

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», Москва, Россия

*e-mail: lab.organic@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2017 г.

Проблема утилизации постоянно накапливающихся осадков городских сточных вод может быть решена путем создания на их основе органоминеральных гранулированных удобрений. Приведены результаты исследований по определению действия и последствий осадков городских сточных вод и компостов на их основе в звене полевого севооборота сельскохозяйственных культур: лен-долгунец, картофель, ячмень. Показана эффективность предложенного приема: применение компоста и органоминерального удобрения обеспечило повышение продуктивности всех культур севооборота на 16-25% по отношению к контролю. Нормированное применение удобрений из осадков городских сточных вод не привело к повышению содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве и в растительной продукции сверх допустимых уровней.

Ключевые слова: компосты на основе осадка сточных вод, органоминеральное удобрение, тяжелые металлы, полевые культуры, почва, растения.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация населения во всем мире приводит к постоянному накоплению огромных масс органических отходов, в том числе коммунальных, в виде осадков сточных вод, которые практически нигде не используются и исключены из биологического круговорота веществ в земледелии [1-3].

К основным методам утилизации осадков городских сточных вод относятся сжигание, захоронение и использование для удобрений. Термические методы переработки осадков от общего количества составляют в европейских странах от 20 до 40%. В России термическая переработка осадков используется в небольших объемах, но распространены такие способы их утилизации, как захоронение или депонирование, а также размещение на иловых площадках [4]. Согласно накопленному опыту, утилизация осадков с помощью термических методов не позволяет сохранять для агрикультуры содержащиеся в них органические вещества, в связи с чем наиболее эффективным и экологически безопасным следует считать их сельскохозяйственное использование, естественно с соблюдением соответствующих экологических регламентов. При этом проблема утилизации осадков сточных вод может быть в значительной мере решена путем создания на основе этих отходов ценных в агрономическом

отношении удобрений путем ферментации, а также снижения влажности массы, дополнения минеральными удобрениями и грануляции. В результате резкого снижения влажности переработанных отходов становится возможной их транспортировка на дальние расстояния. В процессе переработки отходов уничтожается патогенная микрофлора и другие болезнетворные организмы, что было показано в комплексной работе российских, немецких и польских ученых [5], а при использовании минеральных добавок оптимизируется химический состав удобрений в соответствии с требованиями сельскохозяйственных растений [6-7].

В связи с недостаточной изученностью указанной выше проблемы цель настоящей работы заключалась в установлении целесообразности эффективной и экологически безопасной утилизации продуктов из осадков городских сточных вод в агропроизводстве с учетом оптимизации их доз, способов внесения и сочетаний с минеральными удобрениями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Испытание эффективности удобрений на основе осадков сточных вод проводили в полевом опыте на дерново-подзолистой почве в Вологодской области совместно с ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина» и ГЦАС «Вологодский» [8, 9].

В таблице 1 приведена схема опыта, состоящая из контроля и шести вариантов удобрения почвы.

Таблица 1. Схема опыта. Варианты удобрения, использованные в экспериментальных полевых условиях

№	Название варианта
1	Контроль без удобрений
2	Компост 2 т/га
3	Компост 4 т/га
4	Компост 6 т/га,
5	Минеральные удобрения (NPK), эквивалентно 4 т/га компоста
6	Компост 2 т/га + минеральные удобрения (NPK), эквивалентно 2 т/га компоста
7	Органоминеральное удобрение (ОМУГ), 4 т/га

Таким образом, в схему опыта были включены варианты, отражающие различные системы удобрения: варианты 2 - 4 – органическая система, вариант 5 - минеральная система, вариант 6 – органоминеральная система, а также вариант 7, где внесен ОМУГ (органоминеральное гранулированное удобрение). Варианты 5 и 6 по содержанию питательных веществ эквивалентны варианту 3.

Компост был произведен на основе осадка сточных вод г. Вологды и торфа на очистных сооружениях «Вологдагорводоканал» в соотношении 1 : 1. Органоминеральное гранулированное удобрение - ОМУГ создано на основе

обезвоженного осадка сточных вод в ЗАО «Гвин Трейдинг Компани», произведено в виде гранул размером 14 x 20 мм.

Методы исследований

Полевой опыт проводили в звене полевого севооборота: лен – долгунец раннеспелого сорта Зарянка, картофель среднераннего сорта Елизавета – ячмень Отра.

Повторность опыта трехкратная. Размещение вариантов систематическое. Опыт заложен на 3 полях, последовательно введенных в 2010, 2011, 2012 гг.

Почва опытного участка дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая, в слое 0-20 см содержала гумуса 3,9%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 230 и 113 мг/кг, pH_{kcl} – 5,3, N_T – 3,3 мг-экв./100 г, Cu – 5,2 мг/кг, Zn – 24,7, Pb – 9,1, Cd – 0,48, Mn – 277, Ni – 9,9, Cr – 11,1, As – 1,3, Hg – 0,023, Co – 5,7 мг/кг сухой почвы.

Химический состав и содержание токсичных элементов в удобрениях, применяемых в опыте, представлен в таблицах 2 и 3. Результаты анализа состава удобрений по обеспеченности питательными веществами подтверждают их высокую удобрительную ценность. В сухом веществе компост содержал 66,8% органического вещества, 1,9% общего азота, 0,8% общего фосфора, 0,3% общего калия при нейтральной реакции среды. Органоминеральное удобрение – ОМУГ - характеризовалось нейтральной реакцией среды, содержало в 1 т 225 кг органического вещества, 48 кг NPK. Содержание токсичных элементов во всех применяемых в опыте удобрениях было ниже норм, установленных в России (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001) для осадков сточных вод при их использовании на удобрения.

Таблица 2. Химический состав удобрений, в среднем за годы исследований (2010-2012 гг.)

Удобрение	Зольность, %	рН	Массовая доля, % на сухое вещество			
			органическое вещество	общий азот	общий фосфор	Общий калий
Торф	20,0	4,6	80,0	1,9	0,1	0,1
Осадок сточных вод	37,0	6,5	63,0	2,6	1,6	1,7
Компост (осадок + торф)	33,2	6,3	66,8	1,9	0,8	0,3
ОМУГ	77,5	7,5	22,5	2,8	3,1	2,5
Нормативы (ГОСТ Р 17.4.3.-07-2001)	не норм.	5,5-8,5	не менее 20	не менее 0,6	не менее 1,5	не норм.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов и мышьяка (валовые формы) в удобрениях, в среднем за годы исследований (2010-2011 гг.), мг/кг сухого вещества

Удобрение	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Mn	Co	Hg	As
Торф	8	19	4	0,6	6	4	144	2	0,05	2
Осадок сточных вод	107	406	28,0	1,44	20,4	38	123	5	0,32	1
Компост (осадок + торф)	45	140	14,3	1,06	13,4	12	217	4	0,11	1
ОМУГ	406	1584	69,8	14,6	34,1	236	701	7	1,40	3
Нормативы (ГОСТ Р 17.4.3.-07-2001), не более	750	1750	250	15	200	500	не норм.	не норм.	7,5	10

Удобрения были внесены в почву под лен-долгунец. При возделывании последующих культур звена – картофеля и ячменя – испытывалось их последствие.

Опыты были заложены и проведены согласно общепринятым отечественным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно проведенным исследованиям (табл. 4), продуктивность звена полевого севооборота: лен-долгунец – картофель - ячмень - за годы опыта в среднем по трем полям максимальных значений достигала при внесении высокой дозы компоста и органоминерального удобрения, где ежегодный сбор зерновых единиц с 1 га составил соответственно 29,9 и 32,2 ц, что превышало данные для контроля без удобрений, соответственно, на 16 и 25%.

Таблица 4. Продуктивность сельскохозяйственных культур в звене полевого севооборота

Варианты опыта	Продуктивность, ц з.е. ¹	Прибавка	
		ц з.е./га	%
Лен-долгунец			
1. Контроль	13,6	-	-
2. Компост 2 т/га	14,6	1,0	7
3. Компост 4 т/га	15,8	2,2	10
4. Компост 6 т/га	17,0	3,4	25
5. NPK, эквивалентно 4 т/га компоста	15,4	1,8	13
6. Компост 2 т/га + NPK, эквивалентно 2 т/га компоста	17,1	3,5	26
7. ОМУГ- 4 т/га.	18,8	5,2	38
НСР ₀₅ ²	0,9		
Картофель			
1. Контроль	46,8	-	-
2. Компост 2 т/га	48,8	2,0	4
3. Компост 4 т/га	49,5	2,7	6

4. Компост 6 т/га	53,3	6,5	14
5. NPK, эквивалентно 4 т/га компоста	48,5	1,7	4
6. Компост 2 т/га + NPK, эквивалентно 2 т/га компоста	50,3	3,5	7
7. ОМУГ- 4 т/га.	56,0	9,2	20
НСР ₀₅	2,1		
Ячмень			
1. Контроль	17,1	-	-
2. Компост 2 т/га	17,8	0,7	4
3. Компост 4 т/га	18,5	1,4	8
4. Компост 6 т/га	19,3	2,2	13
5. NPK, эквивалентно 4 т/га компоста	17,5	0,4	2
6. Компост 2 т/га + NPK, эквивалентно 2 т/га компоста	18,1	1,0	6
7. ОМУГ- 4 т/га.	21,8	4,7	27
НСР ₀₅	2,1		
Продуктивность звена севооборота, в среднем за год			
1. Контроль	25,8	-	-
2. Компост 2 т/га	27,1	1,3	5
3. Компост 4 т/га	27,9	2,1	8
4. Компост 6 т/га	29,9	4,1	16
5. NPK, эквивалентно 4 т/га компоста	27,1	1,3	5
6. Компост 2 т/га + NPK, эквивалентно 2 т/га компоста	28,5	2,47	10
7. ОМУГ- 4 т/га.	32,2	6,4	25
НСР ₀₅	1,8		

Примечания:¹ ц з.е. – центнер зерновых единиц; ² НСР₀₅ – наименьшая существенная разность

Среднее положение занимал вариант органоминеральной системы (компост 2 т/га + NPK, эквивалентно 2 т/га компоста), продуктивность звена в котором находилась на уровне 28,5 ц/га зерновых единиц и в котором была получена достоверная прибавка по отношению к контролю.

Неэффективным, по данным в среднем за 3 года эксперимента, оказалось применение минеральных удобрений (вариант 5) и низкой дозы (2 т/га) компоста на основе осадка сточных вод (вариант 2).

При анализе влияния различных удобрений из осадка сточных вод на продуктивность сельскохозяйственных культур по отдельным годам опыта (рис. 1) было установлено, что наибольший эффект был достигнут при возделывании первой культуры звена севооборота - льна-долгунца - в варианте применения гранулированного органоминерального удобрения - ОМУГ, где прибавка урожая составляла 38%.

В первый год последействия ОМУГ, когда возделывали картофель, была получена достоверная прибавка урожая, но в процентном отношении она снизилась (до 20%), хотя была более высокой, чем в других вариантах опыта. На второй год последействия при возделывании ячменя ОМУГ также давал существенную прибавку урожая - 27%.

Последствие компоста в большей мере проявлялось при внесении высокой дозы – 6 т/га. В то же время от применения одних минеральных удобрений оно было очень слабым.

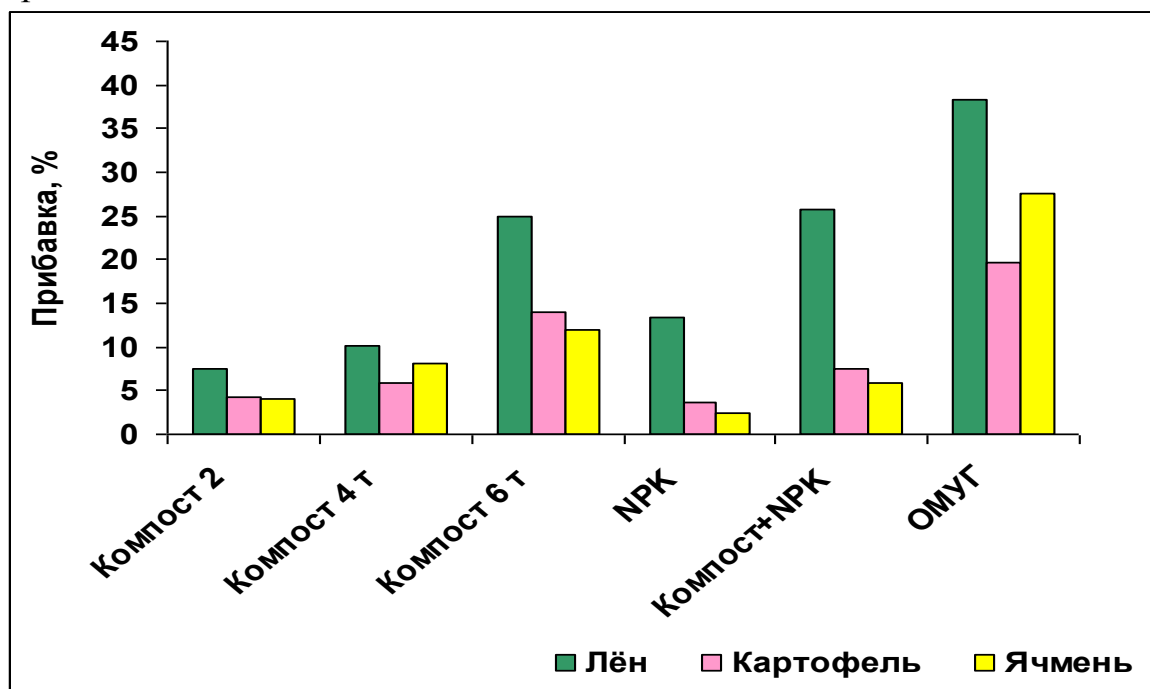


Рис. 1. Прибавки урожая культур звена полевого севооборота в зависимости от варианта удобрений.

Принимая во внимание, что сельскохозяйственное использование осадков сточных вод связано с возможными рисками загрязнения поллютантами окружающей среды, а также продукции растениеводства, в исследованиях уделялось внимание изучению качества выращиваемой растительной продукции, в частности, изменению в ней под влиянием удобрений содержания тяжелых металлов (табл. 5).

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растительной продукции в зависимости от вариантов удобрений, мг/кг сухого вещества

Варианты опыта	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Mn	Co	Hg	As
Лен-долгунец, солома										
1. Контроль	1,9	18,4	0,5	0,28	0,50	0,6	19,2	0,1	0,01	0,08
2. Компост 2 т/га	1,7	17,8	0,6	0,26	0,39	0,5	18,0	0,1	0,01	0,13
3. Компост 4 т/га	1,8	16,4	0,5	0,23	0,46	0,5	16,8	0,1	0,01	0,07
4. Компост 6 т/га	1,7	14,7	0,7	0,24	0,56	0,6	15,7	0,1	0,01	0,13
5. НРК, экв. 4 т/га компоста	1,7	14,8	0,6	0,25	0,42	0,5	17,1	0,1	0,01	0,08
6. Компост 2 т/га + НРК	1,5	13,2	0,6	0,20	0,39	0,7	15,8	0,1	0,01	0,11
7. ОМУГ- 4 т/га	1,7	14,0	0,5	0,25	0,39	0,8	18,5	0,2	0,01	0,06
Лен-долгунец, семена										
1. Контроль	9,2	42,1	0,9	0,13	0,79	0,4	15,5	0,2	0,01	0,05
2. Компост 2 т/га	6,4	35,9	0,7	0,09	0,58	0,3	13,2	0,1	0,01	0,07

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ

3. Компост 4 т/га	10,6	44,4	0,9	0,11	0,74	0,3	13,7	0,2	0,01	0,06
4. Компост 6 т/га	10,0	47,9	1,1	0,13	0,86	0,4	20,7	0,1	0,01	0,05
5. NPK, экв. 4 т/га компоста	7,1	48,3	1,0	0,14	1,04	0,4	16,9	0,1	0,01	0,1
6. Компост 2 т/га + NPK	5,6	35,3	0,7	0,10	0,81	0,2	18,5	0,2	0,01	0,05
7. ОМУГ- 4 т/га	8,9	41,9	0,7	0,13	1,14	0,3	15,3	0,1	0,01	0,04
МДУ 123-4/281-87	30,0	50,0	5,0	0,3	3,0	0,5	-	1,0	0,05	0,5
Картофель, клубни										
1. Контроль	1,4	7,1	0,4	0,03	0,21	0,15	4,2	0,1	0,01	0,02
2. Компост 2 т/га	1,2	7,5	0,3	0,03	0,16	0,12	4,4	0,05	0,01	0,03
3. Компост 4 т/га	1,2	7,5	0,3	0,02	0,22	0,14	5,0	0,04	0,01	0,02
4. Компост 6 т/га	1,2	5,8	0,3	0,02	0,09	0,16	4,6	0,04	0,01	0,02
5. NPK, экв. 4 т/га компоста	1,4	8,2	0,3	0,02	0,18	0,18	6,5	0,03	0,01	0,02
6. Компост 2 т/га + NPK	1,1	6,6	0,4	0,02	0,20	0,17	5,5	0,05	0,01	0,02
7. ОМУГ- 4 т/га	1,2	8,4	0,3	0,03	0,25	0,13	4,5	0,05	0,01	0,02
МДУ 123-4/281-87	30	50	5,0	0,30	3,0	0,5	-	1,0	0,05	0,5
СанПиН 2.3.2.1078-01			0,5	0,03					0,02	0,2
Ячмень, зерно										
1. Контроль	2,8	18,1	0,1	0,02	0,24	0,43	2,1	0,1	0,01	0,02
2. Компост 2 т/га	2,9	29,0	0,1	0,02	0,17	0,36	2,6	0,1	0,004	0,02
3. Компост 4 т/га	2,4	16,0	0,1	0,01	0,13	0,23	2,0	0,05	0,004	0,02
4. Компост 6 т/га	3,2	23,2	0,1	0,02	0,25	0,26	2,6	0,06	0,004	0,02
5. NPK, экв. 4 т/га компоста	3,0	26,1	0,1	0,02	0,22	0,32	2,5	0,06	0,004	0,03
6. Компост 2 т/га + NPK	3,4	23,3	0,1	0,02	0,19	0,36	3,3	0,7	0,004	0,02
7. ОМУГ- 4 т/га	2,4	21,5	0,1	0,03	0,21	0,29	3,1	0,1	0,004	0,02
СанПиН 2.3.2.1078-01			0,5	0,1					0,03	0,2
Ячмень, солома										
1. Контроль	2,2	10,0	0,3	0,02	0,27	0,37	9,3	0,2	0,005	0,02
2. Компост 2 т/га	2,1	11,4	0,2	0,02	0,16	0,28	6,4	0,2	0,004	0,02
3. Компост 4 т/га	1,8	8,9	0,2	0,03	0,24	0,37	6,6	0,1	0,004	0,02
4. Компост 6 т/га	1,2	6,3	0,1	0,02	0,18	0,19	6,8	0,1	0,004	0,02
5. NPK, экв. 4 т/га компоста	1,3	6,0	0,2	0,02	0,24	0,42	5,3	0,1	0,004	0,02
6. Компост 2 т/га + NPK	1,6	8,8	0,2	0,02	0,23	0,34	7,5	0,1	0,004	0,01
7. ОМУГ- 4 т/га	2,1	12,2	0,2	0,02	0,22	0,37	9,1	0,1	0,004	0,02
МДУ 123-4/281-87	30,0	50,0	5,0	0,30	3,0	0,5	-	1,0	0,05	0,5

Анализ содержания токсических веществ в соломе льна-долгунца в среднем за годы исследований показал, что внесение компоста, особенно в

повышенной дозе (6 т/га) несколько увеличивало количество свинца и мышьяка.

В клубнях картофеля содержание тяжелых металлов в вариантах удобрений было на уровне контроля или даже ниже контрольных значений. Такая же закономерность в содержании тяжелых металлов в зависимости от применяемых удобрений наблюдалась и при выращивании зерна ярового ячменя.

Компосты на основе осадков сточных вод и ОМУГ оказывали большое влияние на агрохимические свойства почвы. В конце опыта увеличивалось содержание подвижного фосфора в вариантах с компостами в дозах 4 и 6 т/га, а также при внесении ОМУГ. В то же время содержание подвижного калия в почве снижалось во всех вариантах опыта, что было связано с низкой обеспеченностью калием осадка. Исключение в этом отношении составил только вариант с ОМУГ, при производстве которого в качестве добавки были использованы калийные удобрения (5% д.в.).

Применение удобрений на основе осадков сточных вод не вызывало загрязнения тяжелыми металлами (кадмием, свинцом) и мышьяком дерново-подзолистой почвы, о чем свидетельствуют данные о валовом их содержании, полученные в конце звена севооборота после уборки завершающей культуры ярового ячменя (рис. 2). Во всех вариантах опыта не было превышения ПДК (ОДК) исследуемых элементов для дерново-подзолистых суглинистых почв, а величина показателя суммарного загрязнения почвы находилась значительно ниже допустимого уровня. Полученные результаты вполне согласуются с другими отечественными работами по изучению действия осадков в системе: почва-растение [6, 7].

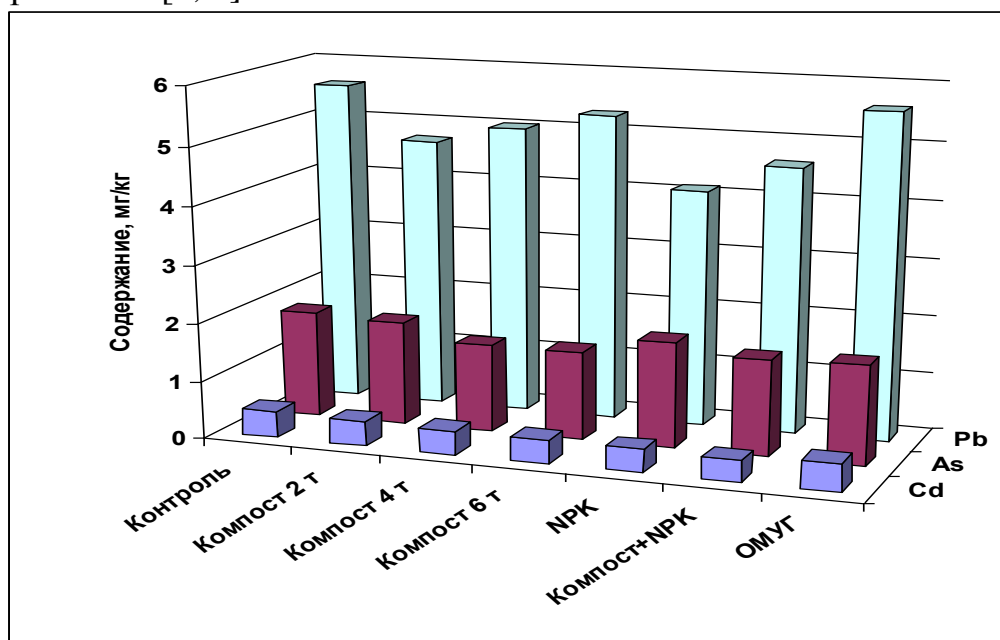


Рис. 2. Влияние варианта удобрений на содержание кадмия, свинца и мышьяка в почве.

В целом следует отметить, что использование всех изучаемых удобрений, производимых из осадков сточных вод, существенно не влияло на повышение

содержания поллютантов в растительной продукции и в почве, а наблюдаемые колебания этих показателей по вариантам в основном были обусловлены пестротой почвенного плодородия.

ВЫВОДЫ

1. Применение в сельском хозяйстве осадков городских сточных вод после переработки их в компосты с торфом и органоминеральные гранулированные удобрения является эффективным приемом, позволяющим в значительной мере решить проблему утилизации этих отходов.

2. При изучении эффективности удобрений на основе осадков сточных вод в полевом опыте на дерново-подзолистой почве наилучшие результаты были получены при применении компоста из осадков сточных вод и торфа в дозе 6 т/га, а также органоминерального удобрения - ОМУГ - в дозе 4 т/га, обеспечивших достоверное по отношению к контролю повышение урожайности льна-долгунца и последующих двух культур звена севооборота - картофеля и ячменя. При этом продуктивность звена севооборота в среднем за год составляла соответственно 3 и 3,2 т/га зерновых единиц, а прибавка к контролю без внесения удобрений достигала 16 и 25%.

3. Нормированное применение удобрений на основе осадка городских сточных вод как в действии, так и в последствии не повышало содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве и в растительной продукции сверх их допустимого уровня.

Список литературы:

1. *Державин Л.М., Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е.* Методология комплексного применения удобрений и пестицидов в интенсивном земледелии. М.: ВНИИА, 2016. 344 с.
2. Концепция развития и агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации на период до 2010 года / Под ред. Г.А. Романенко. М.: ВНИИА, 2005. 80 с.
3. *Кук Д.У.* Системы удобрения для получения максимальных урожаев. М.: Колос, 1975. 416 с.
4. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России: информационно-аналитический справочник / Под ред. А.И. Еськова. Владимир: ВНИИОУ, 2006. 200 с.
5. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрокультуре / Под ред. Н.З. Милащенко. М.: Агроконсалт, 2002. 140 с.
6. *Пахненко Е.Н.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 311 с.
7. Экологически безопасные методы использования отходов: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. 554 с.
8. *Байбеков Р.Ф., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А., Власова О.В., Ханова Н.А.* // Плодородие. 2013. № 5. С. 33.
9. *Власова О.А.* Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2014.

SOLUTION TO PROBLEM OF URBAN SEWAGE SLUDGE UTILIZATION

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 March 12, 2017

Abstract - The problem of recycling the constantly accumulating sludges of municipal sewage can be solved by creating on their basis organomineral granular fertilizers. The results of research are presented regarding determination of the effect and aftereffect of municipal sewage sludge and composts on their basis in relation to field crop rotation of agricultural crops, i.e. fiber flax, potatoes, barley. The effectiveness of the proposed method is confirmed by the fact that using the prepared compost and organomineral fertilizer has ensured an increase in the productivity of all crops of crop rotation by 16-25%, compared to the control. The normalized usage of fertilizers based on urban sewage sludge did not cause an exceeding the content of heavy metals and arsenic both in soil and in plant products, over the permissible levels.

Keywords: fertilizers based on sewage sludge, organomineral fertilizer, heavy metals, field crops, soil, plants.