

МРНТИ 34.27.17

И.Э. СМЕРНОВА*, Э.Р. ФАЙЗУЛИНА, Л.Г. ТАТАРКИНА, Г.Б. БАЙМАХАНОВА,
Г.А. СПАНКУЛОВА, А.Е. ЕЛУБАЕВА

ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии»,

Алматы, Казахстан

*iesmirnova@mail.ru

ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИЕ БАКТЕРИИ ИЗ ПОЧВ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА

<https://doi.org/10.53729/MV-AS.2021.01-02.03>

Аннотация

С полей сои Алматинской области Казахстана выделены аборигенные фосфатмобилизующие бактерии. Установлено, что их содержание в почве было низким и составляло 3-12% от общей численности бактериальной микрофлоры. Получено 32 чистые культуры фосфатмобилизующих бактерий, на основе которых создана коллекция. Изучены основные культурально-морфологические и биохимические признаки фосфатмобилизующих бактерий и проведена их первичная идентификация. Установлено, что выделенные бактерии относятся к родам *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium* и *Agrobacterium*.

Ключевые слова: фосфатмобилизующие бактерии, почва, выделение, чистые культуры

Одним из основных элементов питания растений, в том числе сельскохозяйственных культур, является фосфор. Этот элемент ускоряет процесс созревания культур, увеличивает их холодостойкость и повышает устойчивость растений к стрессовым факторам, таким как засуха, засоленность и др. При низком содержании фосфора в почве задерживается рост и развитие растений, снижается иммунитет и устойчивость культур к вредителям и болезням [1]. Поэтому для получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур в почву ежегодно вносится большое количество фосфорных удобрений. Так, в среднем по Алматинской области вносят 100-120 кг/га почвы, из них доступно для растений только 8-10%. В то же время, чрезмерное и систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к загрязнению воды, почвы и другим негативным последствиям для окружающей среды [2].

В Казахстане более 70% пахотных земель имеют крайне низкое содержание доступных для растений соединений фосфора [3]. Так, в пахотном слое почв Юго-востока республики валовое содержание соединений фосфора в среднем составляет 3,0-5,0 т/га, из них количество доступных растениям форм фосфора не превышает 0,1-0,2 т/га, то есть, из пяти тонн фосфора за вегетационный сезон растения усваивают всего лишь 150-200 кг/га [4, 5].

Можно сказать, что, несмотря на высокое общее содержание фосфора в почвах, поглощение его затруднено, так как основная масса почвенного фосфора находится в труднодоступной для растений форме. Наблюдается большой разрыв между общим содержанием фосфатов в почве и доступных для растений соединений. Соответственно, степень использования фосфора растениями из почвы и удобрений крайне мала. Даже фосфаты, вносимые в почву в виде минеральных фосфорных удобрений, усваиваются растениями с низкой эффективностью. Так, коэффициент усвоения суперфосфата за вегетационный сезон составляет всего 8-10%, остальные 90-92% остаются мертвым запасом в почве [6].

Однако, внесение больших количеств фосфорных удобрений на поля приводит к нарушению агробиоценоза, обеднению полезной почвенной микрофлоры и, как результат, к снижению или даже гибели урожая. В этой связи требуется разработка эффективных способов и путей решения существующей проблемы.

Альтернативным путем преобразования труднодоступных форм фосфатов в доступные для растений соединения является применение фосфатмобилизирующих микроорганизмов. В природе только эти микроорганизмы обладают способностью переводить такие соединения фосфора в растворимое состояние, способствуют мобилизации нерастворимых фосфатов и повышению их доступности для растений [7]. В результате применения микроорганизмов более 20-30% труднодоступных форм фосфатов за вегетационный период можно перевести в доступную растениям форму [8]. В связи с этим, поиск и нахождение активных штаммов фосфатмобилизирующих микроорганизмов является весьма актуальным.

Интерес к выделению и использованию фосфатмобилизирующих бактерий для разработки биопрепаратов во многих странах мира очень высок. Разработаны и успешно применяются многочисленные биопрепараты на основе этих бактерий («Bio-Phospho», «P.S.P.», «Putal P», «Putal NP» и др.) [9-11]. Большое внимание к использованию фосфатмобилизирующих бактерий уделяется в России («Фосфобактерин», «Фосфатовит» и др.), Беларуси («Фитостимифос», «Ризобактерин» и др.), Украине («Фосфоэнтерин», «Альбобактерин») [12-16].

Целью данного исследования являлось выделение аборигенных фосфатмобилизирующих бактерий, приспособленных к почвенно-климатическим условиям Казахстана, получение чистых культур, изучение основных свойств бактерий и их идентификация.

Материалы и методы

Объектами исследования служили фосфатмобилизирующие бактерии, выделенные из почв, собранных на полях Алматинской области Казахстана, где выращивалась культура соя. Выделение аборигенных фосфатмобилизирующих бактерий проводили из различных типов почв. Полевой сбор почв проводили в соответствии с ГОСТ [17]. Точечные пробы (в количестве пяти штук) отбирали на пробной площадке из одного почвенного горизонта (8-10 см) методом конверта. Объединенную пробу составляли путем смешивания пяти точечных проб массой от 200 до 250 г каждая, отобранных на одной пробной площадке. Образцы почв для выделения микроорганизмов отбирали с соблюдением правил асептики.

Выделение фосфатмобилизирующих бактерий проводили из образцов почв по общепринятой методике [18,19]. Для выделения использовали жидкую питательную среду Муромцева. Культивирование фосфатмобилизирующих бактерий осуществляли при 28°C на шейкере при 180 об/мин в течение 3-5 дней.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ «STATISTICA 10.0» [21].

Результаты и обсуждение

В лабораторных условиях провели выделение фосфатмобилизирующих бактерий из почвенных образцов, собранных на полях Алматинской области Казахстана, где выращивали сою. В общей сложности собрано 56 образцов почв. Выделение фосфатмобилизирующих бактерий проводили на среде Муромцева, содержащей нерастворимый трикальцийфосфат в виде мелкодисперсного осадка, придававшего среде равномерную мутность (рисунок 1).

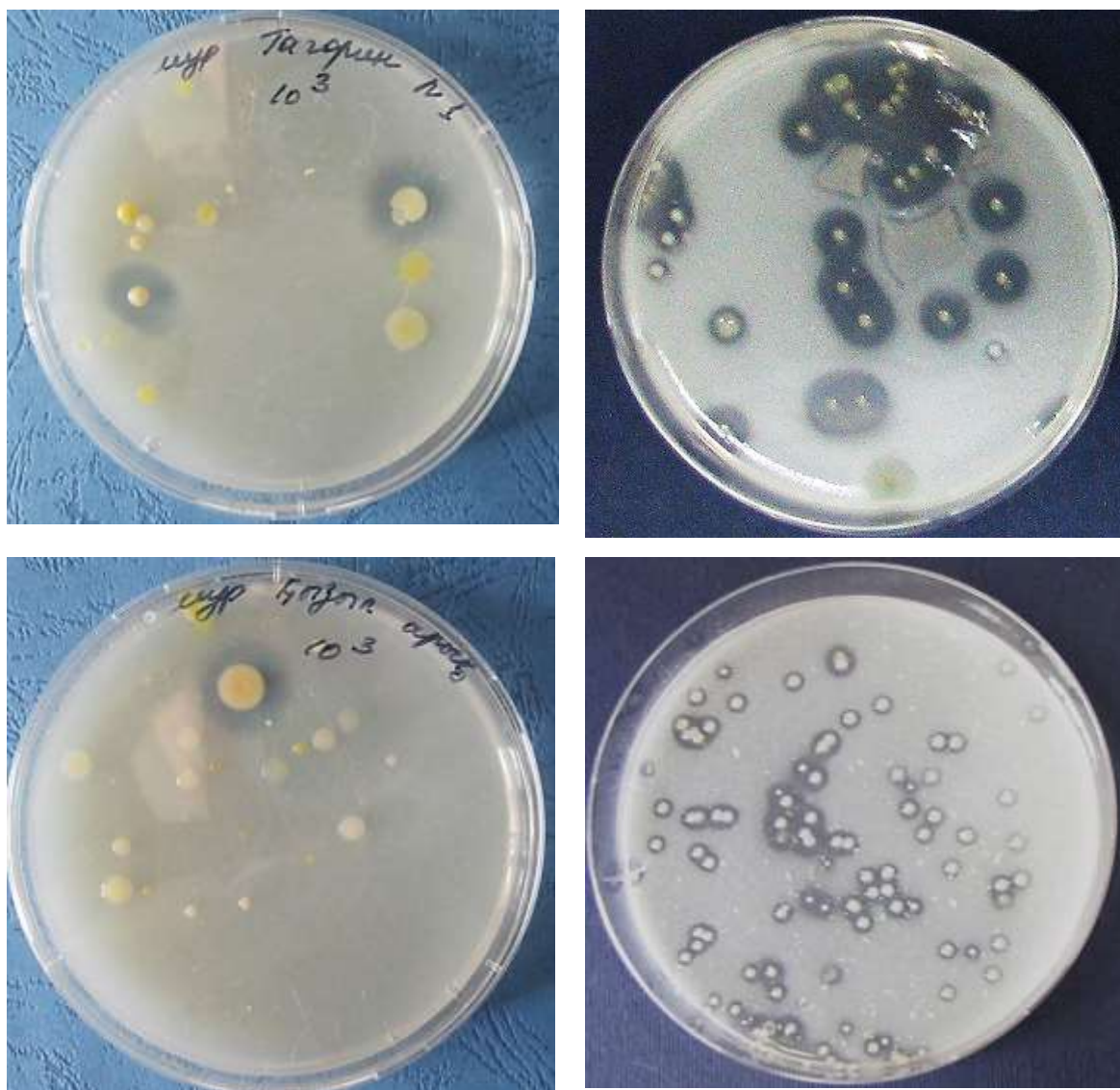


Рисунок 1 - Выделение фосфатмобилизующих бактерий, зоны гало (просветления) вокруг колоний бактерий на питательной среде Муромцева

Установлено, что численность фосфатмобилизующих бактерий в почвах Алматинской области на полях под культурой сои была низкой и составляла 3-12% от общей численности бактериальной микрофлоры. Выделенные фосфатмобилизующие бактерии были отсеяны, проведена проверка их чистоты и получены чистые культуры, на их основе создана коллекция фосфатмобилизующих бактерий. В результате проведенной работы было выделено 32 культуры фосфатмобилизующих бактерий.

Для идентификации бактерий проведено изучение их основных культурально-морфологических и биохимических признаков. Установлено, что выделенные культуры бактерий имели существенные различия в культурально-морфологических свойствах. Колонии бактерий, в основном, были круглые с гладким профилем и ровным краем, от 0,9 до 2,5 мм в диаметре с мелкозернистой структурой. Цвет колоний был, преимущественно, молочный, кремовый и бледно-желтый, консистенция различалась.

Исследование морфологии клеток показало, что фосфатмобилизующие бактерии были как спорообразующими бактериями, так неспорообразующими, в основном, с палочковидной формой клеток. Некоторые бактерии с возрастом приобретали кокковидную форму. Бактерии были грамположительными и грамотрицательными, характеризовались подвижностью клеток (рисунок 2).

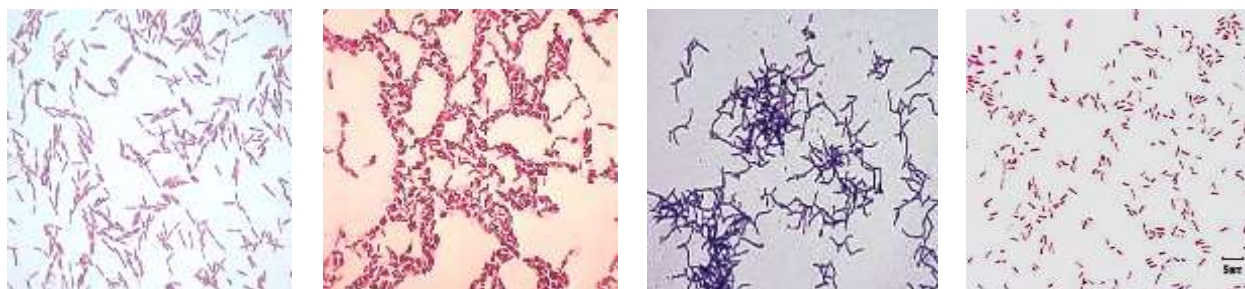


Рисунок 2 - Формы клеток двухсуточных культур фосфатмобилизующих бактерий (×1800)

Исследование биохимических признаков бактерий показало, что все выделенные культуры бактерий были аэробами или факультативными анаэробами, каталазоположительными. Установлено, что штаммы бактерий имели различную способность использовать соединения углерода, образовывать индол, сероводород и разжижать желатину.

По основным культурально-морфологическим и биохимическим признакам выделенные культуры фосфатмобилизующих бактерий были отнесены к родам *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium* и *Agrobacterium*.

Заключение

Таким образом, проведен сбор образцов почв на полях Алматинской области Казахстана, где выращивалась соя. В общей сложности собрано 56 образцов. В лабораторных условиях из собранных образцов почвы на среде Муромцева провели выделение фосфатмобилизующих бактерий. Установлено, что численность фосфатмобилизующих бактерий в почвах Алматинской области была низкой и составляла 3-12% от общего числа бактериальной микрофлоры. Выделенные бактерии были отсеяны, проведена проверка их чистоты и получены чистые культуры. В результате проведенной работы получено 32 чистые культуры фосфатмобилизующих бактерий и создана их коллекция. Изучены основные культурально-морфологические и биохимические признаки фосфатмобилизующих бактерий, что позволило провести их первичную идентификацию и определить родовую принадлежность бактерий. Установлено, что выделенные культуры фосфатмобилизующих бактерий относятся к родам *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium* и *Agrobacterium*.

Дальнейшее исследование штаммов фосфатмобилизующих бактерий позволит отобрать активные штаммы, которые будут использованы для создания биопрепаратов под культуру сои.

Литература

- 1 Singh B., Satyanarayana T. Microbial phytases in phosphorus acquisition and plant growth promotion // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. - 2011. - Vol. 17(2). - P. 93-103. doi: 10.1007/s12298-011-0062-x.
- 2 Ali W., Nadeem M., Ashiq W. et al. The effects of organic and inorganic phosphorus amendments on the biochemical attributes and active microbial population of agriculture podzols following silage corn cultivation in boreal climate // *Scientific Reports*. - 2019. - Vol. 9. - ID 17297. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53906-8>.
- 3 Елешев Р.Е., Малимбаева А., Шибикеев А. Орошаемые почвы: содержание и формы фосфора, его количественный и качественный состав // *AgroElem*. - 2016. - №8. - С. 68-69.
- 4 Байбеков Р.Ф., Кирпичников Н.А., Бижан С.П., Абрамов А.А. Агроэкономическая эффективность фосфорных удобрений при возделывании культур полевого севооборота в зависимости от фосфатного уровня почвы // *Земледелие*. - 2019. - №6. - С. 9-11. doi:10.24411/0044-3913-2019-10602.

5 Елешев Р.Е. Рекомендации производству: эффективность применения удобрений и биопрепаратов под культуры кормового севооборота в орошаемой зоне юго-востока Казахстана (МСХ РК). - Алматы: Агроуниверситет, 2017. - 17 с.

6 Bindraban P.S., Dimkra C.O., Pandey R. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health // *Biology and Fertility of Soils*. - 2020. - Vol. 56. - P. 299–317. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>.

7 Sharma S.B et al. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils // *Springer Plus*. - 2013. - Vol. 2. - P. 587-591.

8 Alori E.T., Glick B.R., Babalola O.O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture // *Frontiers Microbiology*. - 2017. - Vol. 2(8). - P. 971-978. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.

9 Chaudhury S.S., Sen T., Moitra A., Chaudhuri S. et al. Induction of productivity in cicer arietinum by phosphate solubilizing pseudomonas.// *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. - 2014. - Vol. 3(4). - P. 1481-1493.

10 Bio-Phospho. <https://russian.alibaba.com/product-detail/phospho-power-phosphate-solubilising-bacteria-50034301202.html>.

11 Barman M., Paul S., Choudhury A.G., Roy P. Biofertilizer as prospective input for sustainable agriculture in India // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. - 2017. - Vol. 6(11). - P. 1177-1186. DOI: [10.20546/ijcmas.2017.611.141](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.141)

12 Соколова М.Г., Акимова П.Г., Вайшля О.Б., Верхотуров В.В. Биобезопасная бактериальная технология для улучшения качества растительного сырья // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология* // - 2012. - №2(3). - С. 100-104.

13 Соболева О.М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // *Достижения науки и техники АПК*. - 2018. - Т.35. - №5. – С. 19-22. doi:10.24411/0235-2451-2018-10504.

14 Сафронова Г. Коломиец Э., Алешенкова З., Владимир П. Применение микробных препаратов для выращивания микроклональных саженцев березы // *Žmogaus ir gamtos sauga*. - 2013. - С. 56-60.

15 Чайковская Л.А. Эффективность совместного использования биопрепаратов на основе фосфатмобилизирующих бактерий и минеральных удобрений при выращивании зерновых на юге Украины // *Сельскохозяйственная микробиология*. - 2011. - №13. - С. 52-58.

16 Баранская М.И. Формирование микробиоты ризосферы ярового тритикале под влиянием биологических препаратов // *Инновации в науке*. - 2016. - №8(57). - С. 43-48.

17 ГОСТ 17.4.4.02-84 - Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического анализа. М.: Стандаринформ, 2008. - 142 с.

18 Дунайцев И.А. Выделение фосфатсольбилизирующих микроорганизмов и изучение возможности их использования в промышленности и сельском хозяйстве: автореф. ... дисс. канд. биол. наук: 03.02.03; 03.01.06. - Оболенск: Наука, 2010. - 29 с.

19 Егорова Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. - М.: МГУ, 1995. - 224 с.

20 Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. - М.: Колос, 1983. - 162 с.

21 Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. М.: Горячая линия-Телеком, 2016. - 288 с.

И.Э. СМІРНОВА*, Э.Р. ФАЙЗУЛИНА, Л.Г. ТАТАРКИНА,
Г.Б. БАЙМАХАНОВА, Г.А. СПАНКУЛОВА, А. Е. ЕЛУБАЕВА
«Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,
Алматы, Қазақстан
*iesmirnova@mail.ru

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНАН АЛЫНҒАН ФОСФАТМОБИЛИЗДЕУШІ БАКТЕРИЯЛАР

Түйін

Қазақстанның Алматы облысының соя алқаптарынан фосфатмобилиздеуші бактериялар бөлініп алынды. Олардың топырақтағы мөлшері аз екендігі және бактериялық микрофлораның жалпы санының 3-12% құрайтындығы анықталды. Фосфатмобилиздеуші бактериялардың 32 таза дақылдары алынып, олардың негізінде осы бактериялардың коллекциясы құрылды. Фосфатмобилиздеуші бактериялардың негізгі дақылдық-морфологиялық және биохимиялық сипаттамалары зерттеліп, оларды сәйкестендіру жұмыстары жүргізілді. Бөлінген бактериялар *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium* және *Agrobacterium* тұқымдастарына жататындығы анықталды.

Кілтті сөздер: фосфатмобилиздеуші бактериялар, топырақ, бөліп алу, таза дақылдар.

IRSTI 34.27.17

I.E. SMIRNOVA*, E.R. FAYZULINA, L.G. TATARKINA,
G.B. BAIMAKHANOVA, G.A. SPANKULOVA, A. E. ELUBAYEVA
LP «Scientific Production Center of Microbiology and Virology», Almaty, Kazakhstan
*iesmirnova@mail.ru

PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA FROM SOILS OF ALMATY REGION OF KAZAKHSTAN

<https://doi.org/10.53729/MV-AS.2021.01-02.03>

Summary

Phosphate-mobilizing bacteria were isolated from the soybean fields of the Almaty region of Kazakhstan. It was found that their content in the soil was low and amounted to 3-12% of the total number of bacterial microflora. 32 pure cultures of phosphate-mobilizing bacteria were obtained, on the basis of which a collection of these bacteria was created. The main cultural-morphological and biochemical characteristics of phosphate-mobilizing bacteria have been studied and their primary identification has been carried out. The isolated bacteria were found to belong to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium*, and *Agrobacterium*.

Key words: phosphate-mobilizing bacteria, soil, isolation, pure cultures.

One of the main elements of plant nutrition, including agricultural crops, is phosphorus. This element accelerates the ripening process of crops, increases their cold resistance and increases plant resistance to stress factors such as drought, salinity, etc. With low phosphorus content in the soil, the growth and development of plants is delayed, the immunity and resistance of crops to pests and diseases decreases [1]. Therefore, in order to obtain a high yield of agricultural crops, a large amount of phosphorus fertilizers are annually introduced into the soil. So, on average, in the Almaty region, 100-120 kg / ha of soil is applied, of which only 8-10% is available for plants. At the same time, excessive and systematic application of phosphorus fertilizers leads to pollution of water, soil and other negative consequences for the environment [2].

In Kazakhstan, more than 70% of arable land has an extremely low content of phosphorus compounds available for plants [3]. So, in the arable layer of soils in the southeast of the republic, the gross content of phosphorus compounds averages 3.0-5.0 t / ha, of which the number of forms of phosphorus available to plants does not exceed 0.1-0.2 t / ha, that is, out of five tons of phosphorus during the growing season, plants absorb only 150-200 kg / ha [4,5]. We can say that phosphorus in the soil is mainly found in forms inaccessible to plants.

It turns out that, despite the high total phosphorus content in soils, phosphorus in the soil is in a form that is difficult to access. In this regard, there is a large gap between the total phosphate content in the soil and the compounds available to plants. Also, the utilization of phosphorus by plants from soil and fertilizers is extremely low. Even phosphates applied to the soil in the form of mineral phosphorus fertilizers are assimilated by plants with low efficiency. So, the coefficient of assimilation of superphosphate for the growing season is only 8-10%, the remaining 90-92% remain dead stock in the soil [6].

At the same time, the application of large amounts of phosphorus fertilizers to the fields leads to disturbance of agrobiocenosis, depletion of useful soil microflora and, as a result, to a decrease or even death of the crop, and without their introduction it is impossible to obtain a high yield of agricultural crops. In this regard, the development of effective ways and means of solving the existing problem is required.

An alternative way of converting hard-to-reach forms of phosphates into compounds available for plants is the use of phosphate-mobilizing microorganisms. In nature, only microorganisms have the ability to convert such phosphorus compounds into a soluble state. It is microorganisms that promote the mobilization of insoluble phosphates and increase their availability for plants [7]. As a result of the use of microorganisms, more than 20-30% of hard-to-reach forms of phosphates during the growing season can be converted into a form accessible to plants [8]. In this regard, the search and finding of active strains of phosphate-mobilizing microorganisms is highly relevant.

Interest in the isolation and use of phosphate-mobilizing bacteria for the development of biological products is very high in many countries of the world. Numerous biological preparations based on these bacteria have been developed and successfully used (Bio-Phospho, P.S.P., Rutal P, Rutal NP, etc.) [9-11]. Much attention is paid to the use of phosphate-mobilizing bacteria in Russia (Phosphobacterin, Phosphatovit, etc.), Belarus (Fitostimofos, Rizobacterin, etc.), Ukraine (Phosphoenterin, Albobacterin) [12-16].

The purpose of this study was to isolate native phosphate-mobilizing bacteria adapted to the soil and climatic conditions of Kazakhstan, to obtain pure cultures, to study the basic properties of bacteria and their identification.

Materials and methods

The objects of the study were phosphate-mobilizing bacteria isolated from soils collected in the fields of the Almaty region of Kazakhstan, where soybeans were grown. Isolation of native phosphate-mobilizing bacteria was carried out from various types of soils. Field collection of soils was carried out in accordance with State Standard (GOST) [17]. Point samples (in the amount of five pieces) were taken on a test plot from one soil horizon (8-10 cm) using the envelope method. A pooled sample was made by mixing five spot samples weighing from 200 to 250 g each, taken from one sample site. Soil samples for isolation of microorganisms were taken in compliance with the rules of asepsis.

Isolation of phosphate-mobilizing bacteria was carried out from soil samples according to the generally accepted method [18, 19]. Liquid Muromtsev's medium was used for isolation. Cultivation of phosphate-mobilizing bacteria was carried out at 28 ° C on a shaker at 180 rpm for 3-5 days.

Statistical processing of the results was carried out using the STATISTICA 10.0 software package [21].

Results and discussion

In laboratory conditions, phosphate-mobilizing bacteria were isolated from soil samples collected in the Almaty region of Kazakhstan in the fields where soybeans were grown. A total of 56 soil samples were collected. Isolation of phosphate-mobilizing bacteria was carried out on Muromtsev's medium containing insoluble tricalcium phosphate in the form of a fine precipitate, which imparted uniform turbidity to the medium (Figure 1).

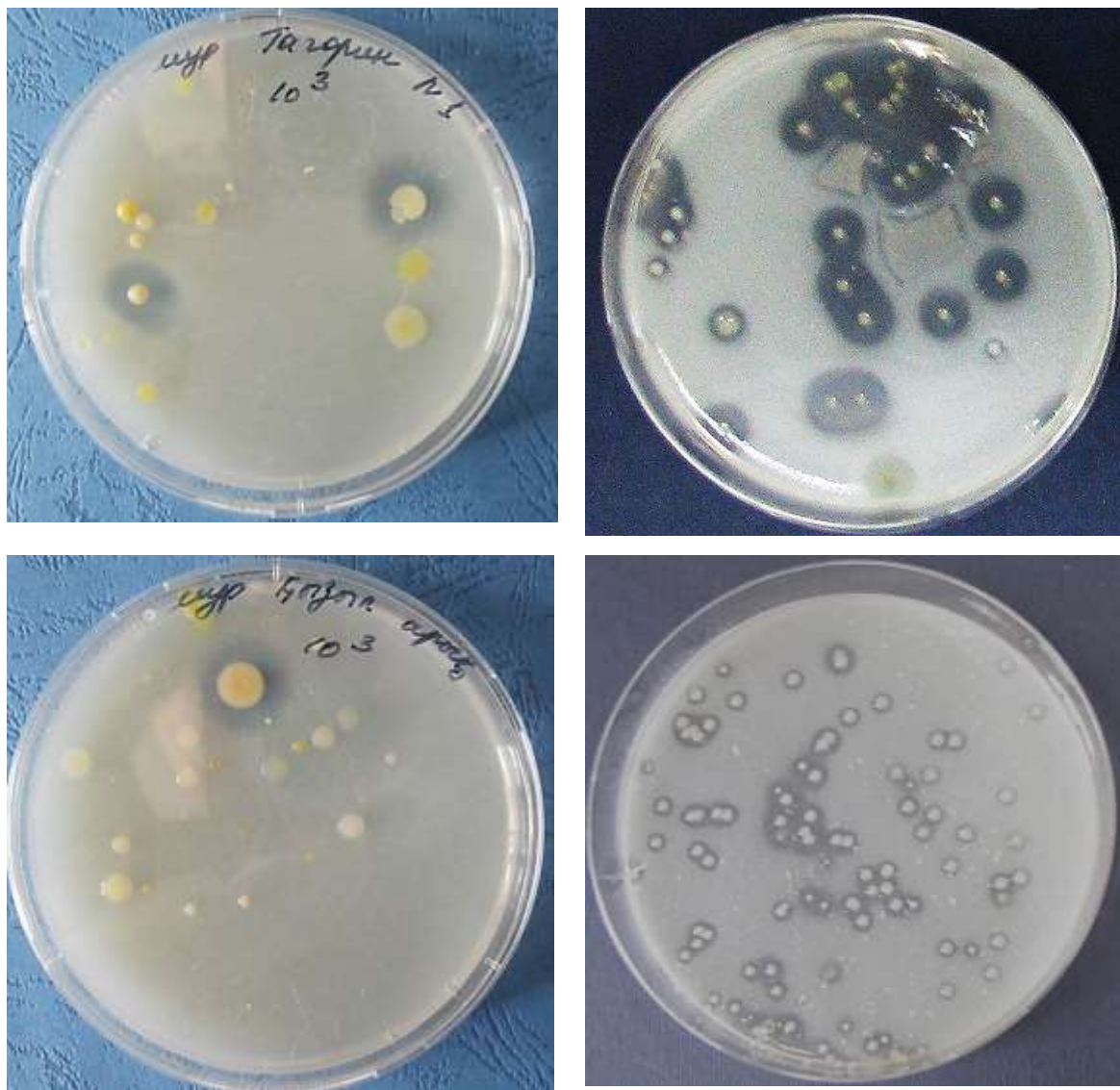


Figure 1 - Isolation of phosphate-mobilizing bacteria, halo zones (clearing) around bacterial colonies on Muromtsev's medium

It was found that the number of phosphate-mobilizing bacteria in the soils of the Almaty region in the fields with soybeans was low and amounted to 3-12% of the total number of bacterial microflora. As a result of this work, 32 cultures of phosphate-mobilizing bacteria were isolated. These bacteria were screened out, their purity was checked and pure cultures were obtained, on their basis a collection of phosphate-mobilizing bacteria was created.

To identify bacteria, a study of their main cultural-morphological and biochemical characteristics was carried out. It was found that the isolated cultures of bacteria had significant differences in cultural and morphological properties. Colonies of bacteria were generally round with a smooth profile and a smooth edge, from 0.9 to 2.5 mm in diameter with a fine-grained

structure. The color of the colonies was mainly milky, cream, less often pale yellow, the consistency was different.

The study of cell morphology showed that phosphate-mobilizing bacteria were both spore-forming bacteria and non-spore-forming, mainly with rod-shaped cells. Some bacteria acquired a coccoid shape with age. The bacteria were gram-positive and gram-negative, and were characterized by motility (Figure 2).

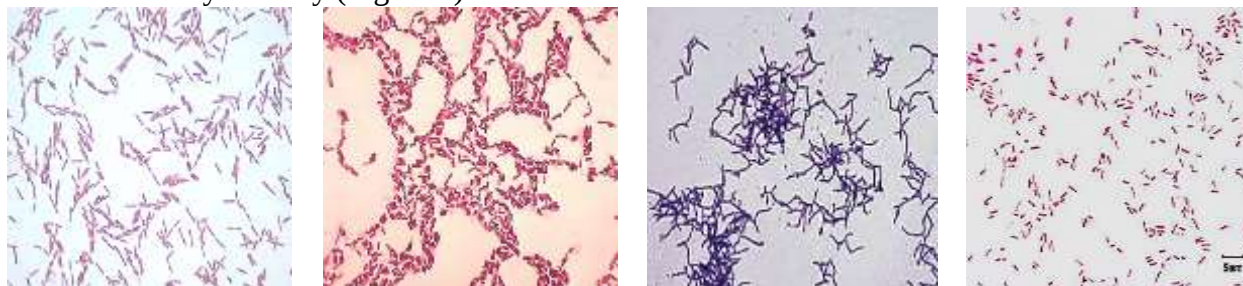


Figure 2. - Forms of cells of two-day cultures of phosphate-mobilizing bacteria ($\times 1800$)

The study of the biochemical characteristics of bacteria showed that all isolated cultures of bacteria were aerobes or facultative anaerobes, catalase-positive. It was found that bacterial strains had a different ability to use carbon compounds, form indole, hydrogen sulfide and liquefy gelatin.

According to the main cultural, morphological and biochemical characteristics, the isolated cultures of phosphate-mobilizing bacteria were assigned to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium*, and *Agrobacterium*.

Conclusion

Thus, the collection of soil samples was carried out in the fields of the Almaty region of Kazakhstan, where soybeans were grown. A total of 56 samples were collected. In laboratory conditions, phosphate-mobilizing bacteria were isolated from the collected soil samples on Muromtsev's medium. It was found that the number of phosphate-mobilizing bacteria in the soils of the Almaty region was low and amounted to 3-12% of the total number of bacterial microflora. As a result of this work, 32 cultures of phosphate-mobilizing bacteria were isolated. These bacteria were screened out, checked for purity, pure cultures were obtained, and a collection was created. The main cultural, morphological and biochemical characteristics of phosphate-mobilizing bacteria were studied, which made it possible to identify them and determine the generic affiliation of bacteria. It was found that the isolated cultures of phosphate-mobilizing bacteria belong to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacterium* and *Agrobacterium*.

Further study of the strains of phosphate-mobilizing bacteria will make it possible to select active strains that will be used to create biological products for soybean culture.

References:

- 1 Singh B., Satyanarayana T. Microbial phytases in phosphorus acquisition and plant growth promotion. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2011. Vol. 17(2). P. 93-103. doi: 10.1007/s12298-011-0062-x.
- 2 Ali W., Nadeem M., Ashiq W. et al. The effects of organic and inorganic phosphorus amendments on the biochemical attributes and active microbial population of agriculture podzols following silage corn cultivation in boreal climate. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. ID 17297. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53906-8>.
- 3 Eleshev R.E., Malimbaeva A., Shibikeev A. Oroshaemye pochvy: sodержanie i formy fosfora, ego kolichestvennyj i kachestvennyj sostav. *AgroÖlem*. 2016. №8. S. 68-69.
- 4 Baibekov R.F., Kirpichnikov N.A., Bizhan S.P., Abramov A.A. Agrojekonomicheskaja jeffektivnost' fosfornyh udobrenij pri vozdeľyvanii kul'tur polevogo sevooborota v zavisimosti ot fosfatnogo urovnja pochvy. *Zemledelie*. 2019. №6. S. 9-11. doi:10.24411/0044-3913-2019-10602.

- 5 Eleshev R.E. Rekomendacii proizvodstvu: jeffektivnost' primenenija udobrenij i biopreparatov pod kul'tury kormovogo sevooborota v oroshaemoj zone jugo-vostoka Kazahstana (MSH RK). Almaty: Agrouniversitet, 2017. 17 s.
- 6 Bindraban P.S., Dimkpa C.O., Pandey R. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*. 2020. Vol. 56. P. 299-317. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>.
- 7 Sharma S.B et al. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus*. 2013. Vol. 2. P. 587-591.
- 8 Alori E.T., Glick B.R., Babalola O.O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers Microbiology*. 2017. Vol. 2(8). P. 971-978. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.
- 9 Chaudhury S.S., Sen T., Moitra A., Chaudhuri S. et al. Induction of productivity in cicer arietinum by phosphate solubilizing pseudomonas. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2014. Vol. 3(4). P. 1481-1493.
- 10 Bio-Phospho. <https://russian.alibaba.com/product-detail/phospho-power-phosphate-solubilising-bacteria-50034301202.html>.
- 11 Barman M., Paul S., Choudhury A.G., Roy P. Biofertilizer as prospective input for sustainable agriculture in India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6(11). P. 1177-1186. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.611.141.
- 12 Sokolova M.G., Akimova P.G., Vajshlja O.B., Verhoturov V.V. Biobezopasnaja bakterial'naja tehnologija dlja uluchshenija kachestva rastitel'nogo syr'ja. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotekhnologija*. 2012. №2(3). S. 100-104.
- 13 Soboleva O.M. Rol' rizosfernyh bakterij v povyshenii jekologizacii agrocenozov. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*. 2018. T.35. №5. S. 19-22. doi:10.24411/0235-2451-2018-10504.
- 14 Safronova G. Kolomiec Je., Aleshhenkova Z., Vladimir P. Primenenie mikrobnih preparatov dlja vyrashhivaniya mikroklonal'nyh sazhencev breezy. *Zmogaus ir gamtos sauga*. 2013. S. 56-60.
- 15 Chajkovskaja L.A. Jefferektivnost' sovmestnogo ispol'zovaniya biopreparatov na osnove fosfatmobilizirujushhih bakterij i mineral'nyh udobrenij pri vyrashhivanii zernovyh na juge Ukrainy. *Sel'skohozjajstvennaja mikrobiologija*. 2011. №13. S. 52-58.
- 16 Baranskaja M.I. Formirovanie mikrobioty rizosfery jarovogo tritikale pod vlijaniem biologicheskikh preparatov. *Innovacii v nauke*. 2016. №8(57). S. 43-48.
- 17 GOST 17.4.4.02-84 - Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo analiza. M.: Standartinform, 2008. 142 s.
- 18 Dunajcev I.A. Vydelenie fosfatsoljubilizirujushhih mikroorganizmov i izuchenie vozmozhnosti ih ispol'zovaniya v promyshlennosti i sel'skom hozjajstve: avtoref. ... diss. kand. biol. nauk: 03.02.03; 03.01.06. Obolensk: Nauka. 2010. 29 s.
- 19 Egorova N.S. Rukovodstvo k prakticheskim zanjatijam po mikrobiologii. M.: MGU, 1995. 224 s.
- 20 Sjegi J. Metody pochvennoj mikrobiologii. M.: Kolos, 1983. 162 s.
- 21 Borovikov V.P. Populjarnoe vvedenie v sovremennyj analiz dannyh v sisteme STATISTICA. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2016. 288 s.