

УДК 631.416.4:631.46:633.14«324»

*Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ*

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ КАЛИЙМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ РЖИ**

*Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси*

*(Поступила в редакцию 28.03.2006)*

**Введение.** Ограниченность мировых запасов сырья для производства калийных удобрений и их высокая стоимость вызывают необходимость поиска альтернативных источников калия для обеспечения питания растений. Биологическая мобилизация калия – один из перспективных путей повышения доступности запасов почвенного калия, которые достаточно велики. Содержание калия в почвах в 5–10 раз больше, чем азота и фосфора. В разных типах почв удельный вес калия колеблется от 0,5 до 3%: в глинистых и суглинистых почвах содержится 2–2,5% калия, в песчаных и супесчаных – 1–2%. Учитывая значительные запасы валового калия в дерново-подзолистых почвах, применение калиймобилизующих бактерий в этом отношении представляет наиболее рациональное решение проблемы.

Микробная трансформация минералов почвообразующей породы представляет собой составную часть почвообразования и происходит постоянно на протяжении всего развития и существования почв. Функция почвы как источника элементов питания и физиологически активных соединений тесно связана с деятельностью микроорганизмов, населяющих поверхность корней растений. Микрофлора ризопланы играет определяющую роль в обеспечении растений доступными соединениями азота, фосфора и калия [1].

Процессы микробной трансформации калия мало изучены и научная информация по этой проблеме относится, главным образом, к 1940–1960 гг. Исследования М. А. Глазковой [2, 3], Т. В. Аристовской [4], А. Н. Илялетдинова [5], В. Г. Александрова [6, 7], Г. А. Зака [8] и К. И. Сурман [9] свидетельствуют о способности микроорганизмов существенно повышать доступность некоторых форм почвенного калия. Вопрос о физиологических механизмах трансформации почвенных минералов под действием микроорганизмов является дискуссионным. Биодegradация минералов может происходить за счет действия ферментов, выделения слизи, путем образования минеральных или органических кислот, биогенных щелочей или при участии продуктов метаболизма, способных к образованию комплексных соединений с элементами, входящими в состав кристаллической решетки минералов [2–9].

В связи с ориентацией современного растениеводства на экологическую и экономическую целесообразность в Беларуси начаты исследования по изучению микробной мобилизации почвенного калия. В Беларуси исследования по биологической мобилизации калия проводятся впервые. В 2001–2005 гг. в лаборатории микробиологии и биохимии почв Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси создана собственная коллекция калиймобилизующих бактерий, не имеющая аналогов в республике и СНГ.

Следует отметить, что информация по активности биологической мобилизации калия ограничена, в том числе из-за отсутствия объективных методов ее количественной оценки. Имеющиеся немногочисленные экспериментальные данные получены с использованием почвенных детритов в качестве источника калия для бактерий [8]. На наш взгляд, более объективно оценивать способность бактерий мобилизовать калий непосредственно из почвенных минералов, например из слюд и гидрослюд. Не менее важен вопрос о способности калиймобилизующих бактерий переводить в доступное состояние разные по степени подвижности формы калия в минералах, который до настоящего времени не изучен.

Цель настоящей работы – количественно оценить активность мобилизации калия из слюд (биотита, мусковита) и гидрослюд (глауконита, гидромусковита), способность бактерий к мобилизации разных форм калия из мусковита, а также установить эффективность калиймобилизующих бактерий на посевах озимой ржи в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижными формами калия.

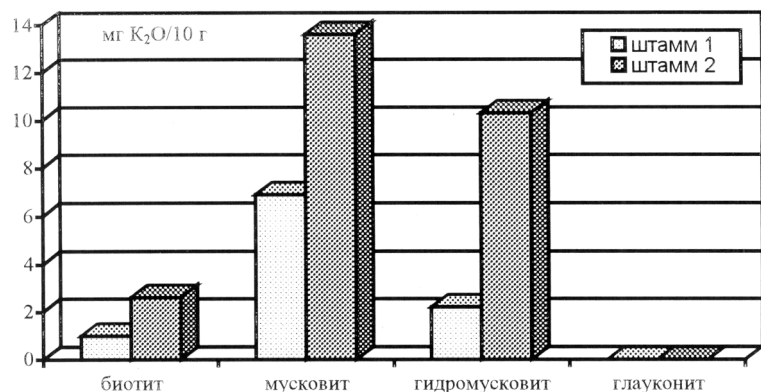
**Объекты и методы исследования.** В экспериментах использованы калиймобилизующие бактерии из коллекции Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Для оценки активности калиймобилизующих бактерий в отношении использования калия почвенных минералов проведена серия лабораторных экспериментов. В качестве единственного источника калия для бактерий использовали калийсодержащие минералы – биотит, глауконит, мусковит, гидромусковит, предварительно отмытые дистиллированной водой. Бактерии высевали в колбы, содержащие 100 мл жидкой питательной среды следующего состава, г/л: сахараза – 0,75;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 0,15;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 0,30;  $\text{MgSO}_4$  – 0,075;  $\text{FeCl}_3$  – следы; минерал – 1. Для приготовления среды использовали бидистиллят и очищенные от примесей калия реактивы. Инкубация 7 дней в термостате при 28 °С, центрифугирование при 6000 об/мин (30 мин). Контролем служила среда с минералом без бактерий, а также среда без минерала, инокулированная бактериями. Количество калия в культуральной жидкости определяли методом пламенной фотометрии.

Для оценки способности бактерий использовать разные по степени подвижности формы калия в минералах предложена их предварительная обработка по Пчелкину [12]. В качестве источника калия использован мусковит, который обрабатывали следующими реагентами: вода, 1н  $\text{CH}_3\text{COO NH}_4$ , 0,2н  $\text{HCl}$ , 2н  $\text{HCl}$ , 20%  $\text{HCl}$ . Вытяжки готовили в течение 2 суток. Отмытые и высушенные после обработки указанными реагентами образцы минерала вносили в жидкую питательную среду с бактериями. Условия культивирования – аналогичные приведенным выше. Через 7 суток центрифугировали и определяли содержание калия в культуральной жидкости методом пламенной фотометрии. Контролем служила среда с обработанным образцом минерала без бактерий.

Влияние калиймобилизующих бактерий на урожайность озимой ржи Игуменская изучено в полевом опыте в СПК «Хотляны» в 2003–2005 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве со следующими агрохимическими параметрами: гумус – 2,6–2,7%,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 6,0–6,2,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 300–350 мг/кг почвы. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы обменным калием (105, 186, 222, 281 мг/кг). Исследования проведены на контроле без удобрений и на фоне внесения  $\text{N}_{90}\text{P}_{30}$ . Общая площадь делянок – 45 м<sup>2</sup>. Для обработки посевов использовали жидкий препарат калиймобилизующих бактерий из коллекции Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси.

**Результаты и их обсуждение.** Слюды и гидрослюды содержат значительные количества калия и являются потенциальными источниками калийного питания растений [12, 13]. Подвижность калия в почвенных минералах и его доступность для бактерий и растений определяется химической природой минерала, его структурой, степенью дисперсности. Значительную роль играют также свойства штаммов калиймобилизующих бактерий.

В условиях эксперимента установлено, что при одинаковой степени измельчения минералов калиймобилизующие бактерии более активно использовали калий мусковита, гидромусковита



Активность мобилизации калия из слюд и гидрослюд

и биотита (в убывающем порядке) и не использовали калий глауконита. На рисунке показаны значительные различия по активности мобилизации калия штаммами 1 и 2 из почвенных минералов.

Для оценки способности бактерий использовать разные по степени подвижности формы калия мусковит подвергали действию бактерий после обработки соответствующими реагентами по Пчелкину [12]. Данные модельного экспери-

Т а б л и ц а 1. Мобилизация калия из мусковита в зависимости от его предварительной обработки (по Пчелкину, 1966)

Предварительная обработка мусковита	K <sub>2</sub> O, мг/100 г минерала		
	Без бактерий (контроль)	С внесением бактерий	Мобилизация калия
Вода	45	88	43
1 н CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	59	86	27
0,2 н HCl	10	48	38
2 н HCl	18	55	37
20% HCl	10	34	24

Т а б л и ц а 2. Влияние K-мобилизующих бактерий на структуру урожая озимой ржи на фоне без внесения удобрений

Вариант	Число колосьев / м <sup>2</sup>	Масса зерна в колосе, г	Число зерен в колосе	Масса 1000 зерен, г	Урожай, ц/га	Прибавка ц/га
<i>I уровень, 105 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	250	0,60	30,1	35,7	12,5	
Бактеризация	290	0,87	29,5	40,5	22,4	9,9
<i>II уровень, 186 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	242	0,76	34,9	39,6	16,9	
Бактеризация	264	1,00	33,6	42,5	24,3	7,4
<i>III уровень, 222 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	232	0,80	34,5	41,8	17,6	
Бактеризация	264	0,91	34,9	42,5	21,3	3,7
<i>IV уровень, 281 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	230	1,20	36,0	42,0	19,8	
Бактеризация	274	1,15	37,0	41,6	22,0	2,2
НСР <sub>05</sub>						
Бактеризация (фактор А)	4,3	0,06	2,6	1,9	1,7	
Уровень (фактор В)	6,4	0,08	3,6	2,7	2,4	

мента показывают потенциальную способность бактерий переводить калий в растворимое состояние не только из наиболее подвижных, но и из трудноподвижных его форм в мусковите (табл. 1). Калий обнаруживали в растворе и после обработки минерала 20%-ной соляной кислотой. В естественных условиях калиймобилизующие бактерии, вероятно, в первую очередь будут использовать более доступные формы почвенного калия, к которым можно отнести водорастворимый, обменный и фиксированный почвой калий удобрений.

Таким образом, количественно определена активность калиймобилизующих бактерий по использованию калия из слюд и гидрослюд. Активность мобилизации калия зависит от структуры почвенных минералов и штаммовых характеристик калиймобилизующих бактерий. Установлена потенциальная способность штамма I к мобилизации разных по степени подвижности форм калия в мусковите.

Наиболее активные штаммы калиймобилизующих бактерий были испытаны в вегетационных экспериментах с ячменем и овсом. Под действием бактерий установлено повышение скорости прорастания семян и стимуляция развития корневой системы зерновых культур за счет образования дополнительного числа корней и увеличения их длины [10, 11], т. е. улучшение развития корневой системы значительно повышает адаптивные возможности бактеризованных растений в отношении водного и минерального питания.

Результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования калиймобилизующих бактерий и разработки на их основе новых видов бактериальных удобрений для применения в растениеводстве. В условиях относительного дефицита калия бактерии способны эффективно использовать почвенные калийсодержащие минералы, в частности слюды и гидрослюды, в качестве потенциальных источников калия и обеспечивать растения доступными формами калия.

Т а б л и ц а 3. Влияние К-мобилизующих бактерий на структуру урожая озимой ржи на фоне с внесением удобрений N<sub>90</sub>P<sub>30</sub>

Вариант	Число колосьев/ м <sup>2</sup>	Масса зерна в колосе, г	Число зерен в колосе	Масса 1000 зерен, г	Урожай, ц/га	Прибавка, ц/га
<i>I уровень, 105 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	244	0,94	35,0	40,3	23,5	5,4
Бактеризация	292	1,03	36,3	41,9	28,9	
<i>II уровень, 186 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	272	1,07	36,9	42,1	29,0	6,6
Бактеризация	303	1,19	36,4	44,2	35,6	
<i>III уровень, 222 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	304	1,05	37,0	42,5	31,7	4,1
Бактеризация	295	1,19	37,0	43,6	35,8	
<i>IV уровень, 281 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Контроль	304	1,00	37,7	42,2	28,8	4,4
Бактеризация	308	1,13	37,0	43,6	33,2	
НСР <sub>05</sub>						
Бактеризация (фактор А)	6,4	0,04	1,8	4,1	2,0	
Уровень (фактор В)	9,1	0,05	2,6	5,8	2,8	

В полевом опыте установлена высокая эффективность калиймобилизующих бактерий на посевах озимой ржи. На контроле без удобрений повышение содержания подвижного калия в почве от 105 до 281 мг/кг приводило к увеличению урожайности зерна от 12,5 на I уровне до 19,8 ц/га на IV уровне на вариантах без бактериализации (табл. 2). Внесение калиймобилизующих бактерий также приводило к повышению урожайности и обеспечивало прибавки зерна на всех уровнях обеспеченности почвы калием. Уровень прибавок от бактериализации существенно зависел от содержания обменного калия в почве, что указывает на тесную связь активности биологической мобилизации калия с уровнем обеспеченности почвы K<sub>2</sub>O. Наибольший эффект от внесения бактерий был отмечен на I и II уровнях: при содержании K<sub>2</sub>O в пределах 105–186 мг/кг прибавки от бактериализации составили 9,9 и 7,4 ц/га. При повышении содержания K<sub>2</sub>O в почве до 222 мг/кг прибавка от бактериализации снижалась до 3,7 ц/га. Минимальная прибавка от калиймобилизующих бактерий (2,2 ц/га зерна) была получена при высокой обеспеченности почвы подвижным калием (281 мг/кг). Таким образом, наибольший эффект от калиймобилизующих бактерий отмечается при относительном недостатке подвижного калия в почве.

Следует отметить, что положительное влияние бактериализации на урожайность озимой ржи связано с улучшением показателей структуры урожая. Внесение калиймобилизующих бактерий стимулировало продуктивное кущение на всех изученных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы калием. На I и II уровнях бактериализация способствовала также достоверному повышению массы зерна в колосе по сравнению с вариантами без бактериализации (табл. 2).

В результате изучения эффективности калиймобилизующих бактерий на фоне внесения азотных и фосфорных удобрений N<sub>90</sub>P<sub>30</sub> установлено значительное повышение урожайности озимой ржи по сравнению с контролем без удобрений (табл. 3). Бактеризация посевов калиймобилизующими бактериями в этих условиях также была эффективной: прибавки урожая находились в пределах 4,1–5,4 ц/га. В целом внесение NP-удобрений в сочетании с применением калиймобилизующих бактерий значительно повысило урожайность озимой ржи. По сравнению с фоном без внесения удобрений отмечено снижение прибавок от бактериализации на I и II уровнях обеспеченности почвы калием (105–186 мг/кг) с 7,4–9,9 до 5,4–6,6 ц/га и тенденция увеличения прибавок на III и IV уровнях (222–286 мг/кг) до 4,1–4,4 ц/га зерна. Бактеризация также приводила к улучшению структуры урожая. На I и II уровнях урожайность возрастала как за счет стимуляции продуктивного кущения, так и за счет увеличения массы колоса, на III и IV уровнях – в основном за счет увеличения массы колоса (табл. 3).

Т а б л и ц а 4. Содержание элементов питания в зерне озимой ржи,%

Вариант		N <sub>общ.</sub>	N <sub>белк.</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO
<i>I уровень, 105 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>							
Без удобрений	Контроль	1,60	1,35	0,59	0,74	0,03	0,08
	Бактеризация	1,69	1,35	0,60	0,78	0,03	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	1,75	1,35	0,59	0,74	0,04	0,08
	Бактеризация	1,77	1,41	0,59	0,74	0,03	0,08
<i>II уровень, 186 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>							
Без удобрений	Контроль	1,74	1,45	0,60	0,74	0,03	0,08
	Бактеризация	1,76	1,51	0,60	0,72	0,03	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	1,78	1,45	0,60	0,73	0,03	0,08
	Бактеризация	1,76	1,49	0,62	0,73	0,03	0,08
<i>III уровень, 222 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>							
Без удобрений	Контроль	1,78	1,49	0,60	0,74	0,03	0,09
	Бактеризация	1,78	1,53	0,62	0,72	0,03	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	1,80	1,45	0,61	0,74	0,03	0,09
	Бактеризация	1,78	1,54	0,61	0,75	0,03	0,08
<i>IV уровень, 281 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>							
Без удобрений	Контроль	1,75	1,50	0,67	0,74	0,03	0,08
	Бактеризация	1,79	1,44	0,68	0,73	0,03	0,09
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	1,71	1,45	0,71	0,74	0,03	0,08
	Бактеризация	1,65	1,45	0,70	0,72	0,03	0,08
HCP <sub>05</sub>		0,18	0,15	0,04	0,03		

Т а б л и ц а 5. Содержание элементов питания в соломе озимой ржи,%

Вариант		N <sub>общ.</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO
<i>I уровень, 105 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Без удобрений	Контроль	0,41	0,95	0,20	0,21	0,07
	Бактеризация	0,44	1,05	0,21	0,21	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	0,45	0,95	0,25	0,20	0,08
	Бактеризация	0,44	1,02	0,25	0,21	0,08
<i>II уровень, 186 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Без удобрений	Контроль	0,43	1,00	0,22	0,21	0,07
	Бактеризация	0,42	1,23	0,29	0,20	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	0,45	1,05	0,25	0,21	0,08
	Бактеризация	0,47	1,25	0,29	0,21	0,08
<i>III уровень, 222 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Без удобрений	Контроль	0,44	1,12	0,25	0,20	0,08
	Бактеризация	0,44	1,32	0,27	0,21	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	0,42	1,17	0,28	0,21	0,08
	Бактеризация	0,43	1,31	0,28	0,21	0,07
<i>IV уровень, 281 мг/кг K<sub>2</sub>O</i>						
Без удобрений	Контроль	0,45	1,20	0,27	0,22	0,07
	Бактеризация	0,44	1,35	0,31	0,22	0,07
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub>	Контроль	0,43	1,20	0,30	0,22	0,07
	Бактеризация	0,43	1,35	0,28	0,21	0,07
HCP <sub>05</sub>		0,03	0,12	0,02		

В условиях полевого эксперимента применение жидкого препарата калиймобилизующих бактерий не оказывало существенного влияния на химический состав зерна и соломы озимой ржи (табл. 4, 5). Содержание калия и фосфора в зерне и соломе – в пределах допустимых нормативов.

**Заключение.** Количественное определение активности биологической мобилизации калия из почвенных минералов показало ее зависимость от структуры почвенных минералов и штаммовых характеристик калиймобилизующих бактерий. В одинаковых условиях калиймобилизующие бактерии активнее используют калий мусковита, гидромусковита и биотита (в убывающем порядке). Доказана способность бактерий к использованию разных по степени подвижности форм калия в мусковите. Основные факторы действия калиймобилизующих бактерий – улучшение калийного питания и повышение адаптивных возможностей бактеризованных растений, что приводит к стимуляции продуктивного кущения, увеличению массы зерна в колосе и обеспечивает повышение урожайности озимой ржи.

При разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижным калием внесение калиймобилизующих бактерий способствовало повышению урожайности озимой ржи. Уровень прибавок от бактеризации существенно зависел от содержания  $K_2O$  в почве, что указывает на тесную связь активности биологической мобилизации калия с содержанием его подвижных форм в почве. Наибольший эффект от бактеризации отмечен при относительном недостатке подвижного калия: при содержании  $K_2O$  в пределах 105–186 мг/кг почвы прибавки урожайности зерна достигали 9,9 и 7,4 ц/га на фоне без удобрений и 5,4 и 6,6 ц/га на фоне  $N_{90}P_{30}$ . При повышении содержания  $K_2O$  до 222 и 286 мг/кг почвы уровень прибавок от бактеризации снижался.

Повышение эффективности биологической мобилизации калия – одно из перспективных направлений биологизации растениеводства, экономически обоснованное и исключающее экологический риск. Использование биотехнологии позволит снизить зависимость от калийных удобрений и повысить доступность запасов почвенного калия для растений. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности разработки новых видов бактериальных удобрений на основе калиймобилизующих бактерий для применения в растениеводстве.

### Литература

1. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М., 1987.
2. Глазовская М. А. // Изв. АН КазССР. Сер. почв. 1950. Вып. 6. С. 11–25.
3. Глазовская М. А. // Природа. 1952. № 12. С. 24–28.
4. Аристовская Т. В., Дараган А. Ю., Зверева Т. С. География, генезис и плодородие почв. Л., 1972.
5. Илялетдинов А. Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений. Алма-Ата, 1966. С. 63–73.
6. Александров В. Г. Силикатные бактерии. М., 1953.
7. Александров В. Г., Зак Г. А. // Микробиология. 1950. Т. 19. Вып. 2.
8. Зак Г. А. Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М., 1963. С. 298–306.
9. Сурман К. И. // Бюл. н.-т. информации по с.-х. микробиологии. 1958. Вып. 5. С. 25–31.
10. Михайловская Н. А., Лученко Л. Н., Курилович Н. Н. и др. // Почвенные исследования и применение удобрений. Мн., 2003. Вып. 27. С. 316–324.
11. Михайловская Н. А., Лученко Л. Н., Курилович Н. Н. и др. // Почвоведение и агрохимия. Мн., 2004. Вып. 33. С. 185–192.
12. Пчелкин В. У. Почвенный калий и калийные удобрения. М., 1966. С. 26–27.
13. Горбунов Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв. М., 1978. С. 23–32.

*N. A. MIKHAILOVSKAYA*

### QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE K-MOBILIZING BACTERIA ACTIVITY AND APPLICATION FOR WINTER RYE GROWING

#### Summary

The methods for quantitative estimation of potassium biological mobilization were developed. The activity of K-mobilizing bacteria in respect to the use of potassium from micas and hydromicas was determined in experiments. It was shown that the activity of potassium mobilization depends on soil mineral structure and bacteria strain characteristics. The potential K-mobilizing bacteria capability mobilization of different-form potassium from muscovite was found.

The effectiveness of K-mobilizing bacteria for winter rye growing was tested in field experiment on sod-podzolic loamy sand soil characterized by different levels of K-supply. Bacterization of winter rye resulted both in the improvement of yield component and in the increase of grain yield. The most effectiveness of K-mobilizing bacteria was observed on soils characterized by a relative deficit of mobile potassium. Development of new types bacterial fertilizers was shown to be perspective biological soil management.