и развития голозерного ячменя / В. И. Кочурко, С. В. Абраскова, Е. М. Ритвинская [и др.] // Вестник БарГУ. Серия Биологические науки (Общая биология). Сельскохозяйственные науки (агрономия). – 2024. – № 15. – С. 91–102.
8. Влияние минеральных и микробных удобрений на содержание фенольных соединений в плодах голубики на выработанном торфянике верхового типа на севере Беларуси / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, В. Н. Решетников [и др.] // Плодоводство. – 2019. – Т. 31. – С. 200–213.
9. Микробиологическая оценка влияния биопрепарата Гордебак в посевах ячменя / И. И. Концевая, Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев [и др.] // Достижения науки и образования. – 2025. – № 1 (99). – С. 3–8.
10. Шепшелев, А. Микробные биотехнологии в сельскохозяйственном производстве / А. Шепшелев, Е. Болотник, З. Алещенкова // Наука и инновации. – 2025. – № 9. – С. 26–32.
11. Интегрированная защита растений. Курс лекций : учеб.-метод. пособие / Ю. А. Миренков, В. П. Дуктов, П. А. Саскевич, В. Р. Кажарский. – Горки : БГСХА, 2024. – 147 с.
12. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
13. Ананьева, Н. Д. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания / Н. Д. Ананьева, Е. А. Сусьян, Е. Г. Гавриленко // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
14. Мирчинк, Т. Г. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве / Т. Г. Мирчинк, Н. С. Паников // Успехи микробиологии / АН СССР, Всесоюз. микробиол. о-во, Ин-т микробиологии ; редкол.: А. А. Имшенецкий (отв. ред.) [и др.] – М., 1985. – Вып. 20. – С. 198–226.
15. Фотосинтез : метод. рекомендации к лаборатор. занятиям, задания для самостоят. работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Мн. : Изд-во Бел. гос. ун-та, 2003. – 88 с.
16. Оценка приемов биорекультивации песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев, Е. А. Маслюков, Г. И. Булавко [и др.] // Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання : зб. навук. прац XII Міжнар. навук. канф., 8–10 кастр. 2025 г., Брэст, Рэсп. Беларусь / Нац. акад. навук Беларусі ; Палес. аграр.-экал. ін-т ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2025. – С. 358–363.
17. Ананьева, Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н. Д. Ананьева. – М. : Наука, 2003. – 222 с.
18. Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами / Л. В. Помазкина, Л. Г. Котова, Е. В. Лубнина [и др.]. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН. – 2004. – 225 с.
19. Чайковская, Л. А. Фосфатмобилизующие микроорганизмы: биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность / Л. А. Чайковская, О. Л. Овсиенко // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 4. – 159–182.

20. Чернецова, Н. В. Совместное использование минеральных удобрений и бактериальных препаратов в посевах кукурузы / Н. В. Чернецова // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 4 (25). – С. 47–49.

21. Колесников, Л. Е. Влияние ассоциативных ризобактерий на формирование продуктивности мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области / Л. Е. Колесников, Х. Б. Хассан, А. А. Белимов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3 (77). – С. 45–59.

22. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растении / Т. Н. Годнев. – Мн. : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.

23. Влияние удобрений и стимуляторов роста на содержание фотосинтезирующих пигментов в растениях голубики, культивируемых на выработанных торфяных месторождениях низинного типа / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, И. В. Савосько [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 188–200.

24. Накопление фотосинтетических пигментов в растениях льна масличного при применении препаратов биологического происхождения / М. Е. Маслинская, Л. Ф. Кабашникова, Н. С. Савельев, Е. В. Черехутина // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2025. – № 61. – С. 103–111.

25. Особенности состава пигментного комплекса листьев древесных растений в городских условиях при внесении микробных удобрений / А. М. Николайчук, А. П. Яковлев, М. Н. Вашкевич [и др.] // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2020. – № 1. – С. 95–101.

26. Дерендовская, А. Н. Хлорофильные показатели и их связь с продуктивностью растений озимого ячменя / А. Н. Дерендовская, С. Жосан // Știința Agricolă. – 2008. – № 1. – С. 3–7.

27. Савчиц, Т. Л. Микробный препарат «АгроМик» для стимуляции роста и развития декоративных насаждений / Т. Л. Савчиц, В. А. Тимофеева, Л. А. Головченко // сільськогосподарська мікробіологія. – 2015. – № 21. – С. 60–65.

28. Алещенкова, З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений / З. М. Алещенкова // Наука и инновации. – 2015. – Т. 8. – № 150. – С. 66–67.

*Поступила 13.02.2026*