

Научная статья/Research Article

УДК 631.461.73

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-14-23

Светлана Васильевна Гальченко^{1✉}, Алина Сергеевна Чердакова²

^{1,2}Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, Рязань, Россия

¹s.galchenko2017@yandex.ru

²cerdakova@yandex.ru

АБОРИГЕННАЯ ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩАЯ МИКРОФЛОРА ПОЧВ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Цель исследования – оценить фосфатмобилизирующую активность микрофлоры основных зональных типов почв Рязанской области. Исследовались почвенные образцы основных зональных типов почв Рязанской области: дерново-подзолистой (Касимовский район Рязанской области), серой лесной (Рязанский район Рязанской области) и чернозема выщелоченного (Александровский район Рязанской области). Выделение штаммов фосфатмобилизирующих микроорганизмов проводилось с помощью различных питательных сред: выполнялся посев как на селективную питательную среду (жидкую и твердую), так и на среду общего назначения с последующим пересевом на селективную. В качестве положительного контроля использовался штамм *Enterobacter ludwigii* – известный фосфатмобилизатор, применяемый в сельскохозяйственной практике. Ключевым критерием оценки активности выделенных микроорганизмов являлась концентрация мобилизуемого ими фосфора, количественное определение которого осуществлялось спектрофотометрическим методом. Максимальную фосфатмобилизирующую активность, превышающую таковую даже у эталонного штамма *Enterobacter ludwigii*, показали микроорганизмы, выделенные из дерново-подзолистой почвы и чернозема выщелоченного Рязанской области. Так, на варианте эксперимента с *Enterobacter ludwigii* концентрация растворимого фосфора составила 287 мг/л, а на вариантах с черноземом выщелоченным и дерново-подзолистой почвой – 307 и 361 мг/л соответственно. Концентрации фосфора высвобожденного бактериями чернозема выщелоченного превысили таковые у эталонного фосфатмобилизатора *Enterobacter ludwigii* на 7 % за 20 сут экспозиции, а в случае со штаммами дерново-подзолистой почвы указанная разница составляла уже более 25 %. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования аборигенных микроорганизмов, адаптированных к местным почвенным условиям, для разработки биопрепаратов, направленных на повышение доступности фосфора для растений.

Ключевые слова: микробиологическая фосфатмобилизация, чернозем выщелоченный, серая лесная почва, дерново-подзолистая почва, бациллы, энтеробактерии

Для цитирования: Гальченко С.В., Чердакова А.С. Аборигенная фосфатмобилизирующая микрофлора почв Рязанской области // Вестник КрасГАУ. 2026. № 4. С. 14–23. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-14-23

Svetlana Vasilyevna Galchenko^{1✉}, Alina Sergeevna Cherdakova²

^{1,2}Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russia

¹s.galchenko2017@yandex.ru

²cerdakova@yandex.ru

ABORIGINAL PHOSPHATE-MOBILIZING SOIL MICROFLORA OF THE RYAZAN REGION

The aim of the study is to evaluate the phosphate-mobilizing activity of microflora from the main zonal soil types in the Ryazan Region. Soil samples from the main zonal soil types in the Ryazan Region were analyzed: sod-podzolic soil (Kasimovsky District, Ryazan Region), gray forest soil (Ryazan District, Ryazan Region), and leached chernozem (Aleksandro-Nevsky District, Ryazan Region). Phosphate-solubilizing mic-

roorganism strains were isolated using various nutrient media: cultures were inoculated on both a selective nutrient medium (liquid and solid) and a general-purpose medium, followed by subculture on a selective medium. *Enterobacter ludwigii*, a well-known phosphate mobilizer used in agricultural practice, was used as a positive control. The key criterion for assessing the activity of the isolated microorganisms was the concentration of phosphorus mobilized by them, which was quantified spectrophotometrically. Microorganisms isolated from sod-podzolic soil and leached chernozem in the Ryazan Region showed maximum phosphate-mobilizing activity, exceeding that of even the reference strain *Enterobacter ludwigii*. Thus, in the experimental variant with *Enterobacter ludwigii*, the soluble phosphorus concentration was 287 mg/l, while in the variants with leached chernozem and sod-podzolic soil, it was 307 and 361 mg/l, respectively. Phosphorus concentrations released by bacteria in leached chernozem exceeded those of the reference phosphate mobilizer *Enterobacter ludwigii* by 7 % over 20 days of exposure, and for strains from sod-podzolic soil, the difference was more than 25 %. The obtained data demonstrate the potential of using native microorganisms adapted to local soil conditions for the development of biopreparations aimed at increasing phosphorus availability to plants.

Keywords: microbiological phosphate mobilization, leached chernozem, gray forest soil, sod-podzolic soil, bacilli, enterobacteria

For citation: Galchenko SV, Cherdakova AS, Aboriginal phosphate-mobilizing microflora of soils of the Ryazan Region. *Bulletin of KSAU*. 2026;(4):14-23. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-14-23.

Введение. Фосфор является одним из наиболее значимых макроэлементов, необходимых для обеспечения нормального роста и развития растений. Он играет ключевую роль в энергетическом обмене, фотосинтезе, синтезе нуклеиновых кислот и других жизненно важных процессах [1, 2]. Однако подавляющее большинство соединений фосфора в почве (около 90 %) находится в неусвояемых или трудноусвояемых для растений формах, что затрудняет получение высоких урожаев без внесения фосфорных удобрений [3]. Несмотря на масштабное применение, их эффективность остается достаточно низкой и часто не превышает даже 30 %, что приводит к значительным финансовым затратам и негативным экологическим последствиям [4]. Так, миграция соединений фосфора с сельскохозяйственных полей в составе поверхностного и подземного стока приводит к эвтрофикации водных объектов, что резко снижает качество и количество источников водопользования [5, 6]. Кроме того, нерастворимые соединения фосфора в почве негативно влияют на рекультивацию посттехногенных ландшафтов, поскольку его недоступность для поглощения растениями замедляет восстановление почвенно-растительного покрова [7].

Перечисленные проблемы, особенно в условиях усиления техногенного пресса, быстрого роста численности населения и, соответственно, продовольственных нужд [8], подталкивают исследователей к поиску экологически безопасных и экономически выгодных способов трансформации нерастворимых соединений почвен-

ного фосфора в растворимые формы. Большим потенциалом в данном вопросе обладают фосфатмобилизирующие микроорганизмы (PSM), в т. ч. бактерии, обитающие в почве, и биопрепараты на их основе. При этом приоритет отдается микроорганизмам, извлеченным из природных источников региона предполагаемого применения, так как они адаптированы к местным почвенным условиям, температуре и другим факторам, что облегчает их использование и повышает эффективность [9]. Ввиду чего, несмотря на общие закономерности функционирования фосфатмобилизирующих микроорганизмов, наиболее эффективным решением остается применение биопрепаратов на основе их аборигенных штаммов. Именно такие бактерии максимально адаптированы к специфическим климатическим условиям, в то время как интродуцированные штаммы могут не выжить или проявлять низкую активность в непривычной для них среде, а также вызвать риск нарушения баланса естественного биоценоза почвы [10].

Цель исследования – оценить фосфатмобилизирующую активность микрофлоры основных зональных типов почв Рязанской области.

Объекты и методы. С целью оценки численности и состава микробных сообществ методом «конверта» отбирались усредненные пробы основных зональных типов почв Рязанской области: дерново-подзолистой (Касимовский район), серой лесной (Рязанский район) и чернозема выщелоченного (Александровский район).

Выделение фосфатсолобилизирующих штаммов бактерий проводилось с помощью различных питательных сред: выполнялся посев как на селективную питательную среду (жидкую и твердую), так и на среду общего назначения с последующим пересевом на селективную.

Первоначально образцы почвенной суспензии были добавлены в жидкую питательную среду общего назначения, это позволяет микроорганизмам размножиться и увеличить свою популяцию, что повышает вероятность выявления целевых видов на селективных средах. Для этих целей был использован БТН-бульон – жидкая среда, служащая основой для культивирования и поддержания роста широкого спектра микроорганизмов. В ее составе содержится белковый ферментативный гидролизат, ферментативный пептон, экстракт автолизированных дрожжей, натрия хлорид и натрия карбонат. Процесс размножения микроорганизмов определялся визуально, по помутнению бульона.

После помутнения бульона из питательной среды общего назначения был выполнен пересев на селективную среду (NBRIP-агар) для PSB, содержащую нерастворимый ортофосфат кальция в виде мелкодисперсной взвеси, придающей среде мутность. Фосфатмобилизирующие бактерии используют его в качестве источника питания, что приводит к прояснению среды вокруг растущих колоний. Образование таких зон гало является общепринятым критерием для быстрого отбора фосфатмобилизирующих микроорганизмов и проведения предварительной оценки их активности [11]. На основании этого признака из каждой почвенной пробы были отобраны изолированные колонии на NBRIP-агаре, а для дальнейших исследований было выбрано по одному штамму из каждого типа почвы, показавшему максимальный диаметр зоны гало в ходе первичного скрининга.

Для визуализации деятельности фосфатмобилизирующих микроорганизмов в питательную среду добавлялись индикаторы, а именно бромтимоловый синий и метиленовый красный. Исходный цвет данных сред – синий и желтый соответственно. При изменении реакции среды в кислую сторону (в результате выделения органических кислот микроорганизмами) происхо-

дит изменение цвета индикаторов: бромтимоловый синий становится желтым, а метиленовый красный – красным.

Помимо твердой среды использовалась и жидкая, состав которой был аналогичен по содержанию солей, но не содержал агар и pH-индикаторы.

Для посева на жидкую среду (БТН-бульон) в каждую колбу вливали по 0,1 мл почвенной суспензии. Посев на твердую среду NBRIP из жидкого бульона проводили методом Дригальского: 0,1 мл суспензии вносили в первую чашку Петри и равномерно распределяли по поверхности агара стерильным шпателем, затем тем же шпателем без стерилизации осуществляли посев во вторую, третью и четвертую чашки. Таким образом, получали нулевое, первое, второе и третье разведения.

По завершении инкубации в термостате в течение 1–7 сут на чашке Петри с третьим разведением каждая отдельная бактериальная клетка формировала изолированную колонию. После чего осуществлялся перенос отдельной, хорошо изолированной колонии на новую чашку Петри с использованием техники «истощающего штриха».

В качестве положительного контроля на агаризованную среду NBRIP был осуществлен посев колоний штамма *Enterobacter ludwigii*, известного фосфатмобилизатора, применяемого в сельскохозяйственной практике.

Ключевым критерием оценки активности выделенных микроорганизмов являлась концентрация мобилизуемого ими фосфора, количественное определение которого осуществлялось спектрофотометрическим методом. Для чего исследовалось по 1 мл жидкой питательной среды, соответствующей каждому из трех типов почв. Во все колбы со средой добавляли фотометрические реагенты и доводили объем растворов до 50 мл дистиллированной водой (рис. 1).

Пробы инкубировались в течение 40 мин. В результате химической реакции происходило формирование окрашенного соединения, интенсивность которого, проявляющаяся в насыщенном синем цвете, была пропорциональна концентрации фосфора в исследуемых пробах. Контролем являлись пробы среды с колониями штамма *Enterobacter ludwigii*.



Рис. 1. Появление синей окраски соединений в результате реакции фосфора с фотометрическими реагентами в исследуемых образцах жидкой питательной среды
The appearance of a blue color of compounds as a result of the reaction of phosphorus with photometric reagents in the studied samples of liquid nutrient medium

Результаты и их обсуждение. Было установлено, что образцы всех исследуемых почв содержат бактерии, обладающие фосфатмобилизирующей активностью и образующие зоны гало вокруг колоний, а также приводящие к изменению цвета индикатора в составе питательной среды за счет выделения кислот, что лежит в

основе превращения нерастворимых соединений фосфора в растворимые.

Изменение цвета бромтимолового синего на желтый четко визуализировалось по краям зон гало на чашках Петри, соответствующих разным почвенным образцам (рис. 2).

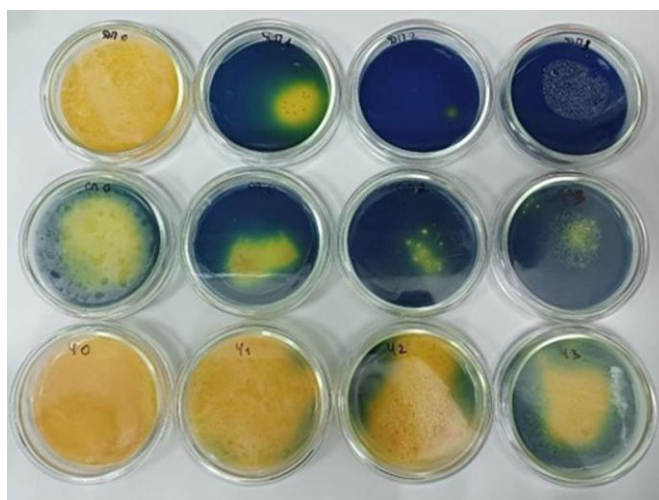


Рис. 2. Выделение чистых культур PSB на NBRIP-агаре методом Дригальского
Isolation of pure cultures of PSB on NBRIP agar using the Drygalski method

Вокруг колоний, выделенных из чернозема выщелоченного, формировались зоны гало диаметром 16 мм, а из серой лесной почвы – 15 мм. В случае с дерново-подзолистой почвой диаметр зон гало составил только 8 мм. Полученные результаты свидетельствуют о более низкой способности бактерий дерново-подзолистой почвы

растворять соединения фосфора. Это может быть связано с составом микробного сообщества в данной почве, менее эффективно выделяющего фосфатазы или органические кислоты в процессе жизнедеятельности, о чем свидетельствует меньший диаметр зоны изменения цвета – индикатора вокруг колоний данных бактерий (рис. 3).

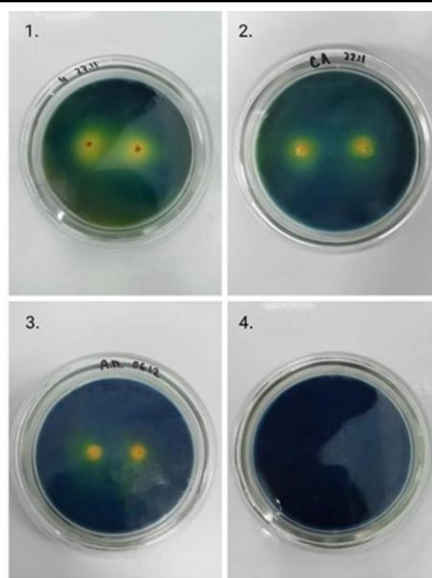


Рис. 3. Зоны гало вокруг колоний фосфатмобилизирующих бактерий, выделенных из почвенных образцов: (1 – чернозем выщелоченный; 2 – серая лесная почва; 3 – дерново-подзолистая почва; 4 – контроль (среда без микроорганизмов)
 Halo zones around colonies of phosphate-mobilizing bacteria isolated from soil samples: (1 – leached chernozem; 2 – gray forest soil; 3 – sod-podzolic soil; 4 – control (environment without microorganisms))

Диаметр зон гало, сформированных вокруг колоний контрольного штамма *Enterobacter ludwigii*, составил 20 мм, что свидетельствует о более высокой фосфатсольбилизирующей спо-

собности по сравнению с аборигенными микроорганизмами, выделенными из образцов почв Рязанской области (рис. 4).



Рис. 4. Зоны гало вокруг колоний фосфатмобилизирующих бактерий *Enterobacter ludwigii*
 Halo zones around colonies of phosphate-mobilizing bacteria *Enterobacter ludwigii*

Несмотря на то, что в ходе проведенного исследования штаммы, выделенные из почв Рязанской области, показали меньшую фосфатмобилизирующую активность *in vitro* по сравнению с контрольным штаммом *Enterobacter ludwigii*, использование аборигенных штаммов для производства биопрепаратов представляется более перспективным в условиях местного применения. Это обусловлено высокой адаптацией аборигенных штаммов к почвенно-климатическим

условиям, ввиду чего они более эффективно колонизируют ризосферу и, как следствие, лучше мобилизуют фосфор *in situ*. Аборигенные штаммы обладают конкурентными преимуществами в борьбе за ресурсы с местной микробиотой и лучше выживают в условиях, характерных для региона [12–14]. Таким образом, полученные в ходе исследования результаты открывают перспективы для дальнейших исследований по отбору и применению эффективных абориген-

ных фосфатмобилизаторов с целью их использования при разработке биопрепаратов для сельского хозяйства Рязанской области и других регионов с теми же зональными типами почв.

С целью изучения динамики фосфат-растворяющей активности бактерий проводилось количественное измерение концентрации свободного фосфора в питательной среде. Измерения проводились на 1-е, 6-е и 20-е сут инкубации.

Согласно полученным данным (табл. 1), на 1-е сут инкубации в питательной среде концентрация свободного фосфора в контрольной пробе (без добавления микроорганизмов) составила 16 мг/л. В пробе с *Enterobacter ludwigii* концентрация достигла 58 мг/л. Концентрация фосфора в пробах со штаммом, выделенным из черноземной почвы, составила 64 мг/л, из серой лесной – 29, а из дерново-подзолистой – 17 мг/л.

Таблица 1

Оптическая плотность и концентрация фосфора в жидкой питательной среде с бактериями из основных зональных типов почв Рязанской области и в контрольных средах на 1-е сутки инкубации

Optical density and phosphorus concentration in liquid nutrient medium with bacteria from the main zonal soil types of the Ryazan region and in control media on day 1 of incubation

Образец	Оптическая плотность раствора (A)	Концентрация P, мг/л
Среда с <i>Enterobacter ludwigii</i>	0,276	58
Чернозем выщелоченный	0,303	64
Серая лесная почва	0,139	29
Дерново-подзолистая почва	0,084	17
Контроль (среда без микроорганизмов)	0,079	16

Полученные данные свидетельствуют о выраженной фосфатмобилизирующей активности штамма, выделенного из чернозема выщелоченного, уже на ранних этапах исследования. Их способность к мобилизации фосфатов (64 мг/л) превосходит даже показатели контрольного штамма *Enterobacter ludwigii* (58 мг/л), признанного эффективным фосфатмобилизатором.

В то же время бактерии из дерново-подзолистой почвы продемонстрировали значительно более низкую активность (17 мг/л), сопоставимую с контрольным образцом без инокуляции (16 мг/л).

Данные результаты указывают на различную скорость активации фосфатмобилизирующих процессов в исследуемых почвах. В частности бактериальное сообщество чернозема выщелоченного обладает значительным потенциалом для быстрого улучшения фосфорного питания растений, в отличие от микроорганизмов дерново-подзолистой почвы, требующих, вероятно, более длительного периода адаптации или стимуляции для проявления подобной активности.

На 6-е сут инкубации наблюдалась значительная динамика в мобилизации фосфора в питательной среде (табл. 2).

Таблица 2

Оптическая плотность и концентрация фосфора в жидкой питательной среде с бактериями из основных зональных типов почв Рязанской области и в контрольных средах на 6-е сутки инкубации

Optical density and phosphorus concentration in liquid nutrient medium with bacteria from the main zonal soil types of the Ryazan region and in control media on the 6th day of incubation

Образец	Оптическая плотность раствора (A)	Концентрация P, мг/л
Среда с <i>Enterobacter ludwigii</i>	0,813	194
Чернозем выщелоченный	0,979	236
Серая лесная почва	0,580	136
Дерново-подзолистая почва	0,975	235
Контроль (среда без м/о)	0,095	14

Важно отметить, что штамм, выделенный из черноземной почвы, продемонстрировали высокую фосфатмобилизирующую активность (236 мг/л). Однако наиболее примечательным является то, что на 6-е сут инкубации бактерии, изолированные из дерново-подзолистой почвы, также достигли близких значений (235 мг/л), показав существенный рост активности по сравнению с первыми этапами исследования. Штамм из серой лесной почвы показал промежуточные результаты (136 мг/л).

К 20-м сут инкубации (табл. 3) штамм, выделенный из дерново-подзолистой почвы, продемонстрировал наивысшую активность, достигнув концентрации растворимого фосфора 361 мг/л. Данный результат значительно превосходил показатели бактерий из серой лесной почвы (148 мг/л), чернозема выщелоченного (307 мг/л) и даже эталонного штамма *Enterobacter ludwigii* (287 мг/л).

Таблица 3

Оптическая плотность и концентрация фосфора в жидкой питательной среде с бактериями из основных зональных типов почв Рязанской области и в контрольных средах на 20-е сутки инкубации

Optical density and phosphorus concentration in liquid nutrient medium with bacteria from the main zonal soil types of the Ryazan region and in control media on the 20th day of incubation

Образец	Оптическая плотность раствора (A)	Концентрация P, мг/л
Среда с <i>Enterobacter ludwigii</i>	1,020	287
Чернозем выщелоченный	1,086	307
Серая лесная почва	0,577	148
Дерново-подзолистая почва	1,257	361
Контроль (среда без микроорганизмов)	0,125	15

Полученные данные указывают на то, что хотя штамм из чернозема выщелоченного изначально, в 1-е сут инкубации, проявляют более высокую скорость мобилизации фосфатов, бактериальное сообщество дерново-подзолистой почвы обладает большим потенциалом для достижения сопоставимого уровня активности при увеличении продолжительности инкубации.

При анализе динамики отдельных штаммов микроорганизмов каждой из исследуемых типов почв Рязанской области установлено, что на всех четырех вариантах, включая среду с эталонным штаммом, наблюдается увеличение концентрации растворимого фосфора с течением времени инкубации (рис. 5). Это свидетельствует о нарастании активной работы PSB во времени.

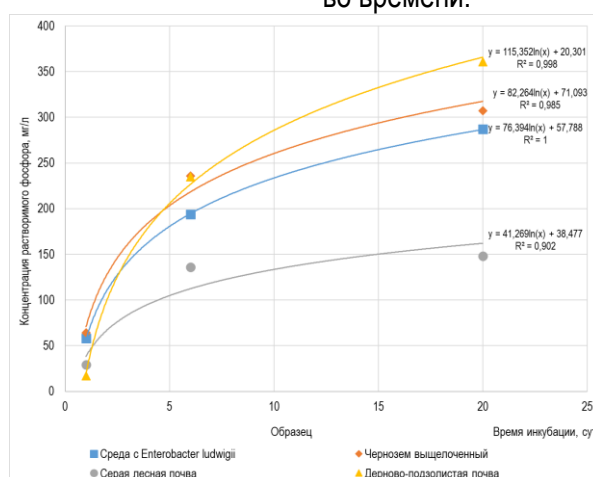


Рис. 5. Динамика изменения концентрации растворимого фосфора в жидкой питательной среде при инкубации (1-е, 6-е и 20-е сут) для эталонного штамма *Enterobacter ludwigii* и штаммов, выделенных из трех типов почв

*Dynamics of changes in the concentration of soluble phosphorus in liquid nutrient medium during incubation (1, 6 and 20 days) for the reference strain *Enterobacter ludwigii* and strains isolated from three types of soils*

Штамм бактерий из чернозема выщелоченного показал стабильную фосфатмобилизующую активность на протяжении всего эксперимента. Здесь концентрация фосфора увеличивалась постепенно, достигнув 307 мг/л к 20-м сут инкубации, что является вторым по величине результатом после дерново-подзолистой почвы.

Штамм, выделенный из серой лесной почвы, проявил наименьшую фосфатмобилизующую активность по сравнению с другими исследованными образцами.

Контрольный штамм *Enterobacter ludwigii* продемонстрировал ожидаемую активность, подтверждая валидность экспериментальной системы. Однако стоит отметить, что бактерии из чернозема выщелоченного и дерново-подзолистой почвы показали сопоставимые, а под конец эксперимента даже более высокие результаты.

Данный факт свидетельствует, что, несмотря на меньший диаметр зон гало, наблюдаемый на твердой среде, исследуемые аборигенные микроорганизмы, особенно штаммы из черноземной и дерново-подзолистой почв, обладают значительным потенциалом для мобилизации

фосфора в жидкой питательной среде. Это подчеркивает их перспективность в создании биоудобрений и обосновывает целесообразность дальнейших исследований, направленных на их идентификацию, изучение свойств и механизмов действия.

Заключение. Таким образом, среди выделенных из основных зональных типов почв Рязанской области штаммов максимальную фосфатмобилизующую активность показали микроорганизмы, полученные из чернозема выщелоченного и дерново-подзолистой почвы. Так, концентрации фосфора высвобожденного бактериями чернозема выщелоченного превысили таковые у эталонного фосфатмобилизатора *Enterobacter ludwigii* на 7 % за 20 сут экспозиции, а в случае со штаммами дерново-подзолистой почвы указанная разница составляла уже более 25 %.

На основании полученных данных можно утверждать о перспективности использования аборигенных микроорганизмов, адаптированных к местным почвенным условиям, для разработки биопрепаратов, направленных на повышение доступности фосфора для растений.

Список источников

1. Прилепский А.С. Значение фосфора в сельском хозяйстве. В сб.: Международная научно-практическая конференция «Наука и образование: от теории к практике». Часть 2. Казань, 20 июля 2023. Уфа: Аэтерна, 2023. С. 87–89. EDN: HQNNIL.
2. Белясова Н.А., Игнатовец О.С., Сергиевич Д.С., и др. Выделение и характеристика почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2. С. 93–97. EDN: XRYXZJ.
3. Тимофеева А.М., Галямова М.Р., Седых С.Е. Биологическая активность почвенных бактерий, стимулирующих рост растений: фиксация азота, солюбилизация фосфата, синтез сидерофоров. Перспективы разработки микробных консорциумов // Агрехимия. 2024. № 5. С. 85–95. DOI: 10.31857/S0002188124050111. EDN: CYHMZK.
4. Рубанов Н.И., Фомин А.А. Рынок биопродуктов в растениеводстве // Московский экономический журнал. 2018. № 3. С. 2. EDN: YHKJYD.
5. Долгов С.В., Швыдкий В.О., Штамм Е.В. Закономерности формирования баланса азота и фосфора на речных водосборах в центральной лесостепи Русской равнины в 1990–2020 гг. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85, № 3. С. 355–367. DOI: 10.31857/S2587556621030031. EDN: WANHUN.
6. Цыбулько Н.Н., Жукова И.Н., Юхновец А.В. Потери органического вещества и элементов питания при водной эрозии почв на склоновых землях // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2022. № 1. С. 84–93. DOI: 10.46646/2521-683X/2022-1-84-93. EDN: YOIFIM.
7. Малева М.Г., Чукина Н.В., Борисова Г.Г., и др. Влияние рекультивационных мероприятий на содержание биогенных элементов и продукционный процесс у *Listera ovata* (*Orchidaceae*) в условиях золоотвала. В сб.: XI Всероссийская научная конференция с международным участием «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель». Сатка, Челябинская обл., 12–16 сентября 2022 года. Сатка: Принтотоника, 2022. С. 123–127. EDN: ICVVUC.

8. Адушев М.Н. Демография и экономика России: зависимость, проблемы и возможности их решения // Региональная экономика и управление. 2021. № 4. EDN: XXXZSG.
9. Чайковская Л.А., Овсиенко О.Л. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы: биоразнообразие, влияние на Минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4. С. 159–182. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159–182. EDN: NBZFFEN.
10. Давлетшина А.Я., Дегтярева И.А. Биодобрения на основе аборигенных штаммов микроорганизмов для биоремедиации нефтезагрязненных земель. В сб.: II Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века». Казань, 20–23 сентября 2016. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2016. С. 116. EDN: XWSZMJ.
11. Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., и др. Выделение и идентификация фосфатмобилизирующих солетолерантных бактерий для стимуляции роста сои // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 5. С. 18–23. DOI: 10.17513/npjfi.13537. EDN: JDIMBM.
12. Меркушева М.Г., Болонева Л.Н. Биологически активные минеральные и органо-минеральные удобрения пролонгированного действия. В сб.: IV Международный биотехнологический форум BIOASIA ALTAI 2024. Барнаул, 23–28 сентября 2024. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2024. С. 151–154. EDN JYKONI.
13. Смирнова И.Э., Саданов А.К. Агротомически ценные микроорганизмы и их ассоциация для сельского хозяйства // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 2. С. 19–23. EDN: XAXUNV.
14. Ерегина С.В., Кузнецова М.М. Потенциал использования микроорганизмов рода *Bacillus* в растениеводстве // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024. № 3. С. 19–35. DOI: 10.24411/2078-1318-2024-3-19-35. EDN: YLLERU.

References

1. Prilepskiy AS. Znachenie fosfora v sel'skom khozyajstve. In.: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauka i obrazovanie: ot teorii k praktike"*. Part 2. Kazanb 20 Jul 2023. Ufa: Ae'terna; 2023. P. 87–89. (In Russ.). EDN: HQNNIL.
2. Beljasova NA, Ignatovec OS, Sergievich DS, et al. Separation and characteristics of soil phosphate-mobilizing microorganisms. *Bulletin of the Belarussian state agricultural academy*. 2018;2:93-97. (In Russ.). EDN: XRYXZJ.
3. Timofeeva AM, Galjamova MR, Sedyh SE. Biological Activity of Soil Bacteria that Stimulate Plant Growth: Nnitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Synthesis of Siderophores. Prospects for the Development of Microbial Consortiums. *Agricultural Chemistry*. 2024;5:85-95. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188124050111. EDN: CYHMZK.
4. Rubanov NI, Fomin AA. Rynok bioproductov v rastenievodstve. *Moskovskij jekonomicheskij zhurnal*. 2018;3:2. (In Russ.). EDN: YHKJYD.
5. Dolgov SV, Shvydkii VO, Shtamm EV. Regularities of the Nitrogen and Phosphorus Balance Formation in River Catchments in the Central Forest-Steppe of the Russian Plain in 1990-2020. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2021;85(3):355-367. (In Russ.). DOI: 10.31857/S2587556621030031. EDN: WANHUH.
6. Cybul'ko NN, Zhukova IN, Juhnovec AV. Loss of organic matter and nutrients at soil water erosion on slope lands. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2022;1:84–93. (In Russ.). DOI: 10.46646/2521-683X/2022-1-84-93. EDN: YOIFIM.
7. Maleva MG, Chukina NV, Borisova GG, et al. The biological reclamation and monitoring of disturbed lands. In.: *XI Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya s mezhdunarodny'm uchastiem "Biologicheskaya rekul'tivaciya i monitoring narushennyh zemel"*. Satka, Chelyabinskaya obl. 12–16 Sep. 2022. Satka: Printonika; 2022. P. 123–127. EDN: ICVVUC.
8. Adushev MN. Demography and economy of Russia: dependence, problems and opportunities for their solution. *Regional'naja jekonomika i upravlenie*. 2021;4. (In Russ.). EDN: XXXZSG.

9. Chajkovskaja LA, Ovsienko OL. Fosfatmobilizujushhie mikroorganizmy: bioraznoobrazie, vlijanie na Mineral'noe pitanie rastenij i ikh produktivnost'. *Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki*. 2021;4:159-182. (In Russ.). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182. EDN: NBZFFEN.
10. Davletshina AJa, Degtjareva IA. Biudobrenija na osnove aborigennyh shtammov mikroorganizmov dlja bioremediacii neftezagryznennyh zemel'. In.: *II Mezhdunarodnaya shkola-konferenciya studentov, aspirantov i molodyx uchenyx "Materialy i tehnologii XXI veka"*. Kazan', 20–23 Sep 2016. Kazan': Kazanskij (Privolzhsckij) federal'nyj universitet, 2016. P. 116. (In Russ.). EDN: XWSZMJ.
11. Smirnova IJ, Baimakhanova GB, Faizulina ER, et al. Vydelenie i identifikacija fosfatmobilizujushchih soletolerantnyh bakterij dlja stimuljacii rosta soi. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2023;5:18-23. (In Russ.). DOI: 10.17513/mjpf.13537. EDN: JDIMBM.
12. Merkusheva MG, Boloneva LN. Biologicheski aktivny'e mineral'nye i organo-mineral'nye udobreniya prolongirovannogo dejstviya. In.: *IV Mezhdunarodnyj biotexnologicheskij forum BIOASIA ALTAI 2024*. Barnaul. 23–28 Sep 2024. Barnaul: Altajskij gosudarstvennyj universitet; 2024. P. 151–154. EDN: JYKONI.
13. Smirnova IE, Sadanov AK. Agronomicheski cennye mikroorganizmy i ih asociacija dlja sel'skogo hozjajstva. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2020;2:19-23. (In Russ.). EDN: XAXUNV.
14. Eregina SV, Kuznecova MM. Potencial ispol'zovanija mikroorganizmov roda *Bacillus* v rastenievodstve. *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;3):19-35. (In Russ.). DOI: 10.24411/2078-1318-2024-3-19-35. EDN: YLLERU.

Статья принята к публикации 24.02.2026 / The article accepted for publication 24.02.2026

Информация об авторах:

Светлана Васильевна Гальченко, доцент кафедры биологии и методики ее преподавания, кандидат биологических наук, доцент

Алина Сергеевна Чердакова, доцент кафедры географии, экологии и туризма, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Svetlana Vasilyevna Galchenko, Associate Professor, Department of Biology and Teaching Methods, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Alina Sergeevna Cherdakova, Associate Professor, Department of Geography, Ecology, and Tourism, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

