

**ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ
НА ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ**

С. М. Крутько, научный сотрудник
РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: животноводческие стоки, земледельческие поля орошения, урожай, химический состав, вынос, коэффициент фильтрации

Введение

В настоящее время в Беларуси функционирует около 200 животноводческих комплексов, половину из которых составляют свиноводческие с мощностью ежегодного откорма от 12 до 108 тыс. голов. На них накапливается примерно 19-20 млн. м³ жидкого навоза и навозных стоков влажностью свыше 97%. Наличие такого количества крупных предприятий способствует увеличению объемов производства животноводческой продукции, но в то же время оказывает негативное воздействие на экологическую обстановку в зонах их размещения. Это обусловлено, прежде всего, недостаточной обоснованностью размеров комплексов (например, в странах Евросоюза мощность свинокомплексов ограничивается 15 тыс. голов), нарушениями, связанными с эксплуатацией систем удаления навоза, отсутствием надлежащего контроля за состоянием окружающей среды [1]. В республике утилизация их проводится по трем технологическим схемам:

- разделение отходов животноводческих комплексов на фракции с использованием осветленных стоков на земледельческих полях орошения (ЗПО);
- вывоз и внесение жидких органических удобрений мобильным транспортом на сельскохозяйственные угодья помимо ЗПО;
- искусственная биологическая очистка жидкой фракции стоков с последующей ее перекачкой на городские очистные сооружения и очистка с помощью аэротенков.

Искусственная биоочистка из-за высокой энергоемкости не получила широкого распространения и в настоящее время функционирует в республике лишь на одном свинокомплексе Минской области (совхоз-комбинат «Борисовский»). То же можно сказать и о метантенках. Из-за высокой влажности животноводческих стоков строительство биогазовых установок может оказаться неэффективным. Поэтому прежде чем их создавать, необходимо решить вопрос о замене гидросмыва на менее водоемкие системы навозоудаления на крупных свинокомплексах. Кроме того, после обработки в аэротенках и метантенках стоки также требуют последующей утилизации в земледелии и луговодстве. При завышении их дозы и упущении сроков внесения (обычное явление на практике) не исключается также загрязнение окружающей среды.

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективно можно использовать навоз-

ные стоки при орошении сельскохозяйственных культур, особенно многолетних трав. В результате повышаются их урожайность и плодородие почвы, исключается необходимость приобретения минеральных удобрений.

Методика и условия проведения исследований

Исследования проводились на земледельческих полях орошения КУСХП «Северный» Городокского района Витебской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, имела следующую агрохимическую характеристику: рН (КСI) – 5,6; содержание подвижного фосфора P_2O_5 – 226 мг/кг почвы, обменного K_2O – 169 мг/кг почвы, гумус – 2,19.

Отбор почвенных образцов осуществлялся с помощью почвенного бура с глубины 0-20 см, химический анализ почв выполнялся по общепринятым методикам: рН в КСИ; содержание подвижного фосфора по Кирсанову, содержание подвижного калия по Масловой, легкогидролизующий азот по Тюрину и Кононовой.

Учет урожайности многолетних трав проводился на делянках площадью 50 м², в четырехкратной повторности методом скашивания с последующим взвешиванием зеленой массы. При этом отбирали образцы растений в марлевые мешки и после высушивания проб в бюксах определяли содержание в них абсолютно сухого вещества. На земледельческих полях орошения в основном произрастал кострец безостый, овсяница луговая, ежа сборная.

Определения коэффициентов фильтрации в полевых условиях выполнялись по-слойно с помощью полевого прибора конструкции БелНИИМил [2].

Гидрохимический состав различных фракций бесподстилочного навоза определяли по методике ВНПО «Прогресс» [3]. Отбор образцов бесподстилочного навоза выполнялся согласно Инструкции [4].

Учет осадков и температуры воздуха проводился по данным метеостанции Езерище Городокского района (рис. 1).

Результаты исследований

Навозные стоки являются ценным источником поступления питательных элементов в почву. В 1 м³ стоков, идущих на орошение, содержится в среднем общего азота 465 г, на долю аммиачной формы приходится 99% от наличия минеральных соединений данного элемента и по годам его количество изменяется от 225 до 793 г, фосфора (PO_4^{3-}) 206 г (пределы колебания от 76 до 463 г), оксида калия (K_2O) – 312 г (пределы колебания от 161 до 556 г), кальция – 115, магния – 43 г.

Ежегодно на свиномкомплексе образуется не менее 360-400 тыс. м³ стоков, которые хранятся в РОСах. Весь этот объем утилизируется на площади в 476 га, и на 1 га вносится около 850-900 м³ стоков. С этим количеством стоков на 1 га поступает 418,5 кг азота (N), 185 кг фосфора (PO_4^{3-}), 280,8 калия (K_2O), кальция 103, магния 38,7 кг.

На многолетних травах норма азота на дерново-подзолистых почвах должна быть

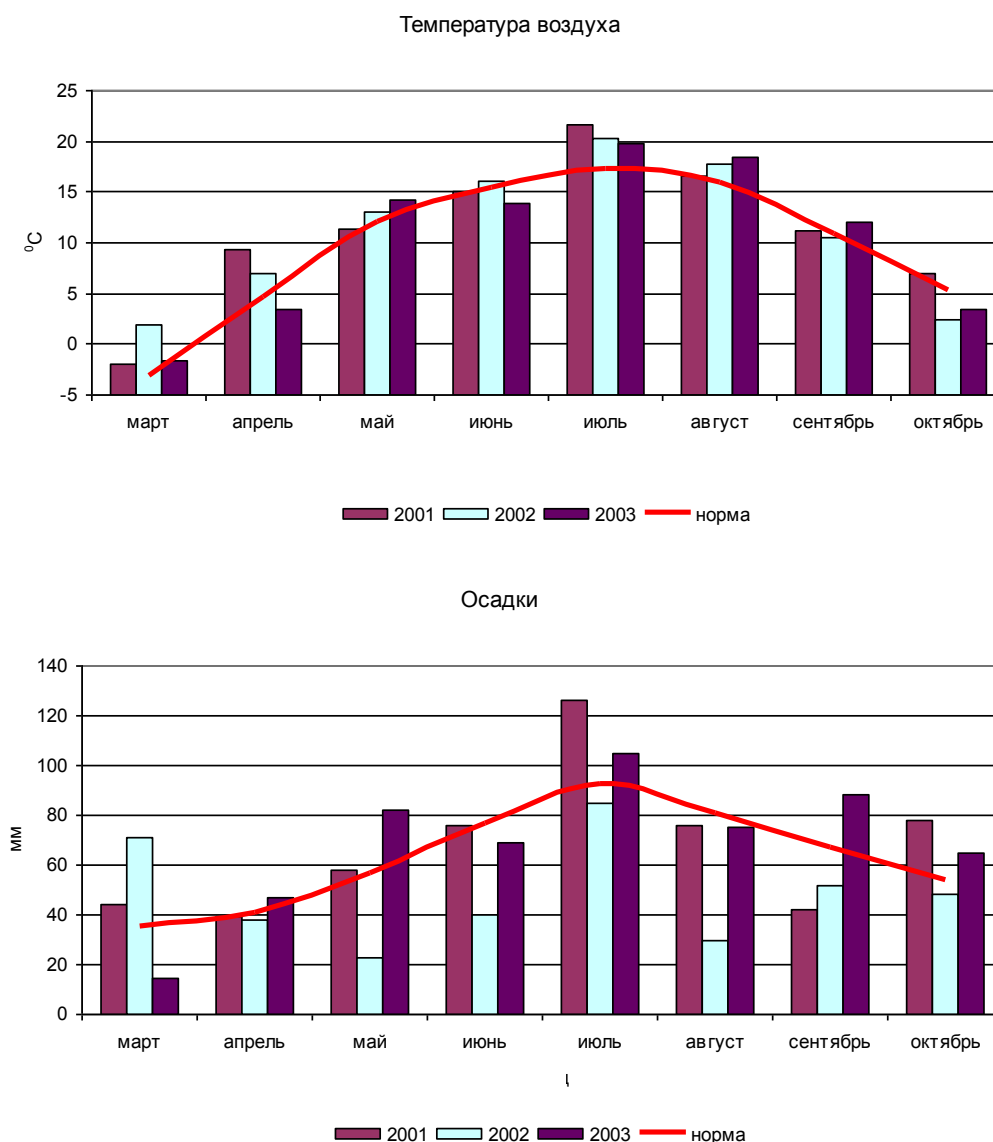


Рис.1. Метеорологическая характеристика КУСХП «Северный»

не более 240 кг/га с внесением дробно под каждый укос. В случае высокого удельного веса зерновых фуражных культур площадь утилизации должна увеличиваться на 30-40% в связи с низким выносом ими биогенных элементов [5]. Поэтому свинокомплексу необходимо иметь не менее 790-1000 га орошаемых земельных угодий для возделывания многолетних трав, так как транспортировка жидкой фракции мобильным транспортом экономически эффективна лишь при дальности перевозки не более 3 км. С учетом необходимости перезалужения и возделывания зерновых культур площадь утилизации следует расширить до 1200 га [5]. При использовании бесподстилочного навоза свинокомплексов

в качестве удобрений особое внимание необходимо обращать на медь. Длительное и избыточное его внесение может привести к загрязнению почв этим элементом.

Установлено, что орошение способствовало переходу пахотного слоя из категории кислых в почти нейтральную, особенно в блюдцеобразном понижении (табл. 1). Показатели рН в КСl возросли с 5,1-5,5 до 6,5-7,1. В среднем на участках с орошением реакция среды в сторону нейтрализации изменилась на 16-27%.

Таблица 1. Содержание подвижных форм фосфора и калия в 1990 и 2000 гг. в слое почвы 0-20 см на фоне N_{480} стоков, мг/кг почвы

Место отбора проб	рН		K ₂ O		P ₂ O ₅		NH ₄		NO ₃	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990.	2000
Возвышенность	5,5	6,6	190	214	245	281	78	132	5,1	7,2
Середина склона	5,1	7,1	189	199	184	250	79	157	4,2	9,1
Низина (блюдцеобразное понижение)	5,1	6,5	189	276	269	318	94	338	12,1	25,1

Наиболее интенсивное накопление всех элементов питания происходит в пониженных элементах рельефа, что обусловлено поверхностным стоком. Обогащение почвы элементами питания в результате орошения стоками подтверждается определением подвижных P₂O₅ по профилю почвы (табл. 2).

Таблица 2. Изменение агрохимических свойств почв под влиянием орошения навозными стоками, на фоне N_{480} стоков, ЗПО КУСХП «Северный», 2005 г.

Место отбора образцов	Глубина, см	рН	K ₂ O	P ₂ O ₅
			мг/кг	
Орошаемый участок	0-20	6,28	206	374
	20-40	6,22	150	198
	40-60	5,70	80	159
	60-80	5,4	26	129
Орошаемый участок (понижение)	0-20	6,75	190	741
	20-40	6,42	103	275
	40-60	6,1	98	234
	60-80	5,3	70	98
Неорошаемый участок (контроль)	0-20	4,61	108	257
	20-40	4,8	101	148
	40-60	4,49	59	120
	60-80	3,75	60	74

Поскольку со стоками на поля попадают Ca и Mg, то произошло увеличение pH почвы. Контрольный участок характеризовался высокой кислотностью, особенно в слое 40-60 см. Почвы орошаемых участков характеризуются высокими качественными показателями. Реакция почвенного раствора нейтральная или близкая к нейтральной до глубины 60 см, ниже кислотность почвы увеличивается.

Содержание P_2O_5 в верхнем слое почвы очень высокое и достигает 374-741 мг/кг почвы. Вниз по профилю оно снижается. По содержанию калия почвы относятся к группе со средним и повышенным содержанием данного элемента. За период орошения содержание гумуса увеличилось в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в среднем на 0,32% (табл. 3).

Таблица 3. Содержание гумуса в слое почвы, 0-20 см, %

Номер элементарного участка	1985 г.	2000 г.	Прирост, %
5	1,89	2,13	0,24
10	1,48	1,8	0,32
12	1,48	1,34	-0,14
15*	1,48	2,55	1,07
18	1,78	2,1	0,32

* Микропонижения.

Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы занимают в основном пониженные места. Техногенное воздействие на почву здесь, по отношению к повышенным элементам рельефа, более интенсивное. При обильном орошении стоками в этих условиях наблюдается периодическое переувлажнение, т. е. создаются анаэробные условия. Это, по-видимому, способствует накоплению органического вещества в почве. Следует, однако, иметь в виду, что речь здесь идет о микропонижениях – очень небольшой площади, где стоки застаивались на протяжении длительного времени.

Наряду с изменением агрохимических свойств происходит уплотнение грунтов под воздействием внесения животноводческих стоков. Определены коэффициенты фильтрации (K_{ϕ}) пахотного и подпахотного слоев с помощью полевого прибора. При этом расчет выполнялся по формуле (1):

$$K_{\phi} = - \frac{d^2 l}{D^2 t} \times \ln \left(1 - \frac{S}{H} \right), \quad (1)$$

где D – внутренний диаметр тонкостенного стакана; d – внутренний диаметр напорной трубки; t – время от начала опыта до снижения уровня воды в напорной трубке на величину S ; h_n – положение уровня в момент t от начала опыта; H – уровень в напорной трубе; S – напорный градиент, $S = H - h_n$.

Значения коэффициентов на орошаемом участке в дернине составляли 3,3 м/сут., а в слое 0,16 и 0,36 м соответственно 0,06 и 0,13 м/сут.

При проектировании дренажа на ЗПО в зонах с избыточным увлажнением коэффициент фильтрации должен быть, как правило, более 0,3 м/сут, при меньших значениях необходимо предусматривать глубокое рыхление. Анализ данных позволяет говорить о том, что подпахотный слой очень переуплотнен и нуждается в разуплотнении.

Урожайность многолетних трав на опытном участке по годам представлена в табл. 4.

Таблица 4. Урожайность многолетних трав при орошении стоками свинокомплекса

Вариант опыта	Сухая масса, ц/га				Прибавка, ц/га
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	Среднее	
Контроль	28,1	22,5	25,3	25,3	
N ₁₂₀	56,4	48,7	54,1	53,1	27,8
N ₂₄₀	81,5	69,5	77,9	76,3	51,0
N ₃₆₀	90,1	80,1	86,9	85,7	60,4
N ₄₈₀	93,5	83,1	88,3	88,3	63,1
НСР	8,7				

Исследования показали, что при внесении стоков 120 кг/га в расчете на 1 кг этого элемента получено 23,1 кг сухой массы трав. Дальнейшее повышение уровня питания растений хотя и увеличивало продуктивность луговых угодий, но уменьшало окупаемость каждого последующего килограмма азота (рис. 2).

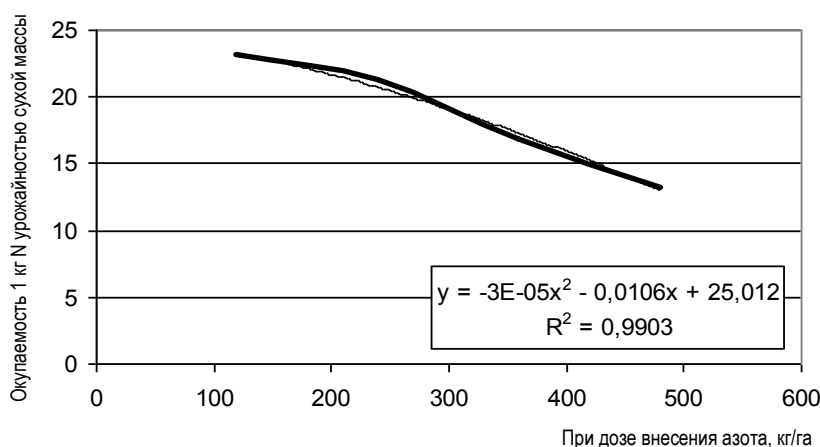


Рис.2. Зависимость прибавки урожайности многолетних трав от внесения 1 кг азота стоков

Установлена зависимость между дозой стоков и урожайностью многолетних трав (рис. 3). При увеличении стоков с 360 до 480 кг/га прибавка урожая оказалась математи-

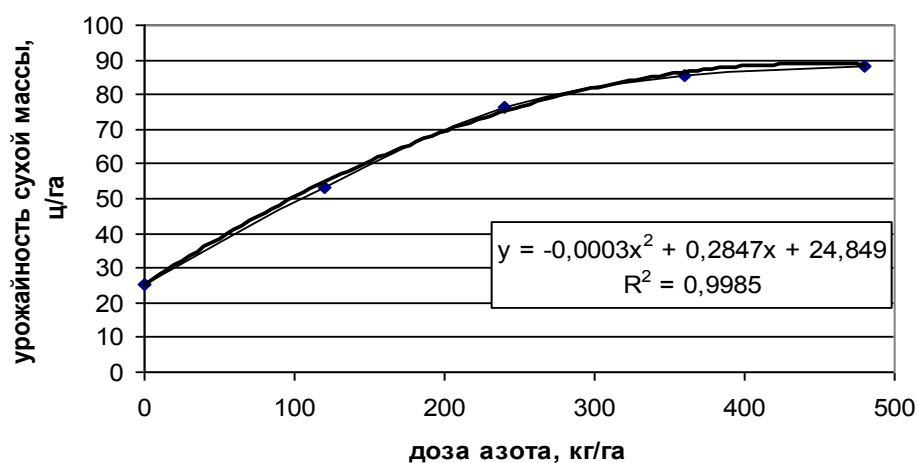


Рис.3. Зависимость урожайности многолетних трав от доз азота животноводческих стоков (предел применимости формулы при значении x от 0 до 480 кг/га)

Таблица 5. Содержание элементов питания в урожае многолетних трав, среднее за 2001-2003 гг, % на сухое вещество

Вариант опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Контроль	1,50	0,62	1,4	0,70
N ₁₂₀	1,96	0,71	2,1	0,61
N ₂₄₀	2,12	0,82	2,7	0,65
N ₃₆₀	2,40	0,87	2,9	0,64
N ₄₈₀	2,65	0,92	3,7	0,60

чески недостоверной. Поэтому такую дозу азота стоков применять нецелесообразно. Установлена зависимость между нормой внесения стоков и химическим составом многолетних трав (табл.5).

Многочисленные исследования [6-8] по эффективному использованию навоза показывают, что азот из бесподстильного навоза на 25-30% используется растениями, столько же закрепляется в почве в виде органических соединений, до 30-40% улетучивается в результате процессов нитрификации и денитрификации, наблюдается миграция в почвенно-грунтовые воды.

Азот, поступающий в почву путем орошения, легко доступен для растений. Коэффициент его использования из осветленных стоков составляет 70% [6, 9]. С учетом этого рассчитан вынос азота за пятилетний период урожаем многолетних трав (табл. 6). Он составил 34,4% от внесенного количества.

Рекомендуется определять продуктивный баланс [10], который отражает суммарное действие элементов питания удобрений, т.е. вынос полученным урожаем, и прирост

Таблица 6. Продуктивный баланс элементов питания растений в пахотном слое на ЗПО, 2001-2005 гг.

Внесено, кг	Прирост в контрольном слое подвижные форм		Вынесено урожаем				Вынос за пределы пахотного слоя	
			всего		в т.ч. из стоков			
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
N								
2092,5	300	14,3	1028,4	49,1	719,9	34,4	764,1	36,5
P ₂ O ₅								
684,5	269,1	39,3	372,7	54,4	223,6	32,6	42,7	6,2
K ₂ O								
1560	225	14,42	1242,0	79,6	869,4	55,7	93,0	6,0

содержания его подвижных форм. В нашем случае за 5 лет содержание подвижных форм возросло на 300 кг. Таким образом, продуктивный баланс составил 48,7%, а вынос за пределы пахотного слоя 36,5%, куда включены и газообразные потери.

Фосфор, поступающий в почву со стоками, представлен в основном органомонофосфатами, которые, в отличие от минеральных форм, способны перемещаться по профилю песчаных и супесчаных почв. По исследованиям [6], фосфор фиксируется почвой на 96%. При поверхностном стоке на почвах с расчлененным рельефом потери его достигают 17%. Поэтому присутствие в водоемах фосфора в условиях Поозерья является следствием водной эрозии [8, 11].

При интенсивном азотном питании фосфор, вносимый с удобрениями, используется на 30-40% [12], в нашем случае он составил 32,6%. Балансовые расчеты, выполненные по экспериментальным данным, показывают, что прирост находится на уровне 71,9%. Причем миграция за пределы пахотного слоя не превысила 6,2%, или 8,5 кг/га.

Калия (K₂O) ежегодно поступало в почву 312 кг/га, в данных условиях складывается высокий уровень калийного питания. За 5 лет в почву со стоками поступило 1560 кг K₂O, который на 100% представлен растворимыми соединениями. Урожаем вынесено 79,6% от общего количества. Принимая во внимание, что коэффициент использования калия из стоков соответствует 0,7, вынос его урожаем за 5 лет составил 869,4 кг, или 55,7%. При этом содержание подвижных форм в пахотном слое увеличилось за 5 лет на 225 кг.

Углубленную оценку эколого-экономической эффективности капиталовложений при строительстве земледельческих полей орошения можно произвести на основании утвержденных методик [13].

Показателем общей эффективности капиталовложений является отношение эффекта в виде прироста чистой продукции, или прибыли, полученной в сельскохозяйственном производстве на земледельческих полях орошения, и величины водоохранного эколого-экономического эффекта (предотвращенного ущерба) [14] от осуществления природоохранных мероприятий к капитальным вложениям, вызвавшим этот прирост и

Таблица 7. Эффективность возделывания многолетних трав при орошении животноводческими стоками, \$ США/га

Показатели	Вариант опыта		
	№240	№360	№480
Затраты на возделывание и уборку урожая трав	185,9	208,9	215,2
Амортизационные и эксплуатационные затраты	275	290	310
Прибыль	51,8	77,0	68,2
Предотвращенный экологический ущерб	276,5	414,3	Происходит загрязнение природных вод
Коэффициент экономической эффективности	0,058	0,086	
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	17,4	11,6	

водоохраный эффект (табл. 7). Немаловажным показателем является также и срок окупаемости капиталовложений.

С другой стороны, эффективность работы земледельческих полей орошения можно оценить через затраты минеральных удобрений для увеличения содержания подвижных форм в почве [9]. Так, для повышения содержания подвижного фосфора с 257 до 374 мг/кг почвы необходимо было бы внести не менее 550 кг/га P_2O_5 , а калия, соответственно, от 108 до 206 мг/кг почвы – 500 кг/га. Учитывая стоимость минеральных удобрений, затраты составляют не менее 740 \$ США/га.

Выводы

1. Навозные стоки являются ценным источником поступления питательных элементов в почву. Внесение их ведет к повышению плодородия, увеличению содержания подвижных форм азота, фосфора и калия, снижению кислотности почв.

2. Применение таких удобрений положительно сказывается на урожайности многолетних трав. При этом с возрастанием их дозы снижается окупаемость азота прибавкой урожая многолетних трав.

3. При длительном применении навозных стоков наблюдается переуплотнение почвы, поэтому необходим комплекс мероприятий по устранению этого негативного явления.

Литература

1. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2006 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – С. 324-327.
2. Устройство для определения коэффициента фильтрации грунта: а.с. 607877 СССР, МКИ 5 G 01 N 15/16/ Г.П.Щитников; БелНИИМиВХ. – № 1026039; заявл. 18.05.81; опубл.30.06.83// Открытия. Изобрет. – М., 1983. – В.24. – С.129.
3. Рекомендации по анализу стоковых вод животноводческих комплексов. – М., 1984.
4. Инструкции по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. – М., 1982.
5. Технология использования жидких органических удобрений на луговых угодьях, исключая загрязнение почв и природных вод и инкрустацию солей на напорных трубопроводах / П.Ф. Тиво, Л.А. Саскевич, С. М. Крутько [и др.]. – Горки, 2006. – 64 с.

6. Тиво, П.Ф. Эффективное использование бесподстилочного навоза / П.Ф. Тиво, С.Г. Дробот. – Минск: Ураджай, 1988. – 166 с.
7. Безуглова, О.С. Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста / О.С. Безуглова. – М.: Феникс. – 2003. – 384 с.
8. Лойгу, О.Э. Вынос азота и фосфора с сельхозудий в малые водотоки / О.Э. Лойгу, Х.А. Вельнер // Воздействие сосредоточенных нагрузок интенсивного полевого хозяйства на водные ресурсы / Докл. советских специалистов на советско-финском симпозиуме. – Суздаль, 1980. – 58 с.
9. Справочник агрохимика/ В. В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 390 с.
10. Постников, А.В. Химизация сельского хозяйства / А.В. Постников. – М.: Росагропромиздат. – 1989. – 222 с.
11. Кярблане, Х.А. Экологические пределы применения минеральных удобрений в Эстонии / Х.А. Кярблане // Агрохимия. – 1992. – №4. – С. 37-41.
12. Подвойский, М.Ф. Окультуривание дерново-подзолистых почв при интенсивных системах земледелия / М.Ф. Подвойский // Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 87-93.
13. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ / В. С. Дмитриева [и др.]; под ред. Б. А. Кудрина. – М., 1972. – 36 с.
14. Методика определения предотвращенного экологического ущерба. / Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. – М., 1999.

Summary

Krutko S. Influence of Use of the Livestock Waste on the Fertility of Sod-Podzol Medium-Loamy Soil

The data about the influence of irrigation with livestock waste on the fertility of the soil, variation in its agrochemical and hydrophysical properties, quality of the harvest of perennial grasses and economic assessment of growing the perennial grasses on the irrigated agricultural fields has been presented. The investigations have ascertained that the manure flows are valuable source of feeding the nutrient element to the soil. Their application increases the fertility and content of the mobile forms of nitrogen, phosphor and potassium, reduces the soil acidity and increases the fertility of perennial grasses. In case of long-term application of manure flows, the soil is overconsolidated, therefore the complex of measures for eliminating this negative phenomenon is required.

Поступила 16 июня 2008 г.