

## EFFICIENCY POTATOES FERTILIZATION ON SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL

A.I. Shchetko, A.R. Rybak

### Summary

The optimum fertilizer system for the potatoes is an using 50 t/ha organic fertilizers and mineral fertilizers in dose  $N_{80+40}P_{30}K_{120}$ . Such fertilizer system allowed to receive in experience the most high productivity tubers 256 c/ha with the starch content of 16,2 %, net income 594,0 USD/ha and profitability 119 %. Specific removal of the main nutrients in given fertilizer system has formed: nitrogen – 7,1 kg/t, phosphorus – 2,9 kg/t, potassium – 14,8 kg/t.

Поступила 01.04.13

УДК 633.11:631.445.24

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ ИНОКУЛЯНТОВ НА ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ НА МОРЕННЫХ СУГЛИНКАХ

Н.А. Михайловская<sup>1</sup>, А.Ф. Черныш<sup>1</sup>, О. Миканова<sup>2</sup>, Т.Б. Барашенко<sup>1</sup>,  
Е.Г. Тарасюк<sup>1</sup>, С.В. Дюсова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт растениеводства, г. Прага-Рузыне, Чехия

### ВВЕДЕНИЕ

Фосфатмобилизующие микробные инокулянты привлекают интерес в первую очередь из-за возможности увеличения подвижности труднорастворимых почвенных фосфатов и улучшения фосфатного питания сельскохозяйственных культур [1]. Только 1–5 % от общего содержания фосфора в почве находятся в доступной для растений форме [2]. Микроорганизмы играют центральную роль в цикле фосфора, некоторые из них способны растворять неорганические фосфаты и мобилизовать фосфор, входящий в состав органических соединений [3]. Среди прокариотов основную группу Р-мобилизующих бактерий составляют *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Rhizobium* [4], хотя способность к растворению фосфатов обнаружена у широкого круга бактерий, относящихся к другим родам.

Однако микробная фосфатмобилизация не всегда является доминирующим и тем более единственным фактором повышения урожайности при использовании фосфатмобилизующих инокулянтов [3]. Доказано выраженное гормональное

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

действие фосфатмобилизирующих бактерий, в частности *Pseudomonas* и *Bacillus*, на инокулированные растения [4–8]. В ряде исследований отмечена тесная связь фитостимуляции и антистрессового действия фосфатмобилизирующих инокулянтов. Индуцированное микробными фитогормонами увеличение длины и массы корней, числа и массы побегов [8, 9] способствует адаптации инокулированных растений в неблагоприятных экологических условиях, оказывая одновременно и антистрессовое действие [10, 11].

Среди факторов, приводящих к повышению урожайности при использовании фосфатмобилизирующих бактерий, значительную роль может играть биоконтроль – их способность контролировать болезни растений, вызываемые грибковыми или бактериальными патогенами [5, 8, 12, 13]. Наиболее вероятно, что совместное действие разных факторов и определяет положительное влияние на продукционный процесс и повышение урожайности, наблюдаемое при использовании микробных удобрений.

Полученные нами изоляты фосфатмобилизирующих бактерий характеризуются способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного фосфора [6] и проявляют значительный гормональный эффект [8], что было установлено в лабораторных экспериментах. Применение фосфатмобилизирующих бактерий в полевых опытах с зерновыми культурами выявило их фунгистатическое действие на гелиминтоспорозные корневые гнили [8, 14]. Лабораторные и полевые исследования подтвердили наличие различных приспособительных механизмов у изолятов фосфатмобилизирующих бактерий из нашей коллекции, что позволяет ожидать их разностороннего положительного влияния на продукционный процесс и урожайность зерновых культур. Наши предыдущие исследования свидетельствуют также, что наибольшая отдача от фосфатмобилизирующих инокулянтов отмечается в стрессовых условиях, например, при дефиците подвижного фосфора в почве [8, 14].

Принимая во внимание перечисленные факты, можно предполагать, что применение Р-мобилизирующих инокулянтов будет эффективным при возделывании зерновых культур на эродированных почвах, где растения подвержены стрессу не только в отношении дефицита фосфора, но и других элементов питания вследствие развития эрозии.

Цель исследований – установить влияние фосфатмобилизирующих инокулянтов на урожайность яровой и озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках при разных системах удобрения, а также оценить фитопатологическое состояние посевов по показателям распространения и развития корневых гнилей.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на мощных моренных суглинках (СПК «Межаны», Браславский р-н, Витебская обл.). Опыт развернут в двух полях. В 2011 г. на первом поле возделывали яровую пшеницу сорта Тома, в 2012 г. на втором поле – озимую пшеницу сорта Богатка. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы представлена в таблице 1.

**Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы  
на моренных суглинках (СПК «Межаны», 2011–2012 гг.)**

Почвы	Гумус, %	рН	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
			мг/кг			
Неэродированная	2,10–2,06	6,2–6,3	260–280	175–185	1020–1050	283–290
Среднеэродированная	1,84–1,82	6,2–6,1	200–221	147–151	983–990	244–252
Сильноэродированная	1,51–1,56	6,1–6,0	165–177	123–127	925–940	231–240

Стационар заложен по геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. Повторность в опыте четырехкратная, общая площадь делянок на водоразделе – 50 м<sup>2</sup>, на верхней и средней частях склона – 40 м<sup>2</sup>, в нижней части склона – 30 м<sup>2</sup>. Размеры учетных делянок: на водоразделе – 35 м<sup>2</sup>, на верхней и средней частях склона – 30 м<sup>2</sup>, в нижней части склона – 25 м<sup>2</sup>.

Действие фосфатмобилизирующих бактерий изучено на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах на вариантах с разными системами удобрения – минеральной (N<sub>70+20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>), органической (навоз, 30 т/га) и органо-минеральной (N<sub>70+20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>120</sub>+навоз). Исследования проводили на зерновых культурах в звене травяно-зернового севооборота со следующим чередованием культур: яровые зерновые, вико-овсяная смесь, озимые зерновые + многолетние травы, многолетние травы 1-го и 2-го г.п. Навоз вносили под зерновые культуры.

Жидкие концентрированные удобрения на основе изолятов фосфатмобилизирующих бактерий из собственной коллекции (*Pseudomonas* sp.) изготовлены в лабораторных условиях. Способ внесения фосфатмобилизирующих инокулянтов – обработка посевов. В 2011 г. обработка яровой пшеницы проведена в фазе всходы – начало кущения. Титр препарата – 7,9 × 10<sup>8</sup> КОЕ/мл. В 2012 г. обработка озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения. Титр препарата – 1,2 × 10<sup>9</sup> КОЕ/мл. Состав рабочей смеси из расчета на 1 га: 1 л препарата фосфатмобилизирующих бактерий + 150–200 л воды.

Учет показателей распространения и развития гелиминтоспорозных корневых гнилей проводили в фазу молочно-восковой спелости зерновых культур на 100 растениях, отобранных в 5 точках каждого варианта опыта. Выемку вместе с почвой раскладывали на бумаге, растения отряхивали, отмывали от почвы и помещали на 30 мин в воду, подсушивали и затем проводили учет. Интенсивность поражения отобранных растений корневыми гнилями оценивали в баллах по шкале ВИЗР [15].

Для оценки распространения корневых гнилей и степени поражения растений использовали следующие формулы:

$$P = (a \times 100) / N,$$

где P – распространение болезни, %;

a – количество больных растений;

N – общее число исследуемых растений;

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

$$R = [\sum (ab) \times 100] / NK,$$

где R – развитие болезни, %;

a – число пораженных растений;

b – балл поражения;

N – общее количество исследованных растений;

K – высший балл шкалы степени развития болезни.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В полевом опыте проведена оценка эффективности применения фосфатмобилизующих инокулянтов на посевах яровой и озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения и степени эродированности дерново-подзолистой почвы, сформированной на мощных моренных суглинках.

В целом применение фосфатмобилизующих бактерий приводило к повышению урожайности пшеницы на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах при всех изученных системах удобрения. Урожайность и величина прибавки от бактеризации посевов зависели от степени эродированности почвы и системы удобрения.

Сравнение по системам удобрения показало, что на вариантах без внесения фосфатмобилизующих бактерий наиболее высокая урожайность яровой пшеницы (2011 г.) по катене получена при органо-минеральной системе удобрения ( $N_{70+20}P_{50}K_{120}$  + навоз) – 36,5–44,2 ц/га, при минеральной и органической системах удобрения урожайность по катене снижалась до 33,6–38,7 и 29,1–38,4 ц/га соответственно и на контроле без удобрений составила 25,1–34,6 ц/га (табл. 2).

Аналогичные закономерности были отмечены на вариантах с применением фосфатмобилизующих бактерий при возделывании яровой пшеницы. Наиболее высокий уровень урожайности (42,5–51,0 ц/га) и прибавок от бактеризации (5,3–6,8 ц/га) отмечен при органо-минеральной системе удобрения ( $N_{70+20}P_{50}K_{120}$  + навоз) по сравнению с контролем без бактеризации. При минеральной системе удобрения ( $N_{70+20}P_{50}K_{120}$ ) урожайность зерна составила 38,4–44,0 ц/га, прибавки от бактеризации посевов – 4,6–5,3 ц/га, при органической системе удобрения – 31,9–42,0 ц/га, на контроле без удобрений – 28,3–38,1 ц/га.

При сравнении урожайных данных по элементам склона выявлено, что наиболее высокая урожайность яровой пшеницы и прибавки от внесения фосфатмобилизующих бактерий получены на незэродированной почве – 38,1–51,0 и 3,5–6,8 ц/га зерна соответственно. На эродированных почвах уровень прибавок от бактеризации посевов снижался, на среднеэродированных – они варьировали в пределах 2,1–5,3 ц/га, на сильноэродированных – в пределах 2,8–6,4 ц/га. Несмотря на то, что уровень прибавок от бактеризации на эродированных почвах ниже, следует отметить, что потенциал фосфатмобилизующих бактерий хорошо реализуется на сильноэродированных почвах, особенно при органо-минеральной системе удобрения, где прибавка зерна достигала 6,4 ц/га и по величине приближалась к уровню прибавки, полученной на водоразделе (6,8 ц/га). При минеральной системе удобрения на средне- и сильноэродированных почвах получены близкие прибавки урожайности зерна – 4,6 и 4,8 ц/га соответственно (табл. 2).

Таким образом, на разных элементах склона потенциальные возможности фосфатмобилизирующих бактерий на яровой пшенице лучше реализовались при органо-минеральной системе удобрения и далее в убывающем порядке – при минеральной и органической; прибавки от бактеризации посевов составили 5,3–6,8 ц/га, 4,6–5,3 ц/га и 2,8–3,6 ц/га соответственно. При сравнении по элементам склона наиболее высокая урожайность яровой пшеницы и прибавки от внесения фосфатмобилизирующих бактерий получены на незэродированной почве – 38,1–51,0 и 3,5–6,8 ц/га зерна соответственно. На эродированных почвах уровень прибавок от бактеризации снижался, они дифференцировались следующим образом: наиболее значимыми были при органо-минеральной системе удобрения – 5,3–6,4 ц/га, при минеральной (4,6–4,8 ц/га) и органической (2,8–3,1 ц/га) – снижались (табл. 2).

*Таблица 2*

**Влияние P-мобилизирующего инокулянта на урожайность яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве на моренных суглинках разной степени эродированности (СПК «Межаны», 2011 г.)**

Почва	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га
	Без бактеризации	Бактеризация	
	Контроль		
Неэродированная	34,6	38,1	3,5
Среднеэродированная	28,1	30,2	2,1
Сильноэродированная	25,1	28,3	3,2
Навоз, 30 т/га			
Неэродированная	38,4	42,0	3,6
Среднеэродированная	31,7	34,8	3,1
Сильноэродированная	29,1	31,9	2,8
$N_{70+20} P_{50} K_{120}$			
Неэродированная	38,7	44,0	5,3
Среднеэродированная	34,0	38,6	4,6
Сильноэродированная	33,6	38,4	4,8
$N_{70+20} P_{50} K_{120} + \text{навоз}$			
Неэродированная	44,2	51,0	6,8
Среднеэродированная	37,2	42,5	5,3
Сильноэродированная	36,5	42,9	6,4
НСР <sub>05</sub> фактор А (почва) – 1,6 фактор В (бактеризация) – 1,8			

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

В 2012 г. в полевом опыте возделывали озимую пшеницу Богатка. На озимой культуре в большинстве случаев отмечены сходные закономерности. Внесение фосфатмобилизующих бактерий путем обработки посевов весной в фазе кущения обеспечивало прибавки урожайности озимой пшеницы на всех элементах склона и при разных системах удобрения. При органо-минеральной системе удобрения ( $N_{70+20}P_{50}K_{120}$  + навоз) также отмечена наилучшая реализация потенциала актериального удобрения: наиболее высокая урожайность зерна (48,8 ц/га) и прибавка от бактериализации 3,6 ц/га получены на незеродированной почве, на среднеэродированной – 3,4 ц/га и на сильноэродированной – 2,9 ц/га. При минеральной системе удобрения прибавки составили: на водоразделе – 3,5 ц/га зерна, на среднеэродированной почве – 2,4 ц/га и на сильноэродированной – 2,6 ц/га. При органической системе удобрения (30 т/га навоза) прибавки были ниже, чем при минеральной и органо-минеральной (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние P-мобилизующего инокулянта на урожайность озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве на моренных суглинках разной степени эродированности (СПК «Межаны», 2012 г.)**

Почва	Урожайность, ц/га		Прибавка, ц/га
	Без бактериализации	Бактериализация	
	Контроль		
Неэродированная	37,9	40,0	2,1
Среднеэродированная	32,1	34,4	2,3
Сильноэродированная	30,1	32,1	2,0
	Навоз, 30 т/га		
Неэродированная	39,8	42,1	2,3
Среднеэродированная	34,1	36,5	2,4
Сильноэродированная	31,2	33,3	2,1
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$		
Неэродированная	44,2	47,7	3,5
Среднеэродированная	34,4	36,8	2,4
Сильноэродированная	34,3	36,9	2,6
	$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз		
Неэродированная	45,2	48,8	3,6
Среднеэродированная	37,6	41,0	3,4
Сильноэродированная	36,5	39,4	2,9
НСР <sub>05</sub> фактор А (почва) – 2,7			
фактор В (бактериализация) – 1,9			

Оценивая наиболее вероятные факторы положительного влияния фосфатмобилизирующих инокулянтов на урожайность, можно предположить, что на водоразделе, где содержание подвижного фосфора составило 260–280 мг/кг (табл. 1), доминирующим механизмом является гормональный эффект. В лабораторных экспериментах, проведенных нами ранее, изоляты *Pseudomonas* sp. индуцировали значительный гормональный эффект, приводивший к увеличению объема корней инокулированных растений на 14–30 %, биомассы корней – на 11–32 %, биомассы надземной части растения – на 6–19 % по сравнению с контролем без инокуляции [7], что существенно повышало их адаптивные возможности в отношении использования элементов минерального питания и воды.

На средне- и сильноэродированных почвах, где содержание  $P_2O_5$  снижается до 200–221 и 165–177 мг/кг соответственно (табл. 1), повышение урожайности связано также и с процессами микробной мобилизации фосфора. Это подтверждается нашими данными, полученными при испытании фосфатмобилизирующих бактерий в полевых опытах с разными уровнями обеспеченности почвы подвижными фосфатами, в диапазоне 200–400 мг/кг, где наибольший эффект от бактериализации по влиянию на урожайность зерновых культур отмечали при содержании подвижного фосфора около 200 мг/кг почвы [8, 14].

К факторам положительного действия фосфатмобилизирующих бактерий *Pseudomonas* sp, приводящим к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, следует отнести также их фунгистатическое действие на корневые гнили [5, 8, 12, 13]. В стрессовых условиях, на сильноэродированных почвах, внесенный фосфатмобилизирующий инокулянт обеспечивает повышение урожайности пшеницы не только за счет фитостимуляции и фосфатмобилизации, но и за счет биоконтроля.

К настоящему времени установлено, что механизмы, ответственные за биоконтроль, могут включать конкуренцию за элементы питания, за экологическую нишу, а также за индуцированную системную устойчивость или экскрецию антифунгальных метаболитов [8, 12, 13].

Ранее в полевых опытах с ячменем и яровой пшеницей было отмечено, что изоляты *Pseudomonas* sp. (наша коллекция) проявляли фунгистатическое действие на гельминтоспоровые корневые гнили – на посевах ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве показатели распространения корневых гнилей по площади и их развитие на отдельных растениях снижались на 10,4–13,2 % и на 3,0–7,4 % соответственно [8]; на посевах яровой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве распространение болезни снижалось в 3–3,4 раза, развитие на отдельных растениях – в 2,2–2,6 раза [14].

К настоящему времени основные агенты биоконтроля, характерные для представителей рода *Pseudomonas*, хорошо охарактеризованы на молекулярном уровне. В количественном отношении среди идентифицированных агентов биоконтроля (AFMs) у *Pseudomonas* преобладают феназины, пирролнитрин, 2,4-диацетилфлороглюцинол (DAPG) [20] и пьюлютокорин [19]. Недавно были открыты новые классы химических соединений, ответственных за биоконтроль у *Pseudomonas*, – циклические липопептиды, такие как вискозинамид [16, 18] и тензин [17]. Генетические основы биосинтеза AFMs, наиболее часто обнаруживаемых у представителей *Pseudomonas*, достаточно хорошо выяснены.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

В связи с этим в задачи исследований входила оценка фитопатологического состояния посевов яровой и озимой пшеницы в отношении распространения и развития гелиминтоспорозных корневых гнилей. Полученные данные подтвердили, что положительное влияние изученных фосфатмобилизирующих бактерий на урожайность зерновых культур может быть обусловлено также их фунгистатическим действием на корневые гнили.

В 2011 г. был проведен учет распространения и развития корневых гнилей в посевах яровой пшеницы. Установлено, что наиболее значимое фунгистатическое действие Р-мобилизирующих бактерий отмечено на сильноэродированной почве при органо-минеральной системе удобрения – распространение корневых гнилей снижалось на 4,0 %, на среднеэродированной почве – на 3,8 % (табл. 4). Наибольший эффект на показатели развития болезней установлен также на сильноэродированной почве – снижение составило 3,6 % и 3,8 % при органо-минеральной и минеральной системах удобрения соответственно, на других элементах склона указанные показатели снижались на 2,2–2,8 % (табл. 5).

Тот факт, что при всех изученных системах удобрения наибольший фунгистатический эффект от внесения Р-мобилизирующих бактерий отмечен на сильноэродированной почве может свидетельствовать о том, что в стрессовых условиях, наряду с фитостимуляцией и фосфатмобилизацией, повышение урожайности яровой пшеницы связано и с биоконтролем. Интродуцированные бактерии способны контролировать распространение и развитие болезни и оказывать фунгистатическое действие на деятельность грибковых фитопатогенов за счет антагонизма. Выживание интродуцированных микроорганизмов в конкурентных условиях ризоплана и ризосферы связано с биосинтезом антимикробных метаболитов. Как правило, микробные инокулянты не способны к полному уничтожению популяции фитопатогена, но они ограничивают их развитие, снижая их негативное влияние на урожайность.

Таблица 4

**Влияние Р-мобилизирующих инокулянтов на распространение корневых гнилей на посевах яровой пшеницы (СПК «Межаны», 2011 г.), %**

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	20,4	23,9	25,4
Бактеризация	18,5	22,0	22,8
Снижение	1,9	1,9	2,6
$N_{70+20} P_{50} K_{120}$			
Контроль	25,2	26,3	26,8
Бактеризация	22,8	23,5	23,6
Снижение	2,4	2,8	3,2

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Навоз, 30 т/га			
Контроль	27,3	28,0	29,5
Бактеризация	25,3	25,9	26,7
Снижение	2,0	2,1	2,8
$N_{70+20} P_{50} K_{120}$ + навоз			
Контроль	31,7	32,2	35,6
Бактеризация	28,5	28,4	31,6
Снижение	3,2	3,8	4,0
НСП <sub>05</sub>	1,3		

Таблица 5

**Влияние P-мобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей на посевах яровой пшеницы (СПК «Межаны», 2011 г.), %**

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	5,5	5,9	6,4
Бактеризация	4,2	4,0	4,2
Снижение	1,3	1,9	2,2
$N_{70+20} P_{50} K_{120}$			
Контроль	6,0	6,8	8,2
Бактеризация	3,8	4,2	4,4
Снижение	2,2	2,6	3,8
Навоз, 30 т/га			
Контроль	6,9	7,8	9,5
Бактеризация	5,4	6,0	7,3
Снижение	1,5	1,8	2,2
$N_{70+20} P_{50} K_{120}$ + навоз			
Контроль	7,1	8,6	12,8
Бактеризация	4,7	5,8	9,2
Снижение	2,4	2,8	3,6
НСП <sub>05</sub>	0,4		

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

В 2012 г. проведен учет распространения и развития корневых гнилей в посевах озимой пшеницы. Наибольший фунгистатический эффект от применения P-мобилизующих бактерий отмечен на сильноэродированной почве при органо-минеральной системе удобрения ( $N_{70+20}P_{50}K_{120}$  + навоз) – распространение корневых гнилей снижалось на 4,5 %, на среднеэродированной почве – на 3,6 % (табл. 6). Наибольший эффект на показатели развития болезней установлен также на сильноэродированной почве – снижение составило 4,3 % и 4,5 % при органо-минеральной и минеральной системах удобрения соответственно, на других элементах склона – 2,9–3,5 % (табл. 7). Это подтверждают полученные урожайные данные.

Таблица 6

**Влияние P-мобилизующих инокулянтов на распространение корневых гнилей на посевах озимой пшеницы (СПК «Межаны», 2012 г.), %**

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	34,4	35,8	34,5
Бактеризация	31,6	32,9	31,3
Снижение	2,8	2,9	3,2
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$			
Контроль	35,8	36,2	38,8
Бактеризация	32,6	33,2	35,4
Снижение	3,2	3,0	3,4
Навоз, 30 т/га			
Контроль	36,2	36,4	38,3
Бактеризация	33,6	34,2	34,9
Снижение	2,6	2,2	3,4
$N_{70+20}P_{50}K_{120}$ + навоз			
Контроль	36,3	38,2	38,4
Бактеризация	32,9	34,6	33,9
Снижение	3,4	3,6	4,5
НСР <sub>05</sub>		1,7	

**Влияние P-мобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей на посевах озимой пшеницы (СПК «Межаны», 2012 г.)**

Вариант	Неэродированная	Средне-эродированная	Сильно-эродированная
Контроль			
Контроль	8,2	9,5	10,3
Бактеризация	6,7	7,1	7,7
Снижение	1,5	2,4	2,6
N <sub>70+20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>			
Контроль	9,3	10,8	14,3
Бактеризация	6,4	7,5	9,8
Снижение	2,9	3,3	4,5
Навоз, 30 т/га			
Контроль	10,5	13,2	15,4
Бактеризация	8,0	10,5	12,3
Снижение	2,5	2,7	3,1
N <sub>70+20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub> + навоз			
Контроль	12,8	14,8	16,6
Бактеризация	9,5	11,3	12,3
Снижение	3,3	3,5	4,3
НСП <sub>05</sub>		0,5	

Таким образом, установлена эффективность фосфатмобилизующего инокулянта по влиянию на урожайность и фитопатологическое состояние посевов яровой и озимой пшеницы при разных системах удобрения на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных суглинках.

### ВЫВОДЫ

Применение фосфатмобилизующих бактерий приводило к повышению урожайности яровой и озимой пшеницы на водоразделе, средне- и сильноэродированной почвах при органической, минеральной и органо-минеральной системах удобрения. Урожайность и прибавки от бактеризации посевов зависели от степени эродированности почвы и системы удобрения.

На всех элементах склона потенциальные возможности фосфатмобилизующих бактерий лучше реализовались при органо-минеральной системе удобрения, далее в убывающем порядке – при минеральной и органической.

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

Наиболее высокую урожайность и прибавки от внесения фосфатмобилизующих бактерий отмечали на незэродированной почве при разных системах удобрения: на яровой пшенице – 42–51 и 3,6–6,8 ц/га, на озимой пшенице – 42,1–48,8 и 2,3–3,6 ц/га зерна соответственно.

На эродированных почвах прибавки от бактеризации снижались и дифференцировались следующим образом: наиболее значимые при органо-минеральной системе удобрения – 5,3–6,4 ц/га (яровая пшеница) и 2,9–3,4 ц/га (озимая пшеница), далее при минеральной – 4,6–4,8 ц/га и 2,4–2,6 ц/га, при органической – 2,8–3,1 ц/га и 2,1–2,4 ц/га соответственно.

Внесение фосфатмобилизующих инокулянтов обеспечивало снижение показателей распространения и развития гелиминтоспорозных корневых гнилей в посевах яровой и озимой пшеницы. Наибольший фунгистатический эффект отмечен на сильноэродированных почвах при органо-минеральной и минеральной системах удобрения – на яровой пшенице распространение болезни снижалось на 4,0 и 3,2 %, развитие – на 3,6 % и 3,8 %; на озимой пшенице распространение болезни – на 4,5 % и 3,4 %, развитие – на 4,3 % и 4,5 % соответственно.

При использовании фосфатмобилизующих инокулянтов вклад в повышение урожайности пшеницы обеспечивают следующие факторы: стимуляция роста, микробная мобилизация фосфора и фунгистатическое действие на корневые гнили, значимость которых варьирует в зависимости от экологических условий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khan, M.S. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture / M.S. Khan, A. Zaidi. P.A. Wani // *Agron. Sustain. Dev.* – 2007. – Vol. 27. – P. 29–43.
2. Novel approaches for analysis of biodiversity of phosphate-solubilizing bacteria / M.-H. Ramirez-Bahena [et al.] // *Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement* / Nova Science Publishers; eds. M.S. Khan, A. Zaidi. – 2009. – P. 15–40.
3. Gaur, A.C. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers / A.C. Gaur. – New Delhi: Omega Sci. Publishers, 1990. – 283 p.
4. Rodriguez, H. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion / H. Rodriguez, R. Fraga // *Biotechnol. Adv.* – 1999. – Vol. 17. – P. 319–339.
5. Bloemberg, G.V. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria / G.V. Bloemberg, B.J.J. Lugtenberg // *Current Opinion in Plant Biology.* – 2001. – № 4. – P. 343–250.
6. Mikanová, O. Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / O. Mikanová, J. Kubát // *Microbial Biotechnology in Agriculture and Aquaculture* / Science Publishers; eds. R.C. Ray. – USA: New Hampshire. – 2006. – Vol. II. – P. 111–145.
7. Свойства фосфатмобилизующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2011. – № 2(47). – С. 120–129.
8. Влияние фосфатмобилизующих бактерий на ростовые процессы, урожайность и фитосанитарное состояние посевов зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2012. – № 1(48). – С. 136–149.

9. Gibberellin production and phosphate solubilization by newly isolated strain of *Acinetobacter calcoaceticus* and its effect on plant growth / S.M. Kang [et al.] // *Biotechnol. Letters*. – 2007. – Vol. 31. – P. 277–281.

10. Bergman, H. Interrelationships between Microorganisms and Plants in Soil / H. Bergman // *Proc. Intern. Symp., Liblice, Czechoslovakia, June 22–27, 1987/1989*. – P. 475.

11. Bates, L.S. Determination of free proline for water-stress studies / L.S. Bates, R.P. Waldren, I.D. Teare // *Plant Soil*. – 1973. – Vol. 39. – P. 205–207.

12. Duffy, B. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain / B. Duffy, G. Defago // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1999. – Vol. 65. – P. 2429–2438.

13. Van Loon, L.C. Systematic resistance induced by rhizosphere bacteria / L.C. van Loon, P.A.H.M., Bakker, C.M.J. Pieterse // *Annu. Rev. Phytopathol.* – 1998. – Vol. 36. – P. 452–483.

14. Михайловская, Н.А. Влияние ризобактерий на фитопатологическое состояние посевов яровой пшеницы / Н.А. Михайловская, Е.Г. Тарасюк, С.В. Тарасюк // *Почвоведение и агрохимия*. – 2005. – № 34. – С. 259–262.

15. Практикум по защите растений / Н.Г. Берим [и др.]. – Л.: Колос, 1980. – 247 с.

16. Viscozinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54 / T.H. Nielsen [et al.] // *J. Appl. Microbiol.* – 1999. – № 87. – P. 80–90.

17. Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin – a new cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578 / T.H. Nielsen [et al.] // *J. Appl. Microbiol.* – 2000. – № 89. – P. 992–1001.

18. Viscozinamide-producing Structure, production characteristics and fungal antagonism of tensin – a new cyclic lipopeptide from *Pseudomonas fluorescens* strain 96.578 / C. Thrane [et al.] // *J. Appl. Microbiol.* – 2000. – № 89. – P. 992–1001.

19. Characterization of the pyolutcorin biosynthetic gene cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf5 / B. Nowak-Thompson [et al.] // *J. Bacteriol.* – 1999. – № 181. – P. 2166–2174.

20. Bangera, M.G. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2–87 / M.G. Bangera, I.S. Thomashow // *J. Bacteriol.* – 1999. – № 181. – P. 3155–3163.

## EFFECTIVENESS OF PHOSPHORUS SOLUBILIZING INOCULANTS APPLICATION FOR WHEAT GROWING ON ERODED LUVISOL SANDY LOAM SOILS

N.A. Mikhailouskaya, A.F. Chernysh, O. Mikanova,  
T.B. Barashenko, E.G. Tarasyuk, S.V. Dyusova

### Summary

Effectiveness of phosphorus solubilizing inoculant was studied in the field experiment on luvisol loamy sand soils characterized by different erosion degrees. Application of phosphorus solubilizing bacteria resulted in the increase of winter and

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

spring wheat yields on watershed, medium- and severely eroded soils under organic, mineral and organic-mineral fertilizer systems. Yields and values of responses to inoculation depended on slope elements and fertilizer system.

*Поступила 04.04.13*

УДК 633.16+633.367:632.15

### **НАКОПЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ЯЧМЕНЯ И ЛЮПИНА ЦИНКА, МЕДИ И СВИНЦА ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ЭТИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

**Н.К. Лукашенко<sup>1</sup>, С.Е. Головатый<sup>2</sup>, З.С. Ковалевич<sup>3</sup>, Т.М. Минкина<sup>4</sup>,  
Г.В. Мотузова<sup>5</sup>, С.С. Манджиева<sup>4</sup>, В.В. Чаплыгин<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Международный государственный экологический университет  
им. А.Д. Сахарова, г. Минск, Беларусь*

*<sup>3</sup>Международный университет «МИТСО», г. Минск, Беларусь*

*<sup>4</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

*<sup>5</sup>Московский государственный университет, г. Москва, Россия*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Среди экологических проблем защиты окружающей среды от техногенного загрязнения все большее внимание уделяется агроэкосистемам – основным факторам обеспечения продовольственной безопасности государств.

В первых рядах самых опасных техногенных загрязняющих веществ стоят тяжелые металлы (ТМ). Наиболее высокими темпами в агроэкосистемах идет накопление Pb, Cd, Hg, As, Cu, Zn. В России содержание в почвах Pb и Cu, превышающее ПДК, отмечено на 1–2 % площадей пахотных угодий, содержание Cd, Ni, Cr, Zn, Hg выше ПДК – на не более 1 % пахотных земель [1]. Исследования, выполненные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» Республики Беларусь, показали, что около 11 % всех обследованных сельскохозяйственных земель (дерново-подзолистые почвы) имеют избыточное содержание подвижных форм меди (> 5 мг/кг), около 12 % – избыточное содержание подвижного цинка (> 10 мг/кг) [2]. Почвы с одновременным избытком меди и цинка составляют около 9 % всех обследованных земель. Количество минеральных почв, в которых содержание цинка и меди превышает ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), составляет соответственно 0,7 и 0,9 % от всех обследованных сельскохозяйственных земель.

За период интенсивной химизации сельского хозяйства в Республике Беларусь отмечается положительный ежегодный баланс ТМ в пахотном горизонте минеральных почв, который для Cd, Pb, Zn и Cu составляет соответственно 5,1; 162,1; 692,3 и 192,0 г/га [2].