

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТОКСИЧНЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва,
*e-mail: lab.organic@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2018 г.

Представлены результаты исследований по трансформации осадков промышленно-бытовых сточных вод г. Москвы в новые экологически безопасные удобрения. Проведено сравнительное изучение эффективности длительного применения компостов, изготовленных из указанных осадков и древесных отходов, и традиционного органического удобрения – навоза в полевом опыте в период с 2000 по 2017 гг. при различных дозах. Применение компостов обеспечивало прибавки урожая многолетних трав по отношению к контролю (без удобрений), составившие в среднем за годы исследований от 13 до 60% в зависимости от дозы. Установлено, что экологически безопасная доза новых удобрений на основе осадков сточных вод под многолетние злаковые травы без риска загрязнения почвы и растительной продукции тяжелыми металлами составляет 10 т/га сухой массы.

Ключевые слова: утилизация, компосты на основе осадков промышленно-бытовых сточных вод, многолетние травы, урожайность, почва, тяжелые металлы, допустимый уровень, удобрения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время с развитием городов и промышленности возрастают объемы сточных вод и, соответственно, их осадков. По ориентировочным расчетам, в Российской Федерации на очистных сооружениях городов и промышленных центров ежегодно образуется до 3,5 млн т сухого вещества осадков сточных вод. Известно, что из этого объема осадков на удобрения используется не более 6% в связи с наличием в них различных загрязнителей, прежде всего, тяжелых металлов. Однако существующий многолетний отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о целесообразности применения этих муниципальных отходов в агропроизводстве для целей удобрения сельскохозяйственных культур [1-3].

В этой связи актуальны исследования по установлению экологической безопасности утилизации осадков сточных вод и продуктов на их основе в современных агротехнологиях. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по изучению эффективного применения новых удобрений, полученных из осадков сточных вод, в сравнении с традиционным органическим удобрением - подстилочным навозом. Многолетние испытания новых удобрений - компостов на основе осадков сточных вод - проведены в лаборатории агрохимии органических удобрений

ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, результаты этих испытаний изложены в настоящей статье.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Испытания были выполнены в полевом опыте в системе почва-растение за 18-летний период (с 2000 по 2017 гг.) Для компостирования использовали осадки сточных вод крупнейшей в Европе Курьяновской станции аэрации г. Москвы производительностью свыше 3 млн м³ сточных вод в сутки. В настоящее время на станции аэрации для стабилизации осадка используется метановое сбраживание, снижающее токсичность осадков сточных вод [4]. Применяемые в опыте компосты производились путем смешивания осадков с древесными отходами, составляющими 10% к массе смеси по сухому веществу, с последующей ферментацией в естественных условиях в течение двух летних месяцев. Приготовленные компосты вносили в почву в 2000 г. и в этом же году определяли их влияние на урожайность. В последующие 17 лет удобрения не вносили, но ежегодно определяли влияние внесенных ранее компостов (точнее их последствие) на урожайность трав.

В опытах использовали два вида компоста на основе осадков сточных вод с различным сроком хранения, из-за чего он в разной степени был загрязнен тяжелыми металлами. Химический состав исследуемых видов компоста приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав подстильного навоза и компостов из осадков сточных вод

Показатель	Подстильный навоз	Компост 1 из осадка сточных вод с фильтр-прессов	Компост 2 из осадка сточных вод с иловых площадок
Влажность, %	79,8	71,0	53,7
Сухое вещество, %	20,2	29,0	46,3
pH _{kcl}	7,0	7,4	7,2
Содержание в сухом веществе:			
Органическое вещество, %	70,0	52,0	48,0
Зола, %	29,8	48,0	52,0
Нобщ., %	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, %	35,1	26,0	24,0
C : N	13	13	11
Cu	36	425	1452
Pb	6	50	167
Cd	2	8	42
Ni	16	104	353
Zn	160	1743	4589
As	5	11	31

Компост 1 был получен в 2000 г. из осадка, поступающего непосредственно с фильтр-прессов станции аэрации. Компост 2 был произведен из осадков, образовавшихся в период интенсивного развития промышленности, и поступил после длительного (10-летнего) размещения на иловых площадках. Следует отметить, что компост 2 был более загрязненным, о чем свидетельствуют данные таблицы 1. Контролем в опыте служил вариант без внесения удобрений. Для сравнения действия компостов с традиционным органическим удобрением были использованы варианты с подстилочным навозом крупного рогатого скота.

Органические удобрения - компосты из осадков сточных вод и подстилочный навоз - применяли в двух дозах: 10 и 35 т/га сухого вещества.

Как видно из табл. 1, оба вида компостов на основе осадков различных сроков хранения, используемые в опыте, отличались высокой удобрительной ценностью и содержали 48-52% органического вещества, 2-2,1% общего азота, 5,15-5,17% фосфора (P_2O_5), имели нейтральную реакцию среды. Однако по сравнению с навозом компосты характеризовались более низким содержанием органического вещества и важнейших элементов питания для растений - азота, калия, но значительно превосходили его по фосфору. (В то же время компост на основе осадка длительного хранения на иловых площадках (компост 2) был загрязнен цинком и кадмием, содержание которых соответственно составляло 4589 и 42 мг/кг, что на 31 и 40% превышало допустимые концентрации для осадков II группы (3500 и 30 мг/кг сухого вещества) по ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 [5]. Общее количество тяжелых металлов в компосте 2 было в два раза выше, чем в компосте из осадка с фильтр-прессов и в 10 раз выше, чем в подстилочном навозе.

Эффективность удобрений на основе осадков и навоза изучали в микрополе в опыте, который был заложен в 2000 г. на Центральной опытной станции института в Московской области (п. Барыбино) в сосудах без дна. Площадь сосуда 0,25 м² (0,5 x 0,5). Повторность вариантов в опыте 3-кратная. Исследуемая культура – ежа сборная ВИК 61, высеянная под покров ячменя сорта Зазерский.

Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, в слое 0-20 см при $pH_{kcl} = 4,6$ содержала 0,8% органического углерода, 118 мг/кг подвижного фосфора (P_2O_5) по Кирсанову, 119 мг/кг калия (K_2O), 1,2 мг/кг Cd, 31 мг/кг Ni, 154 мг/кг Cr, 67 мг/кг Zn, 16 мг/кг Cu, 6 мг/кг As. Таким образом, содержание тяжелых металлов в исходной почве было на уровне ОДК или ниже [6].

Все исследования в опыте проводились общепринятыми в агрохимии методами [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что применение компостов из осадков сточных вод по сравнению с контролем без внесения удобрений повышало урожайность сена многолетних злаковых трав (рис. 1). При этом наблюдалось влияние дозы компостов: прибавки урожая трав по отношению к контролю в вариантах пониженной дозы (10 т/га сухой массы) колебались в

разные годы исследований от 13 до 25%, а при высокой дозе (35 т/га сухой массы) - от 50 до 60%. Наибольшие прибавки урожая трав достигались в вариантах с навозом, который в дозе 10 т/га в расчете на сухое вещество обеспечивал среднегодовой прирост на уровне 37%, в высокой дозе (35 т/га) - 68%. Иными словами, при возделывании многолетних трав повышенные дозы как компостов из осадков, так и традиционного навоза отличались высоким последствием. При сравнении последствий компостов выяснилось, что наиболее высокий эффект был получен от компоста из осадка, поступающего непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации (компост 1) в повышенной дозе - 35 т/га сухого вещества.

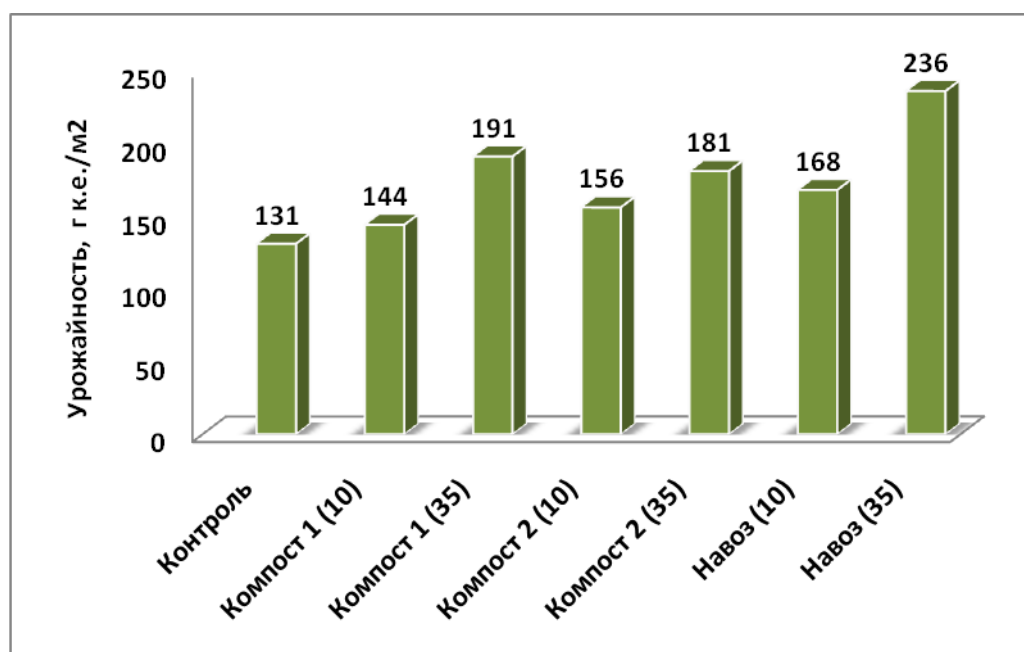


Рис. 1. Влияние внесения удобрений на урожайность многолетних трав (измерена в грамм кормовых единиц на 1 м²), в среднем за 18 лет (2000-2017 гг.). В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

Согласно исследованиям, которые проводились в 2017 г., т.е. в последний год опыта, от последствия навоза и компостов из обоих видов осадков сточных вод по сравнению с контролем не было получено достоверного роста урожайности многолетних трав (рис. 2). В то же время была установлена тенденция к повышению урожайности многолетних трав с возрастанием дозы компоста 1 и навоза. Следует отметить аналогичную тенденцию при обобщении урожайных данных за все годы проведения опыта. При этом рост продуктивности трав с увеличением доз наблюдался при внесении всех изучаемых видов органических удобрений.

Анализ ботанического состава агроценоза показал, что сформированный в начале опыта одновидовой посев ежи сборной к окончанию эксперимента на 18-й год резко изменился и был представлен дикорастущими злаками и разнотравьем. При этом более интенсивно развивалась злаковая группа на контроле без внесения удобрений и в вариантах с компостом из осадка длительного срока хранения. Бобовые травы (клевер луговой), содержащиеся в

травостое на уровне 8-16%, лучше развивались при использовании компоста 1 из свежего осадка в вариантах обеих доз.

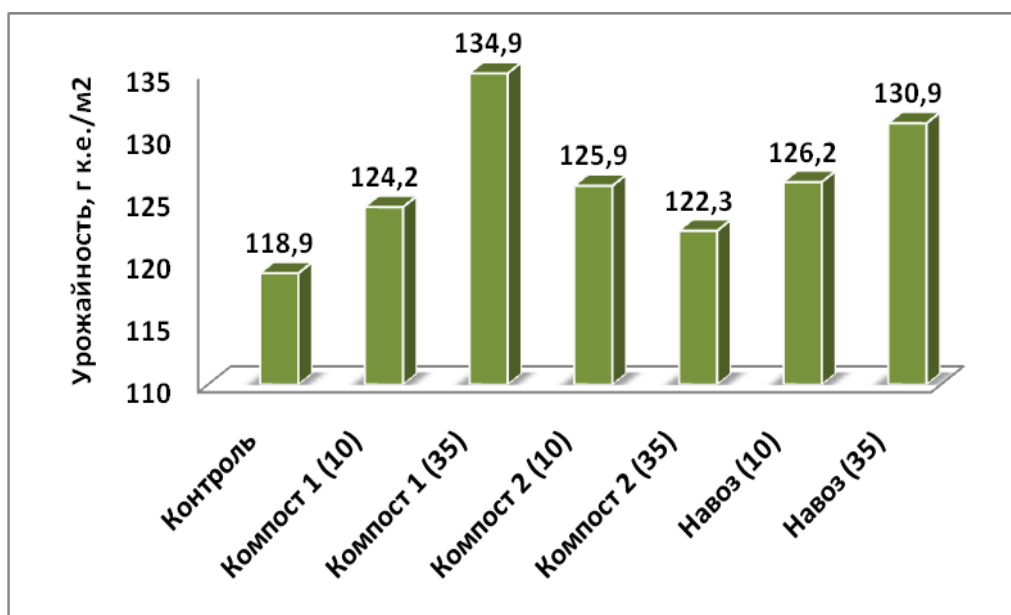


Рис. 2. Влияние удобрений на урожайность многолетних трав (измерена в грамм кормовых единиц на 1 м²) в 2017 г. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

Значительная доля агроценоза в вариантах удобрений (43-67%) была представлена разнотравьем. В контрольном варианте на разнотравье приходилась около половины биомассы трав (рис. 3).

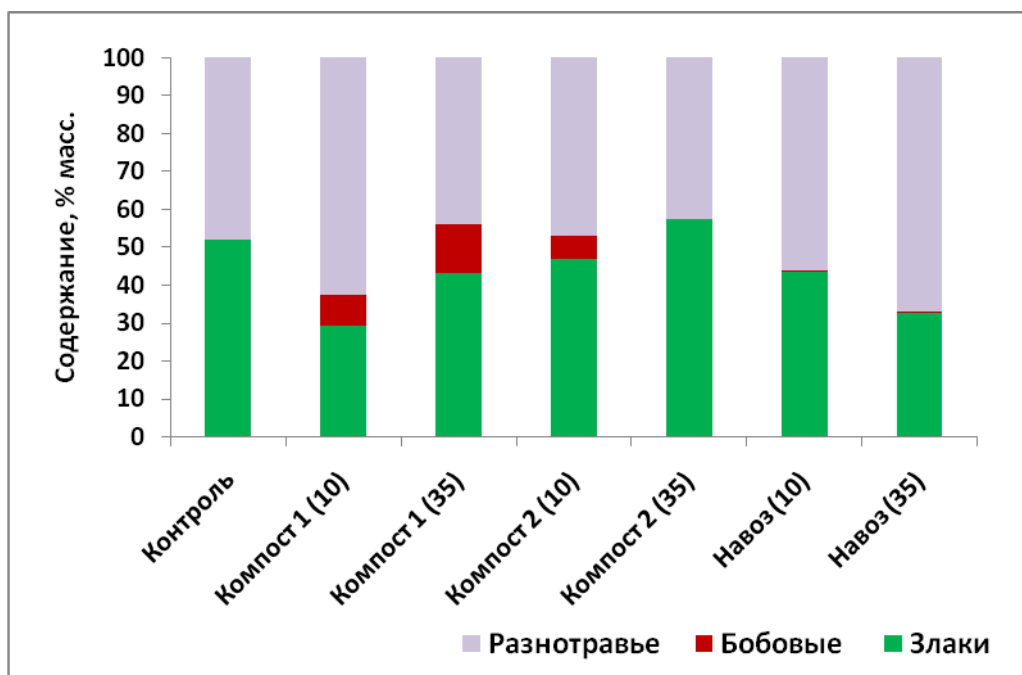


Рис. 3. Ботанический состав травостоя в зависимости от вида органических удобрений и их доз. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

Содержание тяжелых металлов в растениях зависело от вида удобрения, дозы его внесения, а также от величины отчуждаемой растительной массы (рис. 4-7). По данным, полученным в опыте в среднем за 2001-2008 гг., в многолетних травах с внесением компостов, как правило, повышалось содержание кадмия. Причем транслокация кадмия в травы в вариантах с компостом 1 (из осадка с фильтр-прессов) соответствовала вариантам с применением навоза. Характерно, что содержание кадмия в сухой массе трав во всех вариантах опыта было значительно ниже максимально допустимого уровня (МДУ) для кормов, равного 0,3 мг/кг [8].

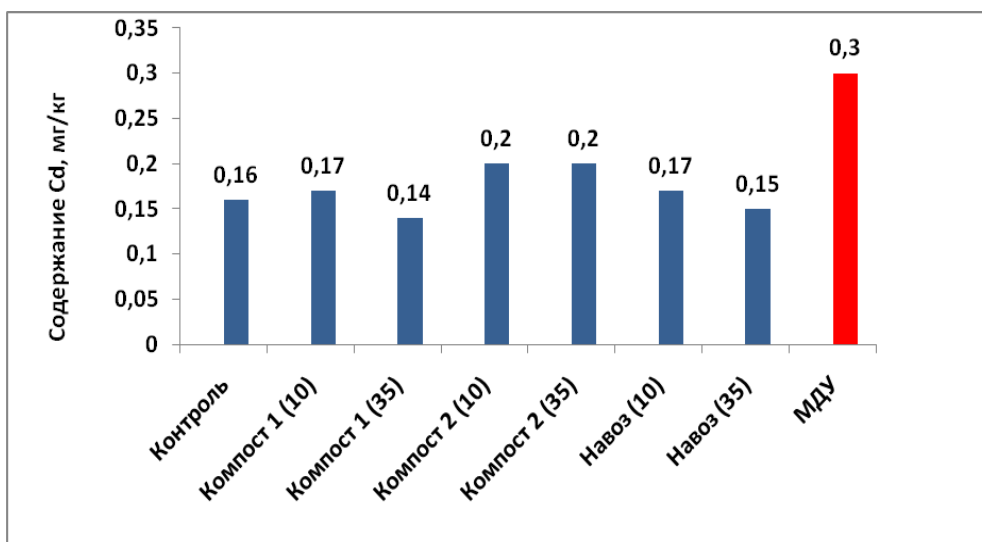


Рис. 4. Содержание кадмия в многолетних травах в зависимости от органических удобрений и их доз. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

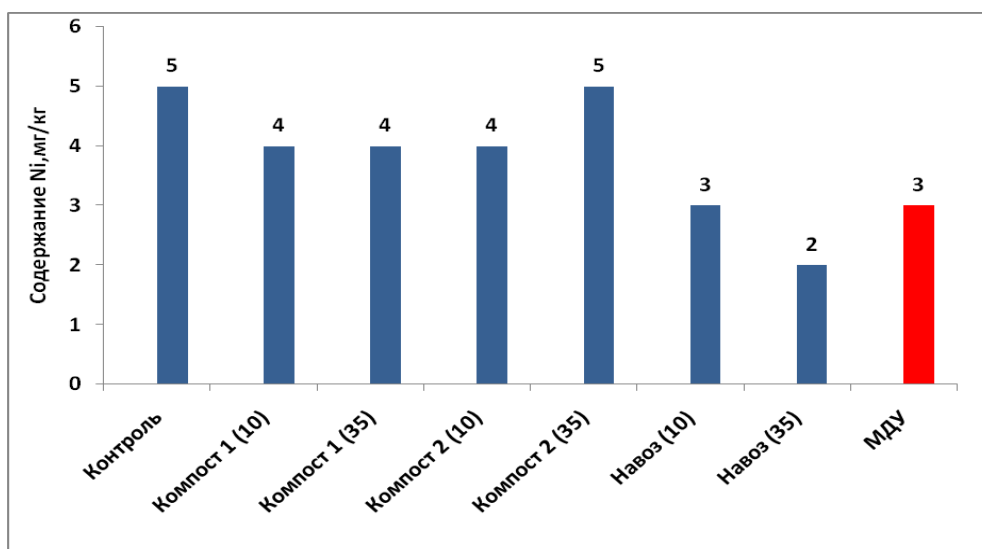


Рис. 5. Содержание никеля в многолетних травах в зависимости от органических удобрений и их доз. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

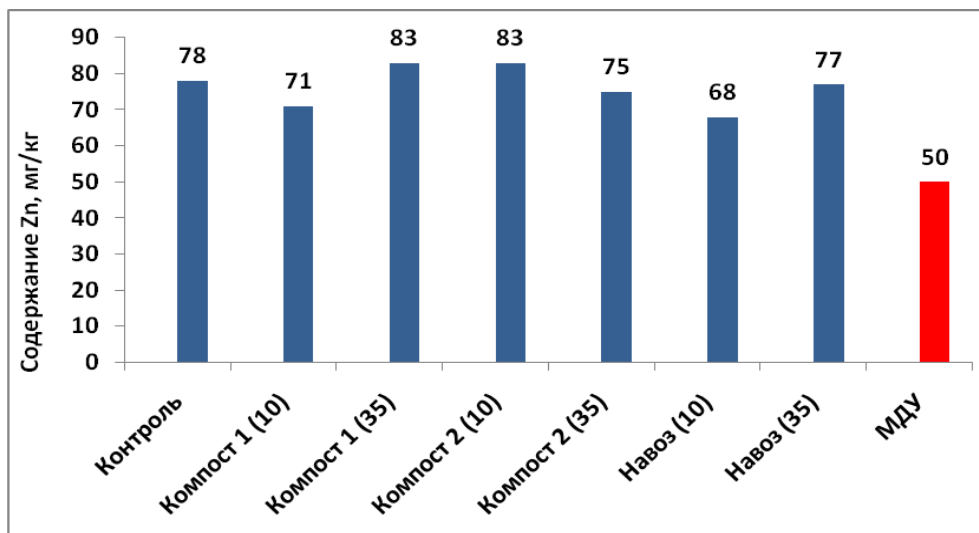


Рис. 6. Содержание цинка в многолетних травах в зависимости от органических удобрений и их доз. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

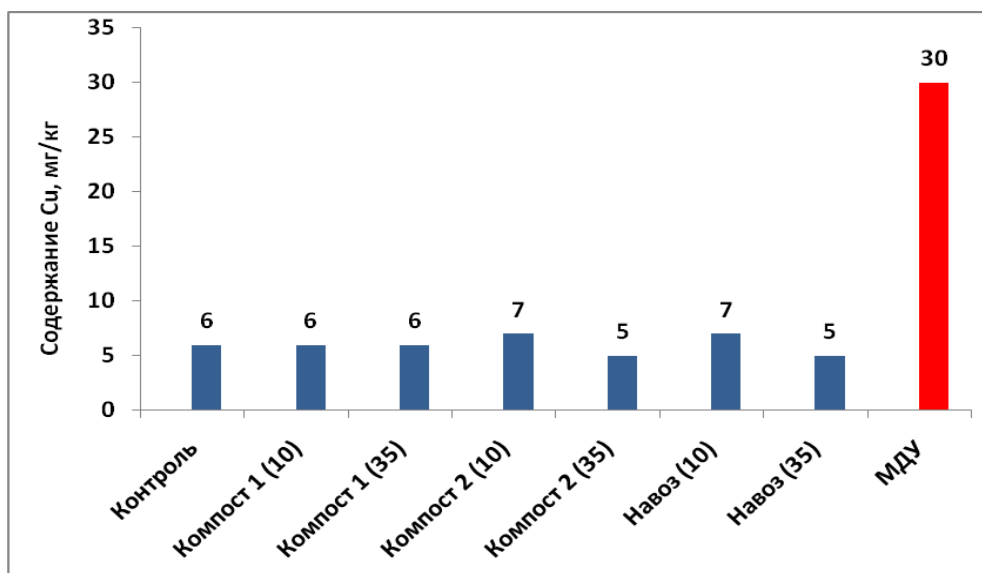


Рис. 7. Содержание меди в многолетних травах в зависимости от органических удобрений и их доз. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

Не отмечено существенного накопления цинка и меди в травах в вариантах органических удобрений по отношению к контролю, а содержание никеля (вариант с компостом 2) при этом было ниже или равнялось контрольному. При этом обращают на себя внимание более высокие значения Ni в растительной массе в вариантах компостов и на контроле по отношению к максимально допустимому уровню (3 мг/кг), что, очевидно, было связано со спецификой почвы опытной станции.

Превышения в содержании элемента в растениях по отношению к МДУ наблюдались и по цинку. При этом из литературных данных следует, что концентрации цинка в растениях находятся в интервале от 15 до 150 мг/кг сухого вещества [9]. Содержание меди в травах практически не зависело от применяемых в опыте органических удобрений и было в 4-6 раз ниже МДУ.

На основании изложенного можно сделать заключение, что применение удобрений в виде компостов из осадков сточных вод разных сроков хранения в последствии позволило получать травяные корма, отвечающие МДУ по содержанию тяжелых металлов. Исключение составляли никель и цинк, содержание которых в растениях было близким к контролю, что связано, очевидно, с особенностью почвы опытной станции, где проводился полевой эксперимент.

Содержание металлов в почве также изучалось в данной работе. По результатам исследований, применение компостов из осадков в начале опыта, в первый год последствия, несколько повышало содержание кадмия в почве, особенно при внесении высоких доз (от 1,5 мг/кг на контроле до 1,6-1,7 мг/кг в случае компостов), в то время как навоз оказывал противоположное влияние, т.е. снижал этот показатель. В последующие годы содержание кадмия в почве во всех вариантах удобрений находилось на уровне контроля (без удобрений). Содержание меди и цинка в почве от применения всех видов органических удобрений, включая навоз, как правило, увеличивалось, особенно при внесении компостов, причем тем интенсивнее, чем выше была доза компоста.

Важно указать, что содержание тяжелых металлов в почве во всех вариантах опыта было ниже ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) [6]. Исключение составлял только никель, превышение ОДК по которому наблюдалось в варианте высокой дозы компоста из осадка длительного срока хранения в первый и восьмой годы последствия.

Изменение показателя суммарного элементного загрязнения почвы (Z_c), рассчитанного по таким элементам, как Cd, Ni, Pb, Cu, Zn, приведено на рис. 8.

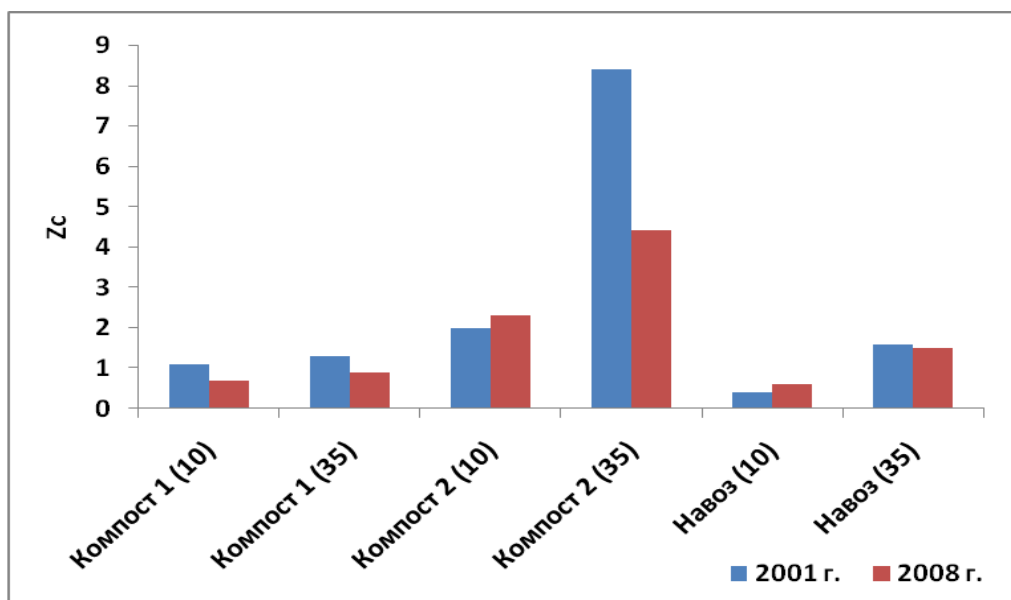


Рис. 8. Суммарное элементное загрязнение дерново-подзолистой почвы при использовании различных вариантов удобрений. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

Данные рис. 8 свидетельствуют о том, что почва во всех вариантах удобрений может быть отнесена к категории почв слабого загрязнения:

колебания Z_c составили в 2001 г. от 0,4 до 8,4, а в 2008 г. от 0,5 до 4,4) при существующем нормативе, равном 16 [7]. Наименьшее загрязнение почвы наблюдалось при внесении навоза в дозе 10 т/га (Z_c 0,4-0,6), наибольшее – в варианте компоста 2 (из осадка с иловых площадок) (Z_c 4,4-8,4) (рис. 8). При внесении компостов из осадков к восьмому году их последействия показатель суммарного элементного загрязнения почвы, как правило, снижался.

Кроме того, изучали изменение содержания гумуса в почве и эмиссию диоксида углерода в зависимости от вида удобрений.

Согласно полученным данным (табл. 2), содержание органического углерода в почве по сравнению с контролем повышалось в результате внесения высоких доз всех применяемых органических удобрений в год действия и в годы последействия. На десятом году последействия удобрений по сравнению с годом их внесения во всех вариантах достигался бездефицитный баланс гумуса в почве. Эта же закономерность отмечалась и в контрольном варианте. Исключение составляли данные по содержанию гумуса в почве, полученные в конце опыта, когда варианты с высокими дозами компостов не имели преимущества перед вариантами с низкими их дозами.

Таблица 2. Влияние компостов из осадков сточных вод на динамику содержания гумуса в почве, % С

Вариант опыта (доза, т/га сухого вещества)	2000 г., действие	Год последействия		
		2005	2010	2016
Контроль	0,7	0,7	1,0	0,7
Компост 1 (10)	0,7	0,6	0,9	0,8
Компост 1 (35)	0,8	1,0	0,9	0,7
Компост 2 (10)	0,7	0,7	0,9	0,8
Компост 2 (35)	0,8	0,8	0,9	0,7
Навоз (10)	0,8	0,9	0,9	0,8
Навоз (35)	0,9	1,0	1,0	0,8

Эмиссия диоксида углерода из почвы в атмосферу, определенная в 2017 г., в период с характерной для данного года прохладной погодой в вариантах испытываемых удобрений мало отличалась от контроля (рис. 9).

Более высокие значения эмиссии диоксида углерода были отмечены при последействии компоста из осадка сточных вод с иловых площадок Курьяновской станции аэрации (компост 2) в высокой дозе - 35 т/га, а также навоза в той же дозе, что свидетельствует об отсутствии негативного воздействия высоких доз компостов на экологическое состояние дерново-подзолистой почвы.

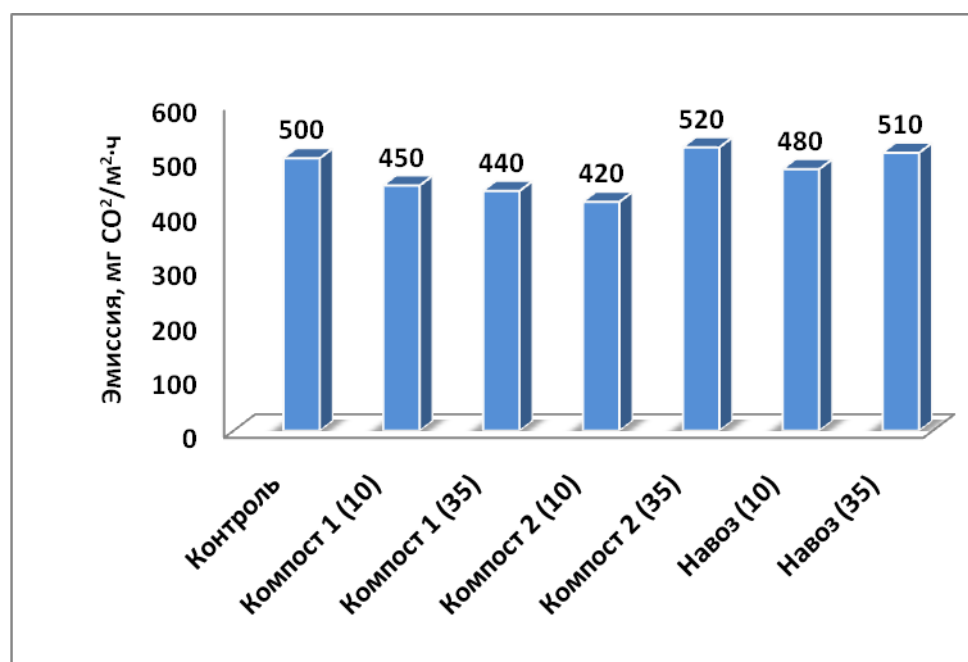


Рис. 9. Эмиссия диоксида углерода из почвы по вариантам опыта. В скобках приведена доза – 10 или 35 т/га сухого вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с целью решения проблемы утилизации муниципальных отходов проведены исследования по сравнительному изучению в полевом опыте длительного последствия компостов на основе осадков промышленно-бытовых сточных вод г. Москвы и традиционного органического удобрения – навоза. Изучено влияние этих удобрений на экологическое состояние дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы и санитарно-гигиенические показатели выращиваемых на ней многолетних трав. Результаты исследований показывают, что применение новых нетрадиционных видов органических удобрений при соблюдении мониторинга состояния почвы и растений является эффективным агроприемом, позволяющим повысить урожайность и качество многолетних трав и значительно сократить дефицит питательных веществ в земледелии. Экологически безопасная доза компостов из осадков сточных вод и древесных отходов под многолетние злаковые травы (в частности, под ежу сборную сорта ВИК 61), без риска загрязнения почвы и растительной продукции тяжелыми металлами составляет 10 т/га, что согласуется с отечественными нормативами [10].

Список литературы:

1. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре. Под ред. З.Н. Милащенко. М.: Агроконсалт, 2002.
2. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (информационно-аналитический справочник). Под ред. А.И. Еськова. Владимир: ВНИПТИОУ, 2006.
3. Еськов А.И., Новиков М.Н., Лукин С.М. и др. Справочная книга по производству и применению органических удобрений. Владимир: ВНИПТИОУ, 2001.
4. Храменков С.В., Загорский В.А., Данилович Д.А. // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. Часть 1. № 12. С. 7.

5. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001.
 6. Предельно допустимые концентрации и ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.
 7. Методические и организационные основы проведения агроэкологического мониторинга в интенсивном земледелии (на базе Географической сети опытов). М.: ВИУА, 1991.
 8. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных. Утвержден Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 07.08.87 г.
 9. *Минеев В.Г.* Агрохимия и биосфера. М.: Колос, 1984.
 10. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.7.573-96.
-

TRANSFORMATION OF TOXIC WASTEWATER SEDIMENTS INTO ENVIRONMENTALLY FRIENDLY FERTILIZERS

G. E. Merzlaya and R. A. Afanas'ev

Federal State Budget Scientific Institution “Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry”, Moscow, Russia, *e-mail: lab.organic@mail.ru

Received February 1, 2018

Abstract – The results of research on transforming Moscow city industrial-municipal wastewater sediments into novel environmentally friendly fertilizers are presented. A comparative study examining efficiency of long-term use of the composts prepared by mixing sewage sludge with wood shavings was performed in field experiment between 2000 and 2017 at two levels of doses in comparison to the results for the traditional organic fertilizer – barnyard manure. The use of composts resulted in an increase of crop yield for perennial grasses with an average increment in the range of 13 to 60% relative to blank experiment over the years of research, in dose-dependent manner. An environmentally safe dose of applying new fertilizer based on sewage sludge was found to be 10 t/ha of dry weight for perennial grasses, the dose provided avoiding risk of soil and plants' contamination with heavy metals.

Keywords: utilization, composts based on industrial-municipal wastewater sediments, perennial grasses, crop yield, soil, heavy metals, permissible level, fertilizers.