

УДК 502.52(210):502.13

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.В. Жигарева, Г.Е. Мерзлая, д.с.-х.н., ВНИИА

ФГБУ "Тверская межобластная ветеринарная лаборатория", г. Тверь, E-mail: julija700014@mail.ru

ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», г. Москва, E-mail: lab.organic@mail.ru

Работа выполнена по госзаданию на 2018 г. №0572-2014-0012

Земледелие Тверской области испытывает постоянный дефицит органического вещества. В то же время происходит накопление многотоннажных органических отходов очистных сооружений в виде осадков сточных вод, которые можно использовать в качестве органических удобрений под различные сельскохозяйственные культуры. Использование ОСВ на удобрения позволит сохранить значительное количество минеральных удобрений, уменьшит дефицит гумуса в почве. Внесение ОСВ в дозах, не превышающих 60 т/га, не приводит к накоплению в почве тяжелых металлов выше нормативного содержания. Внесение осадков сточных вод в норме 20 т/га и осадков сточных вод в комплексе с торфом и минеральными удобрениями повышает pH на 0,08-0,1 ед. и содержание ТМ в почве, но при этом их значения не превышают допустимых концентраций. Увеличение дозы ОСВ до 40 и 60 т/га существенно улучшало кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы, обеспечив перевод почвы из слабокислой в класс с реакцией среды, близкой к нейтральной. Концентрация ионов водорода в почвенном поглощающем комплексе при этом уменьшилась на 0,50 - 0,62 мг-экв/100 г почвы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, осадки сточных вод, плодородие почв, качество клубней, картофель, почва, органические удобрения, компосты.

DOI:10.25680/S19948603.2018.101.16

Накопление отходов - острейшая экологическая проблема нашего времени, так как при размещении в отвалах они являются источником загрязнения окружающей среды. Между тем, некоторые отходы, в том числе осадки сточных вод (ОСВ), могут успешно использоваться в сельскохозяйственном производстве. Это имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение [1]. ОСВ представляют собой вид отхода, образование которого в условиях городов составляет 30-45% от общего количества отходов производства и потребления [2].

Сельскохозяйственное применение осадков сточных вод или компостов на их основе, которые содержат большое количество органического вещества, азота, зольных элементов, способно в значительной мере обеспечить воспроизводство органического вещества почвы и в целом почвенного плодородия [3]. Однако, необходимо учитывать, что применение отходов может сопровождаться серьезнейшими негативными процессами, отражающимися на всех компонентах агроэкосистемы – почве, фитоценозе, атмосфере, грунтовых и поверхностных водах. Ненормированное применение ОСВ приводит к загрязнению почв и растительной продукции тяжелыми металлами и органическими поллютантами [4]. Причем степень загрязнения будет зависеть как от химического состава отхода, так и от регламента применения (доз, способов, периодичности внесения, сочетания с другими агрохимикатами и т.д.) [5]. Помимо этого, существенные колебания химического и биологического состава осадков сточных вод, как в разные годы, в различных городах, так и в пределах одного очистного сооружения, затрудняет их эффективное использование. В то же время, регулируя указанные параметры, можно свести уровень потенциаль-

ного негативного воздействия на окружающую среду к допустимому [6, 7]. Отсутствие четкого научного обоснования условий эффективного использования ОСВ также сдерживает их применение.

По данным ЦАС «Тверской» в настоящее время в Тверской области на 1 га посевной площади вносится в среднем не более 1 т органических удобрений, тогда как потребность в них составляет 6-10 т/га, в зависимости от возделываемой культуры и уровня плодородия конкретного поля. Такая же обеспеченность данными удобрениями характерна и для всей Нечерноземной зоны. Общая масса накопившихся ОСВ в г. Твери оценивается в 120 тыс. т.

Цель исследований - обосновать возможность применения ОСВ г. Твери в сельскохозяйственном производстве в качестве органического удобрения, в научно обоснованных дозах, позволяющих улучшить основные показатели плодородия дерново-подзолистых почв и повысить продуктивность сельскохозяйственных культур.

Методика. Исследования были проведены в 2014-2017 гг. в полевом опыте, заложенном на дерново-подзолистой супесчаной почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-20 см) почвы: содержание гумуса – 2,2%, $pH_{\text{кол.}}$ 5,4-5,6; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) по Кирсанову – 214 мг/кг, обменного калия (K_2O) – 128 мг/кг почвы, степень насыщенности основаниями – 72,7%. В схему опыта были включены варианты со смесью ОСВ и торфом. Для сравнения взяты варианты с абсолютным контролем, внесением навоза.

Схема опыта состояла из восьми вариантов: 1. контроль (без удобрений); 2. навоз, 20 т/га; 3. $N_{60}P_{60}K_{60}$; 4. ОСВ, 20 т/га; 5. ОСВ, 40 т/га; 6. ОСВ, 60 т/га; 7. ОСВ, 10 т/га + торф, 10 т/га; 8. ОСВ, 10 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Навоз и торф брали в учхозе «Сахарово» Тверской

ГСХА. В опытах использовали свежий ОСВ со станции очистки канализационных вод Большие Перемерки г. Твери. Повторность в опытах 4-кратная, размер опытной делянки 10 м², расположение рендомизированное. В качестве тестовых культур использовали озимую пшеницу, картофель и ячмень. В данной статье представлены результаты исследования по картофелю. Агротехника культур общепринятая для региона. Полученные результаты исследований подвергали статистической обработке методами дисперсионного анализа (Доспехов, 1985). Статистическую обработку результатов полевых опытов проводили на персональном компьютере с использованием Excel.

В полевом опыте исследовали осадок сточных вод Тверских очистных сооружений, который представляет собой рассыпчатую однородную массу темно-серого цвета, обладающий рядом положительных свойств, например, слабокислой реакцией. ОСВ по химическому составу существенно отличался от навоза, превосходя его по содержанию органического вещества (67,2%) и азота (3,43%). Но по обеспеченности калием (0,3%)

ОСВ уступал навозу (2,33%). Содержание ТМ в ОСВ (мг/кг): Pb - 12,99, Cd - 0,39, Zn - 78,4, Cu - 40,3, Ni - 5,5, Cr - 4,7, Mn - 240,9, As - 0,6, Hg - 0,14.

По метеорологическим условиям вегетационные периоды, в которые проводились исследования, были типичными для Тверской области.

Результаты и их обсуждение. Органические и органоминеральные удобрения влияют на физико-химические и другие свойства почв. Осадки сточных вод, как при раздельном применении, так и в сочетании с навозом, торфом и минеральными удобрениями являются не только источником органического вещества и элементов питания, но и мелиорантом, поскольку содержат значительное количество кальция и магния. Поэтому эти органоминеральные смеси обогащают почву кальцием и магнием, что приводит к снижению концентрации ионов водорода. В опыте за четыре года исследований в варианте без внесения ОСВ и удобрений произошло снижение рН_{сол.} на 0,04 ед. за счет повышения концентрации ионов водорода в пахотном слое на 0,12 мг-экв/100 г (табл. 1, 2).

1. Влияние ОСВ на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы, ед.рН

№	Вариант опыта	Исходный рН _{сол.}	2014 г.		2015 г.		2016 г.		2017 г.	
			рН _{сол.}	± от исх.	рН _{сол.}	± от исх.	рН _{сол.}	± от исх.	рН _{сол.}	± от исх.
1	Контроль	5,45	5,44	-0,01	5,42	-0,03	5,40	-0,05	5,41	-0,04
2	Навоз, 20 т/га	5,52	5,65	0,13	5,67	0,15	5,69	0,17	5,68	0,16
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,55	5,56	0,01	5,58	0,03	5,59	0,04	5,59	0,04
4	ОСВ, 20 т/га	5,50	5,52	0,02	5,57	0,07	5,59	0,09	5,60	0,10
5	ОСВ, 40 т/га	5,52	5,57	0,05	5,60	0,08	5,66	0,14	5,66	0,15
6	ОСВ, 60 т/га	5,48	5,64	0,16	5,71	0,23	5,73	0,25	5,79	0,31
7	ОСВ, 10 т/га + торф, 10 т/га	5,58	5,61	0,03	5,65	0,07	5,64	0,08	5,67	0,09
8	ОСВ, 10 т/га + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,50	5,52	0,03	5,58	0,08	5,58	0,08	5,58	0,08

Варианты внесения ОСВ в дозе 20 т/га, ОСВ, 10 т/га + торф, 10 т/га, ОСВ, 10 т/га + N₆₀P₆₀K₆₀ обеспечивали повышение рН на 0,08-0,1 ед. Увеличение дозы ОСВ до 40 и 60 т/га обусловило улучшение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой почвы, обеспечив перевод почвы из класса со слабокислой реакцией среды в класс с реакцией среды, близкой к нейтральной.

2. Влияние смесей на основе ОСВ на величину гидролитической кислотности (Нг) в дерново-подзолистой почве

№	Вариант опыта	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
		изменение Нг ± от исходного уровня, мг-экв/100 г почвы			
1	Контроль	0,10	0,11	0,14	0,12
2	Навоз, 20 т/га	-0,53	-0,60	-0,58	-0,57
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-0,11	-0,10	-0,12	-0,10
4	ОСВ, 20 т/га	-0,23	-0,30	-0,32	-0,31
5	ОСВ, 40 т/га	-0,41	-0,46	-0,51	-0,50
6	ОСВ, 60 т/га	-0,54	-0,58	-0,61	-0,62
7	ОСВ, 10 т/га + торф, 10 т/га	-0,17	-0,21	-0,20	-0,20
8	ОСВ, 10 т/га + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-0,18	-0,22	-0,21	-0,22
НСП ₀₅		0,02	0,03	0,02	0,04

Концентрация ионов водорода в почвенном поглощающем комплексе в этих вариантах уменьшилась на 0,50 (ОСВ, 40 т/га) – 0,62 (ОСВ, 60 т/га) мг-экв/100 г почвы. При дозе навоза 20 т/га сдвиг реакции среды в пахотном слое был сопоставим с 40 т/га ОСВ и составил ΔрН 0,15-0,17. Величина гидролитической кислотности за этот период снизилась с 2,5 до 1,9 мг-экв/100 г почвы, ΔНг составил 0,60 мг-экв/100 г почвы.

Использование ОСВ в смеси с торфом в весовых частях 1:1 (расчет на воздушно-сухую массу) привело к

снижению зольности получаемого компоста и ухудшило соотношение между основными элементами питания. В полученном компосте отмечалось некоторое снижение содержания общего азота (до 0,86%), калия (до 0,45%) и фосфора (до 1,51%).

Все изучаемые в опыте органические удобрения обеспечивали повышение содержания нитратного азота в дерново-подзолистой супесчаной почве. На второй год последствия их применения под картофель наибольшее его количество в почве отмечалось в варианте с ОСВ в дозе 60 т/га, а минимальное – на фоне навоза (1,6 и 0,76 мг/кг почвы соответственно). К концу вегетационного периода картофеля оно достигло максимума, составив 3,3 мг/кг для ОСВ в дозе 60 т/га и 2,1 мг/кг на фоне внесения смеси ОСВ с торфом. Преимущество ОСВ в повышении содержания нитратного азота почвы обусловлено более высоким исходным содержанием азота в ОСВ. В третий год исследований на фоне ОСВ наблюдалось снижение нитратного азота во всех вариантах.

Наибольшее влияние на накопление в почве подвижного фосфора оказало внесение NPK. К концу вегетации растений содержание фосфора во всех вариантах несколько снизилось, но оставалось значительно выше контроля. В конце 2-го года последствия удобрений влияние ОСВ как в чистом виде, так и в составе компоста было более заметным при анализе содержания в почве подвижных фосфатов (по сравнению с навозом). Максимальное количество подвижного фосфора к концу вегетации выявлено в вариантах с ОСВ в дозе 60 т/га и ОСВ, 10 т/га + NPK.

Изменение содержания калия в почве опыта заключалось в постепенном снижении его количества от се-

редины периода вегетации к её концу. Больше всего K_2O в первый год действия удобрений отмечено в почве варианта ОСВ + НРК - 140,2 мг/кг почвы. При внесении ОСВ, 60 т/га количество калия увеличилось до 136,1 мг/кг почвы, по навозному фону - до 137,3 мг/кг почвы. Основная причина невысокого увеличения в почве калия от ОСВ заключается в низком содержании его в самом осадке.

Внесение ОСВ не привело к избыточному накоплению тяжелых металлов в почве. Минимальное их содержание было на контроле. В вариантах ОСВ + торф, ОСВ в дозах 40 и 60 т/га в почве увеличивалось содержание свинца в сравнении с контролем на 1,09, 2,46 и 4,07 мг/кг соответственно, однако во всех случаях содержание ТМ не превышало ОДК (табл. 3).

3. Влияние смесей на основе ОСВ на валовое содержание ТМ в почве

№ варианта	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					
	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	As
1	4,12	0,14	5,86	30,60	4,41	0,9
2	4,66	0,22	6,82	37,16	5,03	1,2
3	4,52	0,20	6,68	35,19	4,82	1,2
4	5,14	0,35	12,58	38,74	5,22	1,4
5	6,58	0,47	18,62	49,21	5,98	1,6
6	8,19	0,52	25,23	62,15	6,89	1,8
7	5,21	0,37	14,18	40,23	5,34	1,5
8	5,32	0,40	15,02	41,14	5,62	1,5
НСП ₀₅	0,32	0,09	0,33	2,04	0,25	0,12

Содержание подвижных форм ТМ было также значительно ниже ОДК (ГН 2.1.7.2511-09) отечественных нормативов. После уборки картофеля содержание подвижных форм меди снизилось в 1,4 раза, свинца и цинка – в 1,3, кадмия – в 1,5, хрома – в 1,6 раза.

Результаты исследований урожайности картофеля также свидетельствуют о положительном действии ОСВ, применяемого в качестве удобрений. Наибольшая урожайность (196,2 и 199,0 ц/га) получена в варианте внесения 60 т/га ОСВ (табл. 4).

Содержание тяжелых металлов в урожае картофеля является важным показателем биологического и санитарного качества получаемой продукции. Анализ клубней картофеля на содержание ТМ не выявил ни по одному из исследованных поллютантов, согласно требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01, превышения гигиенических норм. С возрастанием дозы ОСВ в клубнях не отмечено накопления кадмия. Так, в вариантах с внесением 20 и 60 т/га ОСВ количество кадмия в клубнях составляло 0,016 и 0,019 мг/кг соответственно, при 0,019 мг/кг на контроле. Содержание цинка в картофеле в ва-

риантах с ОСВ возрастало по сравнению с контролем в 2,0–2,3 раза, меди – в 2,0–2,1 раза, свинца – в 2,1–2,7, никеля – в 3,0–3,3, кадмия – в 2,3 раза. Однако во всех случаях, количество тяжелых металлов в клубнях было ниже нормативов в 1,5–3,0 раза.

4. Влияние ОСВ на урожайность картофеля, ц/га

Вариант опыта	Урожай клубней картофеля	Прибавка к контролю	
		ц/га	%
1	113,5	-	-
2	147,7	34,2	30,1
3	167,3	53,8	47,4
4	160,5	47,0	41,4
5	182,4	68,9	60,7
6	196,2	82,7	72,9
7	168,1	54,6	48,2
8	199,0	85,5	75,3
НСП ₀₅	13,2		

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что внесение ОСВ на дерново-подзолистой супесчаной почве приводит к улучшению её кислотно-основных свойств, повышению в ней содержания подвижных форм азота и фосфора. Это способствует улучшению пищевого режима и увеличению запасов подвижных фосфатов. Включение в систему удобрения ОСВ, его смеси с торфом или минеральными удобрениями не вызывает загрязнения почвы тяжелыми металлами. Максимальную урожайность картофеля 196–199 т/га, что на 73–75% выше контроля, обеспечивает доза ОСВ 60 т/га и смесь ОСВ с минеральными удобрениями. При этом в клубнях картофеля не отмечено избыточного накопления тяжелых металлов.

Литература

1. Бадмаев, А.Б., Дорошкевич С.Г. Влияние осадков городских сточных вод на биологическую активность аллювиальной дерновой почвы // Агрохимия. - 2006. - № 1. - С. 62–66.
2. Благовещенская, З. К., Грачева Н. К., Могиндовид Л. С. и др. Утилизация осадка городских сточных вод // Химизация сельского хозяйства. - 1989. - № 10. - С. 73–76.
3. Винокурова, Т.Е. Мировая проблема переработки, утилизации и уничтожения осадков муниципальных сточных вод / Гидротехническое строительство, водное хозяйство и мелиорация земель на современном этапе. - Новосибирск. - С.15–16.
4. Алексеева, А.С. Влияние применения нетрадиционных органических удобрений на накопление тяжелых металлов и биологическую активность дерново-подзолистых супесчаных почв: Автореферат канд. биол. наук. - М., 2002. - 145 с.
5. Мерзлая, Г.Е., Налиухин А.Н., Власова О.А., Ханова Н.А. Влияние органических удобрений на урожайность льна и многолетних трав // Доклады ТСХА. - 2012. Вып. 284. - С. 41 – 43.
6. Временный максимально-допустимый уровень (МДВ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. [Электронный ресурс] 1987. М. 123-4/281-8. - Режим доступа: <http://www.ecolan.com.ru/catalog/275/13673/>.
7. ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве», утвержденные Гл. гос. санитарным врачом РФ 19.01.2006 года. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.docload.ru/tehnpadoc/>

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF SEWAGE SLUDGE ON SOD-PODZOLIC SOILS OF TVER REGION

Yu.V. Zhigareva¹, G.E. Merzlaya²

¹ Tver Interregional Veterinary Laboratory, Shishkova ul. 100, 170007 Tver, Russia,

² Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia

Agriculture of the Tver region is experiencing a constant shortage of organic matter. At the same time, there is accumulation of multi-tonnage organic waste treatment facilities in the form of sewage sludge (OSV), which can be used as organic fertilizers for various crops. The use of salt in the fertilizer could save a significant amount of mineral fertilizers and reduce the deficit of humus. Introduction of OSV in doses not exceeding 60 t/ha does not lead to an increase in the content of heavy metals in the soil. Application of sewage sludge in the "normal" dose of 20 t/ha and sewage sludge in combination with peat and mineral fertilizers provided an increase in pH by 0.08–0.10 pH. The increase in the dose of OSV up to 40 and 60 t/ha caused a significant improvement in the acid-base properties of sod-podzolic soil, ensuring the transfer of soil from a grade with a weakly acidic reaction of the medium to the next grade with a reaction of the medium close to neutral. The concentration of hydrogen ions in the soil absorbing complex for these variants decreased by 0.50 (OSV 40 t/ha) – 0.62 mg-equiv/100 g of soil (OSV 60 t/ha).

Key words: heavy metals, sewage sludge, soil fertility, tuber quality, potato, soil, organic fertilizers, composts.