

Растениеводство

УДК 631.461:631.41:633.11«32

DOI: 10.31857/S2500262720060010

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШТАММОВ МИКРООРГАНИЗМОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.)****В.В. Бережная¹**, аспирант, **А.Г. Клыков¹**, член-корреспондент РАН,
М.Л. Сидоренко², кандидат биологических наук, **Н.А. Слепцова²**, аспирант,
Я.О. Тимофеева², кандидат биологических наук¹Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки,
692539, Уссурийск, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30²Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
690022, Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159

E-mail: bereg911@mail.ru

*Представлены результаты исследований влияния предпосевной обработки семян и опрыскивания всходов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Приморская 39 азотфиксирующими, фосфат- и калийсолубилизирующими штаммами микроорганизмов на элементы структуры продуктивности, урожайность и численность почвенных микроорганизмов. Установлено, что общая численность бактерий увеличивается в фазе восковой спелости зерна как при предпосевной обработке семян, так и при опрыскивании всходов. Максимальное количество микроорганизмов в почве выявлено в варианте с использованием штаммов азотфиксирующих и калийсолубилизирующих микроорганизмов при предпосевной обработке ($1,9 \times 10^7$ КОЕ/г почвы) и фосфат- и калийсолубилизирующих при опрыскивании всходов ($2,0 \times 10^7$ КОЕ/г почвы). Наибольшее содержание подвижного фосфора (92 мг/кг) отмечено в варианте (a1+c2+f6) с предпосевной обработкой азотфиксирующими, калий- и фосфатсолубилизирующими микроорганизмами в фазе восковой спелости зерна. Высокая урожайность была в варианте (a1+f19) с предпосевной обработкой семян азотфиксирующими и фосфатсолубилизирующими штаммами – 4,3 т/га.*

**USE OF MICROBIAL STRAINS TO INCREASE THE YIELD
OF SPRING SOFT WHEAT (*Triticum aestivum* L.)****Berezhnaya V.V.¹, Klykov A.G.¹, Sidorenko M.L.², Sleptsova N.A.², Timofeeva Ya.O.²**¹FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika,
692539, Ussuriysk, Primorsky kray, p. Timiryazvskiy, ul. Volozhenina, 30²Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity,
690022, Vladivostok, prospekt 100 let Vladivostoka, 159,

E-mail: bereg911@mail.ru

*This research work presents the results of studies of the effect that pre-sowing seed treatment and spraying nitrogen-fixing, phosphate- and potassium-solubilizing bacteria on the seedlings of the Primorskaya 39 spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) variety have on the structure elements of productivity, yield and the number of soil microorganisms. It was established that the total number of bacteria increases in the middle dough stage when using both pre-sowing treatment of seeds and spraying microorganism strains on the seedlings. The maximum number of bacteria in the soil was revealed in the variant using strains of nitrogen-fixing and potassium-solubilizing microorganisms in pre-sowing treatment (1.9×10^7 cfu/g of soil) and phosphate- and potassium-solubilizing in spraying seedlings (2.0×10^7 cfu/g of soil). The variant a1+c2+f6 showed the highest content of mobile phosphorus (92 mg/kg) after pre-sowing treatment with nitrogen-fixing, potassium- and phosphate-solubilizing microorganisms in the middle dough stage. High yield (4.3 t/ha) was shown by the variant a1+f19 after pre-sowing seed treatment with nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing strains.*

Ключевые слова: яровая пшеница, подвижный и валовой фосфор, азотфиксирующие, фосфат- и калийсолубилизирующие штаммы бактерий, урожайность

Key words: spring wheat, mobile and gross phosphorus, nitrogen-fixing, potassium- and phosphate-solubilizing bacteria strains, yield

Применение удобрений в сельском хозяйстве имеет большое значение для повышения урожайности и пищевой ценности сельскохозяйственных культур [1, 2]. Сокращение применения минеральных и органических удобрений создает необходимость поиска дополнительных источников питания растений. К приемам, способным обогатить почву элементами питания, относится применение бактериальных удобрений, состоящих из штаммов микроорганизмов [3-5]. Активные штаммы азотфиксирующих бактерий, позволяющие фиксировать азот атмосферы, могут обогащать почву азотистыми веществами. Фосфатсолубилизирующие микроорганизмы способны разлагать соединения фосфора (органического и минерального), недоступного для растений, до легкоусвояемой формы, а калийсолу-

билизирующие бактерии – высвободить калий в почвенный раствор из алюмосиликатов [6]. Бактериальные препараты применяют на различных типах почв под многие сельскохозяйственные культуры, в результате урожайность повышается в среднем на 10-12% [7, 8]. В связи с этим актуально изучение взаимодействия растений и микроорганизмов.

Цель работы – исследовать влияние штаммов бактерий на урожайность и численность микроорганизмов в разные фазы развития яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края.

Методика. Исследования проводили в 2018-2019 гг. на опытных посевах Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки (г. Уссурийск, п. Тимирязевский) с сектором почво-

ведения и экологии почв ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (г. Владивосток). Использовали бактериальные штаммы микроорганизмов, фиксирующие азот в почве (азотфиксаторы) – а1, растворяющие силикатные минералы и высвобождающие из них соединения калия (калийсолюбилизующие микроорганизмы) – с2, участвующие в минерализации органических фосфорных соединений и переводящие их в доступную для растений форму (фосфатсолюбилизующие микроорганизмы) – ф6 и ф19, полученные из коллекции микроорганизмов ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. Из бактериальных штаммов готовили консорциум бактерий, а в качестве сравнения (эталоны) использовали коммерческий препарат Экстрасол. Комплексные препараты применяли для предпосевной обработки семян (раствор рабочей жидкости 10 л/т) и обработки вегетирующих растений (раствор рабочей жидкости 300 л/га).

Схема опыта включала 11 вариантов: 1 – контроль (без обработки); 2 – а1с2ф6; 3 – ф19с2; 4 – а1с2; 5 – а1ф19; 6 – Экстрасол – эталон (предпосевная обработка семян); 7 – а1с2ф6; 8 – ф19с2; 9 – а1с2; 10 – а1ф19; 11 – Экстрасол – эталон (обработка по всходам).

Площадь делянки составляла 15 м², расположение рендомизированное, повторность – 3-кратная. Предшественник – соя. В течение вегетации проводили фенологические наблюдения и учеты, отбор почвы для агрохимического анализа и исследования микрофлоры [9]. Почва опытных участков – лугово-бурая оподзоленная, по механическому составу – тяжело-суглинистая. Содержание органического вещества (по Тюрину) – 2,51%; валового фосфора – 1530 мг/кг; N л.г. (по Тюрину и Кононовой) – 69 мг/кг; P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) – 71 и 154 мг/кг соответственно; рН_{ккл} 6,5 и S – 25,2 (по Каппену-Гильковицу), Нг (по Каппену) – 1,12 ммоль/100 г почвы. Численность микроорганизмов в почве: азотфиксаторы – 4,6 × 10⁵ КОЕ/г почвы, калий- и фосфатсолюбилизующие микроорганизмы – 8 × 10⁴ и 7 × 10² КОЕ/г почвы соответственно, выявлены методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды [10]. Валовое содержание фосфора опытных образцов почвы определяли методом энергодисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии (EDX). Уборку проводили в фазе полной спелости зерна комбайном Неже 125. Статистическая обработка данных проведена по методике Б.А. Доспехова [11].

Результаты и обсуждение. Бактериальные препараты существенно влияют на формирование структурных элементов урожая яровой пшеницы, в результате повышается урожайность и улучшается качество продукции [3, 12]. В наших опытах высокая урожайность отмечена в варианте при предпосевной обработке семян штаммами а1+ф19 – 4,3 т/га и при опрыскивании всходов штаммами а1+с2 – 4,2 т/га (в контроле – 3,8 т/га). В этих же вариантах было и высокое число зерен в колосе – 26,8 и 26,3 шт. соответственно. С наибольшей массой 1000 зерен выделился вариант (а1+ф19) и применением азотфиксирующих и фосфатсолюбилизующих бактерий при предпосевной обработке семян – 36,5 г. (табл.).

Численный состав микроскопических существ почв отличается большой динамичностью и может меняться даже за относительно короткие промежутки времени [13, 14]. Общая численность микроорганизмов ризосферы изменялась по фазам развития растений (рис. 1).

По данным ряда исследователей [7, 15], причиной изменения численности бактериальных сообществ

Урожайность яровой пшеницы в зависимости от применения штаммов бактерий

Вариант	Высота растения, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га
Контроль	105,4	23,7	34,7	3,8
Предпосевная обработка семян				
а1+с2+ф6	112,2	23,5	35,8	3,9
ф19+с2	105,9	26,3	34,9	4,1
а1+с2	106,4	25,5	36,0	4,0
а1+ф19	106,5	26,8	36,5	4,3
Экстрасол	110,8	26,1	34,6	3,9
Обработка всходов				
а1+с2+ф6	111,5	26,1	35,0	4,0
ф19+с2	107,6	25,8	34,8	4,1
а1+с2	112,3	26,3	35,3	4,2
а1+ф19	104,6	25,5	34,8	4,0
Экстрасол	106,6	23,9	34,2	3,9
НСР ₀₅	8,7	2,1	2,0	0,2

ризосферы в процессе вегетации является изменение состава и количества корневых выделений у растений, служащих источником питания для микроорганизмов. При предпосевной обработке семян и опрыскивании всходов максимальная численность микроорганизмов отмечена в фазе восковой спелости зерна (2,0 × 10⁷ КОЕ/г почвы). По нашему мнению, это связано с разложением отмирающих корневых остатков, в котором микроорганизмы активно участвуют.

В процессе роста и развития растений выявлены изменения в соотношении численности азотфиксирующих, калий- и фосфатсолюбилизующих микроорганизмов в ризосфере растений. Доля калийсолюбилизующих бактерий ризосферы увеличилась в фазе всходов при предпосевной обработке штаммами а1+ф19 и составила 25% (1,6 × 10⁵ КОЕ/г почвы), в контроле – 8,5 × 10⁴ КОЕ/г почвы. Количество азотфиксирующих штаммов было максимально при восковой спелости зерна – 97% (1,9 × 10⁷ КОЕ/г почвы) от общей численности бактерий – 2,0 × 10⁷ КОЕ/г почвы, в контроле – 4,1 × 10⁵ КОЕ/г почвы. Представители фосфатсолюбилизующих микроорганизмов составили 10% (8,7 × 10⁴ КОЕ/г почвы) от общей численности – 8,5 × 10⁵ КОЕ/г почвы при предпосевной обработке а1+с2+ф6 в фазе восковой спелости зерна. Таким образом, доля азотфиксирующих и фосфатсолюбилизующих бактерий в общей численности микроорганизмов ризосферы пшеницы возрастает в процессе роста и развития растений и максимальна в фазе восковой спелости зерна.

В результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов происходит мобилизация питательных веществ, находящихся в почве в недоступной для растений форме. Наиболее интенсивно микробиологические процессы происходят в ризосфере корневой системы. Благодаря этому накапливается большое количество доступных растению элементов минерального питания [15].

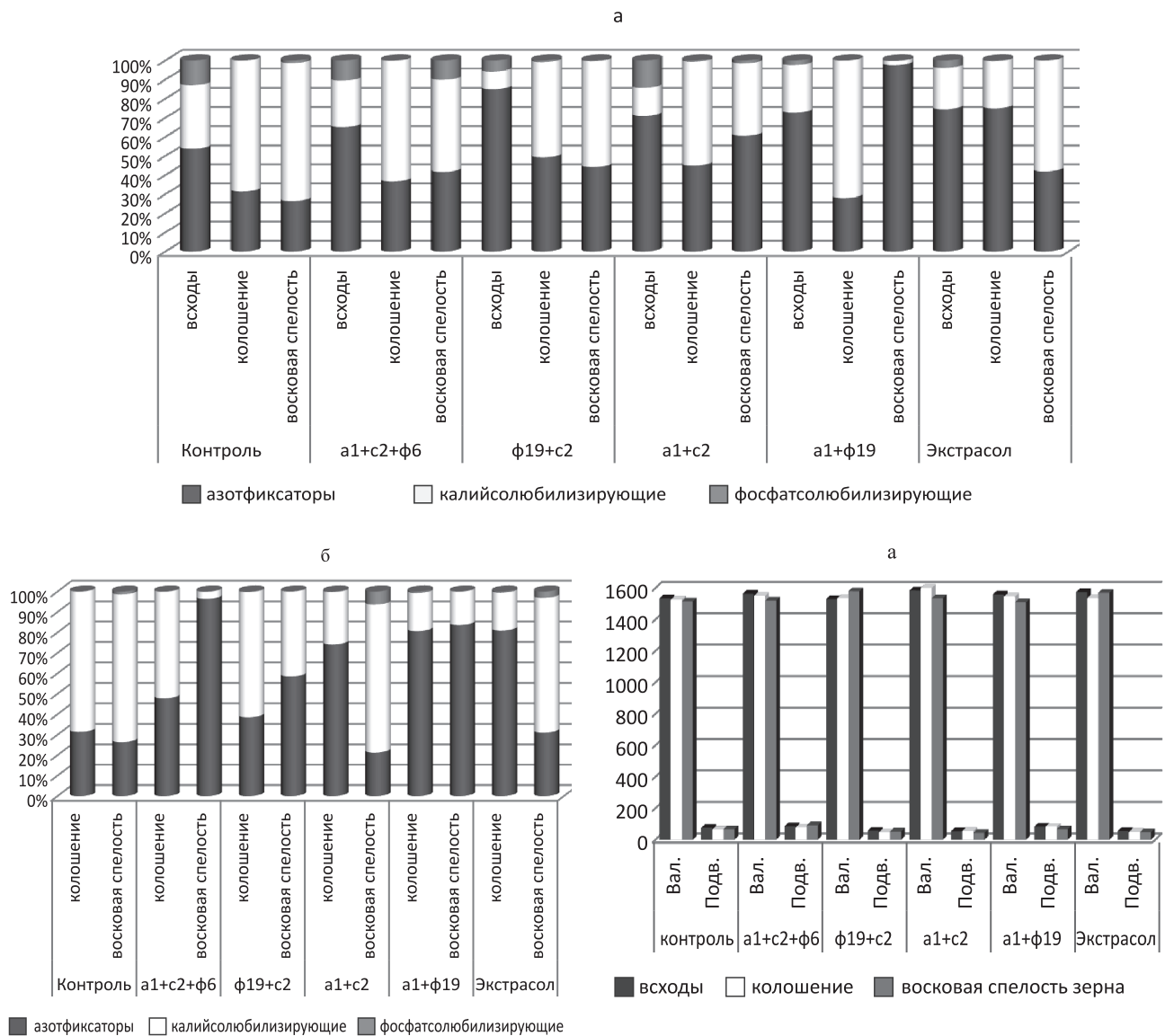


Рис. 1. Соотношение (%) численности микроорганизмов в разные фазы развития растений: а – при предпосевной обработке семян, б – при обработке всходов.

По значению в питании растений фосфор занимает второе место после азота [16, 17]. Рост и развитие растений зависят от наличия в почве водорастворимых форм фосфора. По сравнению с другими почвенными питательными веществами содержание доступного для растений фосфора в почве очень низкое – 25-37 мг/кг [18]. В последнее время все чаще используют био-препараты, содержащие бактерии, способствующие в процессе жизнедеятельности переводу этого элемента из труднодоступной в легкоусвояемую форму.

В наших опытах применение микроорганизмов влияло на содержание подвижных форм фосфора в почве в разные фазы развития растений (рис. 2).

При обработке семян консорциумом азотфиксирующих и калийсолюбилизующих бактерий (a1+c2) концентрация доступного растениям фосфора была максимальной в фазе колошения – 83 мг/кг. Высокое содержание подвижного фосфора также отмечено в ва-

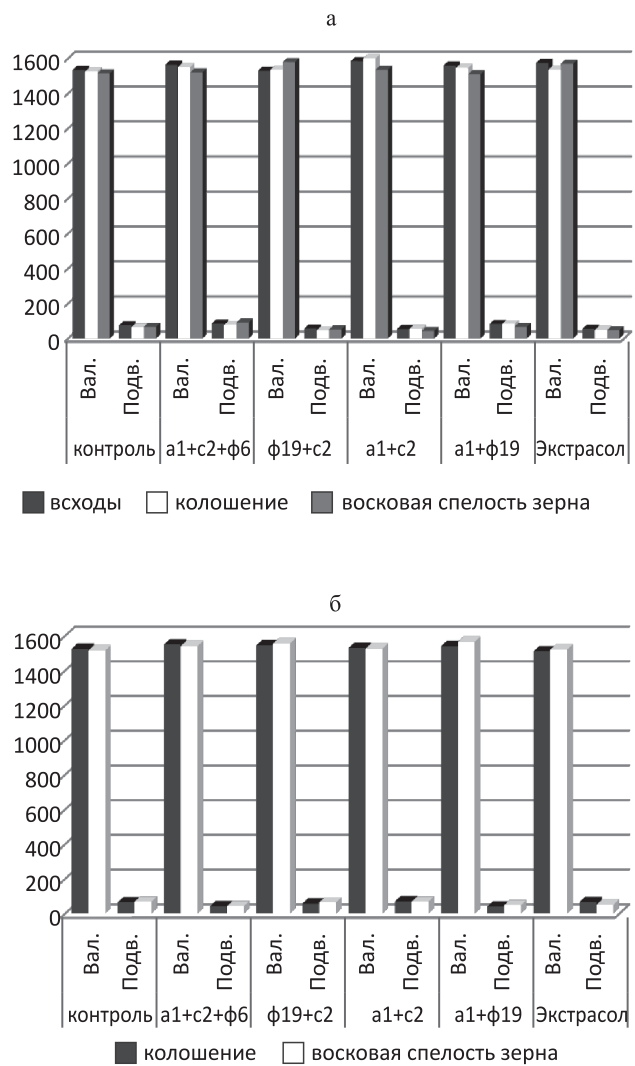


Рис. 2. Динамика содержания (мг/кг) валового и подвижного фосфора в почве в разные фазы развития растений: а – при предпосевной обработке семян, б – при обработке всходов.

рианте с азотфиксирующими, калий- и фосфатсолобилизирующими микроорганизмами (a1+c2+ф6) в фазе всходов – 86 мг/кг и восковой спелости зерна – 92 мг/кг. При опрыскивании всходов азотфиксирующими и калийсолобилизирующими бактериями в фазе колошения и восковой спелости зерна увеличилось количество доступного фосфора в почве до 69 мг/кг, при этом его валовые формы незначительно превышали контроль. Высокие значения валовых форм фосфора наблюдали при предпосевной обработке семян в вариантах с азотфиксирующими и калийсолобилизирующими микроорганизмами (a1+c2) в фазе всходов и колошения – 1585 и 1600 мг/кг соответственно и с фосфат- и калийсолобилизирующими штаммами (ф19+c2) – 1580 мг/кг в фазе восковой спелости зерна.

Таким образом, агрономически полезные почвенные микроорганизмы в разные фазы развития способствуют увеличению общей численности микроорганизмов ризосферы по фазам развития растений яровой пшеницы. Опрыскивание всходов фосфат- и калийсолобилизирующими бактериями в варианте (ф19+c2) в фазе восковой спелости зерна увеличивает общую численность микроорганизмов с $4,1 \times 10^5$ до $2,0 \times 10^7$ КОЕ/г почвы. В варианте с предпосевной обработкой (a1+c2+ф6) азотфиксирующими, калий- и фосфатсолобилизирующими микроорганизмами в фазе восковой спелости зерна отмечено высокое содержание подвижного фосфора – 92 мг/кг. Наибольшее число зерен в колосе – 26,8 шт. и масса 1000 зерен – 36,5 г получены при инокуляции семян перед посевом штаммами a1+ф19, что положительно влияло на формирование урожайности яровой пшеницы, которая составила 4,3 т/га.

Литература

1. Дмитриев Н.Н., Гамзиков Г.П. Систематическое применение удобрений как фактор стабилизации плодородия серых почв и продуктивности зерновых культур в зернопаровом севообороте // *Агрехимия*. – 2015. – N 2. – С. 3-12.
2. NFDC. (2002). *Fertilizer Review. National Fertilizer Development Centre (NFDC), Planning and Development Division. Islamabad. Publication No.3/2002.*
3. *Технология эффективного применения бактериальных препаратов для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в степной зоне Поволжья / сост. Т.М. Ярошенко, Д.Ю. Журавлев, Н.Ф. Климова, В.А. Куликова. – Саратов, 2017. – 26 с.*
4. Vance C.P. *Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources // Plant physiology*. – 2001. – V. 127(2). – P. 390-397.
5. Быковская А.Н., Сидоренко М.Л., Слепцова Н.А., Клыков А.Г., Бережная В.В., Колесникова Д.А. Применение агрономически ценных бактерий для повышения почвенного плодородия и урожайности ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L. // *Вестник ДВО РАН*. – 2020. – N 1 (209). – С. 75-82. DOI:10.25808/08697698.2020.209.1.008
6. Кефели В.И., Сидоренко О.Д. *Физиология растений с основами микробиологии*. – М.: Агрпромиздат, 1991. – 335 с.
7. *Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия / под. общ. ред. А.А. Завалина, А.П. Кожемякова. – СПб.: Химиздат, 2010. – 64 с.*
8. Defreita J.R., Germida J.J. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Winter Wheat // Canadian Journal of Microbiology*. – 1990. – V. 36. – P. 265-272.
9. *Методы почвенной микрофлоры и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.*
10. *Практикум по биологии почв / под ред. Г.М. Зеновой. – М.: МГУ, 2002. – 689 с.*
11. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
12. Девликамов М.Р. *Влияние бактериальных препаратов и микроэлементов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. – Пенза, 2007. – 122 с.*
13. Мишустин Е.Н. *Ассоциации почвенных микроорганизмов*. – М.: Наука, 1975. – 107 с.
14. Звягинцев Д.Г. *Почва и микроорганизмы* – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 256 с.
15. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. *Агрехимия*. – М.: Колос, 2002. – 582 с.
16. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. *Микробиология*. – М.: Агрпромиздат, 1987. – 368 с.
17. Wahid F., Sharif M., Khan M.A., Ali A., Khattak A.M., Saljoqi A.R. *Addition of Rock Phosphate to Different Organic Fertilizers Influences Phosphorus Uptake and Wheat Yield // Ciência e Técnica*. – 2015. – V. 30. – P. 91-100.
18. *Характеристика агроземов Приморья: коллективная монография / отв. ред. Ю.И. Слабко, В.И. Сунельников. – Уссурийск: ГЦАС «Приморский», ДВО ДОП РАН, 2001. – 172 с.*

Поступила в редакцию 09.07.20
Принята к публикации 20.07.20