

УДК 631.95:631.81

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОФЛОРУ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ В ЭКСТРЕМ АЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Л.В. МОСИНА¹, ЕЕ. МЁРЗЛАЯ²

(¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
² ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова)

*В длительном полевом опыте установлены закономерности действия различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений в экстремальных погодных условиях на микробиологическую активность почвы и продуктивность зерновых культур. Показано, что в резко засушливый вегетационный период происходит многократное (в 5-50 раз на МПА и примерно 20-кратное на КАЛ) снижение численности микроорганизмов-деструкторов и перегруппировка их качественного состава в сторону увеличения организмов с более мощным ферментативным аппаратом — зародышей *Bacillus idosus*, *Bacillus megaterium*, актиномицетов группы *Chromogenes*. С учетом продуктивности агроценозов и окупаемости удобрений прибавками зерна наиболее эффективным в экстремальных погодных условиях было последствие навоза в дозе 9 т/га и органоминеральной системы в ежегодных дозах $N_{20}P_{20}K_{20}$ на фоне 3 т/га навоза, а в условиях, приближающихся к климатической норме, — последствие органоминеральных систем в дозах $N_{20-40}P_{20-40}K_{20-40}$ на фоне 3—6 т/га навоза.*

Ключевые слова: органические и минеральные удобрения, последствие их доз и сочетаний, плодородие и микрофлора почвы, продуктивность агроценозов.

История развития сельского хозяйства показывает, что применение минеральных и органических удобрений является решающим фактором в повышении плодородия почв и увеличении объемов производства продукции сельского хозяйства [5, 8, 9, 14-16, 18, 19, 23, 24]. Научно обоснованные системы удобрения оптимизируют баланс гумуса в почве и его качественный состав, повышают емкость поглощения, изменяют соотношение между общими запасами и подвижными формами азота, фосфора и калия в сторону, наиболее благоприятную для растений. При этом наиболее эффективно применение органических и минеральных удобрений в комплексе, обеспечивающее пролонгированное их воздействие на систему почва — растение, в первую очередь на жизнедеятельность почвенной микробиоты.

Так, в опытах на Ротамстедской опытной станции установлено изменение количественного и качественного состава микроорганизмов почв, удобрявшихся навозом.

Общее число микроорганизмов при этом, по сравнению с контролем, увеличивалось в 2-3 раза. Было показано также, что растениями используется около 60-70% азота из внесенных удобрений, остальная часть закрепляется в почве в форме труднодоступных соединений. Трансформация их в доступные для растений формы определяется деятельностью микроорганизмов, которым часто не хватает источников питания. При внесении органических и минеральных удобрений активизируется деятельность полезной микрофлоры, усиливается биологическая фиксация азота [13, 20, 32]. В исследованиях Пражского института питания растений, где изучалось действие различных удобрений на почвенную микрофлору под сахарной свеклой, иммобилизация азота была сильнее выражена при удобрении навозом. Наиболее низкий уровень активности биохимических процессов наблюдался в почве, удобренной только NPK [3, 6, 7, 11]. Парующая почва оказалась бедной сапрофитными микроорганизмами, так как в нее поступало ограниченное количество органических веществ, незначительно развивались сорняки и цианобактерии. В то же время минеральные удобрения активизировали деятельность бактерий [1].

По влиянию химических удобрений на свойства почвы в имеющейся литературе встречаются противоречивые данные относительно положительного эффекта их воздействия. Например, отмечается, что одноразовое, и особенно систематическое, внесение повышенных и высоких доз минеральных удобрений может привести к негативным явлениям, таким как накопление большого количества нитратов в почве, грунтовых водах, водоемах, в урожае сельскохозяйственных культур, особенно в корнеплодах, овощных культурах. Помимо этого, возможно ухудшение некоторых агрохимических свойств почв — повышение гидролитической и обменной кислотности, снижение суммы обменных оснований, увеличение содержания в почве подвижных форм марганца и алюминия. При этом нередко отмечается снижение качества получаемой продукции, а также урожайности возделываемых культур. Негативное влияние систематического длительного внесения минеральных удобрений, особенно их высоких доз, на некоторые агрохимические свойства дерново-подзолистых почв объясняется рядом причин. Одна из них — высокая концентрация питательных веществ в почвенном растворе, отрицательно сказывающаяся на сосущей силе и регуляторной способности корней растений, а также на синтезе в них аминокислот [17, 18, 27].

Неблагоприятное действие минеральных удобрений было отмечено, в частности, на легких малоплодородных песчаных и супесчаных подзолистых почвах Соликамской сельскохозяйственной опытной станции. Применение в течение ряда лет минеральных удобрений снизило численность микроорганизмов в почве. Не пострадали лишь микроскопические грибы. В то же время внесение извести по полной гидролитической кислотности, и особенно извести с навозом (25 т/га), оказало благоприятное влияние на сапрофитную микрофлору [1].

В ряде работ указывается на неоднозначность действия на микрофлору удобрений и технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. При изучении действия удобрений на почвенную микрофлору в бессменном пару, в посевах бессменной ржи и в сеимпольном севообороте с клевером было установлено, что изменение ее численности зависело как от характера возделывания культур, так и от вида удобрения. Наивысшая численность микроорганизмов на МПА и КАА отмечалась под бессменной рожью, наименьшая — в почве, занятой бессменным паром. Внесение навоза увеличило численность всех изучаемых групп микроорганизмов. Полное минеральное удобрение снижало содержание бациллярных форм аммонифицирующих бактерий и количество микроорганизмов на КАА и МПА под бессменной рожью, а в сеимпольном севообороте и бессменном пару численность этих групп

микроорганизмов возрастала [3, 19, 20]. Внесение в почву фосфорно-калийных удобрений мало способствовало использованию растениями почвенного азота, но усиливало деятельность азотфиксирующих микроорганизмов [4,26,29]. По эстонским данным, ежегодное применение минеральных удобрений значительно увеличивало в дерново-подзолистой почве численность микроскопических грибов, но слабо влияло на развитие нитрифицирующих бактерий и водорослей. Внесение навоза стимулировало развитие аэробных целлюлозоразрушающих бактерий и в некоторой мере — азотобактера и нитрификаторов [25].

Наряду с положительным действием удобрений на численность и активность жизнедеятельности почвенных микроорганизмов имеются сведения о том, что применение только минеральных удобрений приводит к депрессии некоторых физиологических групп микроорганизмов, а численность микроорганизмов становится даже ниже, чем без удобрений [27]. Считается, что для повышения эффективности минеральных удобрений необходимо сочетание их с рациональным использованием органического вещества почвы [13, 17, 18, 28].

Таким образом, почвенная микробиота, являясь ведущим деструктором в системе почва — растение, может существенно изменять характер трансформации питательных веществ удобрений, что в конечном итоге влияет на воспроизводство плодородия почвы и ее экологическое состояние. Поэтому при применении удобрений необходима комплексная оценка их действия на биологическую активность и экологическое состояние почвы, продуктивность возделываемых культур с целью оптимизации режима минерального питания и минимизации возможного негативного воздействия средств химизации [5, 10]. В то же время активность функционирования почвенных микроорганизмов в значительной степени зависит от различных экологических факторов, важнейшими из которых являются метеорологические условия в период вегетации.

Несмотря на широкий ареал распространения, высокую адаптационную способность микроорганизмов, обусловленную исключительно мощным ферментативным аппаратом, наиболее благоприятным для развития микробиоты в почве является сочетание оптимального режима увлажнения и температуры [22]. Отклонение этих режимов от оптимальных параметров вызывает снижение численности микробного населения [21]. Эти флуктуации будут существенно влиять на деструктивные процессы, а следовательно, на степень доступности питательных и энергетических веществ для растений.

Принимая во внимание значимость указанных факторов, следует отметить еще недостаточную их изученность в аспекте влияния минеральных и органических удобрений, особенно в экстремальных погодных условиях. Поэтому целью нашей работы явилось изучение влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору почв и формирование урожайности агроценозов в резко различных по погодным условиям годам. Экстремальным было исключительно жаркое и сухое лето 2010 г. на фоне типичного для средней полосы.

Методика

Объектом исследований служил длительный полевой опыт, заложенный в 1978 г. в западной части Нечерноземной зоны (пос. Ольша Смоленской области). За 30 лет опыта прошло 4 ротации полевого севооборота.

Чередование культур в четвертой ротации (2002-2008 гг.) было следующим:

- 1) однолетние травы (овес на зеленый корм);
- 2) озимая рожь;
- 3) ячмень;
- 4) много-

летние травы 1-го года пользования; 5) многолетние травы 2-го года пользования; 6) яровая пшеница; 7) овес.

Результаты исследований в данной работе представлены за 5-ю ротацию севооборота при возделывании в 2010 г. второй культуры — озимой ржи сорта Татьяна (по предшественнику однолетние травы — овес на зеленую массу) и в 2011 г. — ячменя сорта Гонор. Зерновые культуры выращивали по последдействию органических и минеральных удобрений. Схема опыта включала следующие варианты: 1) Контроль; 2) $N_0P_0K_0 + 9$ т/га навоза; 3) $N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза; 4) $N_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза; 5) $N_{60}P_{60}K_{60} + 9$ т/га навоза; 6) $N_{80}P_{80}K_{80} + 12$ т/га навоза; 7) $N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза.

Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая. Перед закладкой опыта в пахотном слое содержала гумуса (по Тюрину) 1,5-2,0%, общего азота (по Кьельдалю) 0,1-0,15%, подвижного фосфора (P_2O_5) (по Кирсанову) — 140-170 мг/кг, калия (K_2O) — 100-110 мг/кг при pH 5,5-5,6.

В опыте в качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, фосфорного — простой суперфосфат, калийного — хлористый калий. Из органических удобрений применяли навоз крупного рогатого скота на соломенной подстилке, в котором содержание общего азота составляло 0,46%, аммонийного азота — 0,08%, P_2O_5 — 0,21%, K_2O — 0,66%, содержание органических веществ (на сухую массу) — 60%.

Весной под испытываемые зерновые культуры применяли поддерживающую подкормку аммиачной селитрой: под озимую рожь в 2010 г. — 45 кг N/га, под ячмень в 2011 г. — 30 кг N/га.

Исследования агрохимических свойств почвы вели в пахотном слое 0-20 см общепринятыми методами: общий азот по Кьельдалю, гумус по Тюрину, подвижные фосфор и калий по Кирсанову, pH потенциометрически.

Микробиологические исследования проводили в динамике в 2010 и 2011 гг. для слоя 0-20 см в свежих почвенных образцах по общепринятой методике [13]. Микробиологические посевы выполняли методом предельных почвенных разведений глубинным способом в трехкратной повторности.

В опыте учитывали общее количество аммонифицирующих микроорганизмов и микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, содержание активных и покоящихся форм спорообразующих бактерий и их видовой состав, а также количественный и качественный состав актиномицетов.

Общее количество аммонификаторов определяли путем посева почвенной суспензии на мясо-пептонный агар (МПА, pH 7,0-7,2), спорообразующие бактерии — путем посева пастеризованной в течение 10 мин почвенной суспензии при температуре 75-80 °C на среду, состоящую из равных объемов мясо-пептонного агара и сусло-агара (МПА + СА, pH 7,0-7,2). Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, в том числе актиномицеты, — на крахмало-аммиачном агаре (К А А, pH 7,2-1,-4). Идентификацию бацилл проводили по Определителю Bergey D [31], качественный (групповой) состав актиномицетов — по шкале цветов А.С. Бондарцева [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Согласно полученным данным, испытываемые системы удобрения: органическая и органоминеральные — в последствии положительно влияли на реакцию почвенной среды, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия (табл. 1). Значения этих показателей в вариантах удобрений были, как правило, выше, чем на кон-

**Агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы
в зависимости от удобрений**

Вариант опыта	pH _{ксл}		Гумус, %С		P ₂ O ₅ , мг/кг		K ₂ O, мг/кг	
	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
Контроль	5,1	4,6	1,0	1,0	55	103	53	121
N ₀ P ₀ K ₀ + 9т навоза	5,7	5,1	1,6	1,0	159	158	142	115
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 3 т/га навоза	5,6	5,2	1,6	1,0	302	211	132	173
M ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + 6 т/га навоза	4,4	4,6	1,3	1,1	478	282	126	174
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + 9 т/га навоза	5,0	4,5	1,3	1,1	470	293	146	181
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + 12 т/га навоза	5,3	5,0	1,6	1,2	509	450	199	195
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 15 т/га навоза	4,9	4,6	1,3	0,9	419	405	234	165

троле, в оба года исследований. При этом важно отметить, что в органоминеральном варианте с максимальными, пятикратными, дозами удобрений наметилась тенденция к снижению содержания органического углерода и подвижных соединений фосфора в почве по отношению к более низким, четырехкратным, дозам. Исключение составлял только калий, содержание которого в почве в 2010 г. было наиболее высоким в варианте пятикратных доз минеральных и органических удобрений (N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ + 15 т/га навоза).

Микробиологические исследования показали, что численность аммонифицирующих организмов значительно варьировала как по годам, так и по вариантам опыта. Наибольшая биологическая активность отмечалась в 2011 г. с более благоприятными погодными условиями, складывающимися в период вегетации культур. Численность микроорганизмов на МПА в кратное число (5-50 раз) была выше, чем в жарком и засушливом 2010 г. (табл. 2, рис. 1).

При анализе изменения численности аммонифицирующих бактерий по вариантам опыта установлено, что наименьшей она была в контрольном варианте в оба года исследований — 132 млн КОЕ в 2011 г. и 4 млн КОЕ в 2010 г. Внесение навоза в засушливый вегетационный период обеспечило заметный рост численности микроорганизмов, использующих органические формы азота (на МПА), но в еще большей мере увеличился этот показатель при применении органоминеральной системы удобрений в низких дозах.

С возрастанием доз удобрений (выше N₆₀P₆₀K₆₀, и 6 т/га навоза) численность микроорганизмов значительно снижается, хотя положительный эффект по сравнению с контролем остается ярко выраженным.

Качественный состав микроорганизмов-аммонификаторов также варьирует по годам исследований. В засушливом 2010 г. в составе микроорганизмов-деструкторов, использующих органические формы азота (микроорганизмы на МПА), основную долю занимали активные формы спорообразующих бактерий, особенно в вариантах без удобрений (контроль) и с использованием 9 т/га навоза (табл. 3). Их относительное содержание составляло 23—75% от общего количества аммонифицирующих

**Численность аммонифицирующих микроорганизмов
в слое почвы 0-20 см, млн КОЕ/г сухой почвы**

Вариант опыта	Всего		В том числе					
	2011 г.	2010 г.	споровые				неспоровые	
			2011 г.	2010 г.	в т.ч. <i>Vac. mycoides</i>		2011 г.	2010 г.
					2011 г.	2010 г.		
Контроль	132	4	14	3	4	—	118	1
$N_0P_0K_0 + 9$ т/га навоза	300	18	42	12	2	2	258	1
$N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза	560	51,8	110	16,4	1	—	450	42,4
$N_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза	620	67	120	23	5	—	500	45
$N_{60}P_{60}K_{60} + 9$ т/га навоза	220	44	32	6	6	—	180	38
$N_{80}P_{80}K_{80} + 12$ т/га навоза	234	8	26	1	6	—	208	7
$N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза	220	12	25	5	14	—	225	7
HCP_{05}	15	15						

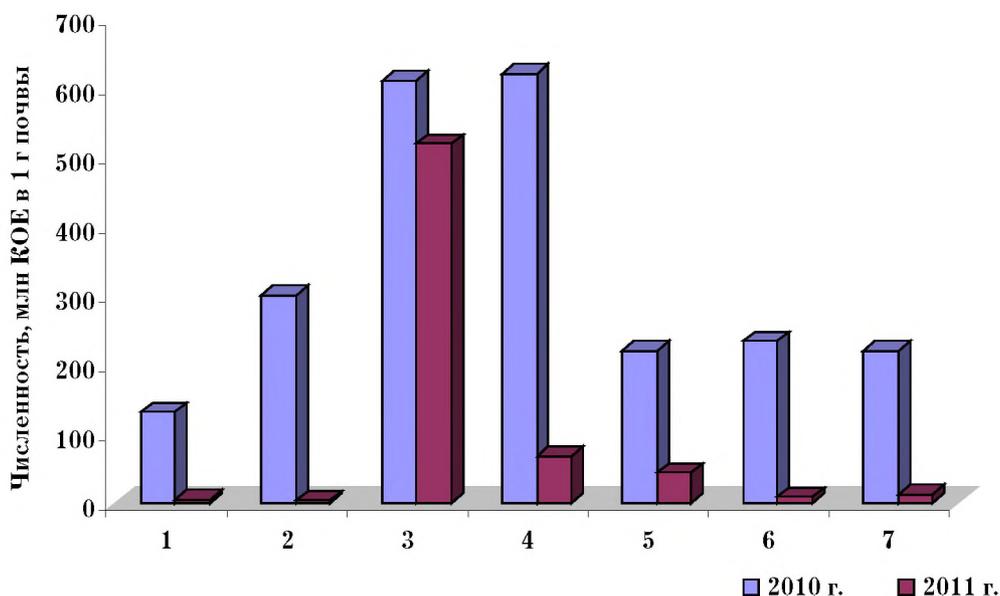


Рис. 1. Численность аммонифицирующих микроорганизмов по годам исследований в зависимости от органических и минеральных удобрений. Варианты опыта: 1 — Контроль; 2 — $N_0P_0K_0 + 9$ т/га навоза; 3 — $N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза; 4 — $N_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза; 5 — $N_{60}P_{60}K_{60} + 9$ т/га навоза; 6 — $N_{80}P_{80}K_{80} + 12$ т/га навоза; 7 — $N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза

**Качественный состав аммонифицирующих микроорганизмов
по годам исследований, % от общего количества на МПА**

Вариант	Споровые		Неспоровые			
	2010 г.	2011 г.	<i>Ps. fluorescens</i>		<i>Ps. herbicola</i>	
			2010 г.	2011 г.	2010 г.	2011 г.
Контроль	75,0	10,6	20	81	57	7,5
N ₀ P ₀ K ₀ + 9 т/га навоза	66,7	14,0	85	80	0	6
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 3 т/га навоза	31,6	19,8	23	22	0	51
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + 6 т/га навоза	34,3	19,5	67	24,5	0	55,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + 9 т/га навоза	23,0	14,5	31	40,4	54	41
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + 12 т/га навоза	23,0	11,0	87	28	0	61
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 15 т/га навоза	41	12,0	58	81		1,0

микроорганизмов, в то время как в типичном по погодным условиям 2011 г. их содержание не превышало 11-19,8%.

Доминирование спорообразующих бактерий в составе данной группы микроорганизмов в засушливом 2010 г. объясняется более мощным ферментативным аппаратом у бацилл по сравнению с неспороносными бактериями и, таким образом, лучшей их приспособленностью (толерантностью) к неблагоприятным факторам среды.

Внесение минеральных удобрений на фоне возрастающих доз навоза изменяло соотношение спороносных и неспоровых форм аммонификаторов в сторону возрастания роли неспороносных микроорганизмов рода *Pseudomonas* в процессах деградации вносимых удобрений (табл. 3).

Учет численности и качественный состав актиномицетов на КАА за годы исследований представлен в таблице 4.

Численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, также колебалась в очень широких пределах — от 24 млн КОЕ до 640 млн и различалась как по годам исследований, так и по вариантам опыта. Отмечена общая закономерность, заключающаяся в значительном увеличении (по отдельным вариантам примерно в 20 с лишним раз) микроорганизмов данной группы в 2011 г. по сравнению с засушливым 2010 г.

Применение разных доз минеральных и органических удобрений также оказало влияние на процессы минерализации органического вещества. Внесение NPK в органоминеральных вариантах положительно сказалось лишь при дозе до 40 кг д.в. в оба года исследований. Дальнейшее возрастание исследуемых доз минеральных удобрений снижало численность микроорганизмов, причем наиболее интенсивно — при дозе NPK по 80 кг, когда численность микроорганизмов на КАА в засушливом 2010 г. была далее ниже, чем на контроле (соответственно 24 и 31 млн КОЕ). Вариант органоминеральной системы с максимальными дозами NPK (по 100 кг д.в.)

Количественный и качественный состав микроорганизмов на КАА
(млн КОЕ в 1 г сухой почвы) по годам исследований

Вариант опыта	2010 г.			2011 г.		
	всего	в том числе актиномицеты	доля актиномицетов от общей численности на КАА, %	всего	в том числе актиномицеты	доля актиномицетов от общей численности на КАА, %
Контроль	31	20	68	210	91	43
N ₀ P ₀ K ₀ + 9 т/га навоза	65	41	63	342	168	49
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 3 т/га навоза	72	48	66	410	193	47
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + 6 т/га навоза	74	52	70	640	301	46
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + 9 т/га навоза	54	36	67	320	155	48
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + 12 т/га навоза	24	17	71	282	126	44
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + 15 т/га навоза	32	19	59	290	118	40
НСР ₀₅	4	2		18	8	

несколько стимулировал численность микроорганизмов, особенно в засушливом году (32 млн КОЕ по сравнению с 24 млн при дозе 80 кг/га удобрений), что, возможно, было вызвано положительным действием высокой дозы навоза (15 т/га ежегодно). В оптимальном же по погодным условиям 2011 г. эффект высоких доз минеральных и органических удобрений не проявился. Различия между вариантами с четырех- и пятикратными дозами удобрений, где насчитывалось соответственно 282 и 290 млн КОЕ, оказались недостоверными.

Существенно изменялась и доля участия актиномицетов в процессах деструкции. Их было значительно больше (примерно в 1,5 раза) в засушливом 2010 г, что также объясняется биологией этой группы организмов, которые более толерантны к неблагоприятным факторам среды.

На рисунке 2 показана доля актиномицетов от общей численности микроорганизмов на КАА в годы исследований.

Качественный состав актиномицетов был представлен в основном белыми и серыми актиномицетами — группами *Albiss*, *Albidus*, *Griseus*. что характерно для дерново-подзолистых почв. В варианте N₄₀P₄₀K₄₀ + 6 т/га навоза наряду с белыми и серыми актиномицетами отмечено появление буроокрашенных лучистых грибов группы *Chromogenes*, свидетельствующее об улучшении состояния данного биоценоза. Эта группа лучистых грибов также в большей степени (примерно на 15-18%) встречается в засушливом 2010 г., что связано с большей их устойчивостью по сравнению со светлоокрашенными актиномицетами (группы *Albus*, *Albidus*). Видовой состав спорообразующих бактерий представлен в основном видами, характерными для дерново-подзолистой почвы. Это *Bac. cerens*, *Bac. agglomerates*, *Bac. virgults*, *Bac. mycoides*. Встречается также *Bac. idosns*, эфемерно — *Bac. mega-*

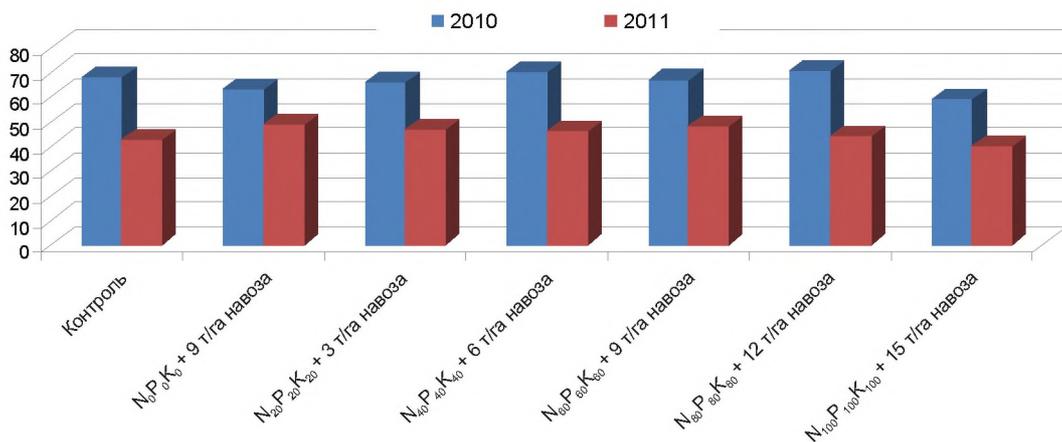


Рис. 2. Доля актиномицетов от общей численности микроорганизмов на КАА, %

terium, *Bac. mesentericus*, *Bac. subtilis* (табл. 5). В засушливом 2010 г. в составе бактериального населения отмечаются некоторые изменения. Так, наметилась тенденция снижения доли северных видов (*Bac. agglomerates*, *Bac. cereits*, *Bac. virgulus*), особенно в контрольном варианте без удобрений. Участие *Bac. agglomeratus* в процессах деструкции, например, снижалось с 28% в 2011 г. до 24% в 2010 г., зародышей *Bac. virgulus* — соответственно с 14 до 12%. На фоне снижения некоторых видов бацилл увеличивалась доля зародышей *Bac. idosns* — с 8% в 2011 г. до 11% в 2010 г. Данный вид среди изучаемых характеризуется большей ферментативной активностью, что позволяет ему функционировать в неблагоприятных засушливых условиях 2010 г.

Таблица 5

Видовой состав спорообразующих бактерий, % от общей численности на МПА + СА

Вариант опыта	<i>Bac. cereus</i>	<i>Bac. virgulus</i>	<i>Bac. agglomeratus</i>	<i>Bac. mycoi-des</i>	<i>Bac. idosus</i>	<i>Bac. megate riu m</i>	<i>Bac. mesentericus-Bac. subtilis</i>	Прочие
Контроль	22/21*	14/12	28/24	10/8	8/11	-	-	18/24
$N_0P_0K_0 + 9$ т/га навоза	18/19	14/13	24/23	10/9	12/14	-	-	22/22
$N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза	20/19	13/13	21/20	11/10	14/15	-	-	21/23
$N_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза	20/18	12/12	20/18	14/12	15/15	2	-	17/23
$N_{60}P_{60}K_{60} + 9$ т/га навоза	16/15	10/9	16/17	14/11	15/16	2	2	25/28
$N_{80}P_{80}K_{80} + 12$ т/га навоза	18/19	14/13	16/17	12/10	17/17	2	2	19/20
$N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза	19/19	13/13	15/15	10/8	16/17	3,2	2	24/25

* Над чертой — 2011 г., под чертой — 2010 г.

2010 год

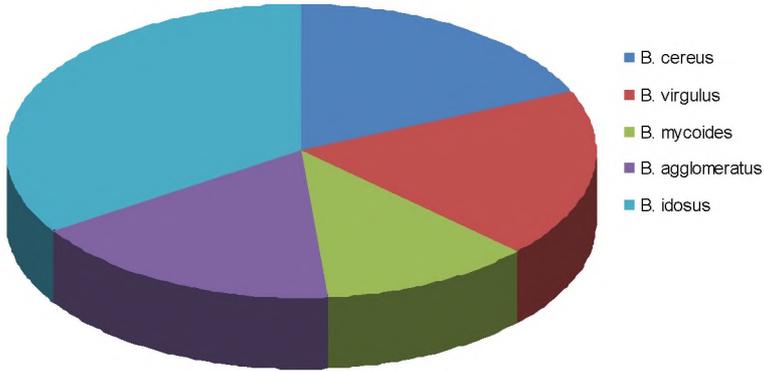


Рис. 3. Видовой состав спорообразующих бактерий на МПА + СА, % от общего числа микроорганизмов

2011 год

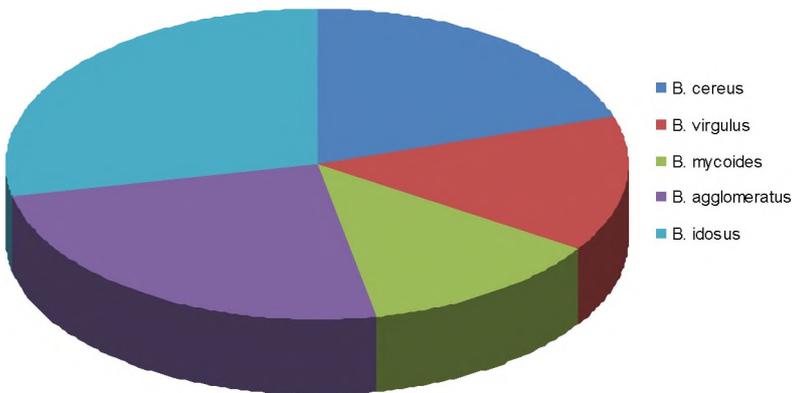


Рис.4. Видовой состав спорообразующих бактерий на МПА + СА, % от общего числа микроорганизмов

В вариантах с высокими дозами (6 и 9 т/га) навоза замечено появление зародышей *Vac. megctterium*, что является показателем благоприятного влияния данных доз удобрений на азотный режим почвы.

Органическая и органоминеральная системы удобрения неоднозначно влияли на урожайность зерновых культур в отдельные годы исследований (табл. 6). Озимая рожь — вторая культура в пятой ротации севооборота благодаря своей длительной вегетации и созданию необходимых запасов влаги за предшествующие осенний и зимне-весенний периоды, в острозасушливом 2010 г. при гидротермическом коэффициенте, составившем за май — сентябрь 63% от нормы, при поддерживающей весенней азотной подкормке положительно реагировала на последствие ранее применяемых удобрений и давала высокий уровень урожайности — от 3,82

Таблица 6

**Влияние навоза и минеральных удобрений
при длительном применении на урожайность зерновых культур**

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка		Окупаемость 1 кг п.в. удобрений зерном, кг
		т/га	%	
<i>Озимая рожь, 2010 г.</i>				
Контроль	3,00	—	—	—
$N_0P_0K_0 + 9$ т/га	3,99	0,99	33,0	7,9
$N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза	4,05	1,05	35,0	10,3
$M_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза	4,02	1,02	34,0	5,0
$M_{60}P_{60}K_{60} + 9$ т/га навоза	4,10	1,10	36,7	3,6
$N_{90}P_{90}K_{90} + 12$ т/га навоза	4,20	1,20	40,0	2,9
$N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза	3,82	0,82	27,4	1,6
НСР ₀₅	0,24			
<i>Ячмень, 2011 г.</i>				
Контроль	1,43	—	—	—
$N_0P_0K_0 + 9$ т/га	1,62	0,19	13,3	1,5
$N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза	1,75	0,37	26,4	3,6
$N_{40}P_{40}K_{40} + 6$ т/га навоза	1,84	0,41	28,7	2,0
$N_{60}P_{60}K_{80} + 9$ т/га навоза	1,84	0,41	28,7	1,3
$N_{90}P_{80}K_{80} + 12$ т/га навоза	1,81	0,38	26,6	0,9
$N_{100}P_{100}K_{100} + 15$ т/га навоза	1,77	0,34	23,8	0,7
НСР ₀₅	0,15			

до 4,20 т/га, обеспечивая во всех вариантах опыта достоверные прибавки зерна по отношению к контролю. Характерно, что в экстремальных условиях вегетации 2010 г. ярко проявилась роль органических удобрений, а именно навоза в дозе 9 т/га, где было получено 3,99 т/га зерна, или на 33% больше, чем на контроле. При этом варианты органоминеральных систем удобрений, несмотря на возрастающие их дозы, по величине урожая не имели преимуществ перед навозом. Исходя из окупаемости применяемых удобрений, эффективным в 2010 г. следует считать вариант с навозом — 9 т/га, а также органоминеральный вариант с низкими дозами — $N_{20}P_{20}K_{20} + 3$ т/га навоза, где 1 кг NPK окупался соответственно 7,9 и 10,3 кг зерна.

Важно также отметить, что на соседнем поле опытного участка, где в экстремальном 2010 г. возделывали яровую культуру — овес, урожая зерна из-за сильной засухи получить не удалось.

В 2011 г., когда гидротермический коэффициент составлял около 80% от среднелетнего значения, на посевах ячменя — третьей культуре в пятой ротации севооборота зависимость урожайности от применяемых удобрений была иная. Внесение навоза в дозе 9 т/га хотя и давало достоверный прирост урожая зерна овса по сравнению с контролем (0,19 т/га при $НСР_{05} = 1,5$), но уступало органоминеральной системе в двойных дозах, где была получена существенная прибавка зерна по отношению к варианту органической системы удобрения. С учетом величины урожайности и окупаемости удобрений зерном ячменя лучшими вариантами в относительно благоприятном по метеоусловиям году были органоминеральные с внесением невысоких доз минеральных удобрений $N_{20-40}P_{20-40}K_{20-40}$ с соответствующим дополнением навоза в дозах 3 и 6 т/га.

Выводы

1. При изучении закономерностей последствий различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений в экстремальных погодных условиях на основе длительного полевого опыта на микробиологическую активность почвы при возделывании зерновых культур установлено, что аномально засушливое лето 2010 г. многократно (в 5-50 раз на МПА и примерно в 20 раз на КАА) снижало численность микроорганизмов-деструкторов, в составе которых доминировали наиболее устойчивые организмы с более мощным ферментативным аппаратом. Среди них спороносные микроорганизмы, актиномицеты, содержание которых соответственно в 2-4 и 1,5 раза выше по сравнению с типичным 2011 г. Споросные организмы представлены в 2010 г. на 23-75%, что примерно в 2-4 раза превышает их численность (11-19%) по сравнению с типичным 2011 г. Также отмечались различия в видовом составе бактерий и групповом составе актиномицетов. В резко засушливый вегетационный период в составе бактериального населения намечалась тенденция снижения доли северных видов — *Bac. agglomerates*, *Bac. cereus*, *Bac. virgihis* и увеличения зародышей *Bac. idosns*. В составе актиномицетов появлялись буроокрашенные штаммы. При повышении доз навоза до 6-9 т/га в вариантах органоминеральных систем удобрения отмечено наличие зародышей *Bac. megaterium*, что свидетельствует о благоприятном влиянии этих удобрений на питательный, прежде всего азотный, режим почвы.

2. С учетом продуктивности агроценозов зерновых культур и окупаемости удобрений зерном наиболее эффективным в экстремальных погодных условиях в 2010 г было последствие навоза в дозе 9 т/га ежегодно и органоминеральной системы в дозах $M_{20}P_{20}K_{20}$ на фоне 3 т/га навоза, а в условиях, приближающихся к климатической норме в 2011 г., — последствие органоминеральных систем удобрений в дозах $N_{20-40}P_{20-40}K_{20-40}$ на фоне 3-6 т/га навоза.

Библиографический список

1. Алехина Л.В. Влияние длительного внесения удобрений в севообороте на микрофлору и некоторые биохимические процессы в орошаемых сероземах Чуйской долины Киргизской ССР: Дис. ... канд. биол. наук. Фрунзе, 1982.
2. Бондарцев А.Г. Шкала цветов (пособие для биологов при научных и научно-прикладных исследованиях). М.: Изд-во АН СССР, 1954. 19 с.
3. Возняковская Ю.М., Рыжкова А.С. Влияние смеси органических и минеральных удобрений на микрофлору почвы // Докл. ВАСХНИЛ. 1954. Вып. 6. С. 30-33.
4. Дахмуш А.С., Кожемяков А.П. Использование ассоциативных ризобактерий в улучшении плодородия почв и питания растений // Агротехника. 2007. № 1. С. 57-61.

5. Державин Л.М. Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации // *Агрохимия*. 2010. № 9. С. 3-18.

6. Джанаев Г.Г., Фарниев А.Т., Джанаев З.Г. Влияние систематического применения удобрений на агрохимические и биологические свойства каштановой почвы и продуктивность севооборота // *Агрохимия*. 2007. № 10. С. 32-38

7. Джанаев Г.Г., Фарниев А.Т., Джанаев З.Г. Влияние системы удобрений на интенсивность микробиологических процессов, агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность севооборота // *Агрохимия*, 2006. № 12. С. 3-10.

8. Дышко В.Н., Костина Л.П., Панкратенкова П.В., Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П. Дозы и сочетания удобрений при длительном их применении в севообороте // *Плодородие*. 2005. № 4. С. 5-7.

9. Дышко В.П., Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П., Костина Л.П., Панкратенкова П.В. Методика и результаты исследований в длительном факториальном опыте по изучению эффективности сочетаний и доз органических и минеральных удобрений // *Совершенствование организации и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями*. М.: ВНИИА, 2006. С. 163-165.

10. Жиглецова С.К. Дунайцев П.А., Бесаева С.Г. Возможности применения микроорганизмов для решения задач экологической и продовольственной безопасности // *Агрохимия*. 2010. №6. С. 83-96.

11. Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2008. № 12. С. 29-34.

12. Кононова М.М., Мишустин, Е.Н., Штина Э.А. Микроорганизмы и трансформация органического вещества почвы // *Почвоведение*. 1972. № 3. С. 95-104.

13. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

14. Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П. Длительное применение органических и минеральных удобрений при оптимизации их доз и сочетаний на легкосуглинистой почве // *Агрохимия*. 2006. № 10. С. 33-40.

15. Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П. Эффективность сочетаний и доз органических и минеральных удобрений под озимые // *Агрохимический вестник*. 1999. № 5. С. 22-24.

16. Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П., Дышко В.Н., Костина Л.П., Панкратенкова П.В. Методика и результаты исследований в длительном факториальном опыте по изучению эффективности сочетаний и доз органических и минеральных удобрений // *Совершенствование организации и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями*. М.: ВНИИА, 2006. С. 163-165.

17. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. *Агрохимия, биология и экология почвы*. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.

18. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. *Биология почв антропогенных ландшафтов*. Днепропетровск, 1995. С. 21-32.

19. Митвисти Е.Н. *Микроорганизмы и продуктивность земледелия*. Изд-во «Наука», 1972. 343 с.

20. Мишустин Е.Н., Теннер Е.З. Влияние длительного севооборота, монокультур и удобрений на состав почвенной микрофлоры // *Изв. ТСХА*. 1963. № 6. С. 85-95.

21. Мосина Л.В. *Антропогенное изменение лесных экосистем в условиях города Москва*: Дис. ... д-ра биол. наук. М., 2003.

22. Рахно П.С. *Сезонная количественная динамика почвенных бактерий и факторы, обуславливающие ее*. Таллин, 1964. 128 с.

23. Сычев В.Г., Минеев В.Г. Роль Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИА) в решении комплексных проблем химизации сельского хозяйства // *Плодородие*. 2011. № 3. С. 2-4.

24. *Тарейс Т.В.* Имобилизация азота почвенной микрофлорой и азотное питание растений // Тр. ВНИИСХМ. Т. 49. Ленинград, 1980. С. 82-94.
25. *Турбас Э., Дийс В.* Влияние удобрений на численность микроорганизмов в дерново-подзолистой почве // Сб. тр. Эстонской с.-х. академии. 1973. 143 с.
26. *Шабает В.П.* Влияние инокуляции сахарной свеклы остимулирующими бактериями рода *Pseudomonas* на урожай и качество растений // Агрохимия. 2008. № 4. С. 35-42.
27. *Широкая Г.М., Пивоваров Г.Е., Гомонова Н.Ф.* Применение минеральных удобрений как один из факторов токсикоза почв в агробиоценозах // Тр. Вс. симпозиума «Микроорганизм как компонент биогеоценоза». Алма-Ата, 1982. С. 135-136.
28. *Щанова А.С.* Влияние удобрений и извести на микробиологическую активность почв // Агрохимия. 2005. № 12. С. 11—21.
29. *Чухлебова Л.М.* Микробные комплексы агробиоценозов лугово-бурых почв Приамурья // Микроорганизмы в экосистемах Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 146-182.
30. *Ярошевич ИВ., Гепианец А.Я.* Изменение биологической активности обыкновенного чернозема при систематическом применении удобрений // Бюл. ВНИИ кукурузы. Днепропетровск, 1973. Вып. 2/31. С. 29-32.
31. *Bergey D.* Manual of determinative bacteriology. Baltimore, 1948.

THE ECOLOGICAL EFFECT OF ORGANIC
AND MINERAL FERTILIZERS ON MICROBIOLOGICAL ACTIVITY
OF SOD-PODSOLIC SOILS AND AGROCENOSIS PRODUCTIVITY
UNDER EXTREME WEATHER CONDITIONS

L.V. MOSINA¹, G.E. MERZLAYA²

⁰ RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev,

² Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov)

The effect of different doses and compositions of organic and mineral fertilizers on microbiological activity of soils and crop productivity under extreme weather conditions was determined in the long-term field experiment.

*It was shown that during the extremely dry vegetation period the quantity of microorganisms- destructors decreases manifold (5-50 times on MPA and about 20 times on KAA), at the same time the quality of microorganisms changes towards the increase in the number of colonists with more powerful enzyme composition. Soporiferous microorganisms for example *Bac. idosus*, *Bac. megaterium*, *Chromogenes* groups of actinomyces are among them.*

Taking into account productivity of agrocenosis and payback of fertilizers by means of increase in crop yields, after-effect of manure (9 tons/ha) as well as organic-mineral composition — the annual doses $N_{20}P_{20}K_{20}$ with manure (3 tons/ha) — has been the most effective under extreme weather conditions. Under normal weather conditions after-effect of organic-mineral composition — $N_{20-40}P_{20-40}K_{20-40}$ with manure (3—6 tons/ha) — has proven to be the most effective.

Key words: organic and mineral fertilizers, aftereffect of applied dozes and combinations, soil fertility and soil microflora, agrocenosis productivity.

Мосина Людмила Владимировна — д. б. н., профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел. (499) 976-22-75).

Мёрзлая Генриэтта Егоровна — д. с.-х. н., профессор Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31; тел. (499) 976-11-91).