

---

# АГРОХИМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ УДОБРЕНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ

## AGROCHEMICAL AND ECOLOGICAL FEATURES OF USING OF URBAN SEWAGE SLUDGE FOR FERTILIZING AGRO-ECOSYSTEMS

*Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев*

*Merzlaya G.E., Afanas'ev R.A.*

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

Применение удобрений на основе осадков сточных вод обеспечивало достоверное повышение продуктивности агроценозов. При оптимизации доз удобрений растительная продукция - льносолома, льносемена, клубни картофеля соответствовала гигиеническим нормативам России по содержанию в ней тяжелых металлов и мышьяка. Поступление тяжелых металлов и мышьяка в почву с удобрениями не оказывало негативного влияния на ее экологическое состояние.

*Ключевые слова:* удобрения на основе осадков сточных вод, дозы внесения, почва, урожайность, качество растительной продукции.

Applying fertilizers based on sewage sludge has ensured a statistically reliable increase in the productivity of agro-ecosystems. When optimizing doses of fertilizers, vegetation products, i.e. flax straw, flax seeds, potato tubers, etc. met hygienic standards of Russia, in respect of the content of heavy metals and arsenic. Thus, heavy metals and arsenic intake by soil together with fertilizers did not cause an adverse impact on ecological soil status.

*Keywords:* fertilizers based on sewage sludge, application doses, soil, yield, quality of crop products.

### **Введение**

Урбанизация населения сопровождается накоплением огромных количеств отходов, включая осадки сточных вод, которые, как правило, не используются и являются источником загрязнения окружающей среды, а содержащиеся в них элементы исключаются из хозяйственно-биологического круговорота. По расчетам специалистов, в России ежегодный выход осадков, образуемых при очистке сточных вод, достигает 3,5 млн. т с содержанием более 120 тыс. т основных питательных веществ, полезных для растений [1]. Одним из ограничивающих факторов широкого применения осадков в сельском хозяйстве считается возможное загрязнение почв и растительной продукции содержащимися в них в повышенных концентрациях различными поллютантами, в первую очередь тяжелыми металлами. В то же время, по данным отечественных и зарубежных исследователей, нормированное внесение осадков в почву не представляет химической и экологической опасности для почв и растений [2, 3]. Это положение подтверждается также работами по изучению действия осадков

сточных вод в системе почва-растение, проведенными Всероссийским научно-исследовательским институтом агрохимии имени Д.Н. Прянишникова совместно с Вологодской государственной молочно-хозяйственной академией и Государственным центром агрохимической службы «Вологодский», а также другими научными учреждениями, результаты которых приводятся ниже.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились на дерново-подзолистых почвах в Московской и Вологодской областях. В Московской области (п. Барыбино) выполнялся микрополевой опыт под сеткой в сосудах без дна. Изучали два вида компостов из осадков сточных вод г. Москвы и древесных опилок в количестве 10% по сухой массе. Осадки, используемые для приготовления компостов, различались сроками хранения. Компост 1 готовили из осадка, поступающего непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации, компост 2 - из осадка после 10 лет размещения его на иловых площадках. Для сравнения в схему опыта введены варианты с подсти-

лочным навозом крупного рогатого скота. Все органические удобрения были внесены в почву в двух дозах - 10 и 35 т/га сухого вещества.

Компост, который готовили из осадка длительного срока хранения, был в большей степени загрязнен тяжелыми металлами, чем компост из осадка, поступающего непосредственно с фильтр-прессов станции аэрации (рис. 1).

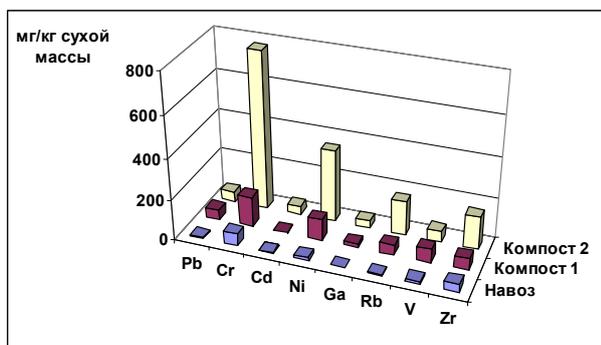


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в удобрениях.

Компосты из осадков различных сроков хранения, используемые в опыте, характеризуются высокой удобрительной ценностью, содержат 48-52% органического вещества, 2-2,1% общего азота, имеют нейтральную реакцию среды.

От навоза компосты отличаются меньшим содержанием органического вещества, азота, калия, но значительно превосходят его по фосфору. Компост на основе осадка с фильтр-прессов по содержанию тяжелых металлов соответствовал нормативам России [4, 5]. 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 2 раза выше, чем в компосте из осадка с фильтр-прессов, и в 10 раз выше, чем в подстилочном навозе.

При закладке опыта был посеян кормовой злак - ежа сборная сорта ВИК 61 под покров ячменя Зазерский 85. Органические удобрения в обеих дозах внесены в почву в 2000 г., в последующие годы изучали их последствие.

В условиях Вологодской области изучали эффективность удобрений на основе осадка сточных вод очистных сооружений «Вологдагорводоканал», а также органоминерального гранулированного удобрения – ОМУГ, созданного ЗАО «Твин трейдинг компани» с использованием осадка сточных вод, азотных и калийных минеральных удобрений. Все удобрения вносили под лен-долгунец Зарянка. Последствие удобрений исследовали при возделывании семенного картофеля сорта Елизавета. Применяемые в опыте удобрения: осадок сточных вод, компост и ОМУГ – по агрохимическим и санитарно-токсикологическим показателям соответствовали требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07- 2001 (табл. 1).

Исследования в опытах выполняли в соответствии с принятыми в агрохимии и растениеводстве методиками [6, 7].

Таблица 1. Агрохимические и санитарно-токсикологические показатели удобрений (содержание в сухом веществе)

Показатель	Единица измерения	Норма по ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 для осадков	Удобрение			
			Осадок сточн. вод	Компост	ОМУГ	
<b>Основные питательные вещества</b>						
Массовая доля общего азота	%	не менее 0,6	2,6	2,0	2,3	
pH солевой суспензии		5,5-8,5	6,5	6,3	7,2	
Массовая доля общего фосфора	%	не менее 1,5	1,6	0,9	2,3	
Массовая доля общего калия	%	не нормируется	1,7	0,3	2,8	
Массовая доля органических веществ	%	не менее 20	63,0	67,0	25,0	
<b>Токсичные элементы</b>						
		Группа осадков		Осадок	Компост	ОМУГ
		I	II			
Цинк	мг/кг	1750	3500	406	146	672
Хром	мг/кг	500	1000	38,0	11,5	110
Кадмий	мг/кг	15	30	1,44	0,92	9,6
Свинец	мг/кг	250	500	28,0	11,0	37
Медь	мг/кг	750	1500	107	42	206
Ртуть	мг/кг	7,5	15	0,32	0,1	71
Марганец	мг/кг	не нормируется		123	173	21
Никель	мг/кг	200	400	20,4	14,4	13-28
Кобальт	мг/кг	не нормируется		4,8	3,9	3,7
Мышьяк	мг/кг	10	20	0,92	0,80	1,8

**Результаты и обсуждение**

Применение компостов из осадков сточных вод г. Москвы в высоких дозах по сравнению с контролем в отличие от вариантов с низкими до-

зами достоверно повышало урожайность многолетних трав (табл. 2), о чем свидетельствуют данные, полученные в среднем за первые 10 лет исследований (2000-2009 гг.).

**Таблица 2.** Урожайность многолетних трав, г кормовых единиц/м<sup>2</sup>

Варианты опыта	В среднем за 10 лет (2000-2009 гг.)	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Контроль, без удобрений	152,1	68	50	83	277
Компост 1, 10 т/га	174,2	67	46	97	187
Компост 1, 35 т/га	245,5+	68	48	93	275
Компост 2, 10 т/га	182,7	62	37	80	353
Компост 2, 35 т/га	213,5+	83+	46	103	431+
Навоз 10 т/га	205,2+	68	49	96	301
Навоз 35 т/га	309,9+	84+	58	146+	315
НСР <sub>05</sub>	48,4	14	20	32	73

Примечание. Знаком «+» отмечены варианты, где получена достоверная прибавка урожая по отношению к контролю

В то же время подстилочный навоз в высокой дозе превосходил по урожайности трав оба компоста в таких же дозах по сухому веществу. Необходимо отметить значимый эффект в последствии высоких доз навоза и компоста из осадка длительного хранения в последующий, 2010-й год (10-й год последствия), отличающийся экстремальным, крайне засушливым вегетационным периодом, а также эффект навоза - в 2012 г. и компоста из осадка длительного срока хранения в 2013 г.

Несмотря на длительное, 12-летнее использование травостоев на сено, в вариантах высоких доз компостов и навоза сохранялась в количестве до 25-30% сеяная ежа сборная. На контроле содержание этого злака в травостое не превышало 10%, а внедрившееся разнотравье занимало около 80%.

Под влиянием навоза и компостов изменялись агрохимические и биологические свойства почвы. В год действия (2000 г.) все органические удобрения заметно улучшали реакцию среды в вариантах высоких доз. Эта закономерность сохранялась и в течение последующих пяти лет. Содержание органического углерода в почве по сравнению с контролем повышалось в результате внесения высоких доз всех органических удобрений как в год действия, так и в годы последствия. На 10-11-й год последствия удобрений по сравнению с годом их внесения во всех вариантах достигался положительный баланс органического вещества в почве. 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. На изменение калийного режима почвы применение компостов с

содержанием калия на порядок ниже, чем в навозе, практически не оказывало влияния.

При определении активности выделения углекислого газа из почвы в 2002 г., т.е. на втором году последствия удобрений, установлены достоверные изменения этого показателя по отношению к контролю в вариантах с внесением высоких доз навоза и обоих видов компостов (рис. 2). При этом в вариантах с высокими дозами компостов эмиссия углекислого газа была больше, чем при внесении аналогичной дозы навоза. Установлена связь эмиссии CO<sub>2</sub> с гумусом почвы (r = 0,87), а также с величиной pH (r = 0,67) и урожайностью трав (r = 0,79).

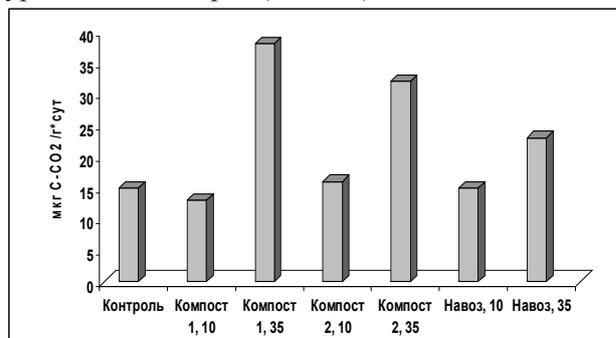


Рис. 2. Эмиссия углекислого газа из почвы.

На основании многолетних исследований в микрополевом опыте можно заключить, что применение органических удобрений, производимых путем ферментации осадков сточных вод с древесными отходами, при оптимизации их доз повышало биологическую активность и плодородие почвы, способствовало продуктивному долголетию многолетних трав. Последствие компостов на основе осадков сточных вод в дозах 10 т/га сухой массы отмечалось в течение одного года, подстилочного 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.

В Вологодской области при изучении действия удобрений на урожайность льносоломы было установлено, что в среднем за 3 года опыта

(2010-2011 гг.) внесение компоста из осадка сточных вод и торфа в низкой дозе - 2 т/га не давало эффекта. В то же время повышение дозы компоста в 2 раза обеспечивало достоверную прибавку урожая льносоломы. Однако дальнейшее увеличение дозы компоста (в 3 раза) оказалось нецелесообразным (табл. 3).

**Таблица 3.** Влияние удобрений на урожайность льносоломы

Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012 г.		В среднем за 3 года		
	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка	
								ц/га	%
Контроль	19,6	-	14,4	-	30,6	-	21,5	-	-
Компост, 2 т/га	20,2	0,6	16,0	1,6	33,1	2,5	23,1	1,6	7
Компост, 4 т/га	20,8	1,2	17,2	2,8	37,1	6,5	25,0	3,5	16
Компост, 6 т/га	22,0	2,4	19,0	4,6	39,2	8,6	26,7	5,2	24
НРК, экв. 4 т/га компоста	20,2	0,6	17,1	2,7	36,0	5,4	24,4	2,9	14
Компост, 2 т/га + НРК, экв. 2 т/га компоста	27,1	7,5	17,9	3,5	35,9	5,3	27,0	5,5	26
Осадок, 4 т/га	25,4	5,8	18,1	3,7	37,6	7,0	27,0	5,5	26
ОМУГ, 4 т/га	29,0	9,4	19,3	4,9	41,0	10,4	29,8	8,3	39
НСР <sub>05</sub>	2,3		2,6		2,4		2,1		

Наибольшая урожайность льносоломы 27-29,8 ц/га и значимые прибавки по отношению к контролю без удобрений на уровне 26-39% были достигнуты при внесении гранулированного органоминерального удобрения ОМУГ в дозе 4 т/га, осадка сточных вод г. Вологды в чистом виде в той же дозе и крмбинации компоста с полным минеральным удобрением в варианте 2 т/га компоста + НРК, эквивалентного 2 т/га компоста.

Применение одних минеральных удобрений в дозах, эквивалентных по сумме НРК 4 т/га компоста, хотя и давало достоверную прибавку урожая льносоломы к контролю, но уступало практически всем вариантам опыта с органическими удобрениями (исключение составил только вариант с низкой дозой компоста – 2 т/га).

На урожайность льносемян при влажности 12% в среднем за 3 года (2010-2012) наибольшее значимое влияние оказывал компост в дозе 6 т/га и ОМУГ, обеспечившие по 3,3-3,4 ц/га семян, или на 43-48% выше контроля, а также органоминеральный вариант (2 т/га компоста + НРК, экв. 2 т/га компоста) и осадок сточных вод в чистом виде в дозе 4 т/га, где сбор семян составлял 3-3,1 ц/га, что на 30-35% превышало контроль (табл. 4).

Важно отметить, что органические удобрения на основе осадков сточных вод г. Вологды и сочетания их с минеральными удобрениями да-

вали значимый эффект не только в действии, но и в последствии, которое в данном полевом опыте изучалось при возделывании семенного картофеля Елизавета.

Так, в среднем за 3 года наиболее высокие прибавки урожая клубней были получены от последствия ОМУГ (37 ц/га, или около 20%), а также от компоста в дозе 6 т/га (26 ц/га, или около 14%) и органоминеральной системы (14 ц/га, или 7,5%).

Согласно результатам химического анализа (рис. 3-5), применение удобрений на основе осадков сточных вод во всех исследуемых вариантах не привело к накоплению поллютантов в растительной продукции. Содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в льносоломе, льносеменах и картофеле при внесении удобрений из осадков сточных вод находилось в допустимых пределах.

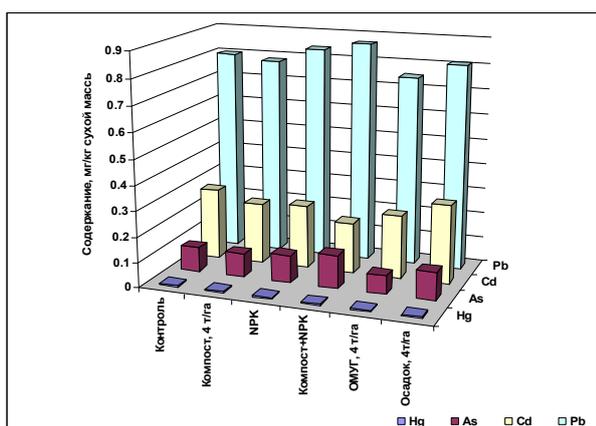
Не установлено заметного влияния удобрений, производимых из осадков сточных вод, на накопление тяжелых металлов и мышьяка в почве при сравнении с контролем (табл. 5). Содержание всех исследуемых элементов в почве в вариантах с внесением удобрений было ниже ПДК/ОДК, установленных в России. Суммарное загрязнение почвы (Zc) в опыте варьировало от 0,34 до 0,90, т.е. также было значительно меньше допустимого значения, равного 16.

**Таблица 4.** Влияние удобрений на урожайность льносемян

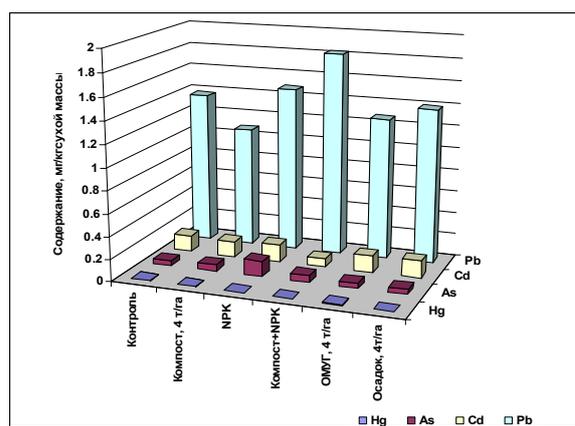
Вариант опыта	2010 г.		2011 г.		2012 г.		В среднем за 3 года		
	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка	
								ц/га	%
Контроль	2,3	-	1,8	-	2,8	-	2,3	-	-
Компост, 2 т/га	2,4	0,1	2,0	0,2	3,1	0,3	2,5	0,2	9
Компост, 4 т/га	2,8	0,5	2,5	0,7	3,5	0,7	2,9	0,6	26
Компост, 6 т/га	3,1	0,8	3,1	1,3	4,0	1,2	3,4	1,1	48
НРК, экв. 4 т/га компоста	2,4	0,1	2,3	0,5	3,3	0,5	2,7	0,4	17
Компост, 2 т/га + НРК, экв. 2 т/га компоста	3,3	1,0	2,8	1,0	3,3	0,5	3,1	0,8	35
Осадок, 4 т/га	3,1	0,8	2,4	0,6	3,4	0,6	3,0	0,7	30
ОМУГ, 4 т/га	3,3	1,0	3,1	1,3	3,5	0,7	3,3	1,0	43
НСР <sub>05</sub>	0,3		0,4		0,4		0,4		

**Таблица 5.** Суммарное элементное загрязнение дерново-подзолистой почвы (Zc)

Вариант опыта	Коэффициент концентрации (Кс)										Сумма Кс	Zc
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Mn	Co	Hg	As		
Компост, 2 т/га	0,98	0,95	0,86	1,06	0,92	1,01	1,10	0,97	0,67	0,95	9,40	0,40
Компост, 4 т/га	0,93	0,95	0,93	4,00	0,93	0,94	1,00	0,95	0,67	1,14	9,45	0,45
Компост, 6 т/га	0,93	0,95	0,86	1,09	0,89	0,96	1,00	1,05	0,67	0,95	9,34	0,34
НРК, экв. 4 т/га компоста	1,09	1,04	0,97	1,23	0,90	0,93	0,81	0,94	1,00	1,00	9,90	0,90
Компост, 2 т/га + НРК, экв. 2 т/га компоста	1,05	1,00	1,00	1,11	0,97	0,96	0,81	0,94	1,00	0,95	9,81	0,81
Осадок сточных вод, 4 т/га	1,21	1,00	0,98	1,14	0,94	0,95	0,80	0,93	0,92	0,86	9,73	0,73
ОМУГ, 4 т/га	1,07	1,00	0,86	1,20	0,86	0,92	0,84	0,92	1,00	0,90	9,58	0,58



**Рис. 3.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в льносолومه.



**Рис. 4.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в льносеменах.

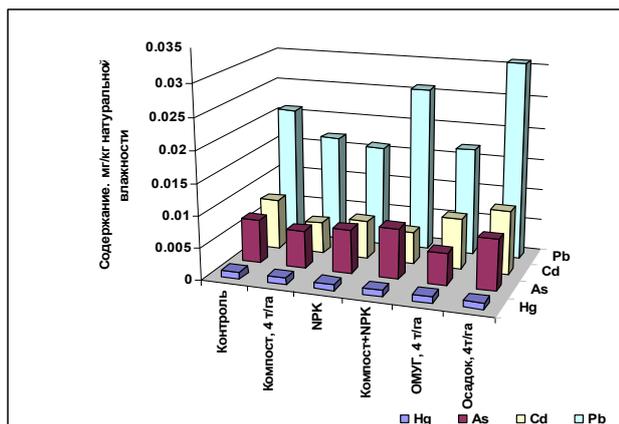


Рис. 5. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в клубнях картофеля.

### Выводы

1. Применение компостов на основе осадков городских сточных вод и органоминерального гранулированного удобрения ОМУГ обеспечивало достоверное повышение продуктивности многолетних трав, льна-долгунца и семенного картофеля.

2. При оптимизации доз удобрений из осадков сточных вод растительная продукция – льно-соллома, льносемена и клубни картофеля - по содержанию тяжелых металлов и мышьяка соответствовала гигиеническим нормативам России.

3. Уровни поступления тяжелых металлов и мышьяка в почву при нормированном использо-

вании удобрений из осадков сточных вод были невысокими и не влияли отрицательно на ее экологическое состояние.

### Список литературы

1. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (информационно-аналитический справочник / Под ред. А.И. Еськова. – Владимир: ВНИИОУ, 2006. – 200 с.

2. Пахненко, Е.Н. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. – М.: БИ-НОМ, Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

3. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре / Под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 140 с.

4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – М.: Стандартиформ, 2008.

5. СанПиН 2.1.7.573-96. Удобрения Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы. – М.: Минздрав России, 1997. – 56 с.

6. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

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