

371 тыс. т ($R^2 = 0,9453$), причем достоверность аппроксимации во втором случае сравнительно выше. Это и позволяет признать последнюю аппроксимацию более обоснованной.

1. Ниворожкина Л. П., Морозова З. А., Герасимова И. А., Житников И. В. Основы статистики с элементами теории вероятностей для экономистов: руководство для решения задач. — Ростов н/Д: Феникс, 1999. — 320 с.

2. Теория вероятностей и математическая статистика в задачах: учеб. пособие для вузов / В. А. Ватутин [и др.]. — М.: Дрофа, 2003. — 328 с.

3. Сметанин В. И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. — М.: «КолосС», 2003. — 232 с.

Материал поступил в редакцию 07.11.11.

Сметанин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Организация и технология строительства объектов природообустройства»

Тел. 8 (499) 976-07-13

E-mail: Smetanin2000@yandex.ru

Красовская Светлана Петровна, аспирантка

Тел. 8-918-308-32-30

Щекудов Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент, директор филиала

Тел. 8-916-112-04-98

Воробьев Лев Алексеевич, старший научный сотрудник

Тел. 8-916-505-12-46

УДК 502/504:631.8:633.2

Р. Ф. БАЙБЕКОВ, Г. Е. МЁРЗЛАЯ, Э. Н. АКАНОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ В АГРОЦЕНОЗАХ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

По результатам 12-летних исследований (2000–2011) в микрополевым опыте установлено положительное влияние подстилочного навоза и компостов на основе осадков сточных вод (при оптимизации доз как в действии, так и последствии) на продуктивность многолетних злаковых травостоев, на агрохимические свойства почвы, на численность микроорганизмов и эмиссию углекислого газа.

Органические удобрения, дозы удобрений, свойства почвы, продуктивность многолетних трав.

According to the 12-years researches (2000–2011) in the micro-field experiment there is established a positive influence of the litter manure and composts on the basis of sewage sediments (under optimization of dozes both in action and afterwards) on the productivity of permanent cereal herbage, agrochemical properties of soil, quantity of microorganisms and emission of carbon dioxide.

Organic fertilizers, dozers of fertilizers, soil properties, productivity of permanent grasses.

В последние десятилетия в связи с резким сокращением поголовья животных и возникновением дефицита органических удобрений обострилась проблема плодородия почв. На 1 га пашни в насто-

ящее время вносится не более 0,5...0,6 т органических удобрений в пересчете на подстилочный навоз, т. е. обеспеченность ими почв не превышает 10...12 %. В этих условиях целесообразно использовать все

возможные ресурсы органического вещества, включая солому, сидераты, сапрпели, древесные и другие органические отходы. К малоиспользуемым ресурсам органического сырья относятся осадки сточных вод и продукты на их основе. В России при обработке сточных вод ежегодно образуется свыше 3,5 млн т сухого вещества осадков [1]. Однако применение осадков в качестве удобрений часто сдерживается из-за неблагоприятных физических свойств их натуральной массы, наличия в них, при несовершенных технологиях очистки, повышенных по сравнению с нормативами концентраций тяжелых металлов, а также из-за отсутствия достоверных результатов по действию удобрений на основе осадков в системе «почва – растение», в частности по их влиянию на агрохимические и биологические свойства почвы. В этом отношении представляют интерес данные многолетних исследований компостов из различных видов осадков, полученные в микрополевым опыте ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова.

Материалы и методы. Опыт был заложен на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии в 2000 году (под сеткой, в сосудах без дна, в трехкратной повторности). Почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая. В исходной почве в слое 0...20 см содержалось 0,8 % органического углерода, 118 мг/кг P_2O_5 , 119 мг/кг K_2O при pH_{kcl} 4,6.

Объектами исследований служили компосты из осадков сточных вод города Москвы и древесных опилок (в количестве 10 % сухой массы). Компост 1 готовили из осадка, поступающего непосредственно с фильтров-прессов Курьяновской станции аэрации, компост 2 – из осадка после 10 лет размещения на иловых площадках. Для сравнения в схему опыта были введены варианты с подстилочным навозом крупного рогатого скота. Все органические удобрения вносили в двух дозах – 10 и 35 т/га сухого вещества.

Важно учитывать, что химический состав осадков сточных вод московских станций аэрации подвержен значительным изменениям во времени, что объясняется совершенствованием технологий очистки сточных вод, а также снижением их сброса в канализацию в основном из-

за сокращения многих производств. В условиях опыта компост, который готовили из осадка длительного срока хранения, был в большей степени загрязнен тяжелыми металлами, чем компост из осадка, поступающего непосредственно с фильтров-прессов (рис. 1).

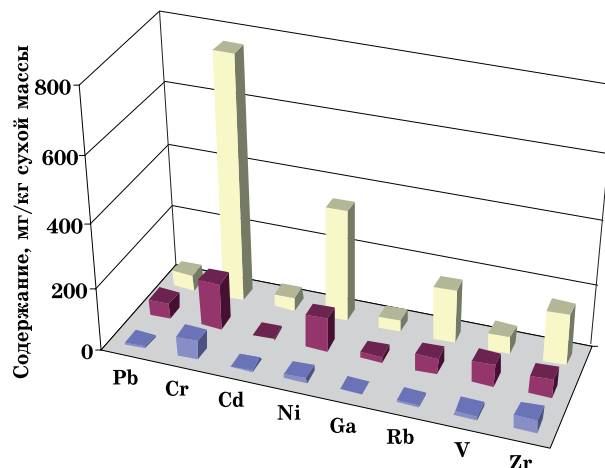


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в навозе и компостах: ■ компост 1; ■ компост 2; ■ навоз

Компосты из осадков различных сроков хранения, используемые в опыте, характеризовались высокой ценностью удобрений, содержали 48...52 % органического вещества, 2...2,1 % общего азота, имели нейтральную реакцию среды (табл. 1).

От навоза компосты отличались меньшим содержанием органического вещества, азота, калия, но значительно превосходили его по фосфору. Компост на основе осадка с фильтров-прессов по содержанию тяжелых металлов соответствовал ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 [2]. В то же время компост из осадка длительного хранения на иловых площадках был загрязнен цинком и кадмием, содержание которых соответственно на 31 и 49 % превышало допустимые концентрации. Общее количество тяжелых металлов в этом компосте было в два раза выше, чем в компосте из осадка с фильтров-прессов и в десять раз выше, чем в подстилочном навозе.

При закладке опыта в 2000 году была высеяна ежа сборная «ВИК 61» под покров ячменя «зазерский 85». Опыт проводили по схеме: 1 – контроль без удобрений; 2 – компост 1, 10 т/га; 3 – компост 1, 35 т/га; 4 – компост 2, 10 т/га; 5 – компост 2, 35 т/га; 6 – навоз, 10 т/га; 7 – навоз, 35 т/га. Все органические

Химический состав компостов на основе осадков сточных вод и подстилочного навоза

Таблица 1

Показатель	Навоз	Компост 1	Компост 2	Допустимое содержание для группы осадков*	
				1	2
Влажность, %	79,8	71,0	53,7		
Сухое вещество, %	20,2	29,0	46,3		
pH _{кел}	7,0	7,4	7,2		
Содержание в сухом веществе:					
органическое вещество, %, в том числе зола, %	70,2	52,0	48,0		
N общий, %	2,7	2,0	2,1		
N аммонийный, %	0,064	0,015	0,014		
N нитратный, %	0,020	0,017	0,039		
P ₂ O ₅ , %	2,40	5,27	5,15		
K ₂ O, %	2,11	0,24	0,22		
C : N	13,0	13,0	11,0		
Cu, мг/кг	36,0	425,0	1452,0	750	1500
Pb, мг/кг	6,0	50,0	167,0	250	500
Cd, мг/кг	2,0	8,0	42,0	15	30
Ni, мг/кг	16,0	104,0	353,0	200	400
Zn, мг/кг	160,0	1743,0	4589,0	1750	3500
Cr, мг/кг	60,0	147,0	774,0	500	1000
As, мг/кг	5,0	11,0	31,0	10	20

* ГОСТ 17.4. 3.07–2001.

удобрения в обеих дозах внесены в почву в 2000 году, в последующие годы изучали их последствие.

Исследования в опыте проводили общепринятыми методами [3]. Содержание тяжелых металлов в удобрениях определяли в соответствии с [4]. Для определения эмиссии углекислого газа из почвы использовали метод газовой хроматографии в 2002 году и метод ИК-газометрии – в 2011 году. Математическую обработку опытных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы STRAZ.

Результаты. Применение компостов из осадков сточных вод в высоких дозах по сравнению с контролем в отличие от вариантов с низкими дозами достоверно повышало урожайность многолетних трав, о чем свидетельствуют данные опыта за 9

лет исследований (2000–2008) (табл. 2). В то же время подстилочный навоз в высокой дозе превосходил по урожайности трав оба исследуемых компоста в таких же дозах по сухому веществу. Необходимо отметить значимый эффект последствия высоких доз всех исследуемых органических удобрений в 2009 году, навоза и компоста из осадка длительного срока хранения – в экстремальном по метеоусловиям 2010 году и на уровне тенденции – в 2011 году. Последствие низких доз удобрений (10 т/га сухого вещества) было менее продолжительным: навоза – 2 года, компостов – 1 год.

Несмотря на многолетнее (в течение 12 лет) использование травостоев на сено, в вариантах высоких доз компостов и навоза в количестве до 25...30 % сохранялся высеянный в 2000 году ценный кормовой

Таблица 2

Урожайность многолетних трав, г к.е./ м²

Вариант опыта	В среднем за 9 лет (2000 – 2008)	Год			
		2009	2010	2011	
Контроль	159,9	82,0	67,7	49,8	
Компост 1, 10 т/га	194,1	95,0	67,0	45,8	
Компост 1, 35 т/га	259,8 +	117,0 +	68,3	47,6	
Компост 2, 10 т/га	192,6	95,0	61,7	36,8	
Компост 2, 35 т/га	225,7 +	115,0 +	83,3 +	45,6	
Навоз, 10 т/га	217,7 +	93,0 +	68,0	49,0	
Навоз, 35 т/га	322,1 +	140,0 +	84,3 +	58,4	
НСР ₀₅	57,9	30,0	14,0	20,1	

Примечание: знаком плюс отмечены варианты с достоверным увеличением урожайности трав по отношению к контролю.

злак – ежа сборная (рис. 2). На контроле ее содержание в травостое не превышало 10 %, а внедрившееся разнотравье занимало около 80 %.

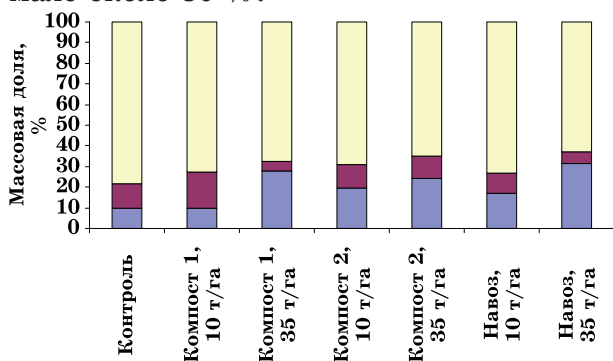


Рис. 2. Ботанический состав травостоя 12 года жизни (2011): ■ ежа сборная; ■ другие злаки; □ разнотравье

Под влиянием навоза и компостов изменялись агрохимические и биологические свойства почвы (табл. 3). В год действия (2000) все органические удобрения заметно улучшали реакцию среды в вариантах высоких доз. Эта закономерность сохранялась и в течение последующих пяти лет. Затем к 7–11 году последействия отмечалось выравнивание значений рН по

вариантам опыта. В целом же следует указать, что навоз и компосты из обоих видов осадков оказывали положительное воздействие на кислотные свойства почвы ввиду нейтральной или слабощелочной реакции среды этих удобрений и высокого содержания в них кальция, способного при минерализации органического вещества поступать в почвенный раствор.

Содержание органического углерода в почве по сравнению с неудобренным контролем повышалось от внесения высоких доз всех применяемых органических удобрений как в год действия, так и в годы последействия. На десятом-одиннадцатом годах последействия удобрений по сравнению с годом их внесения во всех вариантах достигался положительный баланс органического вещества в почве. Эта же закономерность отмечалась и в контрольном варианте. В целом можно констатировать, что компосты из осадков сточных вод в агроценозах многолетних злаковых трав при их длительном сенокосном использовании способствовали улучшению гумусового состояния дерново-подзолистой почвы.

Агрохимические свойства почвы

Таблица 3

Вариант опыта	2000 год, действие	Год последействия				
		2001	2005	2007	2010	2011
рН						
Контроль	3,8	3,9	3,9	4,4	4,2	4,4
Компост 1, 10 т/га	3,8	4,1	4,4	4,2	4,3	4,5
Компост 1, 35 т/га	4,2	4,5	4,8	4,5	4,5	4,6
Компост 2, 10 т/га	3,9	4,0	4,3	4,5	4,2	4,5
Компост 2, 35 т/га	4,1	4,5	4,5	4,5	4,4	4,5
Навоз, 10 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,5	4,5
Навоз, 35 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,5	4,6
Гумус, % С						
Контроль	0,75	0,72	0,69	0,93	0,99	0,95
Компост 1, 10 т/га	0,75	0,69	0,64	0,87	0,92	0,92
Компост 1, 35 т/га	0,79	0,89	0,98	1,01	0,95	1,06
Компост 2, 10 т/га	0,71	0,69	0,69	0,83	0,86	0,90
Компост 2, 35 т/га	0,79	0,89	0,81	1,06	0,89	0,93
Навоз, 10 т/га	0,77	0,86	0,92	0,92	0,91	0,92
Навоз, 35 т/га	0,88	0,95	0,98	0,98	1,02	0,97
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг						
Контроль	110	110	111	114	105	99
Компост 1, 10 т/га	180	125	110	205	152	145
Компост 1, 35 т/га	320	300	310	380	370	322
Компост 2, 10 т/га	160	140	90	180	148	141
Компост 2, 35 т/га	220	240	260	415	277	285
Навоз, 10 т/га	130	110	90	141	95	123
Навоз, 35 т/га	270	220	180	247	168	183
Подвижный калий (K ₂ O), мг/кг						
Контроль	96	96	55		92	69
Компост 1, 10 т/га	101	99	39		98	68
Компост 1, 35 т/га	90	102	39		98	71
Компост 2, 10 т/га	95	96	35		99	57
Компост 2, 35 т/га	99	100	42		100	70
Навоз, 10 т/га	109	115	50		100	66
Навоз, 35 т/га	120	109	98		118	75

При анализе фосфатного режима почвы отмечена его оптимизация под влиянием всех видов органических удобрений, внесенных как в высоких (35 т/га), так и низких (10 т/га) дозах (за исключением 2005 года). При этом более интенсивно повышалось содержание подвижного фосфора в почве, как правило, при внесении высокой дозы компоста на основе осадка с фильтров-прессов. На изменение калийного режима почвы применение компостов, содержащих калия на порядок ниже, чем навоз, практически не оказывало влияния.

Большое внимание при проведении опыта уделялось изучению биологической активности почвы. Результаты исследований, проведенных в 2008 году совместно с кафедрой экологии РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, показали, что компосты на основе обоих видов осадков не оказывают негативного влияния на микробиологическую деструкцию органического вещества в почве (в слое 0...10 см) (табл. 4) [5].

Общая численность микроорганизмов на мясо-пептонный агар (МПА) и крахмало-аммиачный агар (КАА) в вариантах органических удобрений была близка к численности на контроле (11,6 млн клеток) и колебалась от 8,3 до 13,3 млн в 1 г сухой почвы. Более высокие значения этого показателя наблюдались в вариантах компоста длительного срока хранения и навоза, применяемых в высоких дозах – 35 т/га сухой массы.

При определении активности выделения углекислого газа из почвы в 2002 году, т. е. на втором году последействия удобрений, установлены достоверные изменения этого показателя по отношению к контролю в вариантах с внесением высоких доз навоза и обоих видов компостов (рис. 3) [6]. Причем в вариантах с высокими дозами компостов эмиссия углекислого газа была больше, чем при внесении

аналогичной дозы навоза. Согласно проведенному на основе данных опыта корреляционному анализу, установлена связь эмиссии CO₂ с гумусом почвы (r = 0,87), а также с величиной pH (r = 0,67) и урожайностью трав (r = 0,79).

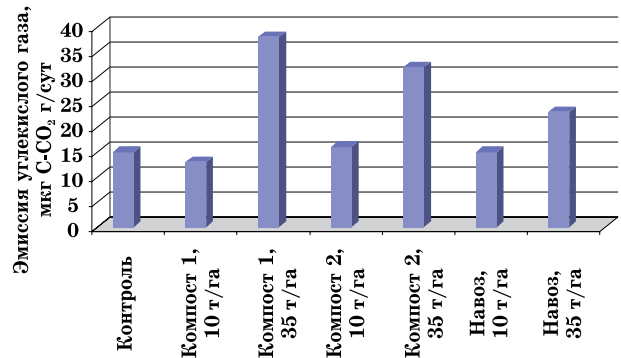


Рис. 3. Эмиссия углекислого газа из почвы в зависимости от видов и доз органических удобрений (2002)

Изучение активности выделения углекислого газа из почвы в конце опыта (2011) показало, что в вариантах органических удобрений на одиннадцатый год их последействия она резко снизилась по сравнению с первым сроком определения (2001) (рис. 4). Тем не менее высокие дозы компоста из осадка с фильтров-прессов и навоза в последействии по отношению к низким дозам способствовали увеличению (на уровне тенденции) эмиссии CO₂.

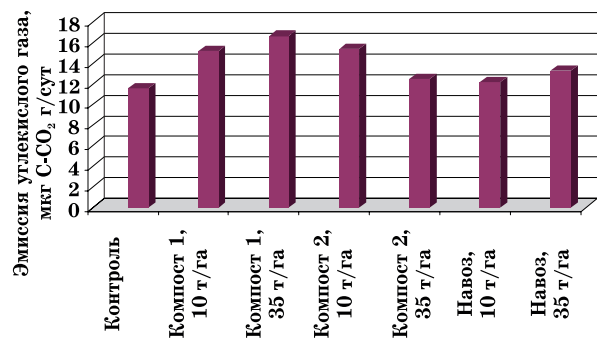


Рис. 4. Эмиссия углекислого газа из почвы в зависимости от видов и доз органических удобрений (2011)

Таблица 4

Численность аэробных гетеротрофных микроорганизмов (млн/г сухой почвы)

Вариант опыта	МПА	КАА	Σ
Контроль	4,8 ± 0,04	6,8 ± 0,07	11,6
Компост 1, 10 т/га	3,3 ± 0,03	6,4 ± 0,05	9,7
Компост 1, 35 т/га	4,6 ± 0,04	4,5 ± 0,04	9,1
Компост 2, 10 т/га	4,2 ± 0,04	4,1 ± 0,04	8,3
Компост 2, 35 т/га	5,2 ± 0,06	8,1 ± 0,09	13,3
Навоз, 10 т/га	4,4 ± 0,04	4,6 ± 0,04	9,0
Навоз, 35 т/га	5,5 ± 0,02	6,6 ± 0,06	12,1

Выводы

На основании 12-летних исследований в микрополеводном опыте на дерново-подзолистой суглинистой почве установлено, что применение органических удобрений, производимых путем ферментации осадков сточных вод с древесными отходами, при оптимизации доз удобрений повышает биологическую активность и плодородие почвы, способствует продуктивному долголетию многолетних трав. Последствие компостов на основе осадков сточных вод в дозах 10 т/га сухой массы отмечается в течение одного года, подстильного навоза – в течение двух лет. Компосты из осадков и навоз при внесении в высоких дозах – по 35 т/га сухой массы – характеризуются длительным последствием, которое прослеживается в течение 9–10 лет.

1. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (информационно-аналитический справочник). – Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ Россельхозакадемии, 2006. – 200 с.

2. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений: ГОСТР 17.4.3.07–2001.. – М.: Гостстандарт России, 2001. – 5 с.

3. Программа и методика исследований

в географической сети полевых опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии. – М.: ВНИИ агрохимии, 1990. – 187 с.

4. Сборник методик по определению тяжелых металлов в почвах, в тепличных грунтах и продуктах растениеводства / Составители: Н. М. Овчаренко, Н. В. Кузнецов. – М.: Минсельхозпрод РФ, 1998. – 97 с.

5. Мосина Л. В., Мерзлая Г. Е. Микробиологическая диагностика состояния системы «почва – растение» на сенокосах при внесении компостов на основе осадков сточных вод // Известия ТСХА. – Вып. 1. – 2010. – С. 18–27.

6. Дурихина Н. В. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы при использовании осадков сточных вод: автореф. дис ... канд. биол. наук: 03. 00. 07 (микробиология); 06. 01. 04. (агрохимия). – М.: ООО «Цифровичок», 2007. – 22 с.

Материал поступил в редакцию 02.12.11.

Байбеков Равиль Файзрахманович, член-корреспондент Россельхозакадемии

Тел. 8 (499) 976-47-96

E-mail: info@vniia-pr.ru

Мёрзлая Генриэта Егоровна, доктор сельскохозяйственных наук

Тел. 8 (499) 976-11-91

Аканов Эдуард Николаевич, кандидат технических наук

Тел. 8 (499) 976-11-91