

11. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. – М., 2004. – 575 с.
12. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справ. кн. – Хабаровск: Приморские ведомости, 2009. – 272 с.



УДК 632.9

И.Р. Сафина, С.В. Хижняк, В.Н. Крикунов,  
Т.Р. Шевелева, Т.А. Иванова

## ВЛИЯНИЕ СМЕСИ ПСИХРОФИЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ-АНТАГОНИСТОВ И БАКТЕРИЙ-АЗОТФИКСАТОРОВ НА ПОРАЖЕНИЕ КОРНЕВОЙ ГНИЛЬЮ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Обработка семян смесью пещерных психрофильных бактерий-антагонистов и свободноживущих азотфиксацирующих бактерий вызвала статистически значимое снижение корневой гнили пшеницы и ячменя и повысила урожайность в полевом эксперименте на 18 %.

**Ключевые слова:** психрофильные бактерии, азотфиксацирующие бактерии, корневая гниль, зерновые, биологическая борьба с фитопатогенами.

I.R. Safina, S.V. Khizhnyak, V.N. Krikunov,  
T.R. Sheveleva, T.A. Ivanova

## EFFECTS OF COLD-ADAPTED BACTERIAL ANTAGONISTS AND NITROGEN-FIXING BACTERIA MIXTURE ON THE ROOT ROT LESIONS AND YIELD OF CEREALS

*Seeds treatment with the mixture of cave cold-adapted bacterial antagonists and free-living nitrogen-fixing bacteria caused a statistically significant reduction in root rot of wheat and barley and yield increase by 18% in the field experiment.*

**Key words:** cold-adapted bacteria, N-fixing bacteria, root rot, cereals, biological control of plant pathogens.

**Введение.** Ключевыми условиями получения высоких урожаев являются борьба с болезнями и обеспечение полноценного минерального питания растений. В настоящее время в целях ограничения нагрузки на окружающую среду и повышения качества сельскохозяйственной продукции развитые государства вводят существенные ограничения на применение химических пестицидов и переориентируют сельхозпроизводителей на использование биологических средств защиты растений. Кроме этого, всё большее распространение получают микробиологические средства поддержания почвенного плодородия на основе свободноживущих азотфиксацирующих бактерий как альтернатива минеральным удобрениям [6–8, 11]. При этом предпочтение отдаётся разработке биологических препаратов на основе штаммов микроорганизмов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям региона [9, 10, 12].

Ранее нами было показано, что в условиях Сибири хорошую перспективу имеют биопрепараты на основе психрофильных и психротолерантных бактерий, выделенных из холодных карстовых пещер. Температурные пределы роста данных бактерий позволяют им успешно развиваться в почвах умеренной климатической зоны, в том числе при низких температурах начала вегетационного периода, когда обычные биопрепараты малоэффективны. В то же время эти бактерии не способны к росту при температуре человеческого тела, что исключает возможность возникновения заболеваний у человека и теплокровных животных даже при массированной инокуляции организма [1, 5]. Исполь-

зование смесей из штаммов с различными температурными оптимумами обеспечивает высокую суммарную численность интродуцированных бактерий в почве в течение всей вегетации [2].

**Цель работы.** Проверка возможности совместного использования выделенных из пещер бактерий-антагонистов и азотфикссирующих бактерий в почвенно-климатических условиях Красноярского края для одновременного решения двух задач – защиты от болезней и обеспечения азотного питания сельскохозяйственных растений.

**Объекты и методы.** В качестве антагонистов использовали смесь выделенных Е.П. Ланкиной и С.В. Хижняком из пещеры «Водораздельная» штаммов бактерий ВДР5м (психрофильный штамм, по результатам секвенирования гена 16S рРНК – 98,486% уровень сходства с *Pseudochrobactrum kiredjaniae*) и ВДР5к (психротолерантный штамм, предварительная идентификация – *Bacillus* sp.). В ходе предварительных лабораторных и полевых испытаний эти штаммы зарекомендовали себя в качестве эффективного средства борьбы с корневой гнилью и листовой пятнистостью ячменя и пшеницы в условиях Сибири [1].

В качестве несимбиотических азотфиксаторов использовали смесь из психрофильного азотфикссирующего штамма, выделенного И.Р. Сафиной из пещеры «Ботовская», и азотфикссирующего штамма р. *Bacillus*, выделенного И.Р. Сафиной и С.В. Хижняком из серой лесной почвы региона. Бактеризацию семян проводили непосредственно перед посевом суспензиями с титром 10<sup>9</sup> клеток/мл из расчёта 10 мл на 1 кг семян, что соответствует 10 л на тонну. Эксперимент проводили по следующей схеме: 1) контроль (семена без обработки); 2) протравливание семян фунгицидом Виал-ТрасТ в дозе 0,4 л препарата на тонну семян; 3) бактеризация смесью антагонистов; 4) бактеризация смесью азотфикссирующих бактерий; 5) совместная бактеризация смесью антагонистов и смесью азотфикссирующих бактерий.

Полевые исследования проводились в 2014 году в мелкоделяночном опыте в ОПХ «Солянское» Рыбинского района Красноярского края (природная зона – Красноярская лесостепь). Климат в районе резко континентальный. Зима суровая, средние температуры января составляют от -19 до -21°C, критические – от -45 до -52°C. Лето преимущественно жаркое, солнечное, со средними температурами июля +19 – +25°C, максимальными +34 – +38 °C.

Тест-культурами служили ячмень сорта Ача и яровая пшеница сортов Памяти Вавенкова и Новосибирская-15. Предшественник – чистый пар, почва – чернозем выщелоченный. Повторность опыта – четырехкратная, площадь делянки составляла 10 кв.м. Семена обрабатывали непосредственно перед посевом. Учет развития обыкновенной корневой гнили проводили в фазу кущения по 4-балльной шкале. В качестве учитываемых показателей использовали интенсивность и распространённость корневой гнили в фазу кущения, а также урожай. Для определения степени развития корневой гнили использовали общепринятую балльную шкалу учета. В этой шкале наименьший балл 0 соответствует здоровым растениям без признаков поражения, высший балл 4 – погибшему растению. Перевод балльной оценки в процентную осуществляли по стандартным формулам [3].

Сравнение вариантов с контролем по показателям интенсивности развития болезни и урожаю проводили двухвыборочным t-тестом, сравнение по распространённости болезни проводили точным критерием Фишера для таблиц 2х2 [4]. Сравнение вариантов по комплексу учитываемых показателей проводили дискриминантным анализом. В качестве программного обеспечения использовали средства MS Office XP и StatSoft STATISTICA 6.0.

**Результаты и их обсуждение.** Распространенность корневой гнили в контроле в фазу кущения в зависимости от сорта составила 73,3–86,7 %. Все варианты обработки привели к значительному снижению распространённости заболевания. Наиболее эффективным оказался фунгицид, который в среднем по сортам снизил распространённость корневой гнили на 53,3 процентных пункта. Бактеризация семян в зависимости от варианта и сорта привела к снижению распространённости болезни на 13,3–56,6 процентных пунктов (табл. 1). В целом по сортам не выявлено существенных различий между разными вариантами бактеризации по эффективности. Для вариантов «Азотфиксаторы» и «Антагонисты+азотфиксаторы» среднее снижение распространённости корневой гнили составило 34,4 процентных пункта, для варианта «Антагонисты» – 34,8 процентных пункта.

Таблица 1

## Распространённость заболевания в различных вариантах опыта

Вариант	Показатель			Значимость различий с контролем р
	Распространённость, %	Отклонение от контроля процентных пунктов	%	
<b>Ячмень Ача</b>				
Контроль	73,3	–	–	–
Виал-ТрасТ	36,7	-36,6	-49,9	<0,01
Антагонисты	51,6	-21,7	-29,6	<0,05
Азотфиксаторы	40,0	-33,3	-45,4	<0,01
Антагонисты +азотфиксаторы	60,0	-13,3	-18,1	нет
<b>Пшеница Памяти Вавенкова</b>				
Контроль	86,7	–	–	–
Виал-ТрасТ	30,0	-56,7	-65,4	<0,001
Антагонисты	37,3	-49,4	-57,0	<0,001
Азотфиксаторы	40,0	-46,7	-53,9	<0,001
Антагонисты +азотфиксаторы	53,3	-33,4	-38,5	<0,01
<b>Пшеница Новосибирская-15</b>				
Контроль	83,3	–	–	–
Виал-ТрасТ	16,7	-66,6	-80,0	<0,001
Антагонисты	50,0	-33,3	-40,0	<0,01
Азотфиксаторы	60,0	-23,3	-28,0	<0,05
Антагонисты +азотфиксаторы	26,7	-56,6	-67,9	<0,001

Интенсивность развития болезни в контроле была невысокой и в зависимости от сорта составила 7,8–17,4 %. Как и в случае с распространённостью, все виды обработки существенно снизили развитие заболевания (табл. 2).

Таблица 2

## Интенсивность заболевания в различных вариантах опыта

Вариант	Показатель				Значимость различий с контролем р
	Интенсивность, %	Отклонение от контроля			
1		процентных пунктов	%		
<b>Ячмень Ача</b>					
Контроль	7,8	–	–	–	–
Виал-ТрасТ	3,2	-4,6	-59,0	<0,05	
Антагонисты	6,0	-1,8	-23,1	нет	
Азотфиксаторы	6,3	-1,5	-19,2	нет	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Анtagонисты +азотфиксаторы	3,8	-4,0	-51,3	<0,05
<b>Пшеница Памяти Вавенкова</b>				
Контроль	14,5	-	-	-
Виал-ТрасТ	5,3	-9,2	-63,4	0,01
Анtagонисты	2,5	-12,0	-82,8	<0,001
Азотфиксаторы	5,5	-9,0	-62,1	<0,01
Анtagонисты +азотфиксаторы	1,3	-13,2	-91,0	<0,001
<b>Пшеница Новосибирская-15</b>				
Контроль	17,4	-	-	-
Виал-ТрасТ	4,2	-13,2	-75,9	<0,001
Анtagонисты	15,3	-2,1	-12,1	Нет
Азотфиксаторы	5,2	-12,2	-70,1	<0,001
Анtagонисты +азотфиксаторы	6,0	-11,4	-65,5	<0,01

При этом бактеризация по эффективности не уступала действию фунгицида. Так, если обработка фунгицидом в среднем по сортам снизила интенсивность заболевания на 9 процентных пунктов, то при бактеризации среднее снижение интенсивности варьировало от 5,3 процентных пунктов (вариант «Анtagонисты») до 9,5 процентных пунктов (вариант «Анtagонисты+азотфиксаторы»). Наиболее эффективно смесь анtagонистов и азотфиксаторов проявила себя на пшенице Памяти Вавенкова, снизив интенсивность развития корневой гнили на 13,2 процентных пунктов, или в 11 раз.

Практически во всех вариантах эксперимента бактеризация привела к увеличению урожайности тест-культур. Максимальный прирост урожайности за счёт бактеризации отмечен для ячменя (20,3–34,6% относительно контроля). В противоположность бактеризации проправливание семян препаратом Виал-ТрасТ не привело к сколько-нибудь заметному повышению урожайности (табл. 3).

Для анализа действия обработок на изучаемые зерновые культуры в целом было проведено нормирование исходных данных путём деления на усреднённый контроль для соответствующего сорта. Подобное нормирование позволяет исключить такой фактор, как межсортовые различия по урожайности. При этом вместо абсолютных значений урожайности в вариантах опытов получаются относительные значения, что позволяет при статистической обработке объединить данные по всем сортам. Как видно из представленных на рисунке 1 результатов, бактеризация семян во всех вариантах эксперимента привела к статистически значимому повышению урожайности зерновых культур. Минимальное повышение урожайности в среднем по сортам составило 12,8 % (вариант с бактеризацией азотфиксаторами), максимальное – 18,4 % (вариант с бактеризацией смесью анtagонистов и азотфиксаторов). В то же время обработка проправителем привела лишь к незначительному (2,5%) повышению среднесортовой урожайности относительно контроля (рис. 1).

Таблица 3

## Урожайность культур в различных вариантах опыта в пересчёте на ц/га

Вариант	Показатель			Значимость различий с контролем р
	Урожай, ц/га	Отклонение от контроля ц/га	%	
<b>Ячмень Ача</b>				
Контроль	38,4±13,7	–	–	–
Виал-ТрасТ	44,0±8,1	5,6	14,6	Нет
Антагонисты	51,7±6,3	13,3	34,6	<0,05
Азотфиксаторы	46,2±7,5	7,8	20,3	Нет
Антагонисты +азотфиксаторы	47,2±4,9	8,8	22,9	0,05
<b>Пшеница Памяти Вавенкова</b>				
Контроль	30,4±2,9	–	–	–
Виал-ТрасТ	27,9±6,4	-2,5	-8,2	Нет
Антагонисты	30,0±16,8	-0,4	-1,3	Нет
Азотфиксаторы	32,2±5,7	1,8	5,9	Нет
Антагонисты +азотфиксаторы	36,3±9,2	5,9	19,4	0,05
<b>Пшеница Новосибирская-15</b>				
Контроль	28,6±10,6	–	–	–
Виал-ТрасТ	29,0±11,1	0,4	1,4	Нет
Антагонисты	33,4±14,3	4,8	16,8	Нет
Азотфиксаторы	32,1±4,8	3,5	12,2	Нет
Антагонисты +азотфиксаторы	32,4±14,2	3,8	13,3	Нет

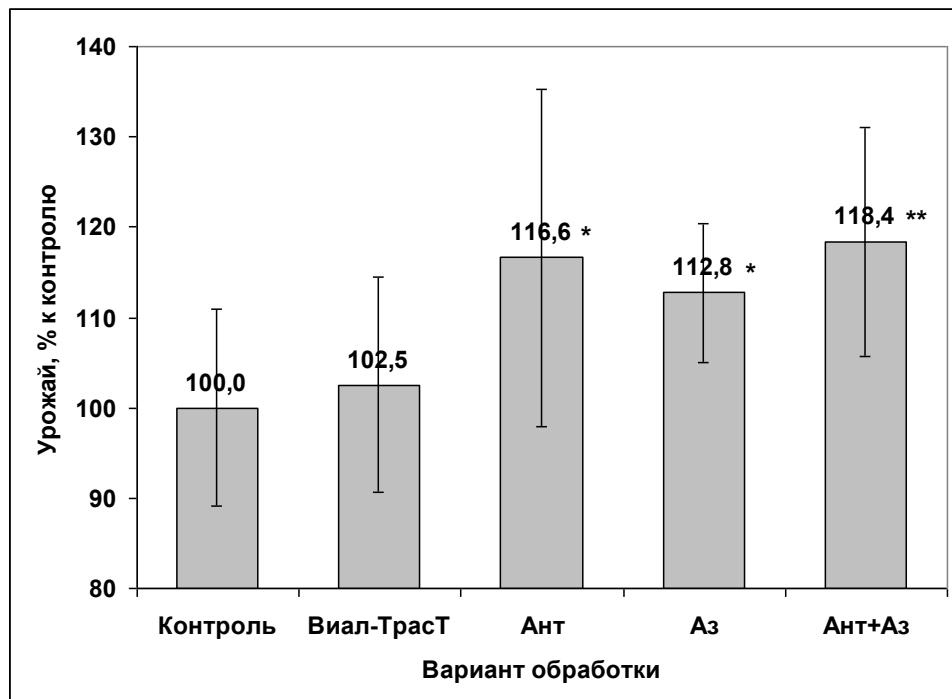


Рис. 1. Влияние обработки на урожайность зерновых относительно контроля в среднем по всем культурам: Ант – обработка антагонистами; Аз – обработка азотфиксаторами; Ант+Аз – обработка смесью антагонистов и азотфиксаторов; \* – различия с контролем значимы на уровне  $p<0,05$ , \*\* – различия с контролем значимы на уровне  $p=0,01$

Дискриминантный анализ результатов эксперимента подтвердил, что варианты с обработкой статистически значимо ( $p < 0,01$ ) отличаются от контрольных вариантов по комплексу показателей «распространённость заболевания», «интенсивность заболевания», «урожай» и при проекции на оси дискриминации образуют обособленный кластер (рис. 2). При этом основной вклад в различия между контрольными и обработанными вариантами внес такой показатель, как распространённость болезни (рис. 3).

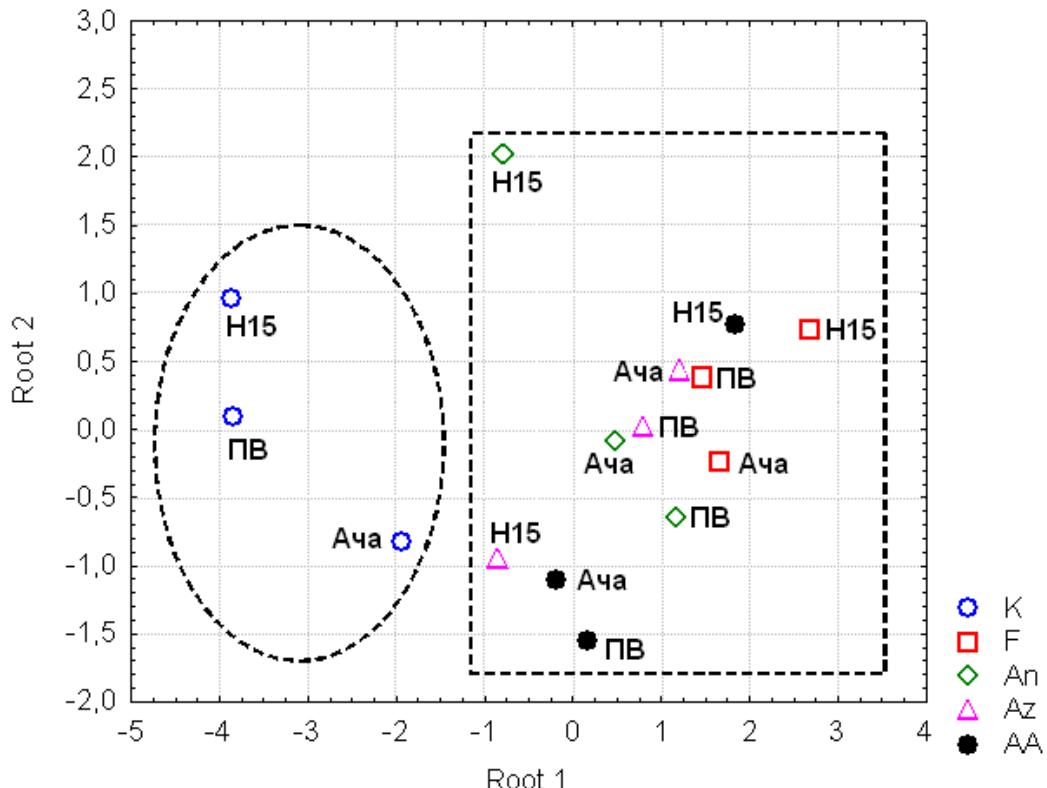


Рис. 2. Проекции контрольных и обработанных вариантов на оси дискриминации: H15 – сорт Новосибирская-15; ПВ – сорт Памяти Вавенкова; Ача – сорт Ача; К – контроль; F – обработка протравителем; An – бактеризация антагонистами; Az – бактеризация азотфиксаторами; AA – бактеризация смесью антагонистов и азотфиксаторов. Каждая точка соответствует усреднённым данным по соответствующему варианту для данного сорта

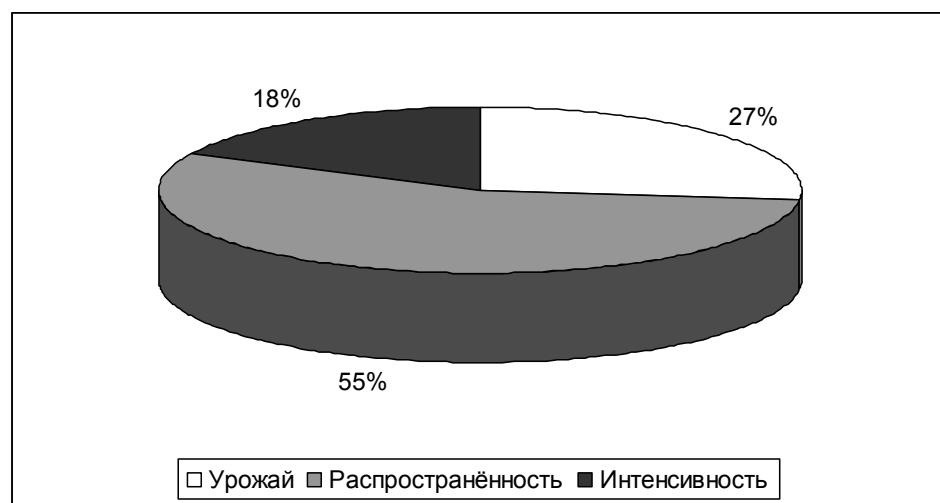


Рис. 3. Информационный вклад изучаемых показателей в различия между контрольными и обработанными вариантами

Таким образом, можно констатировать, что бактеризация семян изучаемыми штаммами привела к статистически значимому снижению заболеваемости растений ячменя и пшеницы корневой гнилью, а также к увеличению урожайности всех включенных в эксперимент сортов. При этом, если в плане снижения интенсивности и распространённости корневой гнили эффективность бактеризации несколько уступала эффективности протравливания фунгицидом, то в плане повышения урожайности эффективность бактеризации оказалась существенно выше, чем эффективность протравителя. Максимальный прирост урожайности в среднем по трём сортам отмечен при бактеризации смесью антагонистических и азотфиксацирующих штаммов, что открывает перспективу разработки на их основе комбинированных препаратов для борьбы с корневой гнилью и улучшения азотного питания растений.

### Выводы

1. Бактеризация семян ячменя и пшеницы изучаемыми штаммами бактерий-антагонистов и азотфиксацирующих бактерий привела к статистически значимому снижению поражения растений корневой гнилью, сопоставимому с эффектом химического протравителя.
2. Прибавка урожая при бактеризации во всех вариантах эксперимента превысила прибавку, наблюдавшуюся при протравливании химическим препаратом.
3. В среднем по сортам минимальное повышение урожайности (12,8%) отмечено в варианте с бактеризацией азотфиксацирующими бактериями, максимальное (18,4%) – в варианте с бактеризацией смесью антагонистов и азотфиксаторов.

### Литература

1. Ланкина Е.П., Хижняк С.В. Бактериальные сообщества пещер как источник штаммов для биологической защиты растений от болезней. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2012. – 125 с.
2. Ланкина Е.П., Хижняк С.В., Кулижский С.П. Перспективы использования смешанных культур психрофильных и психротолерантных бактерий в биологической защите растений от болезней // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 4. – С. 101–106.
3. Методические указания по проведению производственных испытаний средств и методов защиты зерновых культур от болезней // Приложение к защите и карантину растений. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 23 с.
4. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
5. Хижняк С.В., Ланкина Е.П., Илиенц И.Р. Оценка эффективности психрофильных пещерных микроорганизмов в биологической борьбе с обыкновенной корневой гнилью зерновых // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 6. – С. 49–52.
6. Effects of Nitrogen Fertilization and Soil Inoculation of Sulfur-Oxidizing or Nitrogen-Fixing Bacteria on Onion Plant Growth and Yield / M. Awad Nemat, A.A. Abd El-Kader, M. Attia [et al.] // International Journal of Agronomy. – 2011. – Vol. 2011. – 6 p.
7. The potential and pitfalls of exploiting nitrogen fixing bacteria in agricultural soils as a substitute for inorganic fertilizer / S.P. Cummings, D.R. Humphry, S.R. Santos [et. al] // Environmental biotechnology – 2006. – Vol. 2(1). – P. 1–10.
8. Gupta V.V.S.R., Roper M.M., Roget D.K. Potential for non-symbiotic N<sub>2</sub>-fixation in different agroecological zones of southern Australia // Australian Journal of Soil Research. – 2006. – Vol. 44 (4). – P. 343–354.
9. McSpadden Gardener P.P. Diversity and ecology of biocontrol *Pseudomonas* spp. in agricultural systems // Phytopathology. – 2007. – Vol. 97(2). – P. 221–226.
10. Parikh K., Jha A. Biocontrol features in an indigenous bacterial strain isolated from agricultural soil of Gujarat, India // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2012. – Vol. 12(2). – P. 245–252.

11. Effect of Using Agro-fertilizers and N-fixing Azotobacter Enhanced Biofertilizers on the Growth and Yield of Corn / S.H. Peng, W.M. Wan-Azha, W.Z. Wong p[et al.] // Journal of Applied Sciences. – 2013. – №13. – Р. 508–512.
12. Evaluation of indigenous bacterial strains for biocontrol of the frogeye leaf spot of soya bean caused by Cercospora sojina / E. Simonetti, M.A. Carmona, M.M. Scandiani [et al.] // Lett. Appl. Microbiol. – 2012. – Vol. 55(2). – Р. 170–173.

---

УДК 631.4

О.В. Шиндорикова, О.А. Ульянова, В.В. Чупрова

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ЭМИССИЮ СО<sub>2</sub> ИЗ АГРОЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В статье рассматривается количественная оценка эмиссии углекислого газа (СО<sub>2</sub>) из агрочернозема под действием органических удобрений в посевах яровой пшеницы. Показано, что эмиссия СО<sub>2</sub> связана со свойствами почвы и гидротермическим режимом в течение вегетационного сезона, а также с количеством и качеством вносимых удобрений.

**Ключевые слова:** агрочернозем, птичий помет, вермикомпост, эмиссия углекислого газа, минерализация, пшеница.

O.V. Shindorikova, O.A. Ulyanova, V.V. Chuprova

## THE INFLUENCE OF FERTILIZERS ON THE CO<sub>2</sub> EMISSION FROM AGROCHERNOZEM IN THE Krasnoyarsk FOREST STEPPE CONDITIONS

*The quantitative assessment of the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from agrochernozem under the influence of organic fertilizers in spring wheat crops is considered in the article. It is shown that CO<sub>2</sub> emission is connected with the soil properties and the hydrothermal mode during the vegetative season as well as with the quantity and quality of the introduced fertilizers.*

**Key words:** agrochernozem, poultry droppings, vermicompost, carbon dioxide emission, salinity, wheat.

---

**Введение.** Выделение углекислого газа (СО<sub>2</sub>) является показателем биологической активности почвы, характеризующим напряженность происходящих в ней микробиологических процессов. По количеству выделяющейся из почвы углекислоты судят об интенсивности минерализационных процессов органического вещества, определяющих накопление в почве минеральных соединений биогенных элементов, а также о необходимых затратах свежего органического вещества для поддержания имеющихся в почве запасов углерода [11]. Почвы являются важнейшим резервуаром органического углерода в биосфере [8]. Запас углерода почв примерно в 3 раза больше, чем в надземной биомассе, и в 2 раза превышает запас атмосферного углекислого газа [2, 5].

Повышенный интерес к оценке эмиссии углекислого газа из почв в последние два десятилетия обусловлен тем, что СО<sub>2</sub> является информативным показателем функционального состояния экосистемы в целом [3]. В научной литературе широко представлены результаты исследований по эмиссии и балансу диоксида углерода в наземных экосистемах России [3–4], но недостаточно освещены вопросы влияния органических удобрений на интенсивность продуцирования углекислоты из почв.

**Цель работы.** Дать количественную оценку эмиссии СО<sub>2</sub> из агрочернозема при поступлении в почву различных доз птичьего помета и вермикомпоста в агроценозах яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи.