

Оценка эффективности микробиологического препарата при выращивании злаковой травосмеси на малопригодных субстратах

Е. И. Филимонова¹✉, М. А. Глазырина¹, Н. В. Лукина¹, М. Ю. Карпухин²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: elena.filimonova@urfu.ru

Аннотация. Цель работы – оценить влияние микробиологического препарата БИОР-АВ на структуру, морфологические показатели и продуктивность травосмеси *Bromus inermis* Leys. и *Elymus fibrosus* (Schrenk) Tzvelev при рекультивации спланированных глинистых отвалов. **Методы.** Исследования опытных и контрольных экспериментальных посевов, заложенных в трехкратной повторности площадью по 25 м², проводили в вегетационные периоды 2001–2010 гг. Проектное покрытие и надземную фитомассу определяли на учетных площадках 0,5 × 0,5 м, в каждом из вариантов закладывали не менее 15 площадок. Анализировали динамику морфологической структуры вегетативных и генеративных побегов, проводили агрохимический анализ субстрата. **Результаты.** Установлен положительный эффект применения микробиологического препарата при ускоренной рекультивации отвалов без нанесения плодородного грунта на показатели высоты, массы и длины листьев вегетативных и генеративных побегов; на число и размеры структурных элементов соцветий испытуемых злаков (длину соцветия, количество веточек в соцветии, число цветков, число колосков, массу соцветия), на посевные качества семян. Выявлен рост содержания в субстрате с внесением микробиологического препарата основных элементов минерального питания: общего азота (в 1,6 раза), доступных фосфора и калия (в 2 раза), гумуса (в 5 раз), повышение значений pH от кислой до слабокислой реакции среды. **Научная новизна** работы заключается в том, что впервые в условиях Среднего Урала на малопригодных глинистых субстратах были проведены мониторинговые исследования эффективности влияния микробиологического препарата на структуру, морфологические параметры и продуктивность травосмеси *B. inermis* и *E. fibrosus*.

Ключевые слова: травосмесь, *Bromus inermis*, *Elymus fibrosus*, продуктивность, глинистые субстраты, микробиологический препарат, сельскохозяйственное использование, рекультивация.

Для цитирования: Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Карпухин Ю. М. Оценка эффективности микробиологического препарата при выращивании злаковой травосмеси на малопригодных субстратах // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 34–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-34-45.

Дата поступления статьи: 20.09.2023, **дата рецензирования:** 10.10.2023, **дата принятия:** 14.11.2023.

Assessment of the microbiological preparation effectiveness at growing cereal grass mixtures on unsuitable substrates

E. I. Filimonova¹✉, M. A. Glazyrina¹, N. V. Lukina¹, M. Yu. Karpukhin²

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: elena.filimonova@urfu.ru

Abstract. The purpose of the work was to evaluate the effect of the microbiological preparation BIOR-AV on the structure, morphological characteristics and productivity of the grass mixture of *Bromus inermis* Leyss. and *Elymus fibrosus* (Schrenk) Tzvelev during the reclamation of planned clay dumps. **Methods.** Studies of experimental and control crops planted in 3 replicates within an area of 25 m² were carried out during the growing seasons of 2001–2010. Projective cover and above-ground phytomass were determined on survey plots of 0.5 × 0.5 m; in each option, at least 15 plots were laid out. The dynamics of the morphological structure of vegetative and generative shoots was analyzed, and an agrochemical analysis of the substrate was carried out. **Results.** The positive effect of using the microbiological preparation during accelerated reclamation of dumps without applying fertile soil on the height, weight and length of leaves of vegetative and generative shoots; the number and size of structural elements of the inflorescences of the tested cereals (the length of the inflorescence, the number of branches in the inflorescence, the number of flowers, the number of spikelets, the weight of the inflorescence), and the sowing qualities of the seeds has been established. An increase in the content of the main elements of mineral nutrition in the substrate with the addition of the microbiological preparation: total nitrogen (1.6 times), available phosphorus and potassium (2 times), humus (5 times), as well as an increase in pH values from acidic to slightly acidic was revealed. **The scientific novelty** of the work: for the first time, in the conditions of the Middle Urals, monitoring studies of the effectiveness of the microbiological preparation on the structure, morphological parameters and productivity of a grass mixture of *B. inermis* and *E. fibrosus* were carried out on unsuitable clay substrates.

Keywords: grass mixture, *Bromus inermis*, *Elymus fibrosus*, productivity, clay substrates, microbiological preparation, agricultural use, reclamation.

For citation: Filimonova E. I., Glazyrina M. A., Lukina N. V., Karpukhin M. Yu. Otsenka effektivnosti mikrobiologicheskogo preparata pri vyrashchivanii zlakovoy travosmesi na maloprigrudnykh substratakh [Assessment of the microbiological preparation effectiveness at growing cereal grass mixtures on unsuitable substrates] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 12. Pp. 34–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-34-45. (In Russian.)

Date of paper submission: 20.09.2023, **date of review:** 10.10.2023, **date of acceptance:** 14.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Развитие отечественного животноводства – одно из важных направлений экономики Российской Федерации. В Свердловской области животноводство является приоритетной отраслью сельского хозяйства. В связи с этим основная задача растениеводства и земледелия в целом – укрепление кормовой базы сельскохозяйственных предприятий, в максимальной степени обеспечивающих животноводство разнообразными, высококачественными сбалансированными и дешевыми кормами [1, с. 5; 2, с. 5; 3, с. 19]. Организация адаптивного кормопроизводства на основе создания высокопродуктивных агроценозов за счет многолетних трав, рационально использующих агроклиматические условия региона, является одной из основных задач, стоящей перед учеными и предприятиями сельского хозяйства [4, с. 657; 5, с. 4; 6, с. 18].

Многолетние травы – это стабильный источник грубых кормов. Увеличение объемов заготовки кормов может потребовать вовлечения в сельскохозяйственный оборот территорий, отнесенных к деградированным землям, неудобьям, а также нарушенным промышленностью землям, подвергнутым рекультивации [2, с. 13; 7, с. 3; 8, с. 15; 9, с. 41].

Уровень урожайности многолетних растений зависит от почвенных, климатических и других факторов [2, с. 13; 10, с. 22; 11, с. 434, 438; 12, с. 858]. Для повышения величины урожая, кроме минеральных и органических удобрений, возможно приме-

нение microbiологических препаратов [13, с. 46; 14, с. 19; 15, с. 33976]. Комплекс активных штаммов почвенных микроорганизмов мобилизует потенциальное плодородие субстрата (на глубину корнеобитаемого горизонта) и способствует накоплению в нем органического вещества, элементов питания в доступной для высших растений форме [16, с. 49; 17, с. 578].

Методология и методы исследования (Methods)

Цель наших исследований – оценить эффективность применения microbiологического препарата БИОР-АВ при выращивании злаковой травосмеси *Bromus inermis* Leyss. и *Elymus fibrosus* (Schrenk) Tzvelev на малоприспособленных глинистых субстратах. Время испытаний – вегетационные периоды 2001–2010 гг.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые в условиях Среднего Урала на малоприспособленных глинистых субстратах были проведены 10-летние мониторинговые исследования влияния microbiологического препарата БИОР-АВ на морфологические показатели и продуктивность *B. inermis* и *E. fibrosus*.

Работа была выполнена на мелкоделяночных экспериментальных посевах, организованных на гидроотвале Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота для апробирования способа ускоренной биологической рекультивации с использованием microbiологического препарата БИОР-АВ (в дальнейшем МБП) на глинистых ма-

лопригодных субстратах без нанесения плодородного грунта. Активная микрофлора МБП содержит культуру азотобактера *Azotobacter chroococcum*, способного усваивать атмосферный азот, и культуру *Bacillus megaterium*, солубилизирующую труднодоступный фосфор из деструктивных субстратов [17, с. 578; 18, с. 1; 19, с. 4]. Препарат при минимальных затратах способствует увеличению накопления гумуса, N, P, K в усвояемой форме и обеспечивает хороший рост и развитие растений.

Метод ускоренной рекультивации малопродуктивных субстратов с использованием микробиологических препаратов был разработан в Межотраслевом научно-исследовательском и проектно-технологическом институте экологии топливно-энергетического комплекса (МНИИЭКО ТЭК ранее ВНИО-Суголь, г. Пермь) и применен при рекультивации отвалов угольных месторождений.

Гидроотвал Шуралино-Ягодного месторождения находится в районе Невьянско-Кировградского промузла, расположенного в бассейне верхнего течения р. Нейвы, на восточном склоне Среднего Урала (57°24'34" с. ш., 60°10'38" в. д.; высота над уровнем моря – 272 м). Преобладающие почвы – подзолистые и дерново-подзолистые.

Район исследования расположен в умеренно-континентальной бореальной климатической зоне. Для характеристики метеоусловий использованы данные Невьянской метеостанции (57°30'00" с. ш., 60°15'00" в. д.; высота над уровнем моря – 257 м). За период наблюдений годовая температура воздуха составляла в среднем 2,4 °С (варьировала в пределах от 1,5 до 3,7 °С). Средняя температура июля +18,2 °С (максимальная +35,3 °С). Средняя температура января –13,7 °С, но в отдельные годы температура может опускаться до –40 °С. Годовая сумма осадков составила 622 мм (от 384 до 817 мм). Мощность снежного покрова 35–90 см.

Гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) рассчитан по формуле Г. Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = \Sigma R \cdot 10 / \Sigma T,$$

где ΣR – сумма осадков за период с температурами выше 10 °С (мм);

ΣT – сумма среднесуточных температур выше 10 °С за вегетационный период (°С).

Сумма температур выше 10 °С составила в среднем 1998,0 °С (от 1622,5 °С до 2384,6 °С). Сумма осадков за тот же период в среднем – 290,2 мм (от 138,8 мм до 408,0 мм). ГТК высокий – 1,47.

Субстрат экспериментального участка образован смесью пестроцветных глин и суглинков с примесью песка, гальки верхних рыхлых отложений россыпей. Содержание глин колебалось в пределах 50 % и более. По пригодности для биологической рекультивации глинистые породы характеризовались как нетоксичные, среднетяжелые, слабокаме-

нистые, слабокислые, малопродуктивные из-за крайне низкого содержания основных элементов питания и неблагоприятных физических свойств (набухаемость, пучинистость, слабая водостойкость).

Объектом исследования являлись экспериментальные посеы травосмеси кормовых злаков разной биоморфы и долгодетия: *B. inermis* и *E. fibrosus*, высеванные в смеси 1 : 1.

B. inermis – длиннокорневищное растение озимого типа развития, побеги могут достигать 150 см, корневая система мощная, распространяется вглубь почвы до 2 м и более. На Урале широко используется для создания высокоурожайных сенокосов и пастбищ, а также для закрепления и защиты от водной эрозии склоновых поверхностей и откосов автомобильных дорог. Рекомендован для создания агрофитоценозов на отвалах Урала, Кузбасса и других регионов.

E. fibrosus – рыхло-дерновинное растение ярового типа высотой 40–70 см, с мочковатой корневой системой, в благоприятных условиях сохраняет высокую продуктивность до 5–6 лет. Засухоустойчивый вид, выносит засоление, отличается скороспелостью.

Мелкоделяночные экспериментальные посеы были созданы на предварительно спланированных участках гидроотвала в двух вариантах: опыт (вскрышные глинистые породы + МБП), контроль (вскрышные глинистые породы). Каждый вариант закладывали в трехкратной повторности (делянки площадью 25 м² (5 × 5 м)). Предпосевной обработки (вспашки и боронования) грунта не проводилось. МБП смешивался с семенами, далее смесь разбрасывалась вручную, с последующей заделкой граблями.

Для изучения трансформации экспериментальных посевов на каждом варианте были заложены постоянные учетные площадки площадью 0,25 м² в количестве 15 шт. На учетных площадках оценивалось проективное покрытие (ПП) высеванных культур, число видов-внедренцев. Сходство видового состава вариантов посевов оценивали по коэффициенту Жаккара (K_j). На второй год после посева производился подсчет особей и определение их фазы развития (фазы трех листьев, кущения, выхода в трубку, колошения), начиная с третьего года на площадках подсчитывали количество побегов, определяли долю генеративных побегов.

Для морфометрического анализа с каждого варианта срезали по 100 вегетативных и генеративных побегов *B. inermis* и *E. fibrosus*, определяли такие показатели, как высота растения (см), общее число листьев (шт.), длина листа-предфлажка (см), длина соцветия (см), количество веточек и колосков в соцветии (шт.), общее число цветков (шт.), масса соцветия (г) и др. Для определения урожайности

отбирали пробы травостоя с площади 0,25 м² в 9 повторностях, массу высушивали при комнатной температуре в закрытом помещении.

Оценивали посевные качества семян (масса 1000 семян, всхожесть). Для определения всхожести семян в каждом из вариантов отбирали по 100 семян испытуемых видов (в трехкратной повторности). Семена равномерно раскладывали на фильтровальной бумаге в чашках Петри, смачивали дистиллированной водой и проращивали в течение 10 дней *B. inermis* и 14 дней – *E. fibrosus*.

Образцы грунта для исследований отбирали с глубины 0–20 см. Общий азот (N) определяли ме-

тодом Кьельдаля с титрометрическим окончанием; рН анализировали потенциометрически; доступный калий (K₂O) – пламенно-фотометрическим методом; доступный фосфор (P₂O₃) – спектрофотометрически; гумус – методом Тюрина.

Статистическую обработку данных осуществляли по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программ MS Excel 2016 и STATISTICA 12.0. Для оценки достоверности различий между вариантами использовали непараметрический критерий Манна – Уитни. В таблице 1 звездочкой (*) обозначены достоверные различия между вариантами при $p < 0,05$.

Таблица 1

Динамика биометрических параметров генеративных побегов исследуемых культур

Параметры	Вариант	Период формирования, год			
		3	5	7	10
<i>Bromus inermis</i>					
Высота побега, см	Опыт	61,2 ± 3,8*	82,6 ± 1,7	98,4 ± 2,2	98,0 ± 0,9
	Контроль	57,6 ± 4,8	77,5 ± 1,9	95,9 ± 2,2	95,5 ± 1,2
Общее количество листьев, шт.	Опыт	11,3 ± 0,3*	8,0 ± 0,2	6,2 ± 0,2	6,3 ± 0,1
	Контроль	9,8 ± 0,3	7,5 ± 0,2	5,6 ± 0,2	5,8 ± 0,1
Длина листа, см	Опыт	14,8 ± 0,4*	15,7 ± 0,4*	13,7 ± 0,5	13,7 ± 0,3
	Контроль	10,8 ± 0,3	13,6 ± 0,5	13,3 ± 0,6	13,2 ± 0,2
Длина соцветия, см	Опыт	11,6 ± 0,2	12,7 ± 0,3	13,6 ± 0,4	13,8 ± 0,2
	Контроль	11,1 ± 0,2	11,9 ± 0,3	13,1 ± 0,6	13,6 ± 0,2
Количество веточек в соцветии	Опыт	20,8 ± 0,7*	21,7 ± 0,8*	17,1 ± 0,9	22,0 ± 0,6
	Контроль	17,7 ± 0,8	19,4 ± 0,8	16,0 ± 0,8	20,8 ± 0,6
Число колосков	Опыт	25,7 ± 1,4*	27,1 ± 1,3*	28,2 ± 1,8	30,1 ± 1,2
	Контроль	19,7 ± 1,5	23,5 ± 1,1	25,2 ± 1,4	28,3 ± 0,8
Число цветков	Опыт	107,1 ± 5,2*	116,1 ± 5,8	137,3 ± 5,3	145,9 ± 5,9
	Контроль	94,4 ± 5,3	110,3 ± 5,8	125,5 ± 5,4	138,9 ± 4,9
Масса соцветия, г	Опыт	0,190 ± 0,01*	0,21 ± 0,01*	0,30 ± 0,02	0,33 ± 0,02
	Контроль	0,165 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,25 ± 0,04	0,31 ± 0,01
Общая масса побега, г	Опыт	1,35 ± 0,08*	1,48 ± 0,08*	2,12 ± 0,08	2,10 ± 0,18
	Контроль	1,06 ± 0,08	1,19 ± 0,08	1,83 ± 0,22	1,71 ± 0,05
<i>Elymus fibrosus</i>					
Высота побега, см	Опыт	51,7 ± 1,3*	73,0 ± 1,7*	76,3 ± 1,3*	81,6 ± 1,5*
	Контроль	48,4 ± 1,9	67,6 ± 1,7	68,0 ± 1,4	75,5 ± 1,2
Общее количество листьев, шт.	Опыт	5,7 ± 0,3	6,6 ± 0,2	4,4 ± 0,1	4,7 ± 0,1
	Контроль	5,0 ± 0,4	6,4 ± 0,3	4,2 ± 0,1	4,5 ± 0,1
Длина листа, см	Опыт	7,4 ± 0,3*	11,9 ± 0,3*	9,5 ± 0,2*	14,3 ± 0,3
	Контроль	5,3 ± 0,3	9,3 ± 0,4	8,6 ± 0,2	14,3 ± 0,3
Длина соцветия, см	Опыт	11,0 ± 0,2	11,0 ± 0,4	8,8 ± 0,2*	10,2 ± 0,3
	Контроль	9,7 ± 0,2	10,1 ± 0,4	7,2 ± 0,2	9,9 ± 0,3
Число колосков	Опыт	16,3 ± 1,3*	14,9 ± 0,7	12,3 ± 0,3*	14,4 ± 0,4
	Контроль	13,0 ± 1,2	13,2 ± 0,6	9,9 ± 0,3	14,0 ± 0,3
Число цветков	Опыт	25,7 ± 1,1	38,5 ± 2,8*	17,3 ± 1,3*	29,2 ± 1,3
	Контроль	25,2 ± 1,2	29,0 ± 1,7	12,5 ± 1,4	28,2 ± 1,4
Масса соцветия, г	Опыт	0,147 ± 0,01*	0,130 ± 0,1*	0,102 ± 0,01	0,134 ± 0,01
	Контроль	0,112 ± 0,01	0,100 ± 0,1	0,092 ± 0,01	0,120 ± 0,01
Общая масса побега, г	Опыт	0,276 ± 0,07*	0,510 ± 0,03*	0,508 ± 0,03	0,618 ± 0,03
	Контроль	0,218 ± 0,08	0,450 ± 0,02	0,438 ± 0,02	0,577 ± 0,03

Table 1

Dynamics of biometric parameters of generative shoots of cereals

Агротехнологии

Parameters	Variant	Formation period, year			
		3	5	7	10
<i>Bromus inermis</i>					
Shoot height, cm	Experiment	61.2 ± 3.8*	82.6 ± 1.7	98.4 ± 2.2	98.0 ± 0.9
	Control	57.6 ± 4.8	77.5 ± 1.9	95.9 ± 2.2	95.5 ± 1.2
Total number of leaves, pcs.	Experiment	11.3 ± 0.3*	8.0 ± 0.2	6.2 ± 0.2	6.3 ± 0.1
	Control	9.8 ± 0.3	7.5 ± 0.2	5.6 ± 0.2	5.8 ± 0.1
Sheet length, cm	Experiment	14.8 ± 0.4*	15.7 ± 0.4*	13.7 ± 0.5	13.7 ± 0.3
	Control	10.8 ± 0.3	13.6 ± 0.5	13.3 ± 0.6	13.2 ± 0.2
Inflorescence length, cm	Experiment	11.6 ± 0.2	12.7 ± 0.3	13.6 ± 0.4	13.8 ± 0.2
	Control	11.1 ± 0.2	11.9 ± 0.3	13.1 ± 0.6	13.6 ± 0.2
Number of branches in inflorescence	Experiment	20.8 ± 0.7*	21.7 ± 0.8*	17.1 ± 0.9	22.0 ± 0.6
	Control	17.7 ± 0.8	19.4 ± 0.8	16.0 ± 0.8	20.8 ± 0.6
Number of spikelets	Experiment	25.7 ± 1.4*	27.1 ± 1.3*	28.2 ± 1.8	30.1 ± 1.2
	Control	19.7 ± 1.5	23.5 ± 1.1	25.2 ± 1.4	28.3 ± 0.8
Number of flowers	Experiment	107.1 ± 5.2*	116.1 ± 5.8	137.3 ± 5.3	145.9 ± 5.9
	Control	94.4 ± 5.3	110.3 ± 5.8	125.5 ± 5.4	138.9 ± 4.9
Inflorescence weight, g	Experiment	0.190 ± 0.01*	0.21 ± 0.01*	0.30 ± 0.02	0.33 ± 0.02
	Control	0.165 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.25 ± 0.04	0.31 ± 0.01
Total shoot mass, g	Experiment	1.35 ± 0.08*	1.48 ± 0.08*	2.12 ± 0.08	2.10 ± 0.18
	Control	1.06 ± 0.08	1.19 ± 0.08	1.83 ± 0.22	1.71 ± 0.05
<i>Elymus fibrosus</i>					
Shoot height, cm	Experiment	51.7 ± 1.3*	73.0 ± 1.7*	76.3 ± 1.3*	81.6 ± 1.5*
	Control	48.4 ± 1.9	67.6 ± 1.7	68.0 ± 1.4	75.5 ± 1.2
Total number of leaves, pcs.	Experiment	5.7 ± 0.3	6.6 ± 0.2	4.4 ± 0.1	4.7 ± 0.1
	Control	5.0 ± 0.4	6.4 ± 0.3	4.2 ± 0.1	4.5 ± 0.1
Sheet length, cm	Experiment	7.4 ± 0.3*	11.9 ± 0.3*	9.5 ± 0.2*	14.3 ± 0.3
	Control	5.3 ± 0.3	9.3 ± 0.4	8.6 ± 0.2	14.3 ± 0.3
Inflorescence length, cm	Experiment	11.0 ± 0.2	11.0 ± 0.4	8.8 ± 0.2*	10.2 ± 0.3
	Control	9.7 ± 0.2	10.1 ± 0.4	7.2 ± 0.2	9.9 ± 0.3
Number of spikelets	Experiment	16.3 ± 1.3*	14.9 ± 0.7	12.3 ± 0.3*	14.4 ± 0.4
	Control	13.0 ± 1.2	13.2 ± 0.6	9.9 ± 0.3	14.0 ± 0.3
Number of flowers	Experiment	25.7 ± 1.1	38.5 ± 2.8*	17.3 ± 1.3*	29.2 ± 1.3
	Control	25.2 ± 1.2	29.0 ± 1.7	12.5 ± 1.4	28.2 ± 1.4
Inflorescence weight, g	Experiment	0.147 ± 0.01*	0.130 ± 0.1*	0.102 ± 0.01	0.134 ± 0.01
	Control	0.112 ± 0.01	0.100 ± 0.1	0.092 ± 0.01	0.120 ± 0.01
Total shoot mass, g	Experiment	0.276 ± 0.07*	0.510 ± 0.03*	0.508 ± 0.03	0.618 ± 0.03
	Control	0.218 ± 0.08	0.450 ± 0.02	0.438 ± 0.02	0.577 ± 0.03

Результаты (Results)

Исследования показали, что использование МБП оказало положительное влияние на динамику ПП *B. inermis*, *E. fibrosus* в экспериментальных посевах (рис. 1).

Уже на второй год жизни ПП культур в опытных посевах с МБП было почти в 1,5 раза выше, чем в контроле. На 3-й год жизни в опыте отмечался рост ПП *E. fibrosus* до 25 %, в контроле – до 20 %. У *B. inermis* к четвертому году ПП в опыте составляло 32 %, в контроле – 25 %. Флюктуации ПП в разные

годы связаны с изменением погодно-климатических условий. Начиная с 8-го года отмечалось выравнивание показателей ПП по вариантам посева.

Исследования выявили влияние МБП на фазы развития *B. inermis* и *E. fibrosus*. Было установлено, что на 2-й год жизни у *B. inermis* в опытном варианте доля особей в фазе 3 листьев составляла 24 %, перешедших в фазу кушения – 48 %, у 28 % особей отмечалось начало выхода в трубку, тогда как в контроле наблюдалась задержка развития: это соотношение составляло 52 : 34 : 14.

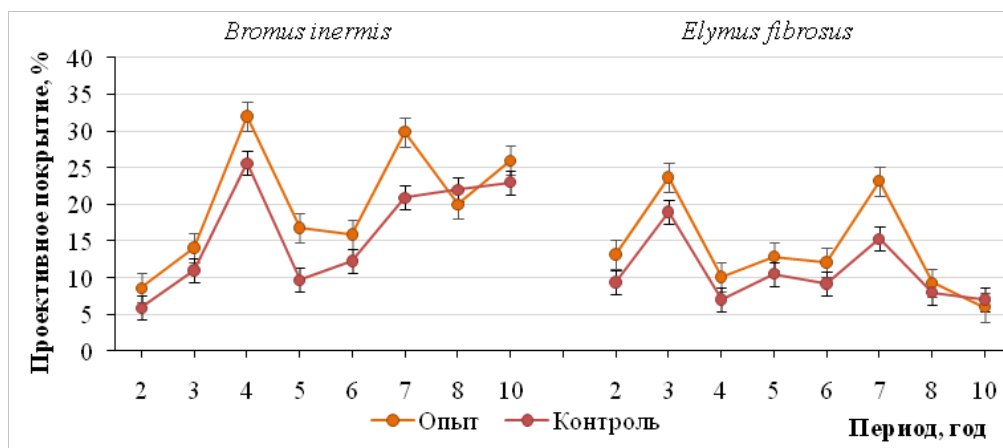


Рис. 1. Влияние микробиологического препарата на проективное покрытие

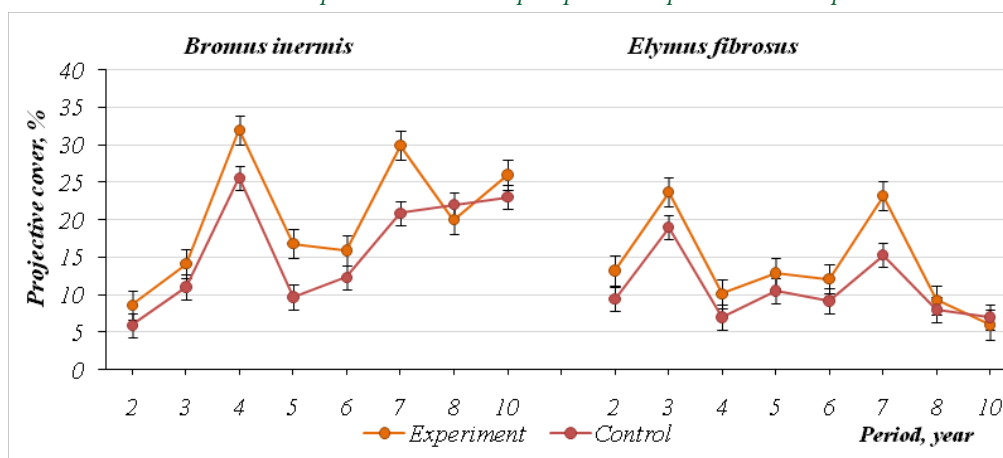


Fig. 1. The action of the microbiological preparation on the projective cover

У *E. fibrosus* на второй год развития в опытном варианте доля особей в фазе 3 листьев составляла 77 %, по 10 % особей перешли в фазы кущения и выхода в трубку, и 3 % достигли фазы колошения. В контроле, так же как и у *B. inermis*, наблюдалась задержка развития: долевое соотношение фаз развития составляло 85 : 4 : 10 : 1.

Анализ динамики морфологических параметров испытуемых видов показал, что средняя высота (рис. 2) и масса вегетативных побегов во все годы наблюдений в опытном варианте была больше, чем в контроле. Средняя сухая масса побегов *B. inermis* в период с 5-го по 10-й год составила в опыте $0,609 \pm 0,07$ г, в контроле – $0,518 \pm 0,05$ г; у *E. fibrosus* $0,257 \pm 0,03$ г и $0,199 \pm 0,009$ г соответственно.

Выявлено положительное влияние МБП на формирование генеративных побегов испытуемых злаков. Растения *E. fibrosus* перешли в фазу колошения в обоих вариантах на второй год жизни. Доля генеративных побегов у данного вида в опыте была выше, чем в контроле, в течение всего периода наблюдений (рис. 3). У *B. inermis* массовое появление генеративных побегов в обоих вариантах отмечалось на 3-й год жизни, с 3-го по 6-й год доля генеративных побегов в опытных вариантах была значительно (в 2–4 раза) выше, чем в контроле. К 10-му

году доли генеративных побегов в опытном и контрольном вариантах выравнивались.

Внесение МБП оказало влияние на морфологические показатели генеративных побегов *B. inermis* и *E. fibrosus*. В течение 10-летнего периода наблюдений высота, масса, длина листьев, а также параметры соцветий генеративных побегов исследуемых злаков были выше в опытном варианте по сравнению с контролем (таблица 1).

На основе корреляционного анализа была выявлена достоверно значимая связь между количеством и массой генеративных побегов *B. inermis* в контроле и годовым количеством осадков в районе исследований ($r = 0,83$; $r = 0,74$; $p < 0,05$ соответственно), т. е. зависимость *B. inermis* от увлажнения субстрата. Корреляционная связь количества и массы генеративных побегов *B. inermis* на опытном участке с годовой суммой осадков высока ($r = 0,63$; $r = 0,61$; $p < 0,05$), но статистически не значима, что свидетельствует об улучшении условий произрастания после внесением МБП и повышении устойчивости вида. Корреляционная связь количества и массы генеративных побегов *E. fibrosus* на опытном и контрольном участках с годовой суммой осадков статистически не значима. Это связано с тем, что *E. fibrosus* по сравнению с *B. inermis* – более засухоустойчивый вид.

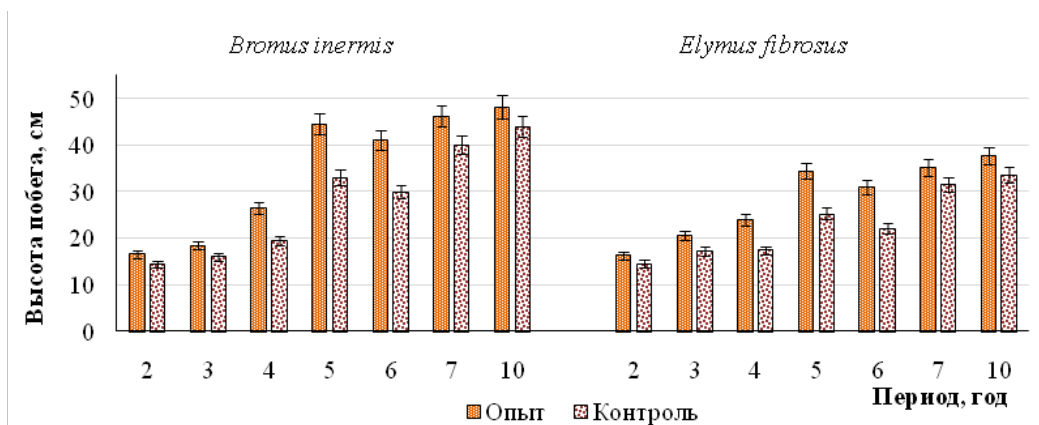


Рис. 2. Влияние микробиологического препарата на высоту вегетативных побегов

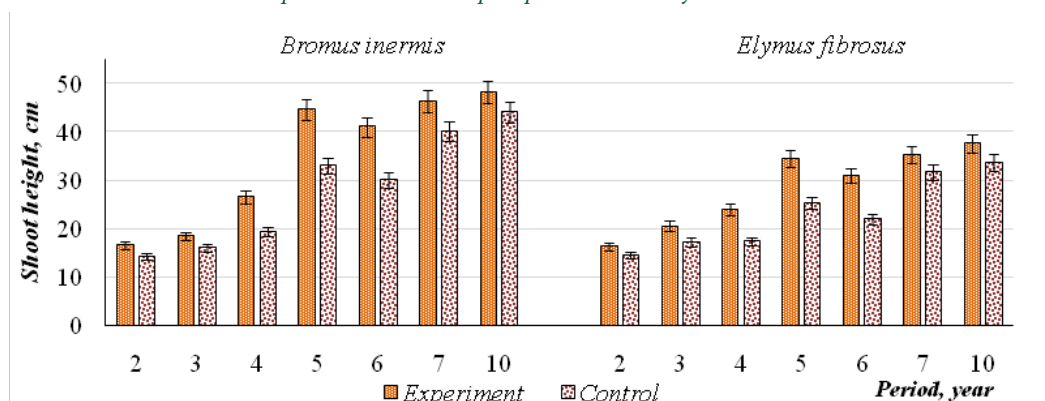


Fig. 2. The action of the microbiological preparation on the height of vegetative shoots

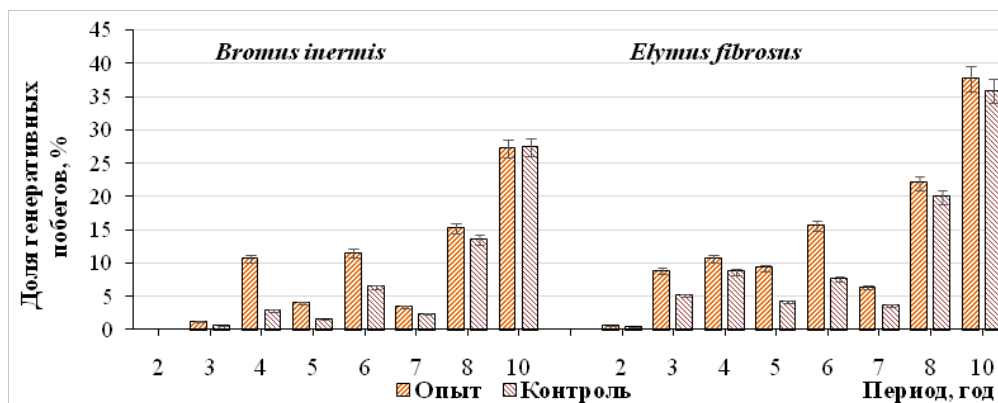


Рис. 3. Влияние микробиологического препарата на долю генеративных побегов от их общего числа

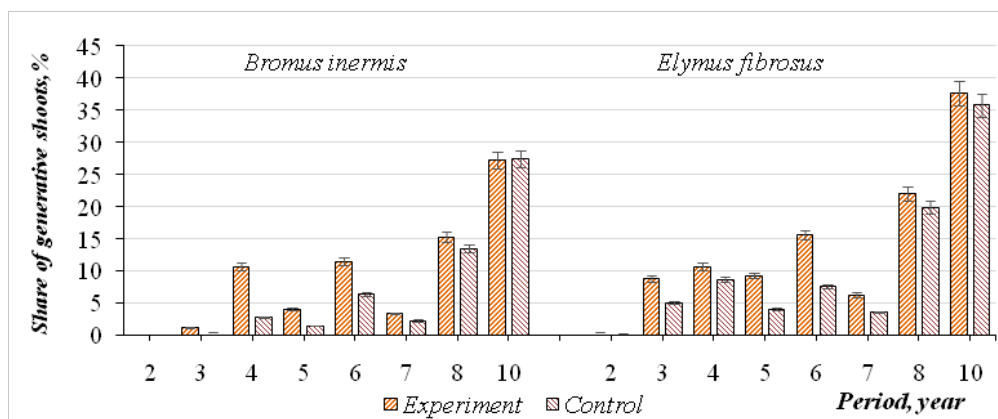


Fig. 3. The action of the microbiological preparation on the share of generative shoots from their total number

Внесение МБП оказало влияние на формирование посевов, в частности, на вселение на экспериментальные участки видов-внедренцев. В течение всех лет наблюдений в опытном варианте число вселившихся видов увеличилось с 17 до 30 видов, в контроле – с 12 до 27 видов. Сходство видового состава между вариантами выросло от $K_j = 0,38$ до $K_j = 0,66$ к 10-му году наблюдений. Первыми видами-внедренцами, вселившимися как в опытные, так и в контрольные посевы, наряду с сорно-рудеральными, были виды сем. Fabaceae Lindl.: *Trifolium repens* L., *Lathyrus pratensis* L., *Vicia cracca* L. Анализ трансформации экспериментальных посевов показал, что начиная с 5-го года как в опытном, так и в контрольном вариантах обилие этих видов росло. К 10-му году наблюдений в опытном варианте наряду с высеянными культурами доминировали такие виды, как *L. pratensis*, *Poa palustris* L. В контрольном варианте, кроме этих видов, содоминантом являлась *Tussilago farfara* L., наблюдалось более высокое обилие таких луговых видов, как *Leucanthemum vulgare* Lam., *T. repens*. Большинство других видов встречалось в вариантах в единичных

экземплярах. Обилие видов-внедренцев в опыте было выше, чем в контроле.

Положительное влияние МБП на динамику урожайности испытываемых злаков показано на рис. 4.

Анализ продуктивности 10-летних экспериментальных посевов травосмеси *B. inermis* и *E. fibrosus* показал, что общий вес воздушно-сухой надземной фитомассы в опыте ($2,8 \pm 0,1$ ц/га) был на 13 % больше, чем в контроле ($2,4 \pm 0,1$ ц/га). Анализ структуры наземной фитомассы по хозяйственным группам показал, что значительную долю в обоих вариантах (63,4 и 55,6 % соответственно) составляли виды бобовых – в основном за счет высокой доли *L. pratensis* (60,0 и 47,5 %). На злаки (*B. inermis*, *E. fibrosus*, *P. palustris*, *Elytrigia repens* (L.) Desv.ex Nevski в опыте приходилось 34,4 % (23,2 % – *B. inermis*; 8,4 % – *E. fibrosus*), в контроле – 36,2 % (31,1 % – *B. inermis*, 4,0 % – *E. fibrosus*), разнотравье составляло 3,2 % и 8,2 % соответственно. В контрольном варианте значительная доля (6,0 %) приходилась на *T. farfara*. Продуктивность экспериментальных посевов в условиях гидроотвала сопоставима с продуктивностью естественных луговых сообществ.

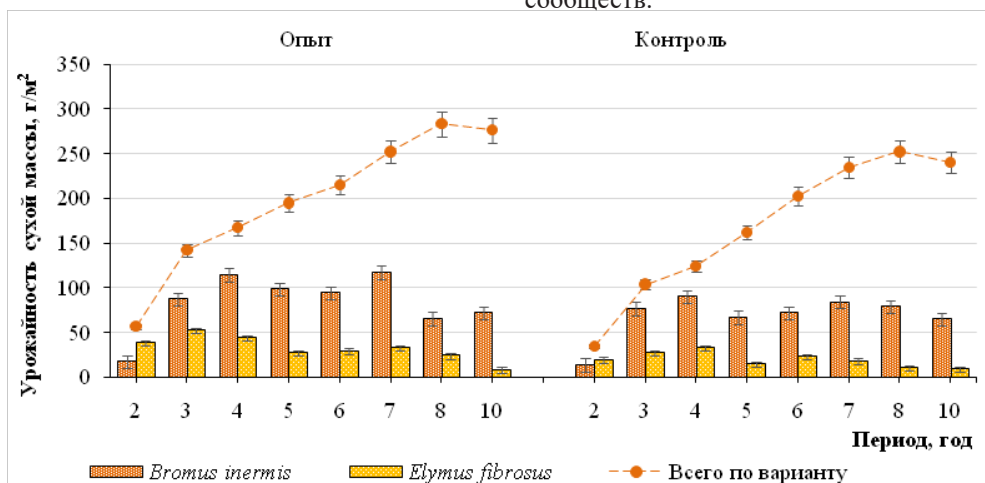


Рис. 4. Влияние микробиологического препарата на урожайность экспериментальных посевов

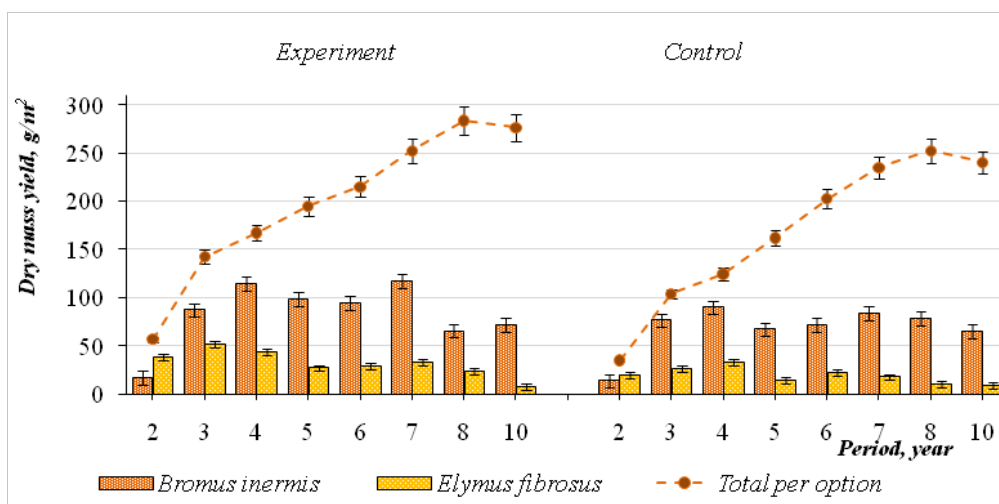


Fig. 4. The action of the microbiological preparation on the yield of experimental crops

Таблица 2

Динамика агрохимических показателей субстрата экспериментальных посевов

Вариант	pH	N, %	P ₂ O ₅ , мг / 100 г	K ₂ O, мг / 100 г	Гумус, %
До посева					
Экспериментальные участки	4,8	0,009	0,06	5,10	0,36
10-й год наблюдений					
Опыт	5,6	0,062	2,52	16,40	2,28
Контроль	5,1	0,050	0,95	11,70	1,61

Table 2

Dynamics of agrochemical indicators of the experimental crops substrate

Variant	pH	N, %	P ₂ O ₅ , mg / 100 g	K ₂ O, mg / 100 g	Humus, %
Before sowing					
Experimental sites	4.8	0.009	0.06	5.10	0.36
10th year of observations					
Experiment	5.6	0.062	2.52	16.40	2.28
Control	5.1	0.050	0.95	11.70	1.61

Важным показателем, характеризующим посевные качества семян, является масса 1000 семян. Показатели массы 1000 семян к 5-му году наблюдений у *B. inermis* в опыте и контроле составили $3,72 \pm 0,01$ г и $3,45 \pm 0,03$ г соответственно, у *E. fibrosus* – $4,30 \pm 0,12$ г и $3,60 \pm 0,11$ г. Полученные в экспериментальных посевах данные близки к литературным [4, с. 661].

От посевных качеств семян во многом зависят урожайность, долговечность, устойчивость видов, их самовозобновление. Исследования показали, что семена испытываемых видов к 5-му году наблюдений в опытном варианте имели более высокие показатели всхожести, чем в контроле: *B. inermis* – 74,0 и 64,5 % соответственно, *E. fibrosus* – 96,0 и 90,0 %.

В процессе исследований отмечена натурализация изучаемых видов за пределами экспериментальных посевов: *E. fibrosus* за 10 лет распространился по всей территории гидроотвала, *B. inermis* – преимущественно по дамбам и откосам. Исследования показали, что в посевах на глинистый субстрат *B. inermis* и *E. fibrosus* характеризуются длительным периодом существования благодаря хорошему вегетативному и семенному возобновлению.

Динамика изменений агрохимических показателей за 10-летний период представлена в таблице 2.

Выявлено, что за период наблюдений накопление в субстрате основных элементов питания в опытном варианте с применением МБП происходило более интенсивно, и к 10-му году отмечались такие изменения как некоторое раскисление среды

(до слабокислой), почти в 1,6 раза выросло содержание общего азота, в 2 раза – доступных форм фосфора и калия, значительно (в 5 раз) – гумуса.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведения мониторингового исследования в течение 10 лет была выявлена эффективность однократного внесения микробиологического препарата БИОР-АВ на формирование посевов *E. fibrosus* и *B. inermis*, на развитие и рост побегов испытываемых культур, состав и продуктивность агроценозов, посевные качества семян, агрохимические свойства субстрата.

Установлено, что посев травосмеси *E. fibrosus* и *B. inermis* с внесением микробиологического препарата в условиях малопригодного по содержанию элементов питания растений субстрата даже при отсутствии мероприятий по уходу (подкормка и т. д.) ускоряет формирование продуктивных агроценозов.

Изученная травосмесь многолетних злаковых трав *E. fibrosus*, *B. inermis* может представлять интерес для использования при создании агроценозов на малопригодных глинистых субстратах и при биологической рекультивации территорий глинистых гидравлических полигонов без нанесения слоя почвы, торфа или потенциально плодородных пород.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2023-0019.

Библиографический список

1. Стратегия развития агропромышленного комплекса Свердловской области на период до 2035 года. Постановление правительства Свердловской области № 386-ПП от 28.06.2019 г. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/561427328> (дата обращения: 15.09.2023).
2. Научно обоснованная зональная система земледелия Свердловской области: коллективная монография (дополненная, переработанная) / Под общ. ред. д. с.-х. н. Н. Н. Зезина. Екатеринбург: ООО «Джи Лайм», 2020. 372 с.

3. Акименко А. С. Формирование севооборотов и структуры посевных площадей для получения заданного количества продукции с учетом природно-ресурсного потенциала // Земледелие. 2020. № 4. С. 19–21. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10405.
4. Тимошкин О. А., Тришина В. А. Влияние способа посева и нормы высева на формирование агроценоза и урожайность семян костреца безостого // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (4). С. 656–663. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.656-663.
5. Карлова И. В. Совершенствование приемов возделывания и использования поливидовых сенокосно-пастбищных травостоев с кострцом безостым в условиях лесостепи Среднего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2019. 232 с.
6. Шипилов И. А., Хонина О. В. Высокопродуктивные травосмеси для улучшения выродившихся сенокосных и пастбищных травостоев // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4 (15). С. 16–27. DOI: 10.25930/2687-1254/002.4.15.2022.
7. Vlasenko M. V., Rybashlykova L. P., Turko S. Y. Restoration of Degraded Lands in the Arid Zone of the European Part of Russia by the Method of Phytomelioration // Agriculture. 2022. Vol. 12. No. 3. DOI: 10.3390/agriculture12030437.
8. Власенко М. В., Турко С. Ю., Рыбашлыкova Л. П. Эффективные технологии восстановления деградированных земель и создания высококачественных сенокосов в бассейне реки Дон // Аграрный вестник Урала. 2023. № 05 (234). С. 14–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-14-25.
9. Осипенко Р. А., Зарипов Ю. В., Залесов С. В. Рекультивированные земли как резерв кормовой базы животноводства // Аграрный вестник Урала. 2021. № 05 (208). С. 40–54. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-40-54.
10. Зезин Н. Н., Постников П. А., Тормозин М. А., Пономарёв А. Б. Урожайность клевера лугового в зависимости от агроклиматических условий Среднего Урала // Кормопроизводство. 2020. № 6. С. 20–24.
11. Демина И. Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (4). С. 433–440. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440.
12. Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий в условиях Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (6). С. 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859.
13. Рассохина И. И., Платонов А. В., Лаптев Г. Ю., Черникова Н. В. Продуктивность клеверотимофеечной травосмеси при использовании микробиологических препаратов // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 41–47. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp41-47.
14. Михайлова Н. Н., Елисева Л. В., Елисеев И. П. Применение подкормки микробиологическими препаратами «Азотовит» и «Фосфатовит» на посевах гороха // Аграрный вестник Урала. 2022. № 02 (217). С. 12–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-12-22.
15. Teng Z., Chen Z., Zhang Q., Yao Y., Song M., Li M. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soils of the Yeyahu Wetland in Beijing, China // Environmental Science and Pollution Research. 2019. No. 26. Pp. 33976–33987. DOI: 10.1007/s11356-018-2955-5.
16. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S. C. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2021. No. 21. Pp. 49–68. DOI: 10.1007/s42729-020-00342-7.
17. Astriani M., Zubaidah S., Abadi A. L., Suarsini E. Pseudomonas plecoglossicida as a novel bacterium for phosphate solubilizing and indole-3-acetic acid-producing from soybean rhizospheric soils of East Java, Indonesia // Biodiversitas. 2020. No. 21. Pp. 578–586. DOI: 10.13057/biodiv/d210220.
18. Phyu K., Myo M., San S., Zaw K., Lynn T. Study on Plant Growth Promoting Activities of Azotobacter Isolates for Sustainable Agriculture in Myanmar // Journal of Biotechnology & Bioresearch. 2019. Vol. 1. No. 5. Pp. 1–6.
19. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture // Sustainability. 2021. Vol. 13 (19). Article number 10986. DOI: 10.3390/su131910986.

Об авторах:

Елена Ивановна Филимонова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем, ORCID 0000-0001-6937-0139, AuthorID 119043; +7 908 925-56-19, elena.filimonova@urfu.ru

Маргарита Александровна Глазырина¹, кандидат биологических наук, доцент по специальности «экология», старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем, ORCID 0000-0001-8258-270X, AuthorID 119044; +7 922 105-50-81, Margarita.Glazyrina@urfu.ru

Наталья Валентиновна Лукина¹, кандидат биологических наук, доцент по специальности «Экология», старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем,

ORCID 0000-0001-6425-6214, AuthorID 119042; +7 904 160-13-85, natalia.lukina@urfu.ru

Михаил Юрьевич Карпукhin², кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и инновациям, ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196; +7 912 253-04-13, mkarpukhin@yandex.ru

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцин, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

References

1. Strategiya razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Sverdlovskoy oblasti na period do 2035 goda. Postanovleniye pravitel'stva Sverdlovskoy oblasti № 386-PP ot 28.06.2019 g. [Development strategy of the agro-industrial complex of the Sverdlovsk region for the period up to 2035. Resolution of the Government of the Sverdlovsk region] [e-resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561427328> (date of reference: 15.09.2023). (In Russian.)
2. Nauchno obosnovannaya zonal'naya sistema zemledeliya Sverdlovskoy oblasti: kollektivnaya monografiya (dopolnennaya, pererabotannaya) [Scientifically based zonal system of agriculture of the Sverdlovsk region: collective monograph (supplemented, revised)] / Under the general editorship of doctor of agricultural sciences N. N. Zezin. Ekaterinburg: ООО "Dzhi Laym", 2020. 372 p. (In Russian.)
3. Akimenko A. S. Formirovaniye sevooborotov i struktury posevnykh ploshchadey dlya polucheniya zadannogo kolichestva produktsii s uchetom prirodno-resurnogo potentsiala [Formation of crop rotations and structure of sown areas for obtaining the given quantity of product taking into account natural resource potential] // Zemledelie. 2020. No. 4. Pp. 19–21. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10405. (In Russian.)
4. Timoshkin O. A., Trishina V. A. Vliyaniye sposoba poseva i normy vyseva na formirovaniye agrotsenoza i urozhaynost' semyan kostretsya bezostogo [Influence of the sowing method and seeding rate on the formation of agrocenosis and seed yield of awnless brome] // Agricultural Science Euro-North-East. 2023. No. 24 (4). Pp. 656–663. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.656-663. (In Russian.)
5. Karlova I. V. Sovershenstvovaniye priyemov vozdeleyvaniya i ispol'zovaniya polividyovnykh senokosnopastbishchnykh travostoyev s kostretsom bezostym v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya: dis. ... kand. s.-kh. nauk [Improvement of methods of cultivation and use of poly-species hay-pasture herbage with boneless stalk in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region: dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Kinel': Samarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2019. 232 p. (In Russian.)
6. Shipilov I. A., Khonina O. V. Vysokoproduktivnyye travosmesi dlya uluchsheniya vyrodivshikhsya senokosnykh i pastbishchnykh travostoyev [High yielding grass mixtures for the improvement of hay and pasture plant stands] // Agricultural journal. 2022. No. 4 (15). Pp. 16–27. DOI: 10.25930/2687-1254/002.4.15.2022. (In Russian.)
7. Vlasenko M. V., Rybashlykova L. P., Turko S. Y. Restoration of Degraded Lands in the Arid Zone of the European Part of Russia by the Method of Phytomelioration // Agriculture. 2022. Vol. 12. No. 3. DOI: 10.3390/agriculture12030437.
8. Vlasenko M. V., Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Effektivnye tekhnologii vosstanovleniya degradirovannykh zemel' i sozdaniya vysokokachestvennykh senokosov v bassejne reki Don [Effective technologies of restoration of degraded lands and creation of high-quality haymaking in the Don river basin] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 05 (234). Pp. 14–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-14-25. (In Russian.)
9. Osipenko R. A., Zaripov Yu. V., Zalesov S. V. Rekul'tivirovannyye zemli kak rezerv kormovoy bazy zhivotnovodstva [Recultivated lands as a reserve for livestock feed] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 05 (208). Pp. 40–54. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-40-54. (In Russian.)
10. Zezin N. N., Postnikov P. A., Tormozin M. A., Ponomarev A. B. Urozhaynost' klevera lugovogo v zavisimosti ot agroklimaticheskikh usloviy Srednego Urala [Red clover productivity affected by climatic conditions of the Middle Urals] // Fodder Production. 2020. No. 6. Pp. 20–24. (In Russian.)
11. Demina I. F. Vliyaniye pogodnykh usloviy na urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Agricultural Science Euro-North-East. 2022. No. 23 (4). Pp. 433–440. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440. (In Russian.)
12. Fomin D. S., Yarkova N. N., Polyakova S. S. [Yield of spring barley depending on the hydrothermal conditions of vegetation in the conditions of the Middle Trans-Urals] // Agricultural Science Euro-North-East. 2022. No. 23 (6). Pp. 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859. (In Russian.)
13. Rassokhina I. I., Platonov A. V., Laptev G. Yu., Chernikova N. V. Produktivnost' kleverotimofeychnoy travosmesi pri ispol'zovanii mikrobiologicheskikh preparatov [Productivity of the clover and timothy mixture

when applying microbiological preparations] // Agrarian Scientific Journal. 2023. Vol. 1. Pp. 41–47. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp41-47. (In Russian.)

14. Mikhaylova N. N., Eliseeva L. V., Eliseev I. P. Primenenie podkormki mikrobiologicheskimi preparatami “Azotovit” i “Fosfatovit” na posevakh gorokha [Application of fertilizing with microbiological preparations “Azotovit” and “Fosfatovit” on pea crops] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 02 (217). Pp. 12–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-12-22. (In Russian.)

15. Teng Z., Chen Z., Zhang Q., Yao Y., Song M., Li M. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soils of the Yeyahu Wetland in Beijing, China // Environmental Science and Pollution Research. 2019. No. 26. Pp. 33976–33987. DOI: 10.1007/s11356-018-2955-5.

16. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S. C. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2021. No. 21. Pp. 49–68. DOI: 10.1007/s42729-020-00342-7.

17. Astriani M., Zubaidah S., Abadi A. L., Suarsini E. Pseudomonas plecoglossicida as a novel bacterium for phosphate solubilizing and indole-3-acetic acid-producing from soybean rhizospheric soils of East Java, Indonesia // Biodiversitas. 2020. No. 21. Pp. 578–586. DOI: 10.13057/biodiv/d210220.

18. Phyu K., Myo M., San S., Zaw K., Lynn T. Study on Plant Growth Promoting Activities of Azotobacter Isolates for Sustainable Agriculture in Myanmar // Journal of Biotechnology & Bioresearch. 2019. Vol. 1. No. 5. Pp. 1–6.

19. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture // Sustainability. 2021. Vol. 13 (19). Article number 10986. DOI: 10.3390/su131910986.

Authors' information:

Elena I. Filimonova¹, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of anthropogenic ecosystem dynamics, ORCID 0000-0001-6937-0139, AuthorID 119043; +7 908 925-56-19, elena.filimonova@urfu.ru

Margarita A. Glazyrina¹, candidate of biological sciences, associate professor specializing in ecology, senior researcher at the laboratory of anthropogenic ecosystem dynamics, ORCID 0000-0001-8258-270X, AuthorID 119044; +7 922 105-50-81, Margarita.Glazyrina@urfu.ru

Nataliya V. Lukina¹, candidate of biological sciences, associate professor specializing in ecology, senior researcher at the laboratory of Anthropogenic ecosystem dynamics, ORCID 0000-0001-6425-6214, AuthorID 119042; +7 904 160-13-85, natalia.lukina@urfu.ru

Mikhail Yu. Karpukhin², candidate of agricultural sciences, vice rector for scientific work and innovations, ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196; +7 912 253-04-13, mkarpuhin@yandex.ru

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia