

**ВЛИЯНИЕ БИНАРНОГО ИНОКУЛЯНТА
A. BRASILENSE + *B. CIRCULANS* НА УРОЖАЙНОСТЬ
И КАЧЕСТВО ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЭРОДИРОВАННЫХ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ**

**Н.А. Михайловская, Н.Н. Цыбулько, А.В. Юхновец,
А.М. Устинова, Т.Б. Барашенко**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

На территории республики Беларусь эродированные почвы, приуроченные к пахотным землям, занимают 479,5 тыс. га (9,4 % от общей площади). Кроме этого, 2108,2 тыс. га или 41,2 % пахотных земель относятся к эрозионно-опасным землям, которые при неправильном использовании могут быть подвержены эрозии [1].

Процессы эрозии имеют выраженные региональные особенности. В Северной и Центральной почвенно-экологических провинциях преобладает водная эрозия. В Центральной почвенно-экологической провинции это обусловлено сочетанием природных и антропогенных факторов – особенностями рельефа, спецификой почвообразующих пород с преобладанием пылеватых частиц в гранулометрическом составе и достаточной увлажненностью территории [1–3]. Существенную роль в формировании эрозионных процессов здесь играет высокая сельскохозяйственная освоенность территории, достигающая в некоторых районах 50–88 % [1]. В Северной почвенно-экологической провинции водная эрозия развивается в условиях повышенной увлажненности территории, сложной структуры почвенного покрова, при высоком и неравномерном расчленении рельефа как по густоте, так и по глубине. Почвы с потенциальным смывом занимают в отдельных регионах до 50 %, причем почти пятая их часть уже подвержена в той или иной степени эрозионной деградации [2].

Экологический и экономический ущерб при развитии водной эрозии значителен. В среднем недоборы урожаев зерновых культур варьируют от 12 до 40 % в зависимости от степени эродированности почвы [3]. Снижение производительной способности эродированных почв обусловлено ухудшением их агрохимических, агрофизических и биологических свойств [2]. Ежегодно с обрабатываемых склонов выносятся от 0,1 до 100 и более т/га почвы [2], при этом теряется не только органическое вещество, гумус, минеральная часть почвы, но и прочно связанные с ними микробная биомасса и внеклеточные почвенные ферменты [4–6].

На эродированных и эрозионноопасных почвах актуально применение микробных удобрений, что может не только повысить уровень биогенности эродированных почв за счет увеличения их заселенности микроорганизмами, но и вовлечь биологические факторы для улучшения минерального питания, стимуляции роста и защиты растений. Как показывает опыт наших исследований, микробные удобрения наиболее эффективны в стрессовых условиях [7].

Современным направлением биологизации растениеводства на эродированных почвах является разработка полифункциональных микробных удобрений. Эта задача реализуется путем создания многокомпонентных инокулянтов, включающих штаммы микроорганизмов с разными полезными свойствами. Для биологизации растениеводства на эродированных почвах разработан бинарный инокулянт, который включает штаммы азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий – *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans*.

Цель исследований – изучить влияние бинарного бактериального инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на урожайность и качество озимой пшеницы при возделывании на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лабораторный опыт. Для количественной оценки совместного действия азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на развитие проростков яровой пшеницы проведен краткосрочный лабораторный опыт. Поверхностная стерилизация семян проведена 10 % H_2O_2 в течение 30 мин с последующим отмыванием стерильной водой. Стерильные семена инокулировали суспензиями моноинокулянтов и бинарной бактериальной композицией *A. brasilense* + *B. circulans*. На полосу полиэтиленовой пленки (10×55 см) накладывали равную по размеру полосу фильтровальной бумаги, увлажненную до полной влагоемкости. На фильтровальную бумагу выкладывали инокулированные семена пшеницы (интервал 1–2 см), накрывали полосой фильтровальной бумаги, сворачивали в рулоны и устанавливали вертикально в стеклянные стаканы. Экспозиция проводилась в течение 7 суток при $t = 22\text{--}25^\circ\text{C}$. Действие моно- и бинарного инокулянтов на проростки пшеницы оценивали по биометрическим характеристикам – длине, количеству и сухой массе корней, длине и сухой массе проростков.

Полевые опыты для оценки эффективности бинарной композиции на посевах озимой пшеницы. В Центральной и Северной почвенно-экологических провинциях республики заложены стационарные полевые опыты на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных и моренных суглинках по геоморфологическому профилю. На водораздельной равнине расположена незэродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная почва.

В Северной провинции в стационаре «Браслав» изучено влияние бинарной бактериальной композиции на урожайность озимой пшеницы сорта Богатка на эродированных дерново-подзолистых почвах на мощных моренных суглинках: в 2014 г. – на фоне $N_{90+20}P_{50}K_{120}$, в 2016 г. – $N_{90+30}P_{60}K_{120}$. Бинарная бактериальная композиция внесена путем инокуляции посевов весной в фазе кущения, соотношение компонентов 1:1 (титры: *A. brasilense* – $1,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, *B. circulans* – $1,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл). Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 12,5 м², на эродированных почвах – 10 м², учетная площадь – 9 м² и 7 м² соответственно. Повторность в опыте трехкратная.

В Центральной провинции в стационаре «Стоковые площадки» изучено влияние двухкомпонентного бактериального инокулянта на урожайность озимой пшеницы сортов Богатка и Сукцес на эродированных дерново-подзолистых

почвах на мощных лессовидных суглинках: в 2015 г. – на фоне $N_{90+30}P_{60}K_{90}$, в 2016 г. – $N_{90+30}P_{60}K_{100}$. Инокуляция посевов озимой пшеницы проведена весной в фазе кущения бинарным инокулянтom *A. brasilense* + *B. circulans* (титры: $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл в соотношении 1:1) на всех элементах склона. Повторность в опытах трехкратная. Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 50 м², на эродированных почвах – 40 м², учетная площадь соответственно – 35 м² и 30 м².

Минеральные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили перед посевом, карбамид – перед посевом и в подкормку.

Агрохимические свойства пахотного слоя почв полевых опытов и метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований (ГТК по Г.Т. Селянинову) представлены в табл. 1. Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ для дисперсионного анализа на ПЭВМ.

Для оценки качества продукции определяли содержание общего и белкового азота, фосфора, калия, кальция и магния в зерне озимой пшеницы методом ИК-спектроскопии (NIR Systems 4500).

Таблица 1

Характеристика объектов и гидротермических условий в период исследований

Год исследований	Почва	Культура	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН _{KCl} (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91)		ГТК
					P ₂ O ₅	K ₂ O	
2015	Эродированная дерново-подзолистая, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках	Озимая пшеница Богатка	1,3–1,8	5,5–5,7	272–284	215–269	1,32
2016		Озимая пшеница Сукцес	0,8–2,5	5,5–5,9	290–330	180–230	1,43
2014, 2016	Эродированная дерново-подзолистая, развивающаяся на мощных моренных суглинках	Озимая пшеница Богатка	1,5–2,0	6,1–6,3	177–280	127–185	1,42 1,70

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для создания бинарной бактериальной композиции из собственных коллекций были отобраны биологически совместимые штаммы азотфиксирующих *Azospirillum brasilense* 2(в)3 и калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* К–81. Критериями отбора штаммов для бактериальной композиции были высокие показатели активности по целевым свойствам – азотфиксации, калиймобилизации, а также наличие дополнительных приспособительных свойств, способствующих адаптации в конкурентных условиях ризосферы растений. В серии *in vitro* экспериментов установлена совместимость штаммов бактерий *A. brasilense* 2(в)3 и *B. circulans* К–81 [8].

Штамм *Azospirillum brasilense* 2(в)3 характеризуется высоким гормональным эффектом на растения [8, 10], значительным азотфиксирующим потенциалом [9] и способностью к растворению ортофосфата кальция [10]. *Azospirillum spp.* спо-

способны осуществлять все реакции цикла азота, кроме нитрификации. В качестве источников азота азоспириллы могут использовать как молекулярный азот, так и аммоний, нитраты, аминокислоты [11].

Штамм *Bacillus circulans* K-81 характеризуется высокой активностью мобилизации труднодоступных форм почвенного калия из почвенных калийсодержащих минералов, в частности, из слюд и гидрослюд, а также способен использовать разные по степени подвижности формы калия в гидрослюдах [12]. Штамм активен в отношении мобилизации фосфора из нерастворимых трехзамещенных фосфатов кальция [10].

Отобранные штаммы не патогенны, не опасны для человека и окружающей среды, удовлетворяют требованиям технологичности, характеризуются высокой скоростью роста на недорогих субстратах, сохранением титров и отсутствием заражения посторонней микрофлорой при длительном культивировании [8].

В течение четырех лет тестировали бинарный бактериальный инокулянт *A. brasilense* + *B. circulans* на двух сортах озимой пшеницы, Богатка и Сукцес, на эродированных дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках. Сравнительный анализ урожайных данных, полученных на разных фонах удобрений, позволил выявить ряд общих зависимостей.

Установлено, что бинарный бактериальный инокулянт был эффективен на разных элементах склона и обеспечивал прибавки урожайности озимой пшеницы на незэродированной, средне- и сильноэродированной почвах.

В большинстве случаев отмечено повышение эффекта от бинарного бактериального инокулянта при возделывании озимой пшеницы в условиях стресса на сильноэродированных почвах.

В полевом опыте на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках в течение 2-х лет исследований наибольший эффект от инокуляции посевов бинарным инокулянтом получали на сильноэродированных почвах. Прибавки урожайности зерна озимой пшеницы Богатка составили: в 2014 г. на незэродированной почве – 1,9 ц/га (урожайность без инокуляции 50,3 ц/га), на сильно эродированной – 3,2 ц/га (урожайность без инокуляции 39,0 ц/га); в 2016 г. – 3,5 ц/га (без инокуляции 52,5 ц/га), и 3,9 ц/га (без инокуляции 39,4 ц/га) соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние бинарного инокулянта на урожайность озимой пшеницы Богатка на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (Стационар «Браслав», 2014 и 2016 гг.)

Почва	Вариант	2014 г.		2016 г.	
		1	2	1	2
Незэродированная.	Контроль	50,3	–	52,5	–
	A+B	52,2	1,9	56,0	3,5
Среднезэродированная	Контроль	48,1	–	50,7	–
	A+B	50,1	2,0	53,9	3,2
Сильноэродированная	Контроль	39,0	–	39,4	–
	A+B	42,2	3,2	43,3	3,9
HCP ₀₅	A (почва)	2,29		3,45	
	B (инокуляция)	1,62		3,04	

Примечание. A – *A. brasilense*; B – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

В полевом опыте на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках в 2015 г. прибавка урожайности озимой пшеницы Богатка от бинарного инокулянта на незероэродированной почве составила 3,7 ц/га (урожайность без инокуляции 77,5 ц/га). На среднеэродированной почве отмечено повышение эффекта от инокуляции посевов, прибавка зерна составила 4,8 ц/га (урожайность без инокуляции 74,2 ц/га). На сильноэродированной почве эффект от инокуляции снижался до 3,5 ц/га зерна (урожайность без инокуляции 72,1 ц/га). В 2016 г. при возделывании озимой пшеницы Сукцес установлено повышение эффективности бинарного бактериального инокулянта на эродированных почвах: от 3,6 ц/га зерна (урожайность без инокуляции 61,4 ц/га) на незероэродированной почве до 4,6 ц/га (урожайность без инокуляции 45,9 ц/га) на сильноэродированной почве (табл. 3).

Таблица 3

Влияние бинарного инокулянта на урожайность озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках (Стационар «Стоковые площадки», 2015 и 2016 гг.)

Почва	Вариант	Сорт Богатка, 2015 г.		Сорт Сукцес, 2016г.	
		1	2	1	2
Неэродированная	Контроль	77,5	–	61,4	–
	А+В	81,2	3,7	65,0	3,6
Среднеэродированная	Контроль	74,2	–	54,2	–
	А+В	79,0	4,8	58,3	4,1
Сильноэродированная	Контроль	72,1	–	45,9	–
	А+В	75,6	3,5	50,5	4,6
НСП ₀₅	А (почва)	2,55		2,93	
	В (инокуляция)	2,95		3,39	

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

В задачи исследований входила оценка влияния бинарного инокулянта на качество продукции, что является приоритетным вопросом на эродированных почвах, где растения испытывают дефицит элементов питания в результате развития эрозийных процессов [1–3].

Для оценки качества продукции определено содержание общего и белкового азота, фосфора, калия, кальция и магния в зерне озимой пшеницы, а также сырой протеин, сбор белка и масса 1000 зерен.

Установлено, что на незероэродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках (стационар «Браслав») инокуляция посевов озимой пшеницы Богатка бинарным инокулянтом *A. brasilense* + *B. circulans* приводила к достоверному повышению $N_{\text{общ}}$ и $N_{\text{белк}}$ и содержания протеина в зерне. На эродированных почвах отмечено достоверное повышение содержания белкового азота в зерне и сырого протеина. Инокуляция посевов приводила к увеличению сбора белка и повышению массы 1000 зерен озимой пшеницы на всех элементах склона. Влияние бинарного инокулянта на содержание P_2O_5 , K_2O , CaO и MgO в зерне было несущественным (табл. 4, 5).

Повышение содержания белкового азота косвенно указывает на вклад азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* в азотное питание озимой пшеницы. Поло-

жительное влияние азоспирилл, как моноинокулянтов, на содержание протеина в зерне ячменя и сухой массе разных видов многолетних злаковых трав было установлено нами ранее [9].

Таблица 4

**Содержание элементов питания в зерне озимой пшеницы Богатка
при использовании бинарного инокулянта на дерново-подзолистых почвах
на моренных суглинках («Браслав», 2016 г.)**

Почва	Вариант	% в сухом веществе					
		N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Неэродированная	Контроль	2,07	1,98	0,68	0,46	0,07	0,13
	A+B	2,09	2,02	0,61	0,41	0,07	0,12
Среднеэродированная	Контроль	1,98	1,87	0,72	0,49	0,06	0,13
	A+B	2,00	1,91	0,67	0,46	0,06	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,95	1,86	0,71	0,48	0,06	0,13
	A+B	2,02	1,92	0,75	0,51	0,06	0,14
НСП ₀₅	A (почва)	0,04	0,04	0,03	0,02	0,004	0,006
	B (инокуляция)	0,03	0,03	0,02	0,01	0,003	0,005

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; 1 – урожайность, ц/га; 2 – прибавка, ц/га.

Таблица 5

**Влияние бинарного инокулянта на качество озимой пшеницы Богатка
на дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках («Браслав», 2016 г.)**

Почва	Вариант	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г
Неэродированная	Контроль	11,3	5,9	42,9
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	11,5	6,4	43,5
Среднеэродированная	Контроль	10,7	5,4	42,4
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,9	5,9	43,0
Сильноэродированная	Контроль	10,6	4,2	39,6
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,9	4,7	40,9
НСП ₀₅	A (почва)	0,23		0,48
	B (инокуляция)	0,17		0,39

При возделывании озимой пшеницы Богатка на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки») под влиянием двухкомпонентного инокулянта отмечено достоверное повышение содержания белкового азота и сырого протеина на неэродированных и сильноэродированных почвах. Установлено повышение сбора белка и существенное увеличение массы 1000 зерен (табл. 6, 7).

При возделывании озимой пшеницы Сукцес на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах проявилась тенденция повышения содержания N_{белк} при бинарной инокуляции. Достоверным было влияние бактериальной композиции на массу 1000 зерен озимой пшеницы Сукцес. Содержание P₂O₅, K₂O, CaO и MgO в зерне обоих сортов озимой пшеницы не зависело от инокуляции (табл. 6, 7).

Таблица 6

Содержание элементов питания в зерне озимой пшеницы при использовании бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках («Стоковые площадки» 2015, 2016 гг.)

Почва	Вариант опыта	Содержание (% в сухом веществе)					
		N _{общ}	N _{белк}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Сорт Богатка, 2015 г.							
Неэродированная	Контроль	1,91	1,81	0,65	0,45	0,05	0,12
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	2,03	1,93	0,59	0,40	0,06	0,11
Среднеэродированная	Контроль	1,88	1,79	0,62	0,43	0,05	0,11
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	1,93	1,84	0,67	0,46	0,05	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,84	1,75	0,64	0,45	0,05	0,11
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	1,93	1,84	0,66	0,46	0,05	0,12
НСП ₀₅	А (почва)	0,08	0,08	0,04	0,02	0,002	0,002
	В (инокуляция)	0,09	0,09	0,04	0,03	0,002	0,003
Сорт Сукцес, 2016 г.							
Неэродированная	Контроль	1,80	1,72	0,69	0,50	0,04	0,12
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	1,84	1,75	0,68	0,48	0,04	0,12
Среднеэродированная	Контроль	1,75	1,67	0,74	0,53	0,03	0,13
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	1,80	1,72	0,73	0,51	0,04	0,12
Сильноэродированная	Контроль	1,62	1,55	0,74	0,53	0,03	0,12
	<i>A.brasilense</i> + <i>B.circulans</i>	1,72	1,64	0,71	0,50	0,04	0,12
НСП ₀₅	А (почва)	0,10	0,10	0,05	0,04	0,002	0,003
	В (инокуляция)	0,12	0,12	0,06	0,04	0,001	0,002

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*.

Таблица 7

Влияние бинарного инокулянта на качество озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках («Стоковые площадки» 2015, 2016 гг.)

Почва	Вариант	Сорт Богатка, 2015 г.			Сорт Сукцес, 2016 г.		
		Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Сбор сырого белка, ц/га	Масса 1000 зерен, г
Неэродированная	Контроль	10,3	8,0	49,1	9,8	6,0	44,7
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	11,1	9,0	50,9	10,0	6,5	45,2
Среднеэродированная	Контроль	10,2	7,6	48,1	9,5	5,1	43,7
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,7	8,5	49,8	9,8	5,7	44,8
Сильноэродированная	Контроль	10,0	7,2	47,5	8,8	4,0	42,0
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,5	7,9	48,9	9,3	4,7	43,2
НСП ₀₅	А (почва)	0,46		0,77	0,57		0,51
	В (инокуляция)	0,51		0,63	0,68		0,41

На эродированных почвах важную роль играет адаптация растений. Стимуляция развития корневой системы, вызванная инокуляцией, может быть значимым фактором повышения их адаптивного потенциала и урожайности растений. Более

развитая корневая система является также фактором усиления почвозащитных свойств сельскохозяйственной культуры при возделывании на эродированных почвах.

Литературные данные [13–15] и наши собственные исследования [8, 9] свидетельствуют, что *Azospirillum brasilense* отличаются повышенным гормональным воздействием на инокулированные растения. По параметрам стимуляции роста корней бактерии *Azospirillum brasilense* превосходят многих представителей PGPR (стимулирующих рост ризобактерий).

Наиболее часто наблюдаемые и регистрируемые эффекты от инокуляции *A. brasilense* – это изменение морфологии корней, их числа, длины и массы [8, 10]. На эродированных почвах способность азоспирилл стимулировать развитие корней имеет существенное значение, так как позволяет не только повысить урожайность, но и улучшить почвозащитные свойства сельскохозяйственной культуры.

Данные краткосрочного (7 суток) лабораторного эксперимента показали, что при совместном действии азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* отмечен значительный гормональный эффект. Длина проростка пшеницы увеличивалась на 21 %, суммарная длина корней одного растения – на 25 %, число корней – на 10 %, сухая масса корней – на 28 %, сухая масса надземной части – на 33 % по сравнению с контрольными вариантами (табл. 8).

Таблица 8

Влияние бинарного бактериального инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* на развитие корневой системы пшеницы (лабораторный эксперимент, 2017 г.)

Вариант	N _{корней} / растение	L _{корней} /растение, мм	СМ корней, г	СМ надземной части, г
Контроль	4,43	328,27	0,25	0,18
<i>A. brasilense</i>	4,83	402,22	0,31	0,24
<i>B. circulans</i>	4,82	406,17	0,29	0,22
A + B	4,88	410,95	0,32	0,24
НСР ₀₅	0,16	21,48	0,05	0,04

Примечание. А – *A. brasilense*; В – *B. circulans*; СМ – сухая масса; L – длина; N – количество.

ВЫВОДЫ

Установлено, что бинарная бактериальная композиция, включающая штаммы азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий *A. brasilense* + *B. circulans* является эффективным инокулянтом для озимой пшеницы при возделывании на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах. Бинарный инокулянт обеспечивает прибавки урожайности двух сортов озимой пшеницы, Богатка и Сукцес, на разных элементах склона: незэродированной, средне- и сильноэродированной дерново-подзолистых почвах, сформированных на моренных и лессовидных суглинках.

Эффективность бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* повышается в условиях стресса на эродированных почвах. На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках прибавки зерна озимой пшеницы Богатка в 2014 и

2016 гг. составили на незэродированной почве 1,9 и 3,5 ц/га, на сильноэродированной – 3,2 и 3,9 ц/га соответственно. На дерново-подзолистых почвах на лесовидных суглинках прибавка зерна озимой пшеницы сорта Сукцес на незэродированной почве составила 3,6 ц/га, на сильноэродированной повышалась до 4,6 ц/га; при возделывании сорта Богатка наибольший эффект был получен на среднеэродированной почве – 4,8 ц/га по сравнению с 3,7 ц/га на контроле без инокуляции.

На эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках бинарный инокулянт способствовал повышению содержания сырого протеина, увеличивал сбор сырого белка и массу 1000 зерен озимой пшеницы Богатка.

При использовании бинарной бактериальной композиции повышение урожайности озимой пшеницы на эродированных почвах в значительной степени обусловлено повышением адаптационного потенциала инокулированных растений. Под действием *A. brasilense* + *B. circulans* суммарная длина корней одного растения увеличивалась на 25 %, число корней – на 10 %, сухая масса корней – на 28 %, сухая масса надземной части растения – на 33 % по сравнению с контролем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие / Г.И. Кузнецов [и др.]; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.
2. Черныш, А.Ф. Экологически безопасное использование земель холмисто-моренных ландшафтов Белорусского Поозерья / А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, И.И. Касьяненко // Природные ресурсы. – 2003. – № 2. – С. 21–36.
3. Проектирование противозэрозийных комплексов и использование эрозийноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации / А.Ф. Черныш [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; под общ. ред. А.Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
4. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1982. – 202 с.
5. Косинова, Л.Ю. Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири / Л.Ю. Косинова, Н.И. Гантимурова, А.А. Танасиенко // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 72–80.
6. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
7. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках / А.Ф. Черныш [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2013. – № 1. – С. 51–57.
8. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 166–176.
9. Эффективность бактериализации ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 2(35). – С. 146–152.

10. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
11. *Zimmer, W.* The phytohormonal interactions between *Azospirillum* and wheat / W. Zimmer and H. Bothe // Nitrogen fixation with non-legumes / F.A. Skinner et al. (Eds); Kluwer Academic Publishers. – 1989. – P. 137–145.
12. . Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н.А. Михайловская [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.
13. *Okon, Y.* Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – Vol. 90. – P. 3–16.
14. *Bashan, Y.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Bashan Y, Levanony H. // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
15. *Okon, Y.* Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years world-wide field inoculation / Y. Okon, C.A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem. – 1994. – Vol. 26. – P. 1591–1601.

EFFECT OF BINARY INOCULANT *A. BRASILENSE* + *B. CIRCULANS* ON YIELD AND QUALITY WINTER WHEAT GROWING ON ERODED SOD-PODZOLIC LOAMY SOILS

**N.A. Mikhailovskaya, N.N. Tsybulko, A.V. Yukhnovets,
A.M. Ustinova, T.V. Barashenko**

Summary

Binary inoculant application resulted in the yield increase of two cultivars of winter wheat at different slope elements: not eroded, moderately – and severely eroded sandy loam soils on morain and loess loams. The effect from binary inoculant *A. brasilense* + *B. circulans* is increased in stress conditions on eroded soils. In the field experiment on not eroded sod podzolic loamy soil on moraine loam the responses of winter wheat to inoculation varied in diapason of 1,9–3,5 c ha⁻¹, on severely eroded soils – in diapason of 3,2– 3,9 c ha⁻¹ of grain. Application of binary inoculant resulted in the improvement of winter wheat grain quality in respect of protein content and 1000 grains mass.

Поступила 03.05.18