

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ БИОУДОБРЕНИЙ В КОМПЛЕКСЕ С ЦЕОЛИТОМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И МИКРОБИОЦЕНОЗ ГРЕЧИХИ

И. А. Дегтярева, Н. И. Кириллова

**Реферат.** Исследования проводили с целью оценки влияния биоудобрений на продуктивность и микробиоценоз гречихи. Работу выполняли в 2023 году в вегетационном домике в условиях Республики Татарстан на гречихе сорта Никольская. Схема опыта включала следующие варианты: без растений (контроль 1); без удобрений (контроль 2);  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения (размер частиц 0,04 мм) 1 т/га; замачивание семян в суспензии консорциума микроорганизмов (КМ) из расчета по препарату 1 л/т; замачивание семян в суспензии биопрепарата Азолен (*Azotobacter vinelandii* ИБ-4) из расчета по препарату 1 л/т; КМ + цеолит; Азолен + цеолит. В состав КМ входили выделенные из почв Татарстана, идентифицированные и депонированные штаммы азотфиксирующих (*Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas brassicacearum*) и фосфатмобилизующих (*Sphingobacterium multivorum* и *Achromobacter xylosoxidans*) ризобактерий в соотношении 1:1 по массе суспензий (плотность бактериальной суспензии до  $8,0 \cdot 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>). Урожайность гречихи в вариантах с цеолитом и минеральным удобрением была выше, чем в контроле, в 1,3 и 1,8 раза соответственно. Максимальная в опыте масса плодов отмечена в вариантах с консорциумом микроорганизмов в чистом виде и совместно с цеолитом – в 2,5 и 2,9 раза выше, чем в контроле. Биоудобрения, NPK и цеолит по эффективности действия можно расположить в следующий ряд: КМ > КМ + цеолит > NPK > цеолит. Применение Азолена не привело к повышению урожайности гречихи, по сравнению контролем. Во время вегетации растений в вариантах с консорциумом микроорганизмов отмечена не только лучшая представленность агрономически значимых микроорганизмов (аммонификаторов, diaзотрофов, фосфатмобилизаторов, актинобактерий), но и высокая респираторная активность почвенной микробиоты. Консорциум на основе автохтонных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий может послужить основой комплексного биоудобрения для широкого спектра сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** автохтонные бактерии, цеолит, комплексные удобрения, гречиха (*Fagopyrum esculentum*), урожайность, микробный ценоз.

**Введение.** Гречиха для многих стран мира служит стратегически важным крупным сельскохозяйственным растением [1, 2]. Будучи стойкой к сорнякам и вредителям, для повышения урожайности гречиха, как и многие другие культуры, нуждается в качественной обработке семян. Много интересных и перспективных данных представлено в научной литературе по повышению продуктивности гречихи. Значимость применения биопрепаратов представлена в статье З. М. Алещенковой с соавторами (2015), в которой авторы считают перспективными азотфиксирующей *Raoultella oxytoca* 15MS и фосфатмобилизующий *Serratia plymuthica* 35MS штаммы в качестве основы комплексного биоудобрения [3]. Разработаны регуляторы роста нового поколения, способствующие уменьшению кратности обработки посевов фунгицидами в период вегетации и снижающие норму их расхода на 25...50 %. Повышая продуктивность культуры, регуляторы роста усиливают устойчивость растительного организма к абиотическим и биотическим факторам внешней среды [4]. Использование в качестве компонента комплексных удобрений цеолита может стать доступным и дешевым способом восстановления плодородия почв [5].

Для любой почвенной экосистемы важно знать особенности структуры и функций ее микробного сообщества, влияющего на урожайность и состояние компонентов

трофической цепи почва – микроорганизмы – растения. Именно микроорганизмы дают обширную информацию для решения проблемы, связанной с производством экологически безопасных продуктов [6, 7, 8]. В связи с тем, что микрофлора почвы и ризосферы не стабильна, а ее численность меняется в зависимости от фазы онтогенеза растения, необходим учет агрономически значимых групп в ризосфере гречихи [9].

Цель исследований – оценка влияния биоудобрений на продуктивность и микробиоценоз гречихи для повышения почвенного плодородия.

**Условия, материалы и методы.** Опыт был заложен в 2023 году в вегетационном домике, расположенном на территории лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов ФИЦ КазНЦ РАН, Республика Татарстан (РТ), г. Казань. Период вегетации 2023 года характеризовался жаркой погодой с минимумом осадков (табл. 1).

Схема вегетационного опыта включала следующие варианты: без растений (контроль 1); без удобрений (контроль 2);  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; цеолит в дозе 1 т/га; замачивание семян в суспензии консорциума микроорганизмов (КМ); замачивание семян в суспензии препарата Азолен; замачивание семян в суспензии КМ + цеолит; замачивание семян в суспензии препарата Азолен + цеолит. Опыт был заложен на серой лесной среднесуглинистой почве со

следующей характеристикой: гумус – 3,11 %, 77 мг/кг; подвижные P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 238 мг/кг и K<sub>2</sub>O – pH<sub>сол.</sub> – 5,5; S<sub>по</sub> – 20,2 мг-экв./100 г; N<sub>цел.</sub> – 180 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011).

Таблица 1 – Погодные условия периода вегетации 2023 год

Месяц	Среднемесячная температура, °С	Отклонение от нормы, °С	Осадки, мм	% от нормы
Май	16,3	+2,3	39	103
Июнь	16,6	-1,7	9	16
Июль	21,8	+1,3	57	92
Август	20,5	+2,3	21	39
Сентябрь	15,5	+3,2	10	19

Использовали следующие микробиологические средства: консорциум, выделенных из почв Татарстана, идентифицированных и депонированных штаммов азотфиксирующих (*Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas brassicacearum*), и фосфатмобилизирующих (*Sphingobacterium multivorum* и *Achromobacter xylosoxidans*) ризобактерий в соотношении 1:1 по массе суспензии (плотность бактериальной суспензии – до 8,0·10<sup>9</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>); жидкий биопрепарат Азолен, Ж (на основе *Azotobacter vinelandii* ИБ-4) производства Россельхозцентра Республики Татарстан (РТ). В варианте с цеолитом применяли минерал Татарско-Шатрашанского месторождения РТ с размером частиц 0,04 мм.

Растительный объект – гречиха сорта Никольская.

Минеральное удобрение азофоску вносили при набивке сосудов Вагнера (объем 5 л). Почвенные образцы из ризосферы растений отбирали в фазы бутонизации и созревания гречихи, в которые определяли количество ризосферной микрофлоры (аммонифицирующих, азотфиксирующих, фосфатмобилизирующих и кислотоустойчивых бактерий, актинобактерий, микромицетов) и респираторную активность почвы [10]. Для количественной характеристики ризосферного

эффекта использовали соотношение R/S, где R – количество микроорганизмов в ризосфере, а S – во внеризосферной почве [11]. Урожайность гречихи (массу плодов на сосуд) учитывали в фазе созревания.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием электронных таблиц Excel и программы Origin 4.1. Достоверность различий полученных результатов между вариантами оценивали с использованием коэффициента Стьюдента (p<0,05).

**Результаты и обсуждение.** Урожайность плодов гречихи практически во всех вариантах опыта значительно превосходила контрольный (табл. 2). Так, при использовании цеолита и минеральных удобрений она была выше в 1,28 и 1,82 раз соответственно.

Биоудобрения, NPK и цеолит по эффективности действия можно расположить в следующий ряд: KM > KM + цеолит > NPK > цеолит. Только применение Азолена не привело к повышению урожайности, по сравнению с вариантом без удобрений, в то время как при использовании комбинации Азолен + цеолит она была выше, чем в контроле, на 3,5%.

Следует выделить два варианта – KM + цеолит и KM, в которых масса урожая выше контроля в 2,5 и 2,9 раза соответственно.

Таблица 2 – Урожайность гречихи в фазе созревания в зависимости от использования удобрений, биопрепаратов и цеолита

Вариант	Урожайность плодов, г/сосуд	Прибавка к контролю, %
Без удобрений (контроль)	8,11	-
NPK	14,80	+82,49
Цеолит	10,40	+28,24
KM	23,44	+189,02
Азолен, Ж	8,01	-1,23
KM + цеолит	20,14	+148,34
Азолен, Ж + цеолит	8,39	+3,5
HCP <sub>0,95</sub>	0,21	

Для любой почвенной экосистемы важно знать особенности структуры и функций ее микробного сообщества, влияющего на урожайность, и состояние компонентов трофической

цепи почва – микроорганизмы – растения. Именно они дают обширную информацию для решения проблемы, связанной с производством экологически безопасных продуктов.

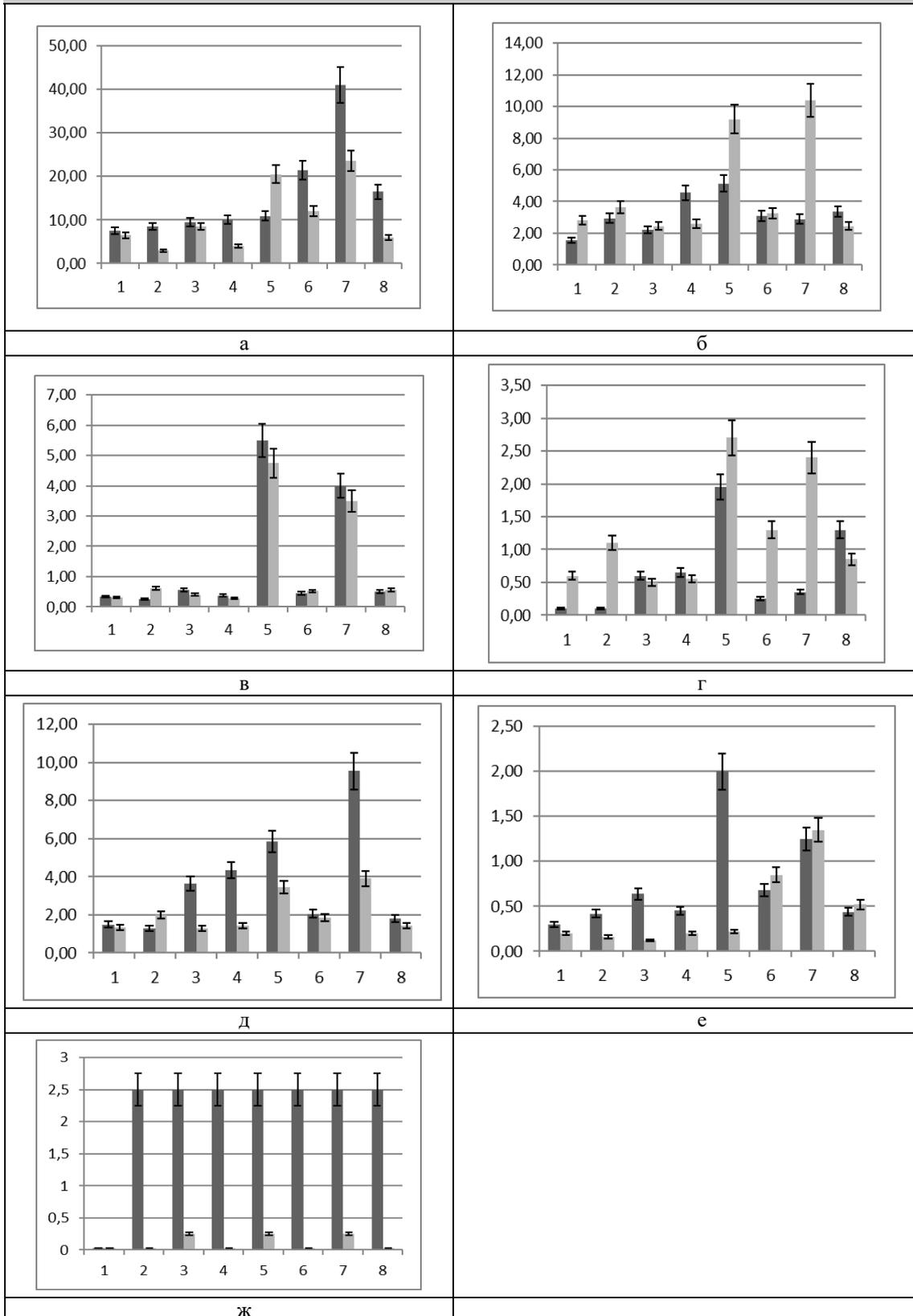


Рис. 1 – Численность ризобактерий гречихи в зависимости от использованных удобрений ( $10^6$  КОЕ/г): 1 – контроль 1; 2 – контроль 2; 3 – NPK; 4 – цеолит; 5 – КМ; 6 – Азолен; 7 – цеолит + КМ; 8 – цеолит + Азолен; а – аммонификаторы, б – diaзотрофы, в – фосфатмобилизующие, г – актинобактерии д – бактерии – минерализаторы, е – кислотоустойчивые бактерии, ж – денитрификаторы; черный столбик – фаза бутонизации, серый столбик – фаза созревания гречихи

Количество аммонифицирующих микроорганизмов в большинстве вариантов выше в фазе бутонизации. Только при использовании консорциума их численность возрастает к периоду созревания гречихи, что косвенно подтверждает способность автохтонных бактерий, составляющих основу консорциума, выдерживать засуху. Подтверждением этому служат и ранее проведенные исследования [12, 13].

В контрольных вариантах отмечено ожидаемо низкое количество аммонифицирующих микроорганизмов в обе фазы. В варианте КМ + цеолит отмечена самая высокая представленность аммонификаторов во время бутонизации и достаточно хорошая – в фазе созревания исследуемой культуры.

Практически во всех вариантах азотфиксаторов больше во время созревания. Исключения составляют два варианта – цеолит и Азолен + цеолит. Минимальное в опыте количество диазотрофов в фазе бутонизации отмечено в контроле без растений и с NPK, а максимальное – с цеолитом и консорциумом микроорганизмов.

Во время созревания лидером по присутствию азотфиксаторов становится вариант КМ + цеолит. В варианте с одним консорциумом микроорганизмов численность их высока, но несколько ниже, чем в варианте КМ + цеолит. Низкое присутствие диазотрофов во время всей вегетации отмечено в пяти вариантах: в обоих контрольных, а также в вариантах с NPK, Азоленом, Азоленом с цеолитом. Разброс значений ризосферного эффекта R/S (изменение состава сообщества микроорганизмов под действием корневой экссудации растений) у азотфиксаторов в обе фазы онтогенеза составляет от 0,2 до 3,7.

Следовательно, во время вегетации гречихи в вариантах с консорциумом микроорганизмов отмечена лучшая представленность агрономически важной группы бактерий – диазотрофов. Эти микроорганизмы не только способны фиксировать молекулярный азот, но и обогащать им почву.

Очень важно для почвенного плодородия и хорошего роста сельскохозяйственных культур присутствие фосфатмобилизирующих микроорганизмов. Минимальное в опыте их количество отмечено в большинстве вариантов, кроме двух, где использован консорциум микроорганизмов (КМ и КМ + цеолит). Только в них численность фосфатмобилизаторов существенно превышает таковую в остальных вариантах. Например, по сравнению с контролем без удобрений, количество этих микроорганизмов в фазе бутонизации выше в 16,2 раза, в конце вегетации – в 15,3 раза. Объяснением такого их высокого присутствия только в двух вариантах выступает, по-видимому, хорошая адаптация составляющих основу консорциума бактерий *Sphingobacterium multivorum* и *Achromobacter xylosoxidans* с высокой способностью утилизировать фосфаты в новой для них экологической нише.

В онтогенезе гречихи четко прослеживается

тенденция увеличения актинобактерий в вариантах с консорциумом микроорганизмов. Достаточно много представителей этой группы микроорганизмов и в варианте Азолен + цеолит. Обычно актинобактерии в большем количестве представлены в конце сезона. Полученные нами данные подтверждают это. Максимальное в опыте соотношение R/S у актинобактерий отмечено в фазе цветения – 19,5, в конце вегетации оно было равно 4,5. И по присутствию этих микроорганизмов в ризосфере гречихи лидируют варианты с консорциумом микроорганизмов.

Для более полной информации о состоянии почвы необходимо знать численность бактерий, использующих минеральные формы азота. Во всех вариантах кроме контроля без удобрений их больше в фазе бутонизации. При этом самое высокое количество в этот период отмечено в варианте КМ + цеолит, затем идут варианты с использованием КМ, цеолита и NPK. В конце вегетации их больше в двух вариантах – КМ и КМ + цеолит. Самый высокий в опыте ризосферный эффект у минерализаторов был отмечен в начале вегетации 6,4, а к концу сезона снижался до 2,9.

Кислотоустойчивые бактерии, которые считают одним из маркеров способности почвенной микрофлоры выдерживать стресс, максимально присутствуют в вариантах с КМ, Азоленом, КМ + цеолит. Только в трех вариантах (Азолен, КМ + цеолит и Азолен + цеолит) этих бактерий было больше в конце вегетации. Максимальное соотношение R/S у них сопоставимо – 6,7 (фаза бутонизации) и 6,8 (фаза созревания). В пользу присутствия этой группы именно в вариантах с консорциумом микроорганизмов свидетельствует то, что бактерии, составляющие его основу, могут развиваться в широком диапазоне pH.

Присутствие денитрификаторов во всех вариантах (исключение – контроль 1) существенно выше в фазе бутонизации. Из-за высокой температуры воздуха в июле и августе численность этих микроорганизмов резко уменьшается к концу вегетации гречихи, что выступает положительным фактом.

Почвенные микромицеты представляют группу микроорганизмов, универсальную по своему значению для формирования плодородия почвы. Количество почвенных грибов варьирует в фазе бутонизации от 10000 до 120000, а во время созревания – от 60000 до 130000 (рис. 2). В первой изучаемой фазе их практически нет только в варианте КМ + цеолит, численность микромицетов минимальна в контроле без растений и при использовании КМ. Ризосферный эффект у микромицетов в начале вегетации достигает 3,0, в конце сезона – 1,6.

Во время созревания количество микромицетов заметно увеличивается. Исключением выступает вариант с цеолитом, в котором в первой фазе выявлена максимальная в опыте величина этого показателя, и она остается практически такой же до конца вегетации.

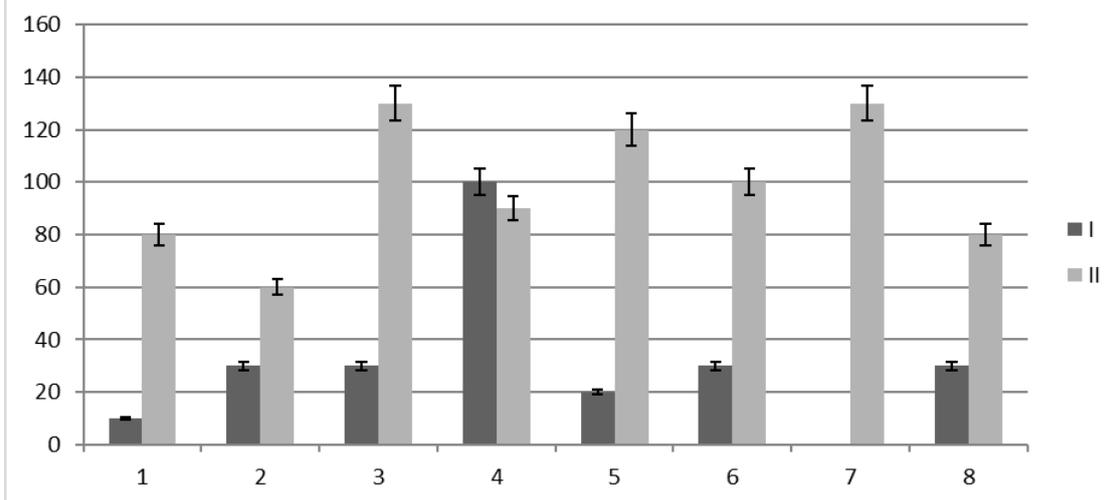


Рис. 2 – Количество микромицетов в ризосфере гречихи в зависимости от использованных удобрений (10<sup>3</sup> КОЕ/г): 1 – контроль 1; 2 – контроль 2; 3 – NPK; 4 – цеолит; 5 – KM; 6 – Азолен; 7 – цеолит + KM; 8 – цеолит + Азолен; фаза онтогенеза: I – бутонизация, II – созревание

Насколько активно протекают микроорганизмы, позволяющие оценить окислительно-восстановительные процессы и полноценно функционируют микробиоты, называемый «дыханием» почвы (рис. 3).

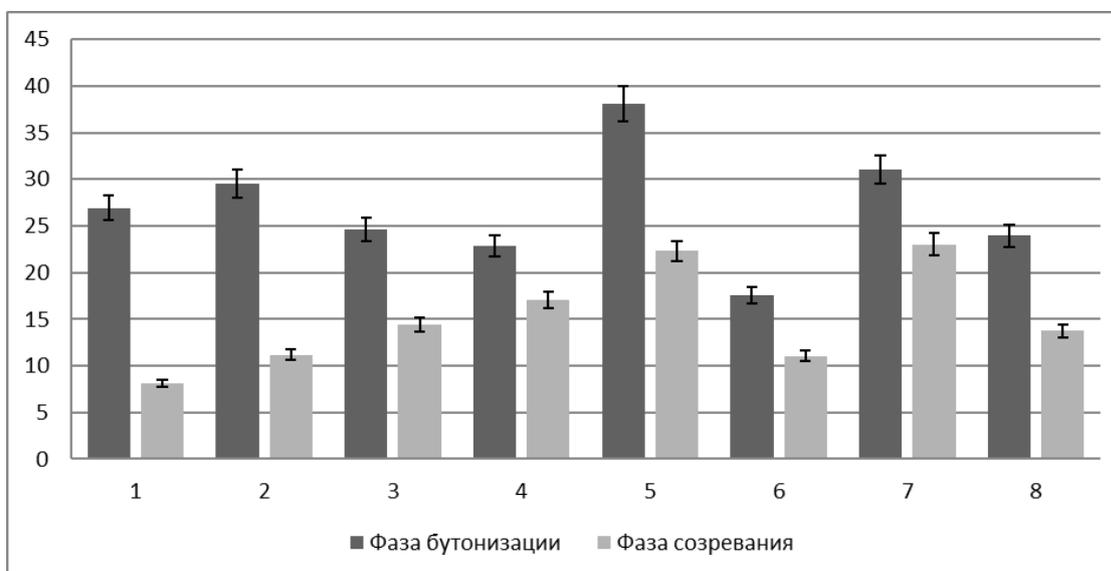


Рис. 3 – Респираторная активность почвенной микрофлоры (мг CO<sub>2</sub>/100 г×24 ч) при выращивании гречихи: 1 – контроль 1; 2 – контроль 2; 3 – NPK; 4 – цеолит; 5 – KM; 6 – Азолен; 7 – цеолит + KM; 8 – цеолит + Азолен

Максимальное количество CO<sub>2</sub> выделяется из почвы в фазе бутонизации – в период интенсивного роста гречихи. Наибольшая респираторная активность отмечена в двух вариантах – KM и KM + цеолит. Во время созревания интенсивность «дыхания» снижается, по-видимому, из-за жаркого лета. Однако в вышеперечисленных вариантах даже в этой фазе биологическая активность остается самой высокой.

**Выводы.** Максимальная в опыте масса (урожайность) плодов гречихи отмечена в двух вариантах с консорциумом микроорганизмов. При его использовании в чистом виде урожайность была выше, чем в контроле,

в 2,5 раза, а в сочетании с цеолитом – в 2,9 раза. Биодоброения, NPK и цеолит по эффективности действия можно расположить в следующий ряд: KM > KM+цеолит > NPK > цеолит. Во время вегетации гречихи в вариантах с консорциумом микроорганизмов отмечена не только лучшая представленность таких агрономически значимых микроорганизмов, как аммонификаторы, diazotroфы, фосфатмобилизаторы, актинобактерии, но и самая высокая в опыте респираторная активность почвенной микробиоты. Консорциум на основе автохтонных азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих бактерий перспективен

в качестве основы комплексного биоудобрения для широкого спектра сельскохозяйственных культур.

**Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена в рамках Государственного задания №124050300050-4.

#### Литература

1. Эффективность возделывания гречихи при различных системах земледелия / Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Е. Н. Богатырева и др. // Почвоведение и агрохимия. 2017. № 2 (59). С. 151–160.
2. Перспективы повышения производства гречихи путем оптимизации минерального питания с учетом морфотипа растений / Т. А. Анохина, А. Р. Цыганов, И. В. Полховская и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 135–138.
3. Азотфиксирующие и фосфатмобилизирующие бактерии для стимуляции роста сельскохозяйственных культур / З. М. Алещенкова, Г. В. Сафронова, Н. В. Мельников и др. // Вестник Башкирского университета. 2015. № 20 (1). С. 82–86.
4. Мишина О. С., Белопухов С. Л., Ющенко Ю. А. Применение биорегуляторов в интенсивных агротехнологиях выращивания гречихи // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. Т. 6. № 3(18). С. 72–80.
5. Оценка действия удобрений нового поколения на микробный ценоз ярового рапса / И.А. Дегтярева, Е.А. Прищепенко, Г.Ф. Рахманова и др. // Агрохимический вестник. 2022. № 5. С. 65–69
6. Тимофеева А. М., Галямова М. Р., Седых С. Е. Биологическая активность почвенных бактерий, стимулирующих рост растений: фиксация азота, солибилизация фосфата, синтез сидерофоров. Перспективы разработки микробных консорциумов // Агрохимия. 2024. №5. С.85–95.
7. Перспективные штаммы фосфатмобилизирующих ризобактерий, устойчивых к глифосату и никелю / Л. Р. Хакимова, О. В. Чубукова, Е. С. Акимова, З. Р. Вершинина // Агрохимия. 2024. №12. С. 81–88.
8. Оценка ферментативной и микробиологической активности почвы ризосферы *Solanum tuberosum* L. Под влиянием обработки клубней эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* в условиях Предуралья / С. Р. Гарипова, Л. И. Пусенкова, Л. В. Сидорова и др. // Агрохимия. 2024. № 12. С. 54–63.
9. The interplay between microbial communities and soil properties / L. Philippot, C. Chenu, A. Kappler et al. // Nat Rev Microbiol. 2024. V.22. P. 226–239.
10. Microbiological methods for assessing soil quality / ed. By J. Dloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti // CABI Publishing, 2006. 307 p.
11. Микроорганизмы в ризосфере и поглощение питательных веществ в почве / С. А. Барбер // М.: Агропромиздат, 1988. 145 С.
12. Влияние влажности почв на жизнеспособность микроорганизмов, входящих в состав комплексного биоудобрения / И. А. Дегтярева, Т. Ю. Мотина, А. Я. Давлетшина и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 12. С. 201–203.
13. Уткин А. А., Нода И. Б. Плодородие и экотоксикологическое состояние светло-серых лесных почв Ивановской области // Агрохимия. 2024. № 5. С. 71–78.

#### Сведения об авторах:

Дегтярева Ирина Александровна – доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: rease-1963@mail.ru  
Кириллова Надежда Игоревна – младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: Nadyakirillova13@gmail.com  
Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

#### COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECT OF VARIOUS BIOFERTILIZERS IN COMPLEX WITH ZEOLITE ON PRODUCTIVITY AND MICROBIOCENOSIS OF BUCKWHEAT I. A. Degtyareva, N. I. Kirillova

**Abstract.** The studies were conducted to assess the effect of biofertilizers on productivity and microbiocenosis of buckwheat. The experiment was carried out in 2023 in a vegetation house in the Republic of Tatarstan on buckwheat of the Nikolskaya variety. The experimental scheme included the following options: without plants (control 1); without fertilizers (control 2);  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; zeolite from Tatar-Shatrasan deposit (particle size 0.04 mm) 1 t/ha; soaking seeds in a suspension of consortium of microorganisms at the rate of 1 l/t for the preparation; soaking seeds in a suspension of Azolen (*Azotobacter vinelandii* IB-4) biopreparation at the rate of 1 l/t of the preparation; consortium of microorganisms + zeolite; Azolen + zeolite. The consortium of microorganisms included strains of nitrogen-fixing (*Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas brassicacearum*) and phosphate-mobilizing (*Sphingobacterium multivorum* and *Achromobacter xylosoxidans*) rhizobacteria isolated from soil of Tatarstan, identified and deposited in a 1:1 ratio by suspension weight (bacterial suspension density up to  $8.0 \cdot 10^9$  CFU/cm<sup>3</sup>). The buckwheat yield in the variants with zeolite and mineral fertilizer was higher than in the control by 1.3 and 1.8 times, respectively. The maximum fruit weight in the experiment was noted in the variants with a consortium of microorganisms in pure form and together with zeolite - 2.5 and 2.9 times higher than in the control. Biofertilizers, NPK and zeolite can be arranged in the following row by their effectiveness: consortium of microorganisms > consortium of microorganisms + zeolite > NPK > zeolite. The use of Azolen did not lead to an increase in buckwheat yield, compared to the control. During the vegetation of plants in the variants with a consortium of microorganisms, not only the best representation of agronomically significant microorganisms (ammonifiers, diazotrophs, phosphate mobilizers, actinobacteria) was noted, but also high respiratory activity of the soil microbiota. A consortium based on autochthonous nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing bacteria can serve as the basis for a complex biofertilizer for a wide range of agricultural crops.

**Key words:** autochthonous bacteria, zeolite, complex fertilizers, buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), yield, microbial cenosis.

#### References

1. Seraya TM, Belyavskaya YuA, Bogatureva EN. [Efficiency of buckwheat cultivation under various farming systems]. Pochvovedenie i agrokhimiya. 2017; 2 (59). 151-160 p.
2. Anokhina TA, Tsuganov AR, Polkhovskaya IV. [Prospects for increasing buckwheat production by optimizing

mineral nutrition, taking into account the plant morphotype]. Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2020; 3. 135-138 p.

3. Aleshchenkova ZM, Safronova GV, Melnikov NV. [Nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing bacteria for stimulating of agricultural crops growth]. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2015; 20 (1). 82-86 p.

4. Mishina OS, Belopukhov SL, Yushchenko YuA. [Application of bioregulators in intensive agricultural technologies for growing buckwheat]. Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2016; Vol.6. 3(18). 72-80 p.

5. Degtyareva IA, Prishchepenko EA, Rakhmanova GF. [Evaluation of new generation fertilizers effect on the microbial cenosis of spring rape]. Agrokhimicheskiy vestnik. 2022; 5. 65-69 p.

6. Timofeeva AM, Galyamova MR, Sedykh SE. [Biological activity of soil bacteria that stimulate plant growth: nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophores synthesis. Prospects for the development of microbial consortia]. Agrokhimiya. 2024; 5. 85-95 p.

7. Khakimova LR, Chubukova OV, Akimova ES, Vershina ZR. [Promising strains of phosphate-mobilizing rhizobacteria resistant to glyphosate and nickel]. Agrokhimiya. 2024; 12. 81-88 p.

8. Garipova SR, Pusenkova LI, Sidorova LV. [Evaluation of enzymatic and microbiological activity of soil of the rhizosphere of Solanum tuberosum L. under the influence of tuber treatment with endophytic bacteria Bacillus subtilis in the conditions of the Urals]. Agrokhimiya. 2024; 12. 54-63 p.

9. Philippot L, Chenu C, Kappler A. The interplay between microbial communities and soil properties. Nat Rev Microbiol. 2024; Vol.22. 226-239 p.

10. Dloem J, Hopkins DW, Benedetti A. Microbiological methods for assessing soil quality. CABI Publishing. 2006; 307 p.

11. Barber SA. [Microorganisms in rhizosphere and absorption of nutrients in the soil]. Moscow: Agropromizdat. 1988; 145 p.

12. Degtyareva IA, Motina TYu, Davletshina AYa. [The effect of soil moisture on the viability of microorganisms included in the complex biofertilizer]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015; Vol.18. 12. 201-203 p.

13. Utkin AA, Noda IB. [Fertility and ecotoxicological state of light gray forest soils of Ivanovo region]. Agrokhimiya. 2024; 5. 71-78 p.

**Authors:**

Degtyareva Irina Aleksandrovna – Doctor of Biological sciences, Associate Professor, chief researcher of Laboratory of Molecular-genetic and microbiological methods, e-mail: peace-1963@mail.ru

Kirillova Nadezhda Igorevna – junior researcher of Laboratory of Molecular-genetic and microbiological methods, e-mail: Nadyakirillova13@gmail.com

Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.