

Действие экспериментального препарата, созданного на основе бактерий *Lactobacillus buchneri*, на рост и продуктивность овса посевного

И. И. Рассохина¹, С. В. Ерегина¹, А. В. Платонов^{1,2} ✉

¹ Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

² Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, Россия

✉ E-mail: platonov70@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – продемонстрировать возможность внедрения экспериментального микробиологического препарата, основой которого являются живые молочно-кислые бактерии *Lactobacillus buchneri* (концентрация клеток не менее 10^8 КОЕ/мл), в практику растениеводства и кормопроизводства для увеличения морфофизиологических и продуктивных параметров овса посевного сорта Лев в почвенно-климатических условиях Северо-Запада России. **Методы.** Научно-исследовательская работа осуществлялась в вегетационные периоды 2020–2022 гг. в рамках постановки мелкоделяночных полевых экспериментов на опытном поле Вологодского научного центра РАН. Внесение биопрепарата проводилось двукратно: предпосевная инокуляция семян в течение двух часов в рабочем растворе препарата (1 мл/л) и опрыскивание по филлосфере на стадии кущения овса раствором препарата (1 л/га). Оценка морфофизиологических параметров овса осуществлялась на разных фазах вегетации: подсчитывали количество побегов и листьев растений, измеряли сырую и сухую массу, а также содержание фотосинтетических пигментов в листьях путем спектрофотометрического анализа. В конце вегетации проводили учет зерновой продуктивности овса. **Научная новизна.** Впервые в условиях Вологодской области, которая является модельным регионом Северо-Запада России, продемонстрирована возможность использования экспериментального препарата, основа которого – молочно-кислые бактерии *L. buchneri*, для активации ростовых и увеличения продуктивных показателей овса. **Результаты.** Использование анализируемого препарата способствовало активации ростовых процессов овса, на что указывают большие морфометрические параметры опытных растений относительно контроля: в работе отмечено превосходство по сырой и сухой массе опытных растений в фазу выметывания на 18–37 % и на 16–48 % соответственно. Кроме того, показано, что по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях опытные растения опережают контроль на 11–21 %. Зерновая продуктивность опытных растений овса превзошла контроль на 13–29 %. В целом препарат показал лучшую эффективность действия в сезоны с более влажными и теплыми условиями (2020 и 2022 гг.).

Ключевые слова: *Lactobacillus*, овес, *Avena sativa*, рост, зерновая продуктивность, хлорофилл

Для цитирования: Рассохина И. И., Ерегина С. В., Платонов А. В. Действие экспериментального препарата, созданного на основе бактерий *Lactobacillus buchneri* на рост и продуктивность овса посевного // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1613–1623. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1613-1623>.

Дата поступления статьи: 17.04.2024, **дата рецензирования:** 10.09.2024, **дата принятия:** 27.09.2024.

Effect of experimental preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on growth and productivity of oats (*Avena sativa*)

I. I. Rassokhina¹, S. V. Eregina¹, A. V. Platonov^{1, 2} ✉

¹ Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

² Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, Russia

✉ E-mail: platonov70@yandex.ru

Abstract. The purpose of the research was to study the effect of the experimental preparation based on live bacteria *Lactobacillus buchneri* on the parameters of sown oats in soil and climatic conditions of the North-West Russia. The objectives of the work were to evaluate the effect of the experimental preparation on the growth parameters of plants, as well as grain yield of the crop. **Methods.** The experiment was carried out in the framework of microplot field trial in 2020–2022 in Vologda Research Center of RAS. The object of the study was sown oats of Lev variety. Before sowing, seeds of the experimental variant were inoculated in the working solution of the experimental preparation at a concentration of 1 ml of the preparation per 1 liter of water for 2 hours; the content of live bacteria of the original strain was at least 1×10^8 CFU in 1 ml of the preparation. Secondary application of bacteria was carried out on vegetative organs of plants in tillering phase (in concentration of 1 liter of preparation per ha). **Scientific novelty.** The study of the preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on sown oats was carried out for the first time. **Results.** The application of the experimental preparation promoted the activation of growth processes of oats, as evidenced by slightly higher weight indices of experimental plants relative to the control. The research results show the increase of crude and dry weight of experimental plants relative to control plants in the heading phase by 18–37 % and by 16–48 % respectively, as well as the increase of photosynthetic pigments content in leaves of experimental plants relative to control by 11–21 %. Grain productivity of experimental oat plants exceeded the control by 13–29 %. In general, the preparation revealed better efficiency of action in seasons with wetter and warmer conditions (2020 and 2022).

Keywords: *Lactobacillus*, oats, *Avena sativa*, growth, grain productivity, chlorophyll

For citation: Rassokhina I. I., Eregina S. V., Platonov A. V. Effect of experimental preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on growth and productivity of oats (*Avena sativa*). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1613–1623. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1613-1623>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.04.2024, **date of review:** 10.09.2024, **date of acceptance:** 27.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 28.02.2024 № 145) является увеличение посевных площадей, где агропроизводство обеспечивает получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции, что согласуется и со Стратегией развития производства органической продукции до 2030 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 04.07.2023 № 1788-р). При этом вопрос повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, особенно в Нечерноземной зоне России, где агроклиматические условия не позволяют культурам полностью реализовать свой генетически запрограммированный потенциал, является довольно актуальным.

Использование микробиологических препаратов, отвечая требованиям экологизации производства, способно активизировать рост и повысить

продуктивность сельскохозяйственных культур. Однако ассортимент биологических препаратов, используемых в практике в настоящее время, крайне мал [1], а, например, доля сельскохозяйственных организаций Европейского Севера России, где применяются биологические методы защиты растений, составляет всего 9,4 % [2].

Бактерии являются естественными производителями более 300 химических соединений, среди которых обнаружены ИУК, цианистый водород, 2,4-ДАФГ, сидерофоры, пирролнитрин, феназины, глюконовая кислота, липопептиды и прочие [3–5]. Существует множество исследований, которые подтверждают способность представителей родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, относящихся к PGPR-организмам, подавлять рост фитопатогенов и стимулировать рост хозяйственно значимых культур. Например, в исследованиях О. В. Сырмолот и Н. С. Кочева показано ростостимулирующее действие опытных образцов препаратов, основа ко-

торых – штаммы *Bacillus subtilis* BZR 336g и BZR 517, а также *Pseudomonas* sp. BZR 245-F. Отмечается, что действие штаммов в разных комбинациях, с одной стороны, сдерживает развитие корневой гнили и снижает заболеваемость на 8,5–17,4 %, с другой – увеличивает высоту растений на 3,0–11,6 м, количество листьев на 4,1–4,9 % и клубеньков сои на 9,8–38,4 %, массу семян на 10,2–33,4 % и урожайность культуры на 7,7–38,5 % [6].

Интерес к изучению бактерий, вызывающих молочнокислое брожение, в сельском хозяйстве в первую очередь связан с их участием в заготовке объемистых кормов [7–8]. Так, применение биоконсервантов, основа которых – живые молочнокислые бактерии, необходимо при заготовке кормов из трудносилосуемых трав. Использование жидких заквасок, созданных из микроорганизмов, способных к молочнокислому брожению, при силосовании может повысить сохранность питательных веществ кормов в течение всего периода хранения. Основным механизмом обеспечения сохранности кормов – нормализация процесса брожения, снижение уровня кислотности и подавление роста нежелательной микрофлоры в биомассе [9].

При этом их возможная роль в стимулировании роста и развитии сельскохозяйственных культур практически не изучена. Высокая конкурентоспособность молочнокислых бактерий, обеспечивает им преимущество в эффективном взаимодействии с ризосферой растений и позволяет успешно существовать в почве. Так, показано, что представители рода *Lactobacillus* способны нивелировать действие стрессоров и патогенов на растительные культуры [10–12], а также ускорять достижение более поздних фаз вегетации в более ранние сроки и активировать рост культур [12]. Безусловно, подавление развития фитопатогенов и стимуляция роста растений молочнокислыми бактериями объясняется их способностями к синтезу ряда органических кислот [13; 14], например, валериановой и масляной, а также синтезом фитогормонов группы ауксина [15], что оказывает влияние на клеточный метаболизм, развитие, накопление сухого вещества и скорость ростовых процессов [16].

Овес посевной (*Avena sativa* L.) занимает второе по значимости положение среди зерновых культур Вологодской области. С относительной долей возделывания в пределах 18–22 % (от зерновых культур) овес становится неотъемлемой составляющей сельскохозяйственного комплекса области. Интерес к овсу в контексте Нечерноземной зоны России, с ее переменчивым климатом, преимущественно обусловлен устойчивостью данного растения к различным почвенным и агроклиматическим условиям. Основное назначение овса на территории области – кормовая культура для КРС, при этом зерно широко применяют в качестве концентрированного

корма для животных, а также используют как сырье для производства комбикормов. Высокая питательная ценность зерна овса обусловлена высоким содержанием легко усвояемых протеинов (12–13 %), углеводистых соединений (40–45 %), а также зерно содержит в своем составе до 5 % липидов [17]. Кроме того, овес входит в состав двух- и трехкомпонентных однолетних травосмесей для заготовки высокоэнергетических объемистых кормов.

Цель исследования – продемонстрировать возможность внедрения экспериментального препарата, основа которого – живые молочнокислые бактерии *Lactobacillus buchneri*, в практике растениеводства и кормопроизводства для увеличения морфобиологических и продуктивных параметров овса посевного в почвенно-климатических условиях Северо-Запада России.

Задачи исследования:

- оценить влияние изучаемого препарата на весовые и метрические параметры овса, а также содержание в его листьях фотосинтетических пигментов;
- провести оценку структуры урожая и зерновой продуктивности овса при внесении изучаемого препарата.

Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальный микробный препарат, используемый в работе, создан коллегами из российской научно-производственной компании ООО «Биотроф» на основе живых молочнокислых бактерий *Lactobacillus buchneri* в концентрации клеток не менее 10^8 КОЕ/мл. При производстве препарата культивирование микроорганизмов осуществлялось на среде с 2-процентной свекловичной патокой и минеральными солями, где источником азота являлся нитрат натрия.

Научно-исследовательская работа осуществлялась на поле Вологодского научного центра Российской академии наук в 2020–2022 гг., в качестве тест-культуры был выбран овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Лев. Используемый в исследованиях сорт допущен к применению в Северо-Западном регионе Российской Федерации, что являлось основным критерием выбора. Почвы опытного участка являлись осушенными, а также имели дерново-подзолистую структуру и среднесуглинистый состав. Результаты химического анализа почвы представлены в таблице 1. Анализируя значения оцениваемых показателей почвы, можно отметить, что уровень плодородия опытного участка по азоту довольно низкий.

Посев семян осуществлялся в соответствии с принятыми в агрономии нормами высева (500 семян на 1 м^2) в трехкратной повторности на делянки площадью 2 м^2 . Внесение биопрепарата осуществлялось дважды: предпосевная инокуляция семян два часа в растворе препарата в концентрации

1 мл/л и опрыскивание вегетативных органов в стадию кушения раствором препарата в концентрации 1 л/га (расход раствора – 300 л/га). Для приготовления раствора препарата использовали водопроводную воду. Внесение иных средств, в т. ч. химических, при проведении опыта не осуществлялось.

В исследовании весовых и метрических параметров овса посевного на различных стадиях вегетации проводился комплексный анализ, включающий измерение сырой и сухой массы растений, подсчет числа листьев и побегов кушения. Оценка содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях растений осуществлялась на этапах кушения и выметывания с применением

спектрофотометрического метода анализа, при извлечении пигментов использовался 85-процентный раствор ацетона. В заключительной фазе вегетации отбирали сноповый материал, далее в лабораторных условиях осуществляли оценку структуры урожая: продуктивную кустистость, массу 1000 зерновок и общую зерновую продуктивность культуры.

Все лабораторные исследования и камеральную обработку полученных данных проводились в Вологодском научном центре Российской академии наук. Статистический анализ результатов осуществляли, используя пакет анализа данных программы MS Excel 2010, где показатель доверительной вероятности – 0,95.

Таблица 1
Результаты химического анализа почвы опытного поля

Показатель	Значение
Массовая доля влаги, %	5,9 ± 0,4
Азот нитратный, мг/кг	11,5 ± 2,3
Азот аммиачный, мг/кг	1,6 ± 0,2
Массовая доля подвижного калия, мг/кг	143,5 ± 21,5
Массовая доля подвижного фосфора, мг/кг	179,0 ± 35,8
pH солевой вытяжки, ед.	5,2 ± 0,1

Примечание. Составлено по результатам химического анализа почвы в ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Вологодский».

Table 1
Results of chemical analysis of the soil of the experimental field

Indicator	Value
Mass fraction of moisture, %	5.9 ± 0.4
Nitrate nitrogen, mg/kg	11.5 ± 2.3
Ammonia nitrogen, mg/kg	1.6 ± 0.2
Mass fraction of mobile potassium, mg/kg	143.5 ± 21.5
Mass fraction of mobile phosphorus, mg/kg	179.0 ± 35.8
pH of salt extract, units	5.2 ± 0.1

Note. Compiled according to results of chemical analysis of federal state budgetary institution state center of agrochemical service "Vologodskiy".

Таблица 2
Погодные условия вегетационного периода по годам исследований

Период	2020		2021		2022		Норма	
	T, °C	Количество осадков, мм						
Май	9,0	137,0	12,1	65,0	8,0	65,0	11,0	41,4
Июнь	16,0	61,0	19,1	31,0	16,0	61,0	14,5	59,6
Июль	17,0	142,0	19,1	27,0	19,2	81,0	17,9	66,3
Август	14,1	71,0	16,0	139,0	19,3	27,0	15,2	70,5
Вегетативный период	14,0	411,0	16,6	262,0	15,6	234,0	14,7	237,8

Примечание. T – температура. Норма рассчитывалась на основании средних показателей за период 2000–2019 гг.

Table 2
Weather conditions of the growing season by year of research

Period	2020		2021		2022		Long-term norm	
	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm
May	9.0	137.0	12.1	65.0	8.0	65.0	11.0	41.4
June	16.0	61.0	19.1	31.0	16.0	61.0	14.5	59.6
July	17.0	142.0	19.1	27.0	19.2	81.0	17.9	66.3
August	14.1	71.0	16.0	139.0	19.3	27.0	15.2	70.5
Growing season	14.0	411.0	16.6	262.0	15.6	234.0	14.7	237.8

Note. T – temperature. The long-term norm was calculated based on average indicators for the period 2000–2019.

Результаты (Results)

Количество осадков и температурный режим оказывают существенное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В Нечерноземной зоне России погодные условия переменчивы, что часто является лимитирующим фактором для получения высокого урожая. В 2020–2022 гг. погодные условия существенно отличались как между собой, так и от усредненных показателей вегетационных периодов 2000–2019 гг. (таблица 2). Например, в мае 2020 года температура значительно отставала от расчетной нормы, различия достигали 2 °С. При этом чрезмерное увлажнение привело к отсрочке сроков посева на более поздние даты, что негативно сказалось на прорастании семян и развитии проростков. Дефицитное увлажнение при высоких температурах в период интенсивного накопления вегетативной массы растений (июнь – июль) – основной ограничивающий фактор вегетационного периода 2021 года. Вегетационный же период 2022 года в сравнении с другими годами оказался наиболее благоприятным для роста и развития овса.

Итак, в целом период вегетации 2020 года можно охарактеризовать как сырой и умеренно теплый с прохладным маем, 2021 года – жаркий и сухой с сырым августом, 2022 года – умеренно теплый и влажный с холодным маем и сухим августом.

В начале вегетации овса общая кустистость варианта с внесением экспериментального препарата имела тенденцию к превосходству над контролем на 8–21 %, по количеству листьев – на 2–4 %, по сырой массе – на 2–8 %, по сухой массе – на 1–9 % (таблица 3). Учитывая, что май 2020 и 2022 годов был сырым и холодным, ожидаемо, что растения в начале вегетации 2021 года оказались лучше развиты (больше масса и количество листьев).

В фазу выметывания наблюдается достоверное превосходство растений опытных вариантов над контрольными (таблица 4). Так, при внесении экспериментального биопрепарата в 2020 году сухая масса превзошла контрольные значения на 16 %, в 2021 году – на 18 %, в 2022 году – на 48 %, показатели сырой массы в опытных вариантах были больше контроля на 18–37 %.

Таблица 3

Ростовые параметры овса в фазу начала кущения

Вариант опыта	Общая кустистость, шт.	Количество листьев, шт.	Сырая масса растения, г	Сухая масса растения, г
2020 год				
Контроль	1,4 ± 0,10	5,3 ± 0,2	0,74 ± 0,01	0,138 ± 0,002
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,7 ± 0,20	5,5 ± 0,2	0,80 ± 0,04*	0,151 ± 0,008*
2021 год				
Контроль	1,4 ± 0,20	6,3 ± 0,3	1,26 ± 0,10	0,220 ± 0,016
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,6 ± 0,15	6,5 ± 0,4	1,36 ± 0,08	0,232 ± 0,014
2022 год				
Контроль	1,2 ± 0,10	4,4 ± 0,2	0,57 ± 0,04	0,109 ± 0,008
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,3 ± 0,05	4,5 ± 0,2	0,58 ± 0,05	0,110 ± 0,008

Примечание. * Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P \geq 0,95$.

Table 3

Growth parameters of oats at the beginning of tillering phase

Experimental variant	Total bushiness, pcs.	Number of leaves, pcs.	Wet weight of the plant, g	Dry weight of the plant, g
2020 year				
Control	1.4 ± 0.10	5.3 ± 0.2	0.74 ± 0.01	0.138 ± 0.002
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.7 ± 0.20	5.5 ± 0.2	0.80 ± 0.04*	0.151 ± 0.008*
2021 year				
Control	1.4 ± 0.20	6.3 ± 0.3	1.26 ± 0.10	0.220 ± 0.016
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.6 ± 0.15	6.5 ± 0.4	1.36 ± 0.08	0.232 ± 0.014
2022 year				
Control	1.2 ± 0.10	4.4 ± 0.2	0.57 ± 0.04	0.109 ± 0.008
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.3 ± 0.05	4.5 ± 0.2	0.58 ± 0.05	0.110 ± 0.008

Note. * The difference compared to the control is statistically significant at $P \geq 0.95$.

Таблица 4

Ростовые параметры овса в фазу выметывания

Вариант опыта	Общая кустистость, шт.	Количество листьев, шт.	Сырая масса растения, г	Сухая масса растения, г
2020 год				
Контроль	2,3 ± 0,25	8,1 ± 1,1	4,29 ± 0,36	0,924 ± 0,115
<i>Lactobacillus buchneri</i>	3,1 ± 0,20*	11,3 ± 0,7*	5,06 ± 0,37*	1,069 ± 0,185
2021 год				
Контроль	1,5 ± 0,05	6,1 ± 0,5	4,23 ± 0,33	1,715 ± 0,142
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,8 ± 0,10	6,3 ± 0,6	5,55 ± 0,40*	2,025 ± 0,107*
2022 год				
Контроль	1,3 ± 0,10	6,7 ± 0,2	4,80 ± 0,28	1,472 ± 0,106
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,4 ± 0,05	6,9 ± 0,3	6,56 ± 0,38*	2,180 ± 0,130*

Примечание. * Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P \geq 0,95$.

Table 4

Growth parameters of oats during the earing phase

Experimental variant	Total bushiness, pcs.	Number of leaves, pcs.	Wet weight of the plant, g	Dry weight of the plant, g
2020 year				
Control	2.3 ± 0.25	8.1 ± 1.1	4.29 ± 0.36	0.924 ± 0.115
<i>Lactobacillus buchneri</i>	3.1 ± 0.20*	11.3 ± 0.7*	5.06 ± 0.37*	1.069 ± 0.185
2021 year				
Control	1.5 ± 0.05	6.1 ± 0.5	4.23 ± 0.33	1.715 ± 0.142
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.8 ± 0.10	6.3 ± 0.6	5.55 ± 0.40*	2.025 ± 0.107*
2022 year				
Control	1.3 ± 0.10	6.7 ± 0.2	4.80 ± 0.28	1.472 ± 0.106
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.4 ± 0.05	6.9 ± 0.3	6.56 ± 0.38*	2.180 ± 0.130*

Note: * The difference compared to the control is statistically significant at $P \geq 0.95$.

На стадии цветения вышеописанные различия по весовым и метрическим показателям растений сохраняются (рис. 1). Так, превосходство опытных растений над контрольными по сухой массе, которая является наиболее значимым ростовым показателем, в вегетационный период 2020 года достигает 59 %.

Эффективность накопления сухого вещества в растительном организме, бесспорно, связана с продуктивностью фотосинтеза, успех которого во многом зависит от содержания, соотношения и активности фотосинтетических пигментов. В таблице 5 продемонстрированы результаты оценки содержания в листьях овса хлорофиллов и каротиноидов.

Видно, что показатели содержания пигментов у растений опытных групп больше, чем в контроле. Так, разница по содержанию хлорофилла *a* в листьях составляет 11–19 %, хлорофилла *b* – 19–21 %, суммы хлорофиллов – 13–19 %, каротиноидов – до 20 % (таблица 5).

Данные таблицы 6 свидетельствуют о том, что зерновая продуктивность культуры различалась по годам исследований, на что, вероятно, оказали влияние погодные условия. Так, урожайность овса в опыте 2021 года ощутимо отставала от опытов 2020 и 2022 годов. При обобщении результатов всех исследований становится очевидно положительное действие экспериментального препарата,

который создан на основе молочнокислых бактерий *L. buchneri*, на урожайность овса: зерновая продуктивность в опыте 2020 года превзошла контроль на 29 %, в опыте 2021 года – на 13 %, в опыте 2022 года – на 18 %. Вероятно, засушливые условия оказались менее благоприятными и для жизнедеятельности *L. buchneri*, эффективность от внесения которых оказалась выше в условиях влажных вегетационных периодов.

Отметим, что бактерии *Lactobacillus buchneri* оказывали положительное действие на рост и продуктивность ячменя, клеверотимофеечной травосмеси, а также горохоовсяной травосмеси. Так, за три года собственных исследований в условиях мелколесного эксперимента показано увеличение зерновой продуктивности ячменя при использовании данного изучаемого биопрепарата на 8–26 %, а в условиях производственного полевого опыта – на 14 % [18]. Кроме того, имеются данные о положительном влиянии данного экспериментального препарата на рост сорго сахарного [19].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Стимуляция морфофизиологических функций посредством внешнего воздействия на растительные организмы может оказать существенное влияние на показатели их конечной хозяйственной продуктивности.

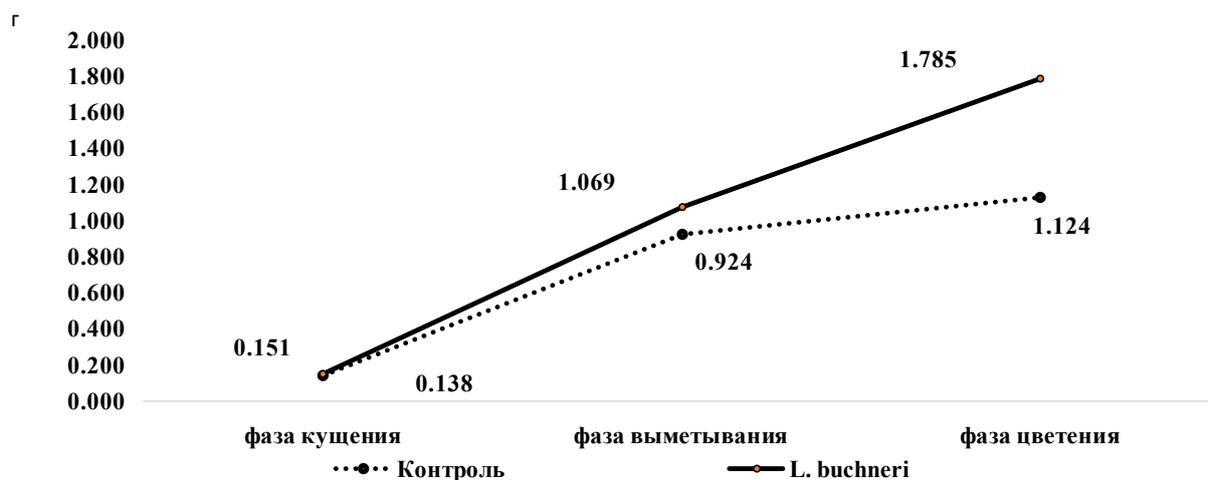


Рис. 1. Динамика накопления сухой массы (г) опытными и контрольными растениями в опыте 2020 года

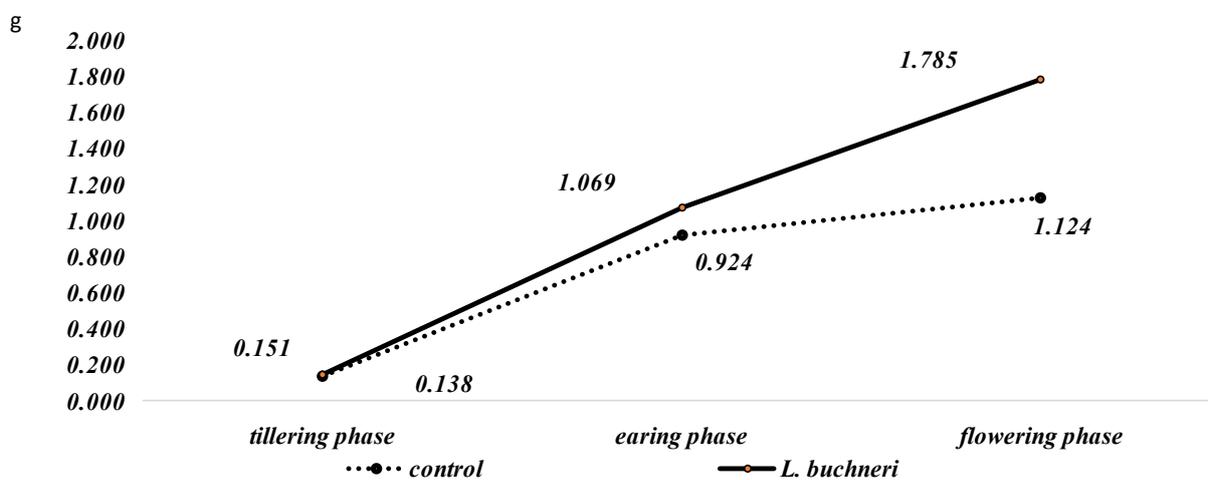


Fig. 1. Dynamics of accumulation of dry mass (g) by experimental and control plants in the 2020

Таблица 5
Содержание фотосинтетических пигментов в листьях овса посевного в опыте 2021 года

Показатель, мг/г сырого вещества	Фаза кущения		Фаза выметывания	
	Контроль	<i>Lactobacillus buchneri</i>	Контроль	<i>Lactobacillus buchneri</i>
Хлорофилл <i>a</i>	0,598 ± 0,018	0,666 ± 0,071	0,627 ± 0,038	0,745 ± 0,023*
Хлорофилл <i>b</i>	0,220 ± 0,022	0,261 ± 0,028	0,202 ± 0,010	0,244 ± 0,007*
Сумма хлорофиллов (<i>a + b</i>)	1,051 ± 0,043	1,187 ± 0,127	0,827 ± 0,048	0,987 ± 0,030*
Каротиноиды	0,479 ± 0,012	0,539 ± 0,055	0,392 ± 0,014	0,471 ± 0,020*

Примечание. * Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P \geq 0,95$.Table 5
Content of photosynthetic pigments in the leaves of oat in the 2021 year

Indicator, mg/g wet substance	Tillering phase		Earing phase	
	Control	<i>Lactobacillus buchneri</i>	Control	<i>Lactobacillus buchneri</i>
Chlorophyll <i>a</i>	0.598 ± 0.018	0.666 ± 0.071	0.627 ± 0.038	0.745 ± 0.023*
Chlorophyll <i>b</i>	0.220 ± 0.022	0.261 ± 0.028	0.202 ± 0.010	0.244 ± 0.007*
Sum of chlorophylls (<i>a + b</i>)	1.051 ± 0.043	1.187 ± 0.127	0.827 ± 0.048	0.987 ± 0.030*
Carotenoids	0.479 ± 0.012	0.539 ± 0.055	0.392 ± 0.014	0.471 ± 0.020*

Note. * The difference compared to the control is statistically significant at $P \geq 0,95$.

Таблица 6
Зерновая продуктивность овса

Год	Вариант опыта	Масса зерна, ц/га	Продуктивная кустистость, шт.	Масса 1000 зерновок, г
2020	Контроль	15,7 ± 1,6	1,1 ± 0,05	34,0 ± 1,8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	20,3 ± 1,7*	1,3 ± 0,05*	34,9 ± 1,8
2021	Контроль	12,8 ± 1,2	1,0 ± 0,05	32,8 ± 0,3
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	14,5 ± 1,1	1,1 ± 0,05	32,9 ± 0,4
2022	Контроль	19,6 ± 0,2	1,0 ± 0,05	33,1 ± 1,8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	23,2 ± 2,1*	1,2 ± 0,05	34,4 ± 1,9

Примечание. * Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P \geq 0,95$.

Table 6
Grain productivity of oats

Year	Experimental variant	Grain weight, c/ha	Productive tillering capacity, pcs.	Weight of 1000 grains, g
2020	Control	15.7 ± 1.6	1.1 ± 0.05	34.0 ± 1.8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	20.3 ± 1.7*	1.3 ± 0.05*	34.9 ± 1.8
2021	Control	12.8 ± 1.2	1.0 ± 0.05	32.8 ± 0.3
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	14.5 ± 1.1	1.1 ± 0.05	32.9 ± 0.4
2022	Control	19.6 ± 0.2	1.0 ± 0.05	33.1 ± 1.8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	23.2 ± 2.1*	1.2 ± 0.05	34.4 ± 1.9

Note. * The difference compared to the control is statistically significant at $P \geq 0.95$.

В работах зарубежных и отечественных авторов неоднократно отмечалась возможность с помощью бактериальных препаратов повышать урожайность хозяйственно значимых культур, именно поэтому биопрепараты часто рассматривают в качестве альтернативы химическим средствам интенсификации агропроизводства. Важное преимущество таких средств – их безопасность для агроценозов по сравнению с минеральными удобрениями и химическими пестицидами, которые способны накапливаться в почве и продуктах питания. Почвы, на которых используются препараты с PGPR-бактериями, требуют существенно меньшего использования минеральных и органических удобрений, что способствует общей экологизации сельскохозяйственного производства, а также сохранению устойчивых систем земледелия [5; 20; 21].

В рамках нашего исследования внесение экспериментального препарата, основа которого – *Lactobacillus buchneri*, привело к стимуляции ростовых процессов овса в почвенно-климатических условиях Вологодской области, которая представляет модельный участок Северо-Запада России. Это подтверждается увеличенными значениями сырой и сухой массы растений из экспериментальной группы по сравнению с контрольным вариантом на протяжении всего сезона вегетации. Например, превосходство опытных растений над контролем по сырой массе может демонстрировать влияние биопрепаратов на процессы поглощения воды, а по су-

хой массе – изменения работы фотосинтетического аппарата. При этом метаболиты бактерий способны как оказывать влияние на активность фотосинтетических единиц, так и увеличивать содержание фотосинтетических пигментов.

Бесспорно, основной функцией хлорофилла является его участие в фотохимическом синтезе органического вещества, в нашем случае наблюдалось увеличение концентрации хлорофилла в листьях опытных растений на 11–21 %. Это позволяет предполагать более продуктивный фотосинтез, который и приводит к большему накоплению массы опытных растений относительно контроля. При этом любые изменения физиологических процессов растений откликаются и на зерновой продуктивности [22], что хорошо согласуется с результатами нашего исследования. Зерновая урожайность при действии экспериментального биопрепарата, основа которого – молочнокислые бактерии, возросла на 13–29 %.

Таким образом, проведенное исследование указывает на потенциальную перспективу использования экспериментального препарата, основанного на живых бактериях *L. buchneri*, в сельскохозяйственной практике в условиях Северо-Запада России. Исследования и практическое внедрение подобных биопрепаратов могут повысить эффективность сельскохозяйственного производства в регионе, способствуя улучшению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Библиографический список

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023. Часть 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/>

departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/?ysclid=m4qrdfp9jr7449538 (дата обращения: 15.03.2024).

2. Иванов В. А. Стратегия развития сельского хозяйства Европейского Севера России. Сыктывкар: Принт, 2023. 140 с.

3. Nathurusinghe S. H. K., Azizoglu U., Shin, J. -H. Holistic approaches to plant stress alleviation: a comprehensive review of the role of organic compounds and beneficial bacteria in promoting growth and health // *Plants*. 2024. Vol. 13. Article number 695. DOI: 10.3390/plants13050695.

4. Chandrasekaran M., Paramasivan M., Sahayarayan J. J. Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. Article number 42. DOI: 10.3390/microorganisms11010042.

5. Максимов И. В., Сингх Б. П., Черепанова Е. В., Бурханова Г. Ф., Хайруллин Р. М. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. № 56 (1). С. 19–34. DOI: 10.31857/S0555109920010134.

6. Сырмолот О. В., Кочева Н. С. Оценка влияния бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas* на продуктивность сои // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 10-2. DOI: 10.23670/IRJ.2019.88.10.029.

7. Puntillo M., Gaggiotti M., Oteiza J. M., Binetti A., Massera, A., Vinderola G. Potential of lactic acid bacteria isolated from different forages as silage inoculants for improving fermentation quality and aerobic stability // *Frontiers in microbiology*. 2020. Vol. 11. Article number 586716. DOI: 10.3389/fmicb.2020.586716.

8. Bakare A. G., Zindove T. J., Bhavna A., Devi A., Takayawa S. L., Sharma A. C., Iji P. A. *Lactobacillus buchneri* and molasses can alter the physicochemical properties of cassava leaf silage // *Heliyon*. 2023. Vol. 9 (11). Article number e22141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.

9. Dutilloy E., Oni F. E., Esmaeel Q., Clément C., Barka E. A. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases // *Journal of fungi (Basel)*. 2022. Vol. 8 (6). Article number 632. DOI: 10.3390/jof8060632.

10. Биконя С. Н., Бражник Е. А., Лаптев Г. Ю., Молотков В. В., Черватенков Д. Ю. Оценка качества кормов, заготовленных с биоконсервантом // *Молочное и мясное скотоводство*. 2023. № 1. С. 27–30. DOI: 10.33943/MMS.2023.84.50.006.

11. Filannino P., De Angelis M., Di Cagno R., Gozzi G., Riciputi Y., Gobbetti M. How *Lactobacillus plantarum* shapes its transcriptome in response to contrasting habitats // *Environmental Microbiology*. 2018. Vol. 20, Iss. 10. Pp. 3700–3716. DOI: 10.1111/1462-2920.14372.

12. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O., Krylova K., Biscola V., Chobert J. M., Ivanytsia V. O., Haertle T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. № 35. Pp. 1587–1595. DOI: 10.1007/s11738-012-1200-y.

13. Данилова Т. А., Аджиева А. А., Данилина Г. А., Поляков Н. Б., Соловьев А. И., Жуховицкий В. Г. Антимикробное действие супернатанта *Lactobacillus plantarum* на патогенные микроорганизмы // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2019. № 167. С. 709–712. DOI: 10.1007/s10517-019-04615-9.

14. Чичерин И. Ю., Погорельский И. П., Лундовских И. А., Малов А. А., Шабалина М. Р., Дармов И. В. Динамика содержания лактобацилл, микробных метаболитов и антибактериальной активности растущих культур *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 // *Журнал инфектологии*. 2014. Т. 5, № 3. С. 50–55. DOI: 10.22625/2072-6732-2013-5-3-50-55.

15. Gummalla S., Broadbent J. R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts // *Journal of Dairy Science*. 1999. Vol. 82, No. 10. Pp. 2070–2077. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2.

16. Ujvári G., Capo L., Grassi A., Cristani C., Pagliarani I., Turrini A., Blandino M., Giovannetti M., Agnolucci M. Agronomic strategies to enhance the early vigor and yield of maize. Part I: the role of seed applied biostimulant, hybrid and starter fertilization on rhizosphere bacteria profile and diversity // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article number 1240310. DOI: 10.3389/fpls.2023.1240310.

17. Еремин Д. И., Моисеева М. Н. Актуальность выращивания овса в России // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 6. С. 58–61.

18. Рассохина И. И., Платонов А. В. Влияние микробиологического препарата, созданного на основе *Lactobacillus buchneri*, на рост и урожайность ячменя в условиях Вологодской области // *Зерновое хозяйство России*. 2023. Т. 15, № 5. С. 63–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-63-69.

19. Сухарева Л. В. Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 1. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21.

20. Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Благова Д. К., Максимов И. В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55, № 1. С. 56–63. DOI: 10.1134/S0555109919010185.

21. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna, M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control. 2020. Vol. 141. Article number 104152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.

22. Yasir T. A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25. Pp. 1163–1174. DOI: 10.1007/s12298-019-00694-0.

Об авторах:

Ирина Игоревна Рассохина, научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; ORCID 0000-0002-6129-6912, AuthorID 1021026. E-mail: rasskhinairina@mail.ru

Светлана Викторовна Ерегина, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; ORCID 0000-0001-8136-4663, AuthorID 848792. E-mail: ereginasv@mail.ru

Андрей Викторович Платонов, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; доцент, Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, Россия; ORCID 0000-0002-1110-7116, AuthorID 793557. E-mail: platonov70@yandex.ru

References

1. State catalog of pesticides and agrochemicals authorized for use on the territory of the Russian Federation. 2023. Part 1 [Internet] [cited 2024 Mar 15]. Available from: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/?ysclid=m4qrdfp9jr7449538>. (In Russ.)

2. Ivanov V. A. Strategy of development of agriculture in the European North of Russia. Syktyvkar: Print, 2023. 140 p. (In Russ.)

3. Hathurusinghe S. H. K., Azizoglu U., Shin J.-H. Holistic Approaches to plant stress alleviation: a comprehensive review of the role of organic compounds and beneficial bacteria in promoting growth and health. *Plants*. 2024; 13 (5): 695. DOI: 10.3390/plants13050695.

4. Chandrasekaran M., Paramasivan M., Sahayarayan J. J. Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development. *Microorganisms*. 2023; 11 (1): 42. DOI: 10.3390/microorganisms11010042.

5. Maksimov I. V., Singkh B. P., Cherepanova E. V., Burkhanova G. F., Khayrullin R. M. Prospects of application of bacterial-lipopeptide preparations for plant protection (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2020; 56 (1): 19–34. DOI: 10.31857/S0555109920010134. (In Russ.)

6. Syrmolot O. V., Kocheva N. S. Impact assessment of bacterias of *Bacillus* and *Pseudomonas* genus on soy productivity. *International Research Journal*. 2019; 10-2 (88). DOI: 10.23670/IRJ.2019.88.10.029.

7. Puntillo M., Gaggiotti M., Oteiza J. M., Binetti A., Massera A., Vinderola G. Potential of lactic acid bacteria isolated from different forages as silage inoculants for improving fermentation quality and aerobic stability. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 586716. DOI: 10.3389/fmicb.2020.586716.

8. Bakare A. G., Zindove T. J., Bhavna A., Devi A., Takayawa S. L., Sharma A. C., Iji P. A. *Lactobacillus buchneri* and molasses can alter the physicochemical properties of cassava leaf silage. *Heliyon*. 2023; 9 (11): e22141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e22141.

9. Dutilloy E., Oni F. E., Esmael Q., Clément, C., Barka E. A. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases. *Journal of Fungi (Basel)*. 2022; 8 (6): 632. DOI: 10.3390/jof8060632.

10. Bikonya S. N., Braznik E. A., Laptev G. Yu., Molotkov V. V., Chervatenkov D. Yu. Assessment of the quality of feeds harvested using a bioconservant. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2023; № 1: 27–30. DOI: 10.33943/MMS.2023.84.50.006. (In Russ.)

11. Filannino P., De Angelis M., Di Cagno R., Gozzi G., Riciputi Y., Gobbetti M. How *Lactobacillus plantarum* shapes its transcriptome in response to contrasting habitats. *Environmental Microbiology*. 2018; 20 (10): 3700–3716. DOI: 10.1111/1462-2920.14372.

12. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O., Krylova K., Biscola V., Chobert J. M., Ivanytsia V. O., Haertle T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013; 35: 1587–1595. DOI: 10.1007/s11738-012-1200-y.

13. Danilova T. A., Adzhieva A. A., Danilina G. A., Polyakov N. B., Solov'ev A. I., Zhukhovitskiy V. G. Antimicrobial activity of supernatant of *Lactobacillus plantarum* against pathogenic microorganisms. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019; 167: 751–754. DOI: 10.1007/s10517-019-04615-9. (In Russ.)
14. Chicherin I. Yu., Pogorelskiy I. P., Lundovskikh I. A., Malov A. A., Shabalina M. R., Darmov I. V. Dynamics of the content of lactobacilli, microbial metabolites and antimicrobial activity of growing culture of *Lactobacillus Plantarum* 8P-A3. *Journal of Infectology*. 2013; 5 (3): 50–55. DOI: 10.22625/2072-6732-2013-5-3-50-55. (In Russ.)
15. Gummalla S., Broadbent J. R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts. *Journal of Dairy Science*. 1999; 82 (10): 2070–2077. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2.
16. Ujvári G., Capo L., Grassi A., Cristani C., Pagliarani I., Turrini A., Blandino M., Giovannetti M., Agnolucci M. Agronomic strategies to enhance the early vigor and yield of maize. Part I: the role of seed applied biostimulant, hybrid and starter fertilization on rhizosphere bacteria profile and diversity. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1240310. DOI: 10.3389/fpls.2023.1240310.
17. Eremin D. I., Moiseeva M. N. The relevance of growing oats in Russia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 6: 58–61. (In Russ.)
18. Rassokhina I. I., Platonov A. V. The effect of a microbiological product based on *Lactobacillus buchneri* on barley growth and productivity in the Vologda region. *Grain Economy of Russia*. 2023; 15 (5): 63–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-63-69. (In Russ.)
19. Sukhareva L. V. Effect of biopreparations on growth parameters of *Sorghum sudanense* (Pirer) Stapf. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (1): 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21. (In Russ.)
20. Veselova S. V., Burkhanova G. F., Rummyantsev S. D., Blagova D. K., Maksimov I. V. Strains of *Bacillus spp.* regulate wheat resistance to greenbug aphid *Schizaphis graminum* Rond. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019; 55 (1): 41–47. DOI: 10.1134/S0555109919010185. (In Russ.)
21. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna M. New isolates of *Trichoderma spp.* as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*. 2020; 141: 104152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.
22. Yasir T. A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019; 25: 1163–1174. DOI: 10.1007/s12298-019-00694-0.

Authors' information:

Irina I. Rassokhina, researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; ORCID 0000-0002-6129-6912, AuthorID 1021026. *E-mail*: rasskhinairina@mail.ru

Svetlana V. Eregina, candidate of geographical sciences, senior researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; ORCID 0000-0001-8136-4663, AuthorID 848792.

E-mail: ereginasv@mail.ru

Andrey V. Platonov, candidate of biological sciences, associate professor, leading researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; associate professor, Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, Russia; ORCID 0000-0002-1110-7116, AuthorID 793557. *E-mail*: platonov70@yandex.ru