

УДК 628.381.4:631.416.8:631.445.4

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Т. Н. Мыслыва, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Т. Н. Ткачева, старший преподаватель

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Беларусь*

Аннотация

Установлено, что длительное орошение животноводческими сточными водами в объеме, эквивалентном 200, 300 и 400 кг/га азота, не оказывает значительного влияния на увеличение фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae. Однако оно способствует увеличению содержания в почве кислоторастворимой меди на 0,13, 0,74 и 0,75 мг/кг соответственно по сравнению с референтной почвой. По устойчивости к длительному орошению навозо-содержащими сточными водами представители семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae располагаются в такой убывающий ряд: редька масличная > горох посевной > рожь озимая > овес > рапс яровой > ячмень яровой.

Ключевые слова: орошение, сточные воды, почва, фитотоксичность, всхожесть, показатели роста.

Abstract

T. N. Myslyva, T. N. Tkacheva
**INFLUENCE OF LONG-TERM IRRIGATION
BY LIVESTOCK WASTEWATER ON THE
PHYTOXICITY OF THE SOD-PODZOLIC SOIL**

It has been established that prolonged irrigation by livestock wastewater with norms equivalent to 200–400 kg/ha of nitrogen does not significantly affect the phytotoxicity of sod-podzolic sandy loam soils for the representatives of the families Poaceae, Fabaceae and Brassicaceae, however, it increases the content of acid-soluble copper in the soil by 0.13, 0.74 and 0.75 mg/kg, respectively, compared to the reference soil. According to the resistance to prolonged irrigation with manure-containing wastewater, the representatives of the families Poaceae, Fabaceae and Brassicaceae are arranged in such a decreasing order: radish olive > peas > winter rye > oats > spring rape > spring barley.

Keywords: irrigation, livestock wastewater, soil, phytotoxicity, germination, growth indices.

Введение

В Республике Беларусь ежегодные объемы полужидкого и жидкого навоза, помета, навозных и пометных стоков, образующихся на животноводческих и птицеводческих комплексах, по разным оценкам составляют около 40 млн т [1]. Орошение сточными водами относится к важным комплексным мероприятиям, направленным на охрану от загрязнения водных ресурсов и интенсификацию сельскохозяйственного производства в условиях глобальных изменений климата. Дефицит пресной воды, используемой для мелиоративных целей,

с одной стороны, и прогрессирующее увеличение объемов сточных вод – с другой, обуславливают актуальность орошения сельскохозяйственных культур сточными водами различного происхождения [2]. Однако утилизация животноводческих сточных вод путем использования их в качестве источников орошения и нетрадиционных органических удобрений имеет разноплановые аспекты, связанные не только с сохранением и повышением плодородия почвы, но и экологией и охраной окружающей среды. Безопасность использования отходов сельскохозяйственного производства может быть

обеспечена путем дифференцированного подхода к оценке влияния их химического состава на почву и растения. Привнесение в почву любых веществ – будь то вещества-загрязнители или компоненты минеральных, органических либо органоминеральных удобрений – способно стать причиной токсичности почвы. А это приводит к накоплению в ней вредных для растений веществ, тормозящих их рост и развитие и вызывающих снижение продуктивности культур и качества получаемой сельскохозяйственной продукции [3]. Влияние сточных вод, применяемых для орошения и в качестве нетрадиционных источников органических удобрений, на рост и развитие растений изучается давно и достаточно широко. В частности, в период с 1989 по 2000 гг. была оценена взаимосвязь естественной увлажненности территории, норм орошения многолетних трав стоками со свиноводческого комплекса и природной водой со степенью загрязнения открытых водоемов возвратного стока, расположенных на территории полей орошения земель РСУП СГЦ «Заднепровский» (Оршанский район, Витебская область) [4]. Однако относительно мало работ посвящено исследованию влияния животноводческих стоков на фитотоксичность почвы в условиях Республики Беларусь. Исходя из изложенного, целями исследования были: 1) оценка влияния длительного орошения животноводческими сточными водами на фитотоксичность дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae; 2) определение токсикотолерантных культур и культур, пригодных для биологического мониторинга фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Объекты и методы исследований

Опытные участки размещались в пределах пахотных земель РСУП СГЦ «Заднепровский» (Оршанский район, Витебская область). Почвы опытного участка – дерново-подзолистые нормального увлажнения супесчаные на лессовидных супесях (гумус – 2,49 %; подвижный фосфор – 241 мг/кг; подвижный калий – 127 мг/кг; pH_{KCl} – 5,9). По гидрокли-

матическому районированию территории Беларуси для целей орошения регион проведения исследований относится к северной зоне (зона I). Образцы референтной и орошаемой почвы отбирались в 2017 г. Орошение выполнялось в период с 2006 по 2017 гг. навозосодержащими животноводческими стоками, сведения о среднем химическом составе которых представлены в табл. 1.

Определение фитотоксичности почвы выполнялось согласно требованиям ДСТУ ISO 11269-1:2004 [5] и основывалось на способности проростков растений реагировать на наличие тяжелых металлов в среде, в которой прорастиваются семена. Предварительно пророщенные семена сельскохозяйственных культур выращивались в контролируемых условиях в течение 14 дней. Двумя контрольными средами являлись песок и незагрязненная почва. После окончания периода выращивания у растений измерялись длина корней и длина побегов в обоих контрольных средах и на исследуемой загрязненной почве. Статистически достоверная разница между всхожестью и энергией прорастания семян, а также длиной корней проростков, выросших в исследуемой среде, и длиной корней проростков, выросших на контрольных средах, являлась показателем влияния загрязнения. Для оценки достоверности различий между вариантами опыта использовали критерий Даннетта и определяли значимую разность как произведение соответствующей величины критерия Даннетта на стандартную ошибку [6].

Результаты и обсуждение. Длительное орошение навозосодержащими сточными водами в количестве, эквивалентном 200–400 кг/га азота, не вызывает загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы такими тяжелыми металлами, как свинец и кадмий (табл. 2). Однако применение животноводческих сточных вод в объемах, эквивалентных 200, 300 и 400 кг/га азота, способствует увеличению содержания в почве кислоторастворимой меди на 0,13, 0,74 и 0,75 мг/кг соответственно, по сравнению с референтной почвой. Очевидно, что данный элемент прежде всего и будет обуславливать токсичность почвы для исследуемых культур.

Таблица 1 – Качественные характеристики навозосодержащих сточных вод, применяемых при орошении

Наименование	Название показателя									
	Азот общий, мг/л	P ₂ O ₅ , мг/л	K ₂ O, мг/л	pH _{KCl}	Содержание, мг/дм ³					
					Cu	Zn	Cd	Pb	Ca	Mg
Сточная вода	100	125	300	7,53	0,38	0,93	–	0,046	137,2	38,8
ПДК [ТКП 45-3.04-178-2009 (02250)]	250	–	250	6,0–8,5	1,0	1,0	0,001	0,030	500	–

Таблица 2 – Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов и микроэлементов в дерново-подзолистой супесчаной почве, слой 0–20 см

Вариант опыта	Содержание в почве, мг/кг			
	Cu	Zn	Cd	Pb
Без орошения (контроль)	3,77 ± 0,19	5,69 ± 0,35	0,15 ± 0,010	6,62 ± 0,54
Орошение природной водой	3,72 ± 0,17	5,18 ± 0,16	0,063 ± 0,004	5,05 ± 0,19
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	3,94 ± 0,24	6,15 ± 0,44	0,071 ± 0,006	5,43 ± 0,32
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	4,51 ± 0,29	6,72 ± 0,51	0,076 ± 0,006	5,42 ± 0,31
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	4,52 ± 0,31	7,52 ± 0,53	0,11 ± 0,010	5,69 ± 0,46

Примечание: экстрагирование тяжелых металлов выполнялось 1Н HCl.

Загрязнение почвы химическими веществами, в частности тяжелыми металлами, и, как следствие, поступление их избыточных количеств в растительные организмы вызывает серьезные нарушения обмена веществ и сбои в биохимических и ростовых процессах, что приводит к снижению общей продуктивности растений. Именно показатели интенсивности подавления ростовых процессов, особенно на начальных этапах онтогенеза растительного организма, используют при биотестировании загрязненной почвы для определения степени ее фитотоксичности [7]. Установлено, что длительное применение навозосодержащих сточных вод в изучаемых объемах не оказывает негативного токсического воздействия на величину энергии, прорастания семян озимой ржи сорта Заозерская, поскольку разница с контролем значительно ниже уровня достоверной значимости. Такая же тенденция прослеживается по отношению к длине зеленых проростков и их корней (табл. 3). На высокую токсикотолерантность озимых зерновых культур к воздействию сточных вод указывает и работа [8]. Высокая толерантность ржи к воздействию меди установлена также исследованиями венгерских ученых, выполненными в гидропонных культурах [9].

Для овса сорта Заповет достоверное негативное воздействие на длину корней у проростков установлено при орошении стоками в объемах, эквивалентных 300 и 400 кг/га азота. Аналогичная тенденция отражена и в исследовании [10]: отмечено ингибирующее воздействие водной вытяжки из городских осадков сточных вод (ОСВ) в разведении 1:10 и 1:100 на начальные ростовые процессы проростков семян овса. В работе [11] указывается на токсическое воздействие удобрений, полученных из городских ОСВ, на показатели начального роста и развития овса посевного.

Наименее толерантными к применению длительного орошения сточными водами среди

представителей семейства Poaceae оказались растения ячменя ярового сорта Фэст: при применении норм орошения, эквивалентных 200–400 кг/га азота, фиксировалось достоверное снижение энергии прорастания семян на 14–18 %, а всхожести – на 13–17 %. Однако указанные объемы орошения почвы не оказывали негативного воздействия на показатели начального роста и развития растений ячменя ярового, поскольку зафиксированное уменьшение данных показателей по сравнению с контролем было несущественным. Максимальная фитотоксичность почвы установлена при объеме орошения, эквивалентном 300 кг/га азота. По нашему мнению, негативное воздействие на растения ячменя связано с повышенным в 1,3–1,5 раза содержанием в почве меди. Кроме того, установлено, что токсичность меди для растений ячменя возрастает при pH почвы 6,5 и выше [12]. Это имело место и в наших исследованиях, поскольку на протяжении длительного периода почва орошалась сточной водой с pH 7,5.

Горох посевной проявлял высокую толерантность к применению длительного орошения сточными водами. Более того, у растений сорта Зарянка зафиксировано достоверное увеличение длины корней проростков (2,7 см, или 87 %) при норме орошения, эквивалентной 400 кг/га азота. Причиной этого, на наш взгляд, является то, что для растений гороха наиболее токсичные элементы – цинк и свинец [13], а их содержание в тестируемой почве было более чем в три раза ниже ПДК (цинк) либо не превышало ее (свинец). Токсикотолерантность гороха к меди объясняется биологическими особенностями данной культуры, в состав которой входит большее количество белка по сравнению с остальными исследуемыми растениями. На его синтез непосредственно и влияет медь, которая необходима гороху в больших, чем другим культурам, количествах.

Таблица 3 – Влияние длительного орошения навозосодержащими сточными водами на фитотоксичность дерново-подзолистой супесчаной почвы

Вариант опыта	Тест-функция							
	Энергия прорастания семян, %		Всхожесть семян, %		Длина зеленых проростков, см		Длина корней у проростков, см	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Озимая рожь, сорт Заозерская								
Без орошения (контроль)	64,2	–	69,5	–	11,3	–	9,0	–
Орошение природной водой	80,2	+16,0	85,3	+15,8	9,1	-2,2	6,3	-2,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	50,8	-13,4	52,2	-17,3	8,3	-3,0	6,1	-2,9
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	52,2	-12,0	50,8	-18,7	12,4	+1,1	10,7	+1,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	49,5	-14,7	58,8	-10,7	10,5	-0,8	8,5	-0,5
Стандартная ошибка	11,8		13,34		1,56		1,26	
Значимая разность	28,68		32,41		3,77		3,05	
Овес, сорт Заповет								
Без орошения (контроль)	44,8	–	58,2	–	11,0	–	7,0	–
Орошение природной водой	59,9	+15,1	73,8	+15,6	14,0	+3,0	6,3	-0,7
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	42,2	-2,6	56,3	-1,9	10,5	-0,5	5,6	-1,4
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	26,7	-18,1	40,2	-18,0	10,3	-0,7	5,1	-1,9
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	38,2	-6,6	51,5	-6,7	12,7	1,7	5,2	-1,8
Стандартная ошибка	10,4		10,6		1,37		0,63	
Значимая разность	25,73		25,7		3,34		1,54	
Ячмень яровой, сорт Фэст								
Без орошения (контроль)	34	–	40	–	10,6	–	9,6	–
Орошение природной водой	29,2	-4,8	36,2	-3,8	12,1	+1,5	13,2	+3,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	18,5	-15,5	24,7	-15,3	10,7	+0,1	9,7	+0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	15,7	-18,3	22,7	-17,3	7,6	-3,0	7,8	-1,8
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	20	-14,0	27	-13,0	8,5	-2,1	6,5	-3,1
Стандартная ошибка	4,08		4,09		1,52		1,79	
Значимая разность	9,93		9,96		3,68		4,36	
Горох, сорт Зарянка								
Без орошения (контроль)	31,2	–	37,8	–	5,6	–	3,1	–
Орошение природной водой	26,8	-4,4	33,5	-4,3	7,6	+2,0	4,4	+1,3
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	31,5	+0,3	42,8	+5,0	3,2	-2,4	3,3	+0,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	40,5	+9,3	46,5	+8,7	5,2	-0,4	3,3	+0,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	49,2	+18,0	55,8	+18,0	7,5	+1,9	5,8	+2,7
Стандартная ошибка	14,04		14,17		2,55		0,92	
Значимая разность	34,13		34,44		6,16		2,24	
Горох, сорт Соломанка								
Без орошения (контроль)	27,0	–	29,3	–	7,8	–	17,2	–
Орошение природной водой	20,3	-6,7	22,7	-6,6	8,3	+0,5	15,0	-2,2

Продолжение табл. 3

	1	2	1	2	1	2	1	2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	13,7	-13,3	16,0	-13,3	3,2	-4,6	16,0	-1,2
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	11,3	-15,7	16,0	-13,3	9,1	+1,3	15,2	-2,0
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	32,0	+5,0	35,7	+6,4	10,0	+2,2	20,3	+3,1
Стандартная ошибка	8,79		10,17		2,69		4,27	
Значимая разность	21,37		24,71		6,54		10,38	
Рапс яровой, сорт Смилла								
Без орошения (контроль)	7,0	–	38,5	–	5,7	–	6,4	–
Орошение природной водой	7,3	+0,3	23,0	-15,5	4,0	-1,7	6,3	-0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	23,0	+16,0	27,5	-11,0	3,8	-1,9	5,4	-1,0
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	29,2	+22,2	47,3	+8,8	3,6	-2,1	2,8	-3,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	26,8	+19,8	49,5	+11,0	3,3	-2,4	2,6	-3,8
Стандартная ошибка	13,62		14,41		0,79		1,41	
Значимая разность	33,11		35,0		1,93		3,42	
Редька масличная, сорт Ника								
Без орошения (контроль)	7,0	–	11,0	–	4,9	0,0	6,6	0,0
Орошение природной водой	45,7	+38,7	56,0	+45,0	4,0	-0,9	6,7	0,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 200 кг/га азота	39,3	+32,3	44,0	+33,0	3,5	-1,4	6,0	-0,6
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 300 кг/га азота	37,8	+30,8	43,0	+32,0	8,2	+3,3	5,5	-1,1
Орошение стоками в объеме, эквивалентном 400 кг/га азота	33,8	+26,8	45,0	+34,0	8,3	+3,4	5,1	-1,5
Стандартная ошибка	5,93		4,08		1,01		1,20	
Значимая разность	11,77		9,92		2,46		2,38	

Примечание: столбец 1 – фактический показатель; столбец 2 – +/- к контролю.

Среди растений-представителей семейства Brassicaceae высокую чувствительность к токсичности почвы, вызванной длительным орошением сточными водами, проявлял рапс. Более негативное воздействие оказано на начальный рост растений, нежели всхожесть семян. В частности, зафиксировано достоверное снижение длины зеленых проростков рапса при норме орошения, эквивалентной 300 и 400 кг/га азота (на 2,1 и 2,4 см, или 53 и 60 % соответственно). Для длины корней у проростков данные показатели составили 3,6 и 3,8 см (56 и 59 %) соответственно. Повышенная фитотоксичность меди для растений рапса, по нашему мнению, связана с тем, что при избытке Си уменьшается количество корневых волосков и снижается длина корней. Это приводит к неспособности поглощать из почвы воду и элементы питания в необходимом количестве, вследствие чего происходит остановка в развитии растения, что установлено и в других исследованиях, например [14]. На высокую чувствительность рапса к токсическому

воздействию меди на ранних стадиях развития указывается и в работе венгерских ученых [15].

Наивысшую токсикотолерантность к длительному орошению сточными водами продемонстрировала редька масличная сорта Ника. Для нее зафиксировано достоверное увеличение показателей энергии прорастания и всхожести семян при норме орошения, эквивалентной 200–400 кг/га азота, а также длины зеленых проростков при норме орошения, эквивалентной 300–400 кг/га азота. Данный факт позволяет заключить, что редька масличная может быть использована в качестве фиторемедианта на почвах, подверженных токсическому воздействию вследствие орошения сточными водами. Способность редьки масличной произрастать на почвах с сильным загрязнением животноводческими и промышленными стоками, а также экстрагировать из почвы значительное количество биофильных элементов и тяжелых металлов установлена и в исследовании [16]. По устойчивости к длитель-

ному орошению навозосодержащими сточными водами представители семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae располагаются в такой убывающий ряд: редька масличная > горох посевной > рожь озимая > овес > рапс яровой > ячмень яровой.

Заключение

Проведенные исследования дают основания сделать следующие выводы:

1) длительное орошение животноводческими сточными водами в объемах, эквивалентных 200–400 кг/га азота, не оказывает значительного влияния на увеличение фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы для представителей семейств Poaceae, Fabaceae и Brassicaceae;

2) показатели прорастания семян и начального роста проростков достаточно информативны при определении фитотоксичности дерново-подзолистой почвы, длительно орошаемой навозосодержащими стоками;

3) наиболее токсикотолерантной культурой оказалась редька масличная, которую можно использовать в качестве фиторемедианта почв, загрязненных тяжелыми металлами, в частности медью;

4) наименее токсикотолерантную культуру – ячмень яровой – рекомендуется использовать в качестве тест-объекта для биологического мониторинга фитотоксичности дерново-подзолистой супесчаной почвы, длительно орошаемой животноводческими сточными водами.

Библиографический список

1. Ключенович, В. И. Инновационные подходы в области переработки органических отходов / В. И. Ключенович, В. В. Ходин // Экология на предприятии. – 2014. – № 11 (41). – С. 68-71.
2. Давыдов, А. С. Опыт применения сточных вод для орошения / А. С. Давыдов, А. В. Тиньгаев, В. Б. Шепталов // Вестник АГАУ. – 2008. – № 12 (50). – С. 43-45.
3. Білявський, Ю. А. Фітотоксичність Cu, Pb, Cd і Zn для овочевих культур – представників родини Brassicaceae / Ю. А. Білявський, Т. М. Мислива // Вісн. СНАУ. Сер. Агрономія і біологія. – 2014. – Вип. 3 (27). – С. 73-77.
4. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко. – Горки : БГСХА, 2003. – 168 с.
5. Якість ґрунту. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 1: Метод визначення гальмівної дії на ріст коренів. ДСТУ ISO 11269-1:2004. К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 9 с.
6. Dunnett, C. W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with control / C. W. Dunnett // Journal of the American Statistical Association. – 1985, Vol. 50. – № 272. – P. 1096-1121.
7. Мыслыва, Т. Н. Влияние моно- и полиметаллического загрязнения на фитотоксичность серой оподзоленной почвы для представителей семейства Fabaceae / Т. Н. Мыслыва // Вестник Брянской ГСХА. – 2016. – № 6 (58). – С. 3-8.
8. Касатиков, В. А. Влияние компостирования осадков сточных вод на их агроэкологические свойства / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина // Известия ОГАУ. – 2008. – № 2(18). – С. 28-31.
9. Bálint, A. F. Copper tolerance of Aegilops, Triticum, Secale and triticaleseedlings and copper and iron content in their shoots / András F. Bálint, Géza Kovács, József Sutka // Acta Biologica Szegediensis. – 2002. – Vol. 46 (3-4). – P. 77-78.
10. Левин, В. И. Влияние осадка сточных вод на морфофизиологическую изменчивость растений овса в агроценозах / В. И. Левин, Т. В. Хабарова // Вестник Рязанского гос. агротехнол. ун-та им. П. А. Костычева. – 2012. – № 4 (16). – С. 44-47.
11. Яшкина, А. А. Снижение фитотоксичности компостов на основе осадков сточных вод по мере созревания / А. А. Яшкина, О. А. Федорова // Мониторинг. Наука и технологии. – 2016. – № 4 (29). – С. 80-85.
12. Wang, X. Identification of hydroxyl copper toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) root elongation in solution culture / X. Wang, Y. Ma, L. Hua, M. J. McLaughlin // Environ Toxicol Chem. – 2009. – 28 (3). – P. 662-667.
13. Mrigakhi, B. Effect of heavy metals on *Pisum sativum* Linn. / B. Mrigakhi, D. Ashalata // I.J.A.B.R. – 2012. – Vol. 2 (2). – P. 314-321
14. Герасимчук, Л. О. Вплив моно- та поліметалічного забруднення на фітотоксичність дерново-підзолистого ґрунту / Л. О. Герасимчук // Вісник Харківського нац. аграр. ун-ту ім. В. В. Докучаєва. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. – 2010. – № 1. – С. 188-194.
15. Comparing the effects of excess copper in the leaves of *Brassica juncea* (L. Czern) and *Brassica napus* (L.) seedlings: Growth inhibition, oxidative stress and photosynthetic damage / F. Gábor [at al.] // Acta Biologica Hungarica. – 2015. – 66 (2). – P. 205-221.
16. Флесс, Н. А. Фиторемедиация почв, загрязненных жидкими органическими удобрениями перспективность амаранта багряного, редьки масличной и горчицы белой в качестве растений-фиторемедиаторов / Н. А. Флесс. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 180 с.