

Г.Ю. Рабинович, доктор биологических наук, профессор

Е.А. Подолян

Т.С. Зинковская, кандидат сельскохозяйственных наук

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

РФ, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д.7, стр. 2

E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

УДК 631.86

DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/61-65

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД С ОРГАНИЧЕСКИМИ СУБСТРАТАМИ

Обоснована целесообразность внесения осадка сточных вод (ОСВ) в свежем виде совместно с наполнителями (торф, опилки, солома). Полевой опыт проведен в 2015–2017 годах с использованием ОСВ станции очистных сооружений г. Тверь на дерново-подзолистой супесчаной почве. Осадок вносили один раз при закладке опыта совместно с органическими субстратами в разном соотношении, общая норма внесения – 60 т/га. Для сравнения в эксперимент включен вариант с компостом, заготавливаемым на станции очистных сооружений на основе ОСВ и опилок. Выявлено влияние нетрадиционных видов органических удобрений на урожайность полевых культур (вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень), качество полученной продукции и на накопление в ней тяжелых металлов. Наибольший эффект наблюдался при внесении ОСВ с торфом и ОСВ с опилками. Изучение соотношения компонентов смесей с ОСВ показало, что самую высокую продуктивность и прибавку урожая обеспечивало применение ОСВ: субстраты = 1:1. Дальнейшее увеличение доли участия опилок, торфа и соломы приводило к снижению продуктивности и качественных показателей. ОСВ, внесенный в разных соотношениях совместно с органическими субстратами, не вызывал избыточного накопления тяжелых металлов в растениеводческой продукции. Установлена последовательность тяжелых металлов:  $Zn > Cu > Co > Pb > As > Cd$ , отражающая степень аккумуляции их в зеленой массе вико-овсяной смеси, зерне озимой ржи и ячменя. Влияние исследуемых норм внесения ОСВ на урожайность и качество культур сохраняется в течение всех трех лет звена севооборота.

**Ключевые слова:** осадок сточных вод, торф, опилки, солома, тяжелые металлы.

G.Yu. Rabinovich, *Grand PhD in Biological sciences, Professor*

Е.А. Podolyan

T.S. Zinkovskaya, *PhD in Agricultural sciences*

FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

RF, 119017, g. Moskva, Pyzhevskij per., d. 7, str. 2

E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

## PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION ELEMENT AND QUANTITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION WHEN USING SEWAGE AND ORGANIC COMPONENTS MIXTURE

The expediency of introducing wastewater sediment (WWS) in fresh form together with additional fillers (peat, sawdust, straw) is justified. Field experience was conducted in 2015–2017, using WWS station of treatment facilities in Tver on sod-podzolic sandy loam soil. WWS was applied once during the laying of the experiment together with organic substrates in different proportions with a general application rate of 60 t/ha. For comparative characteristics, the experiment included a variant with compost harvested at the treatment plant, based on WWS and sawdust. The influence of non-traditional types of organic fertilizers on the yield of field crops (vetch-oat mix, winter rye, spring barley), the quality of the resulting product, including the accumulation of heavy metals in it, was revealed. The greatest effect was observed when applying WWS with peat and WWS with sawdust. The study of the ratio of the components of mixtures with WWS showed that the highest productivity and yield increase was ensured by the use of WWS: substrates = 1: 1. A further increase in the participation of sawdust, peat and straw led to a decrease in productivity and quality indicators. WWS, introduced in different ratios together with organic substrates, did not cause excessive accumulation of heavy metals in crop production. The sequence of heavy metals was established:  $Zn > Cu > Co > Pb > As > Cd$ , which reflects the degree of their accumulation in the green mass of the vetch-oat mix, winter rye and barley grain. The influence of the studied norms for introducing WWS on the yield and quality of crops is maintained during all three years of the crop rotation link.

**Key words:** sewage sludge, peat, sawdust, straw, heavy metals.

Известно, что осадок сточных вод (ОСВ) представляет собой сложный органоминеральный комплекс, содержащий биогенные элементы – азот, фосфор и калий, в количествах, позволяющих рассматривать его как потенциальное удобрение. [1-3, 5] Тем не менее, введение ОСВ в сельскохозяйствен-

ный оборот на данном этапе слабо осуществляется, в частности, из-за избыточного содержания в нем тяжелых металлов. Страны Европейского союза накопили значительный опыт по применению ОСВ с соблюдением стандартов, которые снижают неблагоприятные экологические последствия от его

применения. Так, многие государства используют 45...60 % образующихся осадков сточных вод для сельскохозяйственных целей. [9, 10]

В условиях современной экономики значение нетрадиционных органических удобрений, к которым относят ОСВ, возрастает, а разработка технологий и приемов их использования в земледелии способствует обеспечению экологической безопасности сельскохозяйственного производства.

Цель работы – изучить возможность применения полученного в г. Тверь осадка сточных вод в земледелии Нечерноземной зоны РФ и оценить его влияние на продуктивность звена полевого севооборота и содержание тяжелых металлов в растениеводческой продукции.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2015–2017 годах на экспериментальном поле Тверской государственной сельскохозяйственной академии проведен полевой мелкоделяночный опыт с ОСВ со станции очистных сооружений. Почва опыта дерново-подзолистая супесчаная. До закладки опыта пахотный горизонт имел слабокислую реакцию ( $pH_{KCl}$  5,7), высокую обеспеченность подвижным фосфором (241 мг/кг почвы) и среднюю – обменным калием (124 мг/кг почвы). Содержание гумуса в данной почве не превышало 1,3 %, а степень насыщенности основаниями достигала 60 %. Звено полевого севооборота имело следующую последовательность культур: вико-овсяная смесь, озимая рожь, яровой ячмень.

ОСВ вносили один раз при закладке опыта одновременно с органическими наполнителями (еловые опилки, низинный торф, ржаная солома) в разном соотношении. Общая норма внесения 60 т/га. Схема опыта включала в себя варианты: 1) контроль – без удобрений; 2) компост, заготавливаемый на станции очистных сооружений на основе ОСВ и опилок; 3) ОСВ: опилки 1:1; 4) ОСВ: опилки 1:2; 5) ОСВ: опилки 1:3; 6) ОСВ: торф 1:1; 7) ОСВ: торф 1:2; 8) ОСВ: торф 1:3; 9) ОСВ: солома 1:1; 10) ОСВ: солома 1:2; 11) ОСВ: солома 1:3. Опыт проводили, в четырехкратной повторности с рендомизированным размещением вариантов.

В конце каждого вегетационного сезона учитывали урожайность и рассчитывали окупаемость 1 кг азота, фосфора и калия, содержащихся в смесях на основе ОСВ, прибавкой урожая. Анализировали почву и растительные образцы по стандартным, сертифицированным методикам. [6] Внесение ОСВ в звено севооборота оценивали с учетом его продуктивности.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по урожайности культур звена севооборота представлены в таблице 1. В первый год действия ОСВ (2015) урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси в вариантах с применением ОСВ и органических наполнителей возросла в целом на 31...80 %. Наибольший эффект наблюдался при внесении ОСВ с торфом и ОСВ с опилками. Выявлено четкое снижение урожайности по мере расширения соотношения дополнительного органического суб-

страта (опилки, торф, солома) к ОСВ. Так, если на фоне ОСВ: торф – 1:1 было получено 495 ц/га зеленой массы, то при соотношении 1:3 – только 445 ц/га. Такая же тенденция отмечена при включении других видов органических наполнителей.

В первый год последействия (2016) удобрений в вариантах опыта, где вносили ОСВ с органическими субстратами, прибавка урожая озимой ржи к контрольному варианту без удобрений (34,8 ц/га) была несколько ниже и варьировала от 21 до 53 %. При этом закономерность распределения между вариантами сходна с той, что была в год прямого действия. Максимальная урожайность получена при внесении осадка сточных вод и всех видов дополнительных органических субстратов в соотношении 1:1. Рост урожайности озимой ржи, как и других культур севооборота, во всех случаях связан с разложением высокомолекулярных соединений, присущих соломе, опилкам и торфу, и с высвобождением химических веществ, улучшающих питательный режим растений.

Эффект от применяемых удобрений прослеживался и во второй год последействия (2017). Прибавка урожайности к контрольному варианту опыта (11,7 ц/га) составила 56...98 %. Тенденция снижения урожайности по мере увеличения соотношения компонентов смесей с ОСВ сохранялась. Полученные данные убедительно свидетельствуют о преимуществе удобрительных смесей ОСВ с органическими субстратами в соотношении 1:1, которые обеспечили продуктивность ячменя 22,1...23,2 ц корм. ед./га.

Пролонгирующий эффект воздействия ОСВ на урожайность сельскохозяйственных культур описывают многие авторы. Так, Куликова А.Х., Захаров Н.Г. отмечают продолжительное последействие ОСВ при дозе внесения 30 т/га до 12 лет. Показано, что одна из наиболее отзывчивых культур на применение ОСВ в качестве удобрения – вико-овсяная смесь с прибавкой урожайности до 107 ц/га. А этот показатель при использовании ОСВ в дозе 40 т/га в среднем за ротацию у зерновых культур повышается на 4,7...6,3 ц/га, тем самым не уступая действию навоза КРС в эквивалентной дозе. [2] Как за время

**Таблица 1.**  
Влияние удобрений на основе ОСВ на урожайность культур в звене севооборота (2015-2017)

Вариант опыта	Урожайность культур, ц/га			Продуктивность звена севооборота, ц корм. ед./га	Прибавка	
	вико-овсяная смесь	озимая рожь	ячмень		ц корм. ед./га	%
Контроль	275	34,8	11,7	40,7	–	–
Компост	360	45,8	21,1	56,5	15,8	38,8
ОСВ: опилки 1:1	480	53,4	22,1	68,1	27,4	67,3
–/– 1:2	473	49,3	19,5	64,2	23,5	57,7
–/– 1:3	445	43,8	18,3	59,0	18,3	45,0
ОСВ: торф 1:1	495	50,0	23,2	67,8	27,1	66,6
–/– 1:2	462	47,2	19,8	62,6	21,9	53,8
–/– 1:3	445	42,3	19,0	58,6	17,9	44,0
ОСВ: солома 1:1	442	52,2	22,8	65,6	24,9	61,2
–/– 1:2	420	49,8	20,5	61,8	21,1	51,8
–/– 1:3	380	43,1	19,0	55,2	14,5	35,6
НСР <sub>05</sub>	21,3	2,3	1,0	3,5	–	–

исследования, так и в среднем за три года большую продуктивность обеспечивало использование ОСВ и органических компонентов в соотношении 1:1. При этом наибольшая прибавка, близкая к 27 ц корм. ед./га, отмечена при подготовке смесей с торфом либо опилками. В варианте с соломой продуктивность достигла 24,9 ц корм. ед./га. Отмеченная закономерность спада урожайности культур с увеличением доли участия органических наполнителей (опилки, торф, солома) оказала влияние и на снижение продуктивности звена севооборота. Наименьшая прибавка (14,5 ц корм. ед./га) к контролю была получена при использовании ОСВ с соломой в соотношении 1:3. Применение компоста, приготовленного на очистных сооружениях, увеличивало продуктивность на 15,8 ц корм. ед./га. Для сравнительной оценки эффективности смесей на основе ОСВ и варианта опыта с компостом, заготовленным на станции очистных сооружений, рассчитывали окупаемость удобрений, обеспечивающих рост урожая (табл. 2), она варьировала от 1,8 до 4,3 кг корм. ед. на 1 кг NPK. Наибольший эффект был обеспечен при применении смесей ОСВ с опилками – 3,8...4,3 кг корм. ед., меньший отмечен в смесях ОСВ с соломой – 1,8...2,8 кг корм. ед. Окупаемость компоста была на уровне окупаемости ОСВ, вносимого с торфом в соотношении 1:3...2,1 кг корм. ед. Установлена эффективность совместного внесения ОСВ с опилками и ОСВ с торфом.

Прибавку продуктивности определяли при использовании ОСВ в свежем виде с органическими субстратами в относительном выражении – она изменялась по вариантам опыта от 35,6 до 67,3 %, от внесения компоста – 38,8 %. Наилучший результат получен при внесении ОСВ: торф и ОСВ: опилки в соотношении 1:1 – 27,1 и 27,4 ц корм. ед./га.

Усиление пролонгирующего действия ОСВ на продуктивность культур проявляется из-за постепенного разложения органических соединений, входящих в состав осадка, что подтверждается и другими исследователями. [4]

Важный показатель производства растениеводческой продукции – ее качество, что сказывается на цене реализации и, в конечном счете, на разме-

ре получаемой прибыли. Проведенный нами опыт позволил установить, что все варианты удобрительных смесей и вариант с компостом способствовали улучшению качества культур звена севооборота. В год прямого действия самые высокие показатели качества зеленой массы вико-овсяной смеси были отмечены при внесении ОСВ и дополнительных субстратов в соотношении 1:1.

Результаты оценки качества зерна озимой ржи, полученные во второй год исследований, в вариантах с применением ОСВ и опилок в сравнении с контролем (без удобрений) и компостом представлены на рис. 1.

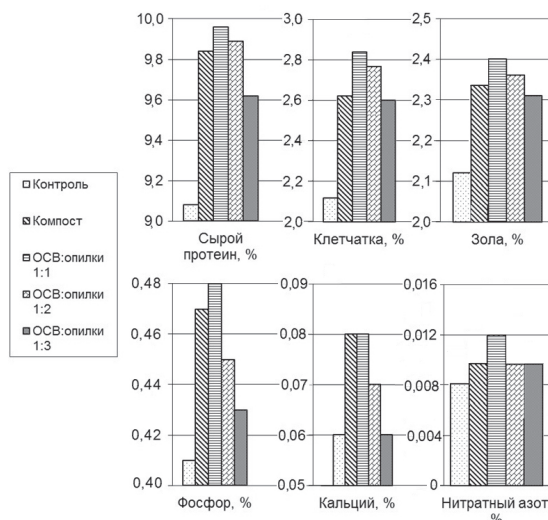
В зерне в вариантах, где вносили смеси на основе ОСВ, по сравнению с контролем, сырого протеина было больше на 0,24...0,88 %, зольных элементов – 0,19...0,28, клетчатки – 0,40...0,75, фосфора – 0,02...0,07, кальция – 0...0,02, нитратного азота – 0,001...0,004 %. Концентрация последнего также важный показатель, так как высокое содержание данного соединения негативно сказывается на здоровье потребителя. Однако его увеличение по сравнению с контрольным вариантом опыта было намного ниже ПДК. [7] Регулярное использование ОСВ в виде удобрений должно сопровождаться обязательным мониторингом его содержания в растительной продукции. Тщательной проверке подлежит как содержание нитратного азота, так и других элементов, которые способны снижать качественные показатели. Поскольку ОСВ – главный поставщик азотных составляющих в удобрительных смесях, основным регулирующим моментом должно быть ограничение либо временное прекращение внесения в почву таких удобрений.

На третий год проведения эксперимента варианты опыта с применением ОСВ и опилок, ОСВ и торфа в соотношении 1:1 сохраняли наиболее сильное влияние на биохимический состав зерна ярового ячменя. Отметим, что все варианты с участием ОСВ демонстрировали существенное повышение качественных показателей относительно контрольного варианта опыта.

Определяли содержание тяжелых металлов в полученном урожае, чтобы предотвратить опасность

**Таблица 2.**  
**Окупаемость вносимых удобрений прибавкой урожая (2015-2017)**

№ п/п	Вариант опыта	Внесено NPK с удобрениями, кг/га	Прибавка продуктивности, ц корм. ед./га	Окупаемость 1 кг NPK, кг корм. ед.
1	Контроль	–	–	–
2	Компост	742,8	15,8	2,2
3	ОСВ: опилки 1:1	638,4	27,4	4,3
4	–/– 1:2	493,4	23,5	4,0
5	–/– 1:3	420,9	18,3	3,8
6	ОСВ: торф 1:1	922,5	27,1	2,9
7	–/– 1:2	872,2	21,9	2,5
8	–/– 1:3	847,1	17,9	2,1
9	ОСВ: солома 1:1	900,3	24,9	2,8
10	–/– 1:2	842,6	21,1	2,5
11	–/– 1:3	813,9	14,5	1,8
	НСР <sub>05</sub>	–	5,3	0,8



**Рис. 1.** Качество зерна озимой ржи (второй год исследований, 2016).

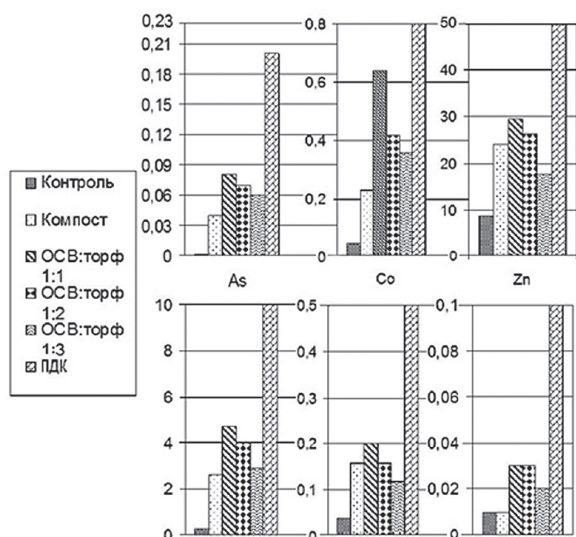


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в зерне ярового ячменя, мг/кг (третий год исследований, 2017).

производства растениеводческой продукции, не соответствующей показателям СанПиН 42-123-4089-86. [8] Полученные результаты анализа подтвердили, что внесение ОСВ в объеме, не превышающем 30 т/га (состав смеси с органическими субстратами в соотношении 1:1) не приводит к избыточному накоплению тяжелых металлов. Отмечена прямая зависимость между количеством внесенного осадка и содержанием тяжелых металлов в полученной продукции (рис. 2). Снижение доли осадка в смеси ОСВ (15 т/га) к торфу (45 т/га) до 1:3 привело к уменьшению содержания тяжелых металлов в зерне ярового ячменя относительно соотношения ОСВ (30 т/га) к торфу (30 т/га) – 1:1. Так, количество мышьяка снизилось на 0,02 мг/кг; меди – 1,8; цинка – 12,0; свинца – 0,08; кадмия – 0,01; кобальта – 0,28 мг/кг. Схожая тенденция наблюдается и при применении смесей ОСВ с опилками и ОСВ с соломой. Компост из-за длительной заготовки содержал меньшее количество токсичных элементов по сравнению со свежим ОСВ, что отразилось на показателях концентрации тяжелых металлов в продукции.

В первый и второй годы последствия наблюдалось некоторое повышение концентрации тяжелых металлов в зерне озимой ржи и ярового ячменя, ввиду изменения агрохимических показателей почвы, связанных, вероятно, с переходом тяжелых металлов из труднодоступных форм в подвижные, которые неизбежно включаются в обмен веществ растений. Тем не менее, их концентрация в продукции не превысила ПДК. [8] Исходя из полученных нами данных, установлена последовательность тяжелых металлов: Zn>Cu>Co>Pb>As>Cd, отражающая степень аккумуляции их в растениеводческой продукции.

Таким образом, влияние норм внесения ОСВ на урожайность и качество культур звена севооборота сохранялось в течение трех лет исследований. Наибольший эффект наблюдался при использовании ОСВ с торфом или опилками. Большую продуктивность и прибавку обеспечивало применение их в соотношении 1:1. Дальнейшее увеличение в составе смеси доли опилок, торфа и соломы снижало про-

дуктивность всех культур. ОСВ, внесенный с органическими субстратами в соотношении 1:1 (30 т/га : 30 т/га), 1:2 (20 т/га : 40 т/га), 1:3 (15 т/га : 45 т/га), не вызывал избыточного накопления тяжелых металлов в растениеводческой продукции.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Арефьев, А.Н. Содержание тяжелых металлов в зерне сельскохозяйственных культур при совместном внесении осадков сточных вод и других удобрений / А.Н. Арефьев, В.М. Дурандин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2005. – № 2. – С. 20–23.
2. Васбиева, М.Т. Влияние длительного применения осадков сточных вод в качестве удобрения на продуктивность зернотравяного севооборота и качество сельскохозяйственных культур / М.Т. Васбиева // Агрохимия. – 2016. – № 1. – С. 44–51.
3. Гуляева, И.С. Утилизация осадков сточных вод с получением продуктов, обладающих товарными свойствами / И.С. Гуляева, М.С. Дьяков, И.С. Глушанкова, М.Б. Беленький // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 43–49.
4. Косолапова, А.И. Изменение плодородия дерново-подзолистой почвы Предуралья при внесении отходов промышленности органического происхождения / А.И. Косолапова, М.Т. Васбиева // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 4. – С. 33–35.
5. Куликова, А.Х. Последствие осадков сточных вод, применяемых в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, в зависимости от систем основной обработки почвы / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 6. – С. 6–13.
6. Муравин, Э.А. Практикум по агрохимии / Э.А. Муравин, Л.В. Обуховская, Л.В. Ромодина. – М.: Колосс. – 2005. – 288 с.
7. Нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) нитратов и нитритов в кормах для сельскохозяйственных животных и основных видах сырья для комбикормов. – 1989. – 1 с.
8. СанПиН 42-123-4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. – 1986. – 91 с.
9. Sousa, G. Reuse of treated wastewater and sewage sludge for fertilization and irrigation / G. Sousa, D. Figueiro, E. Duarte, E. Vasconcelos // Water Science & Technology. UK: IWA Publishing. – 2011. – p. 184.
10. Vigneswaran, S. Recycle and Reuse of Domestic Wastewater / S. Vigneswaran, M. Sundaravadivel // Wastewater Recycle, Reuse and Reclamation (eds. Saravanamuthu Vigneswaran). UK: EOLSS Publishers/UNESCO. – 2009. – p. 79–81.

### LIST OF SOURCES

1. Arefev, A.N. Soderzhanie tyazhelyh metallov v zerne sel'skohozyajstvennyh kul'tur pri sovmestnom vnesenii osadkov stochnyh vod i drugih udobrenij / A.N. Arefev, V.M. Durandin // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2005. – № 2. – S. 20–23.
2. Vashbieva, M.T. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya osadkov stochnyh vod v kachestve udobreniya na produktivnost' zernotravyanogo sevooborota i kachestvo sel'skohozyajst-

- vennyh kul'tur / M.T. Vasbieva // *Agrohimiya*. – 2016. – № 1. – S. 44–51.
3. Gulyaeva, I.S. Utilizaciya osadkov stochnyh vod s polucheniem produktov, obladayushchih tovarnymi svojstvami / I.S. Gulyaeva, M.S. D'yakov, I.S. Glushankova, M.B. Belen'kij // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. – 2012. – № 7. – S. 43–49.
  4. Kosolapova, A.I. Izmenenie plodorodiya dernovo-podzolistoj pochvy Predural'ya pri vnesenii othodov promyshlennosti organicheskogo proiskhozhdeniya / A.I. Kosolapova, M.T. Vasbieva // *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk*. – 2010. – № 4. – S. 33–35.
  5. Kulikova, A.H. Posledejstvie osadkov stochnyh vod, primenyaemyh v kachestve udobreniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur, v zavisimosti ot sistem osnovnoj obrabotki pochvy / A.H. Kulikova, N.G. Zaharov // *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. – 2015. – № 6. – S. 6–13.
  6. Muravin, E.A. *Praktikum po agrohimii* / E.A. Muravin, L.V. Obuhovskaya, L.V. Romodina. – M.: Koloss. – 2005. – 288 s.
  7. Normy predel'no dopustimoj koncentracii (PDK) nitratov i nitritov v kormah dlya sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh i osnovnyh vidah syr'ya dlya kombikormov. – 1989. – 1 s.
  8. SanPiN 42-123-4089-86 Predel'no dopustimye koncentracii tyazhelyh metallov i mysh'yaka v prodovol'stvennom syr'e i pishchevyh produktah. – 1986. – 91 s.
  9. Sousa, G. Reuse of treated wastewater and sewage sludge for fertilization and irrigation / G. Sousa, D. Fangueiro, E. Duarte, E. Vasconcelos // *Water Science & Technology*. UK: IWA Publishing. – 2011. – p. 184.
  10. Vigneswaran, S. *Recycle and Reuse of Domestic Wastewater* / S. Vigneswaran, M. Sundaravadivel // *Wastewater Recycle, Reuse and Reclamation* (eds. Saravanamuthu Vigneswaran). UK: EOLSS Publishers/UNESCO. – 2009. – p. 79–81.