

УДК 631.6+631.84/85

ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ВЫНОС БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ДРЕНАЖНЫМИ ВОДАМИ

С. Мисявичене, доктор технических наук
Литовский сельскохозяйственный университет
Каунас, Литва

Ключевые слова: концентрация биогенных веществ, дренажные воды, землепользование

Введение

В 2003 г. Европейским союзом была начата реформа общей сельскохозяйственной политики, уделяющая особое внимание охране окружающей среды. В Литве охрана водных ресурсов направлена на уменьшение источников загрязнения Балтийского моря и внутренних вод, ее регламентируют Закон о воде и Закон об охране морской среды, а также множество законодательных актов, ратифицированных Хельсинкской и Стокгольмской конвенциями. С вступлением в Евросоюз Литва обязалась выполнять требования по охране вод.

Сельскохозяйственный сектор Литвы занимает 53% всей сухопутной территории, поэтому проблемой охраны окружающей среды, связанной с сельским хозяйством, является выщелачивание биогенов, т.е. питательных веществ растений. Их избыток ухудшает качество дренажных и грунтовых вод. Реки, протекающие через земледельческие поля, собирают воды, насыщенные этими элементами. Определения химического состава воды рек и других поверхностных водохранилищ показали, что качество дренажных вод ухудшилось там, где ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность [1]. В местностях, где произрастает лес, а хозяйственная деятельность не является интенсивной, за год в среднем вымывается 5,6 кг·га⁻¹ азота, а с земледельческих полей – в 2,5 раза больше [2].

В результате интенсивного удобрения азотом в 2000 г. в районе Средней равнины в бассейне р. Грайсупис выщелачивание этого элемента составило 16 кг·га⁻¹, что в 2,6 раза больше, чем в бассейне р. Вардас Балтийской возвышенности, и в 4 раза выше, чем в бассейне р. Лыжена Жемайтийской возвышенности [3]. Интенсивное хозяйствование в районе Средней равнины, где среднегодовое выщелачивание азота составляло в ручьях 14,4 кг·га⁻¹, способствовало повышению концентрации азота до 5,9 мг·л⁻¹ [4].

Так как азот является подвижным элементом, то он легко выщелачивается в окружающую среду, загрязняя колодцы, реки и озера, вызывая зарастание водоемов и загрязнение колодезной воды до концентраций, опасных для здоровья людей [5]. Вода более трети шахтных колодцев в Литве загрязнена нитратами, а иногда концентрация нит-

ратов в них в 100 раз превышает концентрацию в дренажных водах, стекающих с сельскохозяйственных полей [6].

Морским центром при Министерстве окружающей среды установлено [7], что Куршский залив является очень эвтрофицированным. Исследования Института водного хозяйства Литвы показали, что в последнее время, несмотря на уменьшение объемов сельскохозяйственного производства и использования удобрений, загрязнение большинства рек нитратным азотом увеличилось [8].

С целью уменьшения эвтрофикации Куршского залива в Литве принято несколько важных документов: Кодекс хорошего земледелия, согласно которому для снижения загрязнения нитратами количество вносимого в почву навоза в каждом хозяйстве не должно превышать 170 кг на один гектар сельскохозяйственных угодий; указ министров окружающей среды и сельского хозяйства, касающийся природоохранных требований по упорядочению навоза, который ограничивает удобрение пашни навозом после 1 июля: на один гектар сельскохозяйственных угодий не должно приходиться более 80 кг азота [9]; Программа защиты от загрязнений соединениями азота из сельскохозяйственных источников; Национальная стратегия согласованного развития, в которой намечено до 2020 г. не превышать нормативных требований по показателям загрязнения окружающей среды.

Ввиду того, что подвижность фосфора, как правило, низкая, он накапливается в почвах и в грунтовые воды почти не выщелачивается. В большинстве государств (например, в Дании, Франции, Германии) регламентируется количество азота при удобрении сельскохозяйственных земель. Но в таких странах, как Голландия и Бельгия, удобрение ограничивается по фосфору. Так как большинство почв в странах Европы переудобрено фосфором, сильно увеличилось потери этого элемента из-за эрозии почвы [10].

Согласно классификации Евросоюза по качеству поверхностных вод для поддержания жизнедеятельности, концентрация общего фосфора не должна превышать 0,025 мг·л⁻¹. Однако добиться такой концентрации, интенсивно развивая сельское хозяйство, достаточно трудно поэтому ученые Швеции предлагают считать допустимой концентрацию 0,05 мг·л⁻¹ [11].

Цель настоящей работы – установить воздействие выращиваемых растений на качество дренажных вод.

Условия исследований и методика

На опытном объекте Йодкишкис Института водного хозяйства Литовского сельскохозяйственного университета в 1999-2003 гг. проводились исследования на полях севооборотов, удобряемых жидким навозом и минеральными удобрениями. Схему опытов составляют три варианта (I-III) с трехкратным повторением (рис.1). Опытная площадь (1,22 га) осушена дренажем.

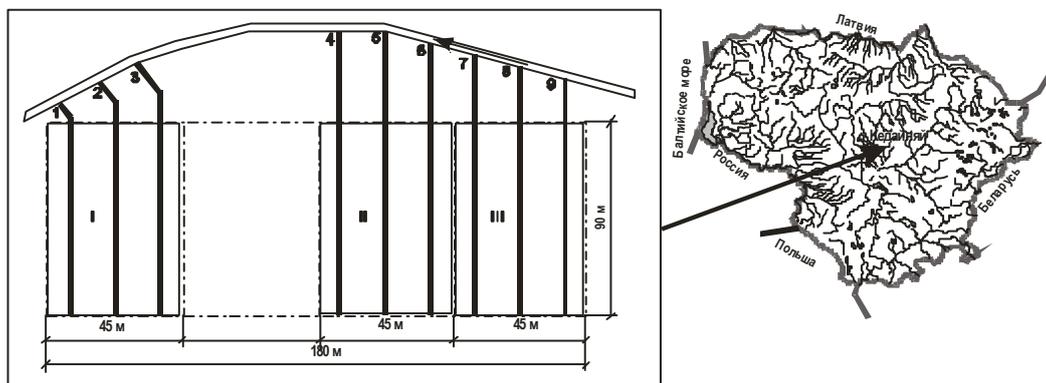


Рис. 1. Схема исследуемого объекта.

I вариант – удобрение жидким навозом; II вариант – внесение минеральных удобрений; III вариант – без удобрений; 1-9 – номера дренажных устьев

Трехкратное повторение каждого опытного варианта осуществлялось на отдельных дренах, междуренье которых ограничено полиэтиленовыми экранами во избежание утечки питательных веществ из одной системы в другую. Площадь, занимаемая отдельной дренажной системой, составляет 0,135 га.

На опытной площади выращивались следующие растения:

1. Яровая пшеница (с жидким навозом $N_{62}P_{29}K_{103}$ и минеральными удобрениями $N_{62}P_{29}K_{103}$). 2. Клевер луговой I г. и. (с жидким навозом $N_{41}P_{16}K_{29}$ и минеральными удобрениями $N_{43}P_{16}K_{29}$). 3. Клевер луговой II г. и. (с жидким навозом $N_{88}P_{43}K_{97}$ и минеральными удобрениями $N_{87}P_{43}K_{97}$). 4. Сахарная свекла (с жидким навозом $N_{190}P_{76}K_{271}$ и минеральными удобрениями $N_{200}P_{100}K_{150}$). 5. Яровой рапс (с жидким навозом $N_{75}P_{32}K_{98}$ и минеральными удобрениями $N_{75}P_{32}K_{97}$)*.

Гранулометрический состав почв установлен пипетным методом Качинского; пробы брались с глубины 0-120 см каждые 10 сантиметров.

Согласно исследованиям гранулометрического состава, почва опытного участка супесчаная. С генетической точки зрения, согласно почвенной классификации FAO, это глубоко карбонатный, глубоко глееватый глинозем (RDg4-k2) [12]. Почвы I и II вариантов являются супесчаными, III вариант – легкий суглинок на супесчанике.

В верхних слоях почвы карбонатов меньше (0,9-4,7%), хотя на глубине от 40 до 100 см их количество колеблется от 18 до 22%. Почвы имеют щелочную реакцию ($pH > 7$), среднее содержание гумуса в пахотном слое 1,47-2,94%, азота в слое 0-40 см – от 31,8 до 45,6 $кг \cdot га^{-1}$, содержание в пахотном слое используемых растениями P_2O_5 и K_2O , соответственно, 73,0-81 и 58,0-78 $кг \cdot га^{-1}$.

* I г. и. – первый год использования; II г. и. – второй год использования.

Пробы для определения химического состава дренажных вод брались один раз в месяц. Метеорологические условия оценивали по данным Вилайнского поста, уточняли на опытной площадке с помощью дождемера. Анализы воды, согласно методике [13], проведены в Лаборатории химических анализов Литовского института водного хозяйства.

Дренажный сток измерялся объемным методом каждые пять суток, а в весенний и осенний периоды – каждый день. Дебиты рассчитаны методом линейной интерполяции, а величина дренажного стока – согласно суточному дебиту.

Количество биогенных веществ рассчитано методом линейной интерполяции [14].

Статистический анализ проведен с использованием программы «Excel 2000».

Результаты исследований

На основе данных пяти периодов исследований установлено, что количество осадков ни в один из периодов не превышал многолетнюю норму. За период 1999-2000 гг. выпала многолетняя норма осадков, а в 2000-2001 гг. – 99% от многолетней нормы. В 1999, 2001-2002 гг. наблюдались засушливые периоды, когда осадков выпало соответственно 86 и 89%, в 2002-2003 гг. количество выпавших осадков составляло 66% от многолетней нормы (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические условия за периоды исследований

Показатели	1999 г.	1999-2000 гг.	2000-2001 гг.	2001-2002 гг.	2002-2003 гг.
	I-XI	XII-X	XI-IX	X-X	XI-VIII
Осадки, мм	469	533	536	567	326
В % от многолетней нормы	86	100	99	89	66
Средняя температура воздуха, °С	8,6	8,3	8,0	10,1	5,5
В % от многолетней нормы	123	128	131	163	99

Средняя температура воздуха за первые четыре периода исследований была выше, чем многолетняя, соответственно, на 23, 28, 31 и 61%, а в последний период – на 1% ниже многолетней нормы. Вследствие засушливой и жаркой погоды в 2002-2003 гг. дренажный сток не образовался, а в сухие периоды наблюдений в 1999, 2001-2002 гг. продолжался соответственно 3 и 7 месяцев. В 1999-2000 гг. и 2000-2001 гг., когда выпало, соответственно, 100 и 99% многолетней нормы осадков, дренажный сток продолжался, соответственно, 7 и 6 месяцев (рис. 2).

Ввиду того, что в зимний период средняя температура воздуха была выше, чем многолетняя норма, и имели место частые оттепели, дренажный сток составил среднее значение за последние пять лет. В весеннее половодье через дренаж стекло 43,7% воды. В летний и осенний периоды дренажный сток был очень незначительным и составил 0,03 и 9,0% соответственно.

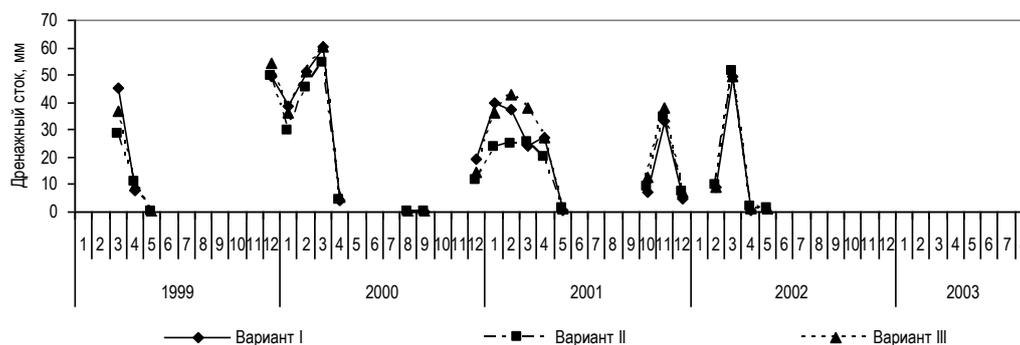


Рис. 2. Динамика дренажного стока

Изменение концентраций биогенных веществ в дренажных водах существенно различалось. Средние же концентрации общего азота и фосфора не превышали предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные законодательством для дренажных вод, и колебались от 9,6 до 12,4 мг·л⁻¹ и от 0,018 до 0,027 мг·л⁻¹ соответственно.

Однако наибольшее значение $N_{\text{общ}}$ превышало ПДК уже в контрольном варианте в 1,7 раза и составляло 25,6 мг·л⁻¹. Наибольшее значение $P_{\text{общ}}$ наблюдалось в варианте с внесением минеральных удобрений (0,1 мг·л⁻¹), но даже в этом случае это в 20 раз меньше ПДК. Таким образом, можно утверждать, что при удобрении жидким навозом и минеральными удобрениями, а также без внесения удобрений наблюдаются случаи, когда концентрация азота в дренажных водах (чаще всего с началом дренажного стока) превышает ПДК (рис. 3).

Наибольшая концентрация азота в дренажных водах была в апреле 2002 г.: в вариантах, удобряемых жидким навозом и минеральными удобрениями, она составила 35,1 и 36,9 мг·л⁻¹, соответственно, а это в 2,3 и 2,5 раза превышает ПДК. В контрольном варианте концентрация $N_{\text{общ}}$ также превышала допустимую норму в 1,7 раза. Видимо, это объясняется тем, что осенью 2001 г. было вспахано поле, на котором выращивался клевер луговой.

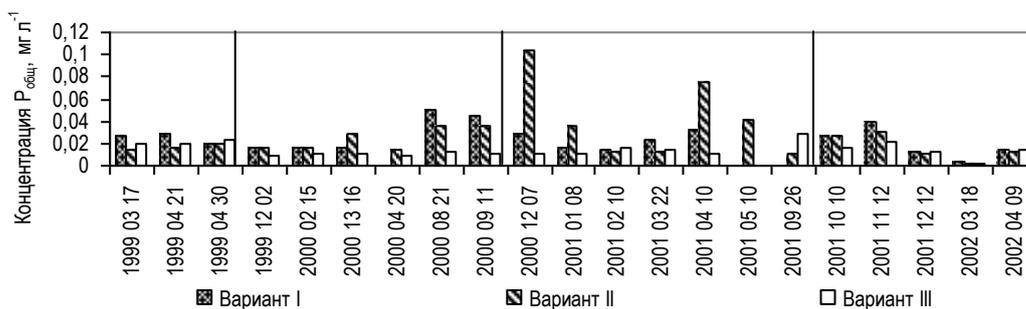


Рис. 3. Изменения концентраций $N_{\text{общ}}$ и $P_{\text{общ}}$ в дренажных водах

Запасы азота в почве были пополнены минерализующимися растительными остатками. Согласно [15], процессы нитрификации происходят и при низкой температуре, в связи с этим образуются дополнительные запасы нитратов в почве. Однако осенне-зимний период является наиболее благоприятным для вымывания азота из почвы, так как в это время растительность отсутствует, а осадков выпадает достаточно. Весной, с повышением температуры, процессы минерализации в почве активизируются, а азот используется растениями не полностью, что и обуславливает его вымывание.

За пять лет исследований наименьшая концентрация азота в дренажных водах зафиксирована в 2001 г. На участке с клевером луговым II г. и. среднее значение в контрольном варианте составило 3,5 мг·л⁻¹. На фоне жидкого навоза и в варианте с минеральными удобрениями они были выше, чем на контроле, соответственно, на 20,6 и 53,9%.

В 1999 г. на опытном поле выращивалась яровая пшеница с подсевом клевера лугового. В этот год среднее значение концентрации азота в дренажных водах изменялось от 8,6 в контрольном варианте до 13,1 мг·л⁻¹ в варианте с внесением минеральных удобрений. Такие значения концентраций были обусловлены возделыванием до этого на опытном поле овощных культур. К тому же, из-за неблагоприятных метеорологических условий урожай яровой пшеницы был низким, а подсеянный клевер луговой взшел очень плохо, поэтому питательные вещества, не использованные растениями, выщелачивались. Концентрация азота в течение года сильно колебалась: наибольшей она была в начале работы дренажа (в декабре 1999 г. – от 21,0 до 31,7 мг·л⁻¹) и весной (в апреле 1999 г. – от 14,1 до 19,9 мг·л⁻¹), когда дренажный сток был минимальным.

В исследуемый период 2000 г. дренажный сток начался довольно рано – в первую декаду декабря 1999 г., когда средняя температура воздуха была выше многолетней на 3,1 °С, поэтому биогенные вещества выщелачивались, и их концентрации зимой были выше, чем летом того же периода наблюдений, когда с прорастанием клевера лугового питательные вещества использовались на наращивание зеленой массы.

Средняя концентрация фосфора за период исследований была невысокой – 0,018-0,027 мг·л⁻¹ (ПДК – 2 мг·л⁻¹). Однако в отдельные сроки определения в 2001 г. на поле, занятом клевером луговым II г. и., она достигала 0,08-0,1 мг·л⁻¹.

Увеличению концентрации фосфора способствовало возделывание многолетних трав и растений с более мощной корневой системой, которые растворяли находившиеся в почве трудно растворимые фосфаты кальция, поглощая кальций, и при этом освобождался фосфор [16]. Хотя выщелачивание фосфора было малым, по утверждению исследователей, уже концентрация 0,03-0,05 мг·л⁻¹ стимулирует эвтрофикацию водоемов [17].

Проанализировав данные пяти лет исследований, установили, что увеличение концентрации фосфора связано с выращиваемыми растениями, так как в 2000 и

Таблица 2. Зависимость концентраций биогенных веществ в дренажных водах от количества внесенных удобрений

Элемент	Форма связи	r	t _{теор95%}	t _{факт}	n
N _{общ}	$y = 0,1319x + 6,5568$	0,83	2,2	8,5	12
P _{общ}	$y = 0,0002x + 0,0219$	0,22	2,2	0,7	12

Примечание. Связь достоверна, если $t_{факт} > t_{теор95\%}$.

2001 г., когда произрастал клевер луговой, среднегодовые концентрации P_{общ} составляли соответственно 0,026 и 0,027 мг·л⁻¹. Согласно [18], многолетние травы увеличивают количество бактерий, расщепляющих трудно усвояемые растениями соединения фосфора, часть которых выщелачивается.

На концентрации питательных веществ растений оказало влияние внесение удобрений. Воздействие удобрений на качество дренажных вод подтверждается составленными корреляционными зависимостями между количеством удобрений, внесенных за год (x), и концентрацией элементов в дренажных водах (y) (табл. 2).

Удобрение опытного поля в 1999-2003 гг. предопределило концентрации общего азота, а связь по фосфору с внесением удобрений не являлась достоверной, так как согласно критерию Стьюдента t_{факт} меньше, чем t_{теор95%}.

Концентрации N_{общ} на 29% зависели от запасов минерального азота, находившегося в почве весной. Получена следующая зависимость:

$$y=0,4013x - 3,53 \quad (1)$$

$$(r=0,54; n=27, t_{теор95\%} = 2,1; t_{факт} = 3,78).$$

Однако дренажный сток чаще всего происходит осенью, поэтому рассчитана зависимость концентраций N_{общ} от запасов минерального азота в почве осенью, которая определила концентрации N_{общ} на 45%:

$$y=0,0623x + 3,02 \quad (2)$$

$$(r=0,67; n=28, t_{теор95\%} = 2,1; t_{факт} = 6,2),$$

где x – количество минерального азота в почве; y – концентрации N_{общ} в дренажных водах.

Связь концентраций P_{общ} с запасами в почве P₂O₅ не установлена.

Данные табл. 3 свидетельствуют, что на вымывание биогенных веществ оказывают влияние возделываемые растения. В 1999 г., когда произрастала яровая пшеница с подсевом клевера лугового, концентрация N_{общ} достигла 18,1 мг·л⁻¹. В 2000 г. при возделывании клевера лугового I г. и средняя концентрация N_{общ} составила 10,8 мг·л⁻¹. В следующий период исследований (2001 г.) произрастал клевер луговой II г. и. и средняя концентрация N_{общ} значительно уменьшилась (до 3,8 мг·л⁻¹). При выращивании сахарной свеклы концентрация общего азота значительно увеличилась и достигла 16 мг·л⁻¹.

Увеличение концентраций P_{общ} в дренажных водах наблюдалось в период

Таблица 3. Дренажный сток и выщелачивание азота и фосфора

Период исследований	Вариант	Сток, мм	N _{общ}		P _{общ}		Культура
			мг л ⁻¹	кг га ⁻¹	мг л ⁻¹	кг га ⁻¹	
1999 (I-XI)	I	53,08	17,63	9,3	0,024	0,01	Яровая пшеница с подсевом клевера лугового
	II	38,92	21,30	8,0	0,017	0,01	
	III	46,94	15,3	6,6	0,021	0,01	
	В среднем	46,31	18,08	7,97	0,021	0,01	
2000 (XII-X)	I	204,25	10,56	28,5	0,028	0,03	Клевер луговой первого года использования
	II	183,0	12,86	32,3	0,025	0,04	
	III	208,42	8,95	22,0	0,024	0,03	
	В среднем	198,56	10,79	27,60	0,026	0,03	
2001 (XI-IX)	I	147,97	3,49	4,1	0,023	0,03	Клевер луговой второго года использования
	II	106,61	5,14	5,8	0,047	0,04	
	III	160,38	2,77	4,6	0,012	0,03	
	В среднем	138,32	3,80	4,83	0,027	0,03	
2002 (X-X)	I	104,13	20,16	19,9	0,019	0,02	Сахарная свекла
	II	114,37	14,82	16,7	0,015	0,02	
	III	118,61	12,96	15,4	0,016	0,01	
	В среднем	112,37	15,98	17,33	0,017	0,02	
2003 (XI-VIII)	I	0	0	0	0	0	Яровой рапс
	II	0	0	0	0	0	
	III	0	0	0	0	0	
	В среднем	0	0	0	0	0	

произрастания клевера лугового. При выращивании яровой пшеницы с подсевом, а также сахарной свеклы концентрации этого элемента были более низкими.

Выводы

1. Концентрации N_{общ} в дренажных водах повышались с увеличением норм удобрения, но на концентрацию P_{общ} внесение удобрений не влияло.
2. Концентрации N_{общ} в дренажных водах повышались за счет запасов минерального азота в почве. Количество подвижного фосфора в почве не влияло на концентрации P_{общ}.
3. Произрастающий клевер луговой уменьшал концентрацию N_{общ} (I г. и. – до 10,8 мг·л⁻¹, а II г. и. – до 3,8 мг·л⁻¹).
4. Концентрации N_{общ} в дренажных водах на пашне были в 2,3 раза больше, чем на поле, засеянном клевером луговым.
5. Загрязнение дренажных вод азотом установлено при возделывании яровой пшеницы с подсевом клевера лугового (18,1 мг·л⁻¹) и сахарной свеклы (16 мг·л⁻¹). Среднегодовые концентрации фосфора в дренажных водах не превышали ПДК.

Литература

1. Gaigalis K., Šileika A.S., Šmitienė A. Azoto ir fosforo koncentracijų kaita žemės ūkio veikiamuose upeliuose // Vandens ūkio inžinerija: Mokslo darbai. – 2006. T.30(50), p. 44-56.

2. Kutra G., Račkauskaitė A. Ūkinės veiklos poveikis upelių vandens kokybei // Vandens ūkio inžinerija: Mokslo darbai. – 2001. T.16(38), p. 34 – 38.
3. Gaigalis K., Račkauskaitė A. Azoto ir fosforo išplovimo agroekosistemose ypatumai // Vandens ūkio inžinerija: Mokslo darbai. – 2001. T.16(38), p. 39 – 46.
4. Kutra S., Kusta A., Rutkoviėnė V. Šachtinių šulinių vandens kokybės rodiklių variacijos tyrimai // Vandens ūkio inžinerija. Mokslo darbai. – 2002. T. 20(42), p. 56-65.
5. Šileika A.S. Mėšlidžių statyba įgyvendinant Europos Sąjungos Nitratų direktyvą 91/676/EEB. – Kėdainiai, Vilainiai: UAB Rinkos aikštė. 2001. – 56 p.
6. Olenina I. Long-Term changes in the Kuršių Marios lagoon: Eutrophication and phytoplankton response // Ekologija. – 1998. No 1, p. 56 – 65.
7. Šileika A.S. Nutrient losses from agriculture in Lithuania // Landbauforschung Volkenrode.– 2000. №1/2, p.3-5.
8. Dėl aplinkosaugos reikalavimų mėšlui tvarkyti patvirtinimo. Lietuvos respublikos aplinkos ministro ir žemės ūkio ministro 2005 m. liepos 14 d. įsakymas Nr. D1-367/3D-342. Valstybės žinios. – 2005. No 92-3434.
9. Sibbesen E., Runge – Metzger A. 4 Phosphorus balance in European Agriculture – Status and Policy Options. – 2001. Available at: <http://www.iscu-scope.org/downloadpubs/scope54/4sibbesen.htm>, 30.12.2005.
10. Gustafson A., Bergstrom L. and Ulen B. Losses of N, P and Pesticides from Agriculture and Environment Sustainability. Framework of the Baltic Agricultural Run-Off Programme. SLU. – 1995.
11. Buivydaitė V.V., Vaičys J., Juodis J., Motuzas A. Lietuvos dirvožemių klasifikacija. – Vilnius: Lietuvos mokslo redakcija. 2001. – 137 p.
12. Unifikuoti nuotekų ir paviršinių vandenų kokybės tyrimų metodai. 1 dalis. – Vilnius: AAM leidybos biuras. 1994. – 223 p.
13. Guidelines for the third pollution load compilation (PLC – 3). // Baltic Sea environmental proceedings. – 1994. No 57, p. 9.
14. Трипольская Л., Панамариовиенė А. Медžiagų migracija dirvožemyje intensyviai tręšiamoje pašarų sėjomainoje. // Žemdirbystė: Mokslo darbai. – 1995. T. 50, p. 76 – 84.
15. Блацк С. А. Растение и почва. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
16. Sharpley A.N., Rekolainen S. Phosphorus in Agriculture and its Environmental Implications. Phosphorus Loss from soil to water. SAB International. – 1997. p.1 – 43.
17. Komparskas J. Drenažo įtaka augalams prieinamo P₂O₅ dinamikai velėniniame-glėjiškame nujaurėjusiame dirvožemyje. // Lietuvos hidrotechnikos ir melioracijos mokslinio tyrimo instituto darbai. – 1961. T. 3, p. 105-112.

Summary

Missyavichene S. **Land-Utilization Impact to Carry-Over of Biotic Agents with Drainage Waters**

As a result of realized study it is determined that grown red clover have reduced the concentration of N_{total}, and quite the contrary increased P_{total}. Due to growing of red clover during 11 years of use the concentrations of N_{total} reduced up to 3.8 mg ·l⁻¹, and P_{total} increased to 0.03 mg ·l⁻¹.

According to the standards classified in Lithuania drainage waters are not clogged with phosphorus, though average annual concentrations of nitrogen exceed the ceiling in soils where spring wheat with undersow and sugar beet is growing.

Поступила 5 февраля 2009 г.