

Ирина Игоревна Рассохина<sup>1</sup>, Андрей Викторович Платонов<sup>2✉</sup>, Арсений Андреевич Платонов<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Вологодский научный центр РАН, Вологда, Россия

<sup>1</sup> Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

<sup>1</sup> rasskhinairina@mail.ru

<sup>2</sup> platonov70@yandex.ru

<sup>3</sup> arsenio.platonov@yandex.ru

## ДЕЙСТВИЕ БАКТЕРИЙ РОДА *PSEUDOMONAS SP.* НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРИТИКАЛЕ

Цель исследования – изучение влияния бактерий рода *Pseudomonas ssp.* на ростовые показатели и зерновую продуктивность тритикале в условиях Вологодской области. Задачи: оценка морфометрических, физиологических показателей растений, а также структуры урожая тритикале. Исследование проводилось в рамках мелкоделяночного полевого опыта, который осуществлялся в 2020 г. на поле ФГБУН ВолНЦ РАН. Объект исследования – яровая тритикале сорт Доброе, который допущен к использованию в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Штамм *Pseudomonas ssp. GEOT18*, используемый в исследовании, выделен сотрудниками Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова из внутренних тканей стеблекорневых тубероидов генеративных особей пальчатокоренника мяско-красного (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó). Повторность опыта 3-кратная, площадь учетной делянки 2 м<sup>2</sup>. Посев культуры происходил вручную, в соответствии с принятыми нормами высева – 4,5 млн всхожих семян/га. Перед посевом семена делили на две части: одну помещали в суспензию ночной культуры бактериального штамма на 30 мин (опытная группа), другую – в воду (контрольная группа). В фазу начала кущения проводилось опрыскивание растений раствором суспензии до появления на листьях капель мелкодисперсной росы (разбавление суспензии ночной культуры штамма в соотношении 1:20). Наблюдалось увеличение сырой и сухой массы опытных растений относительно контрольных до 41,9 и 35,9 % соответственно, а также происходило увеличение общей листовой поверхности растений опытной группы до 53,3 %. Концентрация фотосинтетических пигментов в листьях растений опытного варианта несколько ниже контроля. Зерновая продуктивность опытных растений тритикале выше контроля на 16,8 %, что происходит за счет некоторого увеличения массы зерновки и возрастания количества зерновок в колосе на 18,8 %.

**Ключевые слова:** *Pseudomonas*, тритикале, зерновая продуктивность, хлорофилл

**Для цитирования:** Рассохина И.И., Платонов А.В., Платонов А.А. Действие бактерий рода *Pseudomonas sp.* на рост и продуктивность тритикале // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 93–99. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-93-99.

Irina Igorevna Rassokhina<sup>1</sup>, Andrey Viktorovich Platonov<sup>2✉</sup>, Arseny Andreevich Platonov<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

<sup>1</sup> Yaroslavl State University named after P.G. Demidov, Yaroslavl, Russia

<sup>3</sup> Moscow State Technical University named after N.E. Bauman National Research University, Moscow, Russia

<sup>1</sup> rasskhinairina@mail.ru

<sup>2</sup> platonov70@yandex.ru

<sup>3</sup> arsenio.platonov@yandex.ru

## THE GENUS *PSEUDOMONAS* SP. BACTERIA EFFECT ON TRITICOSECALE GROWTH AND PRODUCTIVITY

The aim of research is to study the effect of bacteria of the genus *Pseudomona* ssp. on growth rates and grain productivity of triticale in the conditions of the Vologda Region. Tasks: assessment of morphometric, physiological parameters of plants, as well as the structure of the yield of triticale. The study was carried out as part of a small-plot field experiment, which was carried out in 2020 at the Federal State Budgetary Institution of Sciences Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (VolRC RAS). The object of research is spring triticale variety Dobroe, which is approved for use in the North-West Region of the Russian Federation. The *Pseudomona* ssp. GEOT18 used in the study was isolated by the staff of the Yaroslavl State University named after P.G. Demidov from the internal tissues of stem-root tubercles of generative specimens of meat-red palm root (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó). The experiment was repeated 3 times, the area of the accounting plot was 2 m<sup>2</sup>. The sowing of the crop was done manually, in accordance with the accepted seeding rates – 4.5 million germinating seeds/ha. Before sowing, the seeds were divided into two parts: one was placed in a suspension of an overnight culture of the bacterial strain for 30 min (experimental group), the other in water (control group). In the phase of the beginning of tillering, the plants were sprayed with a solution of the suspension until droplets of fine dew appeared on the leaves (dilution of the suspension of the night culture of the strain in a ratio of 1:20). There was an increase in the wet and dry weight of the experimental plants relative to the control ones up to 41.9 and 35.9 %, respectively, and there was also an increase in the total leaf surface of the plants of the experimental group to 53.3 %. The concentration of photosynthetic pigments in the leaves of experimental plants is somewhat lower than the control. The grain productivity of the experimental triticale plants is higher than the control by 16.8 %, which is due to a slight increase in the weight of the caryopsis and an increase in the number of caryopses in the ear by 18.8 %.

**Keywords:** *Pseudomonas*, \*Triticosecale, grain productivity, chlorophyll

**For citation:** Rassokhina I.I., Platonov A.V., Platonov A.A. The genus *Pseudomonas* sp. bacteria effect on triticosecale growth and productivity // Bulliten KrasSAU. 2022;(1):93–99. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-93-99.

**Введение.** Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур – одна из важных задач современной науки. В Нечерноземной зоне данный вопрос имеет еще большую важность, что связано с воздействием неблагоприятных климатических факторов, которые снижают генетический потенциал культур. Однако использование микробных препаратов способно нивелировать стрессовое воздействие, стимулировать рост и развитие растений. Так, в ряде работ отмечается, что штаммы бактерий рода *Pseudomona* ssp. способны синтезировать вещества фунгицидной природы (2,4-диацетилфлороглюцинол, пиолюторин и пирролнитрин), фитогормональной природы (индол-3-уксусную кислоту), а также оказывать благоприятное действие на поглощение растениями минеральных компонентов [1–3].

Тритикале (\**Triticosecale*) – сельскохозяйственная культура, гибрид пшеницы с рожью. Содействие геномов двух культур дает возможность получить более высокую урожайность, а также устойчивость к неблагоприятным факто-

рам среды и патогенам. При этом зерно по питательным свойствам превосходит другие яровые культуры. Например, содержание белка в зерне тритикале на 1,4 % выше, чем у ячменя, выход кормовых единиц – на 5,2 ц/га к. ед., обеспеченность кормовой единицы протеином – на 17 г [4]. Кроме того, в отличие от пшеницы, белок тритикале содержит больше лизина и триптофана [5, 6].

**Цель исследования** – изучить влияние бактерий рода *Pseudomona* ssp. на ростовые показатели и зерновую продуктивность тритикале в условиях Вологодской области.

**Задачи:** оценить влияние исследуемых бактерий на биометрические и физиологические показатели тритикале; провести оценку элементов структуры урожая тритикале при внесении бактерий рода *Pseudomona* ssp.

**Объекты и методы.** Эксперимент по изучению влияния бактерий рода *Pseudomona* ssp. на тритикале выполнялся на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (ВолНЦ РАН) в 2020–2021 гг. Поч-

ва на экспериментальных делянках осушенная дерново-подзолистая, среднесуглинистая.

Объект исследования – яровой тритикале сорт Доброе, который допущен к использованию в Северо-Западном регионе Российской Федерации. В качестве исследуемого вещества использовался штамм бактерий рода *Pseudomonas* ssp. GEOT18. Данный штамм выделен сотрудниками Ярославского государственного университета имени П.Г. Демидова из внутренних тканей стеблекорневых тубероидов генеративных особей пальчатокоренника мясо-красного (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó). Суспензию штамма для проведения исследований получали на среде LB в условиях постоянного перемешивания при температуре 23–25 °С в течение 16–18 ч. Исследования с растениями проводились в рамках мелкоделяночного полевого эксперимента. Повторность опыта 3-кратная, площадь учетной делянки 2 м<sup>2</sup>. Посев культуры происходил вручную, в соответствии с принятыми нормами высева – 4,5 млн всхожих семян/га. Перед посевом семена делили на две части: одну помещали в суспензию ночной культуры бактериального штамма на 30 мин (опытная группа), другую – в воду (контрольная группа). Кроме того, в фазу начала кущения проводилось опрыскивание растений раствором суспензии до появления на листьях капель мелкодисперсной росы (разбавление суспензии ночной культуры штамма в соотношении 1:20).

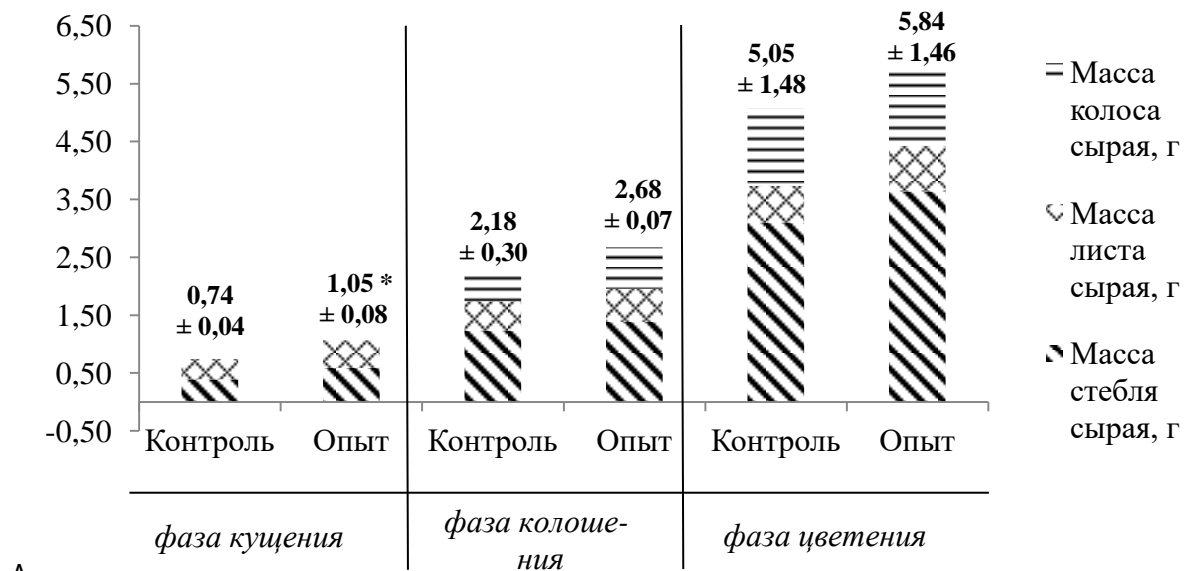
Уход за культурами происходил в соответствии с общепринятыми агротехническими приемами, минеральные удобрения не вносились. У растений в течение вегетации в фазы кущения и колошения определяли биометрические параметры и среднесуточные приросты по сырой и сухой массе, а также содержание фотосинтетических пигментов. На стадии начала созревания зерна проводили оценку элементов структуры урожая: общая и продуктивная кустистость, масса соломы с 1 м<sup>2</sup>, масса зерна с 1 растения, количество зерновок в колосе, масса 1000 зерновок.

Определение фотосинтетических пигментов проводили на спектрофотометре ПЭ-5400УФ (Россия) при длинах волн 663, 644 и 452,5 нм. Пигменты извлекали экстракцией 85 %-го ацетона из листьев растений. Работу выполняли в

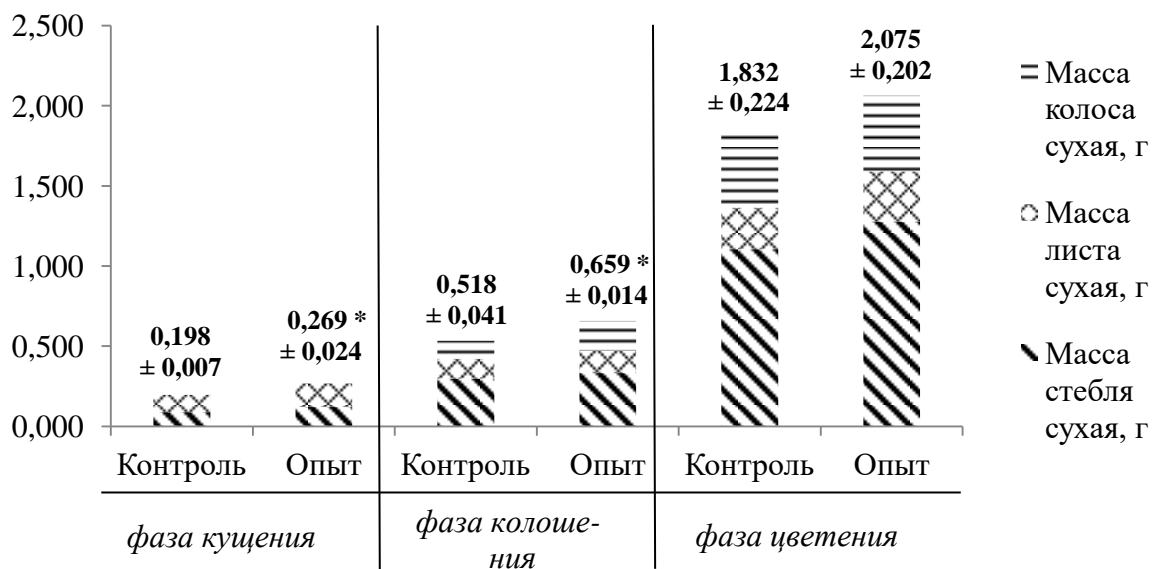
трехкратных биологической и аналитической повторностях. Расчет содержания хлорофиллов проводили по уравнениям Реббелена [7].

Статистическая обработка данных осуществлялась по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программы MS Excel 2010. В таблицах и на рисунке представлены средние значения показателей и величины их средних арифметических ошибок. Оценку достоверности различия выборочных средних проводили при значении доверительной вероятности 0,95.

**Результаты и их обсуждение.** Использование бактерий штамма *Pseudomonas* ssp. GEOT18 привело к увеличению ростовых параметров растений. Так, в исследованиях 2020 г. средняя площадь листа и общая листовая поверхность растений опытной группы выше контрольной на 6,4–33,6 и 7,7–53,3 %, в исследованиях 2021 г. – на 15,4–44,1 и 23,3–57,3 % соответственно, в зависимости от фазы онтогенеза. В эксперименте 2020 г. сырая и сухая масса одного растения в опытной группе в фазу кущения была выше контроля на 41,9 и 35,9 %, в фазу колошения – на 22,9 и 27,2 %. В опыте 2021 г. действие штамма оказалось аналогичным: сухая масса опытных растений в фазу кущения выше контроля на 32,9 %, в фазу начала колошения – на 11,4 %. В фазу цветения разница в сырой и сухой массе между контрольной и опытной группой достигала 15,6 и 13,3 % соответственно. Следует отметить, что в фазе кущения наиболее существенная разница опытной и контрольной группы наблюдалась по массе стебля, во время колошения – по массе колоса, а во время цветения – по массе листьев (рис.). Вероятно, на начальных этапах развития растения бактерии оказывают наиболее ощутимое действие на рост за счет удлинения стебля (стебель опытной группы длиннее на 21,5 % и тяжелее на 51,3 % по сырой массе). В фазе колошения растения контрольной группы догоняют растения опытной группы по морфометрическим показателям стебля (разница по сырой массе 13,0 %), но существенно опережают по развитию колоса (опытные растения имеют массу колоса на 41,2 % выше по сырой массе и на 66,1 % – выше по сухой массе, при этом длина колоса опытной группы на 7,3 % ниже контрольной).



А



Б

\*Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P < 0,05$ .

Масса одного растения в опытах 2020 г.: А – сырая; Б – сухая

О более интенсивном накоплении питательных веществ у опытных растений свидетельствуют и результаты среднесуточных приростов по сухой массе. Так, например, в опытах 2020 г. за период между фазами кущения и колошения у растений контрольной группы этот показатель составляет  $0,040 \pm 0,004$  г/сут; у растений опытной группы –  $0,047 \pm 0,004$ ; за период между фазами колошения и цветения –  $0,051 \pm 0,013$  и  $0,065 \pm 0,010$  г/сут соответственно.

Известно, что накопление органического вещества определяется скоростью фотосинтетических процессов, при этом важной составляющей является содержание и активность пигментных

единиц. Данные таблицы 1 показывают, что в процессе прохождения фаз онтогенеза содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений увеличивается. Так, содержание суммы хлорофиллов у опытных и контрольных растений в фазу цветения больше, чем во время колошения, более чем в 2 раза. При сравнении контрольной и опытной группы можно отметить более низкую концентрацию пигментов у опытного варианта относительно контроля (см. табл. 1). Так, в фазу колошения содержание всех определяемых фотосинтетических пигментов в листьях растений контрольной группы достоверно превосходило таковые в опыте на 17,2–22,7 % в за-

висимости от пигмента. Во время цветения разница между опытными и контрольными растениями сохранилась, но была менее выражена.

Наблюдаемый эффект, вероятно, обусловлен отставанием синтеза пигментов от темпов роста опытных растения.

Таблица 1

**Результаты содержания фотосинтетических пигментов растений**

Показатель, мг/г сырого вещества	Фаза кущения		Фаза колошения		Фаза цветения	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Хлорофилл <i>a</i>	0,938 ± 0,011	0,963 ± 0,032	1,071 ± 0,005	0,887 ± 0,017*	2,194 ± 0,068	1,856 ± 0,029*
Хлорофилл <i>b</i>	0,310 ± 0,006	0,312 ± 0,021	0,436 ± 0,010	0,337 ± 0,019*	0,676 ± 0,021	0,603 ± 0,016*
Сумма хлорофиллов ( <i>a+b</i> )	1,250 ± 0,012	1,243 ± 0,048	1,521 ± 0,019	1,185 ± 0,021*	2,620 ± 0,062	2,580 ± 0,069
Каротиноиды	0,626 ± 0,009	0,632 ± 0,017	0,674 ± 0,008	0,530 ± 0,005*	1,081 ± 0,025	1,095 ± 0,022

Здесь и далее: (\*) – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P < 0,05$ .

Учитывая увеличение ростовых показателей опытных растений (см. рис.), можно предположить, что, несмотря на снижение концентрации пигментов в листьях данной группы (см. табл. 1), их активность возрастает, что согласуется с выводами других авторов [8, 9].

Результаты оценки элементов структуры урожая и хозяйственной продуктивности трити-

кале представлены в таблице 2. В 2021 г. наблюдались напряженные климатические условия для произрастания культуры: высокая температура в течение мая – июля, малое количество осадков. Вероятно, этим объясняется снижение биологической и хозяйственной продуктивности тритикале по сравнению с предыдущим годом исследования.

Таблица 2

**Структура урожая и зерновая продуктивность тритикале**

Вариант опыта	Продуктивная кустистость, шт.	Масса соломы с 1 м <sup>2</sup> , г	Масса зерна с 1 м <sup>2</sup> , г	Количество зерновок в колосе, шт.	Масса 1000 зерновок, г	Урожайность, ц/га
2020 г.						
Контроль	1,5±0,03	196,5±8,01	272,2±22,02	27,1±0,81	48,1±2,49	27,2
Опыт	1,6±0,03*	279,5±2,49*	318,0±1,86*	32,2±0,89*	49,9±2,61	31,8
2021 г.						
Контроль	1,0±0,01	112,2±3,79	194,6±6,50	28,3±0,70	45,2±2,01	19,4
Опыт	1,1±0,02	117,4±17,31	231,3±4,19*	31,3±0,69*	46,4±2,29	23,1

Как следует из таблицы 2, урожайность опытного варианта 2020 г. исследования возрастает на 16,8 %, что происходит за счет увеличения как массы зерновки на 3,9 %, так и количества зерновок в колосе на 18,8 %. Исследования 2021 г. показали схожую закономерность: зерновая продуктивность опытного варианта возрастает на 18,8 %, при этом масса зерновки в опытном варианте также несколько выше контроля, а количество зерновок больше на 10,6 %.

**Заключение.** Таким образом, использование бактерий штамма *Pseudomonas* ssp. GEOT18 благоприятно сказалось на росте и развитии растений тритикале в условиях Вологодской области. Происходило увеличение сырой и сухой массы растения до 41,9 и 35,9 % соответственно, а также площади общей листовой поверхности растения – до 57,3 %. Кроме того, наблюдалось увеличение среднесуточных приростов, это происходило на фоне несколько

меньшей концентрации фотосинтетических пигментов в листьях опытных растений, что, возможно, свидетельствует о более эффективной работе их фотосинтетических единиц. Большое накопление вегетативной массы привело и к увеличению урожайности у растений опытной группы относительно контрольной. Так, в варианте, где был внесен исследуемый штамм, зерновая продуктивность возростала до 18,8 %.

В перспективе планируется расширить направление изучения штамма. Во-первых, провести полевые опыты по оценке действия данного штамма на ряд других культур и сортов, возделываемых на территории Вологодской области. Во-вторых, исследовать эффект действия штамма при изменении агротехнических приемов (применение разных доз минеральных удобрений, гербицидов) и способов внесения бактерий (только инокуляция семян, только опыскивание растений).

#### Список источников

1. *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens / M. Andreolli [et al.] // *Microbiological research*. 2019. № 219. pp. 123–131. DOI: 10.1016/j.micres.2018.11.003.
2. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates / N. Oteino [et al.] // *Front. Microbiol.* 2015. № 6. pp. 745. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00745.
3. Evaluation of the plant growth-promoting activity of *Pseudomonas nitroreducens* in *Arabidopsis thaliana* and *Lactuca sativa* / C.S. Trinh [et al.] // *Plant Cell Reports*. 2018. № 37. pp. 873–885. DOI: 10.1007/s00299-018-2275-8.
4. *Посыпанов Г.С.* Растениеводство. М.: КолосС, 2006. 616 с.
5. *Тетеревская А.Д., Солодун В.И., Бояркин Е.В.* Влияние сроков посева на содержание белка и урожайность сортов ярового тритикале в Предбайкалье // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 3. С. 9–14. DOI: 10/36718/1819-4036-2021-3-9-14.
6. *Лебедев А.П.* Особенности белкового комплекса зерна пшенично-ржаного амфип-

лоида // *Вестник сельскохозяйственных наук*. 1965. № 1. С. 6–9.

7. Практикум по физиологии растений: учеб.-метод. пособие / В.Н. Воробьев [и др.]. Казань: Казан. гос. ун-т, 2013. 80 с.
8. *Пигорев И.Я., Тарасов С.А.* Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность и урожайность озимой пшеницы // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. № (8). С. 47–50.
9. Изучение эффективности применения биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность и урожай ярового ячменя / Н.Е. Павловская [и др.] // *Вестник ИРГСХА*. 2019. № 90. С. 44–50.

#### References

1. *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens / M. Andreolli [et al.] // *Microbiological research*. 2019. № 219. pp. 123–131. DOI: 10.1016/j.micres.2018.11.003.
2. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates / N. Oteino [et al.] // *Front. Microbiol.* 2015. № 6. pp. 745. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00745.
3. Evaluation of the plant growth-promoting activity of *Pseudomonas nitroreducens* in *Arabidopsis thaliana* and *Lactuca sativa* / C.S. Trinh [et al.] // *Plant Cell Reports*. 2018. № 37. pp. 873–885. DOI: 10.1007/s00299-018-2275-8.
4. *Posypanov G.S.* *Rastenievodstvo*. M.: KolosS, 2006. 616 s.
5. *Teterevskaya A.D., Solodun V.I., Boyarkin E.V.* Vliyaniye srokov poseva na sodержaniye belka i urozhajnost' sortov yarovogo tritikale v Predbajkajle // *Vestnik KrasGAU*. 2021. № 3. S. 9–14. DOI: 10/36718/1819-4036-2021-3-9-14.
6. *Lebedev A.P.* Osobennosti belkovogo kompleksa zerna pshenichno-rzhanogo amfiploida // *Vestnik sel'skohozyajstvennyh nauk*. 1965. № 1. S. 6–9.
7. *Praktikum po fiziologii rastenij: ucheb.-metod. posobie / V.N. Vorob'ev [i dr.].* Kazań: Kazań. gos. un-t, 2013. 80 s.

8. *Pigorev I.Ya., Tarasov S.A.* Vliyanie biopreparatov na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i urozhajnost' ozimoy pshenicy // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2014. № (8). S. 47–50.
9. Izuchenie `effektivnosti primeneniya biopreparatov na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' i urozhaj yarovogo yachmenya / *N.E. Pavlovskaya* [i dr.] // Vestnik IrGSHA. 2019. № 90. S. 44–50.

Статья принята к публикации 11.10.2021 / The article accepted for publication 11.10.2021.

Информация об авторах:

**Ирина Игоревна Рассохина**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, аспирант

**Андрей Викторович Платонов**<sup>2</sup>, заведующий лабораторией биоэкономики и устойчивого развития, кандидат биологических наук, доцент

**Арсений Андреевич Платонов**<sup>3</sup>, студент

Information about the authors:

**Irina Igorevna Rassokhina**<sup>1</sup>, Junior Researcher, Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Postgraduate Student

**Andrey Viktorovich Platonov**<sup>2</sup>, Head of the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Arseny Andreevich Platonov**<sup>3</sup>, Student

