

10. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение I. Хлориды / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия – Минск. – 2008. – №1(40). – С. 297-306.

11. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение II. Натрий / С. Е. Головатый [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – №2(41). – С. 244-255.

INFLUENCE OF SODIUM AND CHLORINE ON PRODUCTIVITY AND CHEMICAL COMPOUND OF LOLIUM WESTERWOLDICUM

**S. E. Golovaty, Z. S. Kovalevitch, N. K. Lukashenko,
I. A. Efimova, N. V. Sidoreiko**

Summary

Different degree of phytotoxicity of sodium and chlorine on productivity of *Lolium westerwoldicum* annual in conditions sodium, chlorine and chlorine-sodium pollution of luvisol loamy sandy soil is established.

Accumulation in hay of *Lolium westerwoldicum* sodium and chlorine at different levels of pollution of soil is presented.

Correlation dependences between the content in soil of sodium and the content in *Lolium westerwoldicum* of phosphorus, potassium and calcium are established.

Поступила 5 октября 2011 г.

УДК 361.416.1:631.445.2:631.84

МИГРАЦИЯ И БАЛАНС АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ (ПО ДАННЫМ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУП «ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ»)

Г. В. Пироговская¹, О. П. Сазоненко²

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Опытная научная станция по сахарной свекле, г. Несвиж, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Азот считается главным незаменимым биофильным элементом, определяющим урожайность сельскохозяйственных культур. Продуктивность агроценозов и динамика подвижных соединений азота в дерново-подзолистых почвах в основном зависит от почвенного плодородия в целом, системы удобрений и круговорота азотных соединений [1, 2, 3, 4, 5].

Баланс азота в системе «почва – удобрение – растение» позволяет регулировать плодородие почвы, контролировать качественный и количественный состав

почвенного раствора и тем самым предвидеть и (или) предотвратить возможное загрязнение почв и окружающей среды соединениями азота, обосновать наиболее рациональное его применение при возделывании сельскохозяйственных культур.

Лизиметрический метод позволяет изучить такие характеристики, которые в полевых условиях исследовать невозможно, например, почвенный раствор [6, 7].

Существенный вклад в изучение применения азотных удобрений и их превращение в почвах внесли ученые: Д. А. Кореньков, П. М. Смирнов, Н. Н. Безлюдный, Н. Н. Семененко [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12].

Установлено, что при нерациональном бессистемном использовании минеральных удобрений и не соблюдении требуемых агротехнических приемов возможны негативные последствия на окружающую среду: загрязнение грунтовых вод и открытых водоемов; увеличение газообразных потерь азота из удобрений и почв; снижение плодородия почв; ухудшение качества сельскохозяйственной продукции [13].

По данным Гидрометцентра атмосферные осадки Беларуси в целом характеризуются небольшой минерализацией (до 27 мг/л), с преобладанием сульфатов (26-40 % от суммы ионов), нитратов и ионов аммония (24-36 %), а также гидрокарбонатов (8-20 %). Содержание ионов аммония и нитратов в атмосферных осадках по Республике Беларусь (среднее по областям) следующее: NH_4^+ – 0,5-2,02 мг/л, NO_3^- – 1,28-2,64 мг/л, при этом сумма атмосферных осадков за год колеблется от 496 до 689 мм [14, 15].

Исследованиями И. А. Юшкевича с соавторами и Н. И. Туренкова показали, что с атмосферными осадками поступает от 3,0 до 4,5 кг/га азота [16, 17].

По результатам лизиметрических исследований, проведенных в России, установлено, что объем лизата определяется и количеством осадков и интенсивностью их выпадения. Например, в среднем за 1989-1997 гг. объем лизата в полуметровых лизиметрах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве составлял 15-18 % от объема выпавших осадков [18-20]. Однако, коэффициент просачивания осадков был вдвое выше на супесчаных почвах по сравнению с суглинистыми. Так, вымывание N из супесчаной почвы варьировало от 3,27 до 15,2 кг/га, из суглинистой – от 0,41 до 2,35 кг/га [21, 22].

На долю газообразных потерь азота их долю приходится существенная часть потерь азота из удобрений. Процесс превращения азота в газообразные формы носит преимущественно микробиологический характер, например, в стерильных почвах баланс азота «почва + растения» близок к 100 % [23].

Исследования, проведенные в Институте почвоведения и агрохимии, показали, что газообразные потери из аммиачной селитры на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве увеличиваются с повышением доз азотных удобрений, и могут составлять 15-30 % от внесенного азота [11, 24].

Вымывание азота в форме аниона – NO_3^- зависит от количества выпадающих осадков, доз удобрений, типа почв и возделываемой культуры. По данным российских и зарубежных исследователей, потери азота при вымывании составляют 1,5-39 % от дозы внесенного азота [25-30].

В совместных опытах МСХА и ВНИИА с меченым ^{15}N установлено, что использование сельскохозяйственными культурами азота удобрений составляет 30-50 %, около 40 % его остается в почве в закрепленном виде, а процесс вымывания затрагивает в основном азот почвенных соединений [31].

2. Плодородие почв и применение удобрений

Исследованиями с меченым ^{15}N показано, что использование минерального азота растениями составляет 14,5-58,0 %, из органических удобрений – 9,2-14 %, потери азота минеральных удобрений достигают до 58 % от внесенной дозы, причем в лизате из обнаруженного азота содержится 0,4-16,1 % из минеральных удобрений, а от 27 % до 85 % азота удобрений закрепляется в органическом веществе почвы [10].

Цель – определить количественные показатели поступления азота с атмосферными осадками, потери при выщелачивании, содержание в почве в зависимости от возрастающих доз азотных удобрений, определить баланс азота на дерново-подзолистых почвах при возделывании сельскохозяйственных культур в звене севооборота.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава, атмосферные осадки, лизиметрические воды, сельскохозяйственные культуры.

Агрохимические показатели пахотных и подпахотных горизонтов исследуемых почв приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели исследуемых почв, 2002 г.

Глубина, см	рН (KCl)	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
			мг/кг			
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке						
0-25	4,9	2,30	348	138	924	111
25-35	4,5	0,93	262	58	904	192
40-50	4,4	0,60	289	59	944	177
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком						
0-25	5,1	2,30	231	147	627	69
25-30	5,0	0,91	58	104	411	61
40-50	4,7	0,40	36	70	345	102

Исследования проводили в 2002-2005 гг. на лизиметрической станции. Лизиметры выполнены в форме бетонных колец, площадью 3,14 м² (диаметр 2,0 м). Глубина лизиметров 1,0 м и 1,5 м. Лизиметры заполнены следующими почвами: дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке и дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком.

Опыт был заложен в звене гречиха – картофель – просо пятипольного севооборота (пелюшко-овсяная смесь (з/м) – гречиха – картофель – просо – овес+горчица сарептская) по схеме приведенной в табл. 2.

В качестве минеральных удобрений применяли: азотные – карбамид; фосфорные – аммонизированный суперфосфат; калийные – гранулированный хлористый калий. Содержание питательных веществ в органическом удобрении, вносимом

под картофель следующее: N – 2,0 %, P_2O_5 – 0,98 %, K_2O – 4,6 %, CaO – 1,31 %, MgO – 0,95 %, pH (kcl) – 6,5, влажность – 78 %.

Таблица 2

Схема лизиметрического опыта

Гречиха, Смуглянка 2002 г.	Картофель, Криница 2003 г.	Просо, Галинка 2004 г.
1. Контроль без удобрений	1. Контроль без удобрений	1. Контроль без удобрений
2. $P_{45} K_{75}$ (фон)	2. $N_{60}^* P_{50} K_{120}$ (фон)	2. $P_{40} K_{90}$ (фон)
3. Фон + N_{60}	3. Фон + N_{70}	3. Фон + N_{60}
4. Фон + N_{90}	4. Фон + N_{100}	4. Фон + N_{90}

* Органические удобрения (навоз КРС 60 т/га).

Методы исследования, закладка лизиметрических опытов и возделывание культур в опытах проводили в соответствии с методическими указаниями, рекомендованными в Республике Беларусь.

За период исследований (май 2002-апрель 2005 гг.) количество выпавших осадков различалось как по годам, так и по месяцам, что сказалось на интенсивности и динамике просачивания осадков (табл. 3).

Таблица 3

Осадки на лизиметрической станции, мм

Месяц	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
	мм			
Январь	-*	32,3	75,8	35,3
Февраль	-	34,5	78,0	33,6
Март	-	25,9	33,2	58,9
Апрель	-	90,1	48,2	19,0
Май	24,2	53,2	26,6	-
Июнь	37,0	28,6	53,4	-
Июль	47,5	126,5	94,9	-
Август	44,3	39,6	119,0	-
Сентябрь	27,5	15,6	44,2	-
Октябрь	126,7	65,8	63,8	-
Ноябрь	16,0	17,8	39,3	-
Декабрь	14,0	44,4	37,1	-

* Количество осадков в эти месяцы не приводятся, так как в период наших исследований они не входили.

Погодные условия за вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур звена севооборота различались по годам (табл. 4).

При возделывании гречихи в 2002 г. условия вегетационного периода характеризовались как засушливые (ГТК – 0,76). Отмечалась повышенная температура воздуха и малое количество осадков, с мая по 8 августа было 16 дней с осадками, из них не эффективными (менее 5,0 мм) – 9, что и обусловило невысокую урожайность зерна гречихи.

Таблица 4

Осадки и температура воздуха за вегетационные периоды возделывания сельскохозяйственных культур, (г. Минск)

Месяц	Дека- да	Осадки, мм			t°C			Средне многолетние*	
		2002	2003	2004	2002	2003	2004	осадки, мм	t°C
Май	1	0,0	0,0	13,7	15,8	13,5	13,5		
	2	9,4	42,1	7,5	13,1	13,0	9,5		
	3	14,8	11,1	5,4	16,3	18,5	11,0		
За месяц		24,2	53,2	26,6	15,1	15,0	11,3	59	12,7
Июнь	1	0,0	3,6	2,3	16,6	15,5	14,5		
	2	12,7	2,3	30,0	18,1	15,0	14,5		
	3	24,3	22,7	21,1	17,0	15,5	16,0		
За месяц		37,0	28,6	53,4	17,2	15,3	15,0	77	16,1
Июль	1	9,4	99,8	13,6	20,7	17,5	15,5		
	2	29,7	14,6	8,4	24,0	19,5	16,5		
	3	8,4	12,0	72,9	21,2	23,0	21,0		
За месяц		47,5	126,4	94,9	21,9	20,0	17,7	92	17,7
Август	1	27,7	8,3	13,7	20,4	19,0	20,0		
	2	16,6	6,6	32,2	-	18,0	18,5		
	3	0,0	24,7	73,1	-	15,5	18,0		
За месяц		44,3	39,6	119	-	17,5	18,8	72	16,3
ГТК		0,76	1,18	1,54				1,55	

* Данные Гидрометцентра Республики Беларусь.

В течение вегетационного периода возделывания картофеля за май – август 2003 г. (ГТК – 1,18 слабозасушливый) выпало 216,5 мм осадков, при среднемноголетнем – 300 мм. В июне осадков выпало примерно на треть меньше среднемноголетних, но в июле осадки превысили среднемноголетние – на 36,4 мм (за май-сентябрь было 29 дней с осадками). В целом погодные условия вегетационного периода способствовали формированию хорошего урожая картофеля.

За вегетационный период проса (май – август 2004 г., ГТК – 1,54 – оптимальный) выпало 293,9 мм осадков, при среднемноголетнем – 300 мм, количество дней с осадками составило 34. Среднесуточная температура в мае-июне была на 1,0-1,7 °C ниже, в августе на 2 °C выше среднемноголетней. ГТК по месяцам был следующим: в мае – 0,78, июне – 1,19, июле – 1,75, августе – 2,07.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация химических элементов в атмосферных осадках определяется количеством выпавших осадков, географическим условием и рельефом местности, наличия промышленных производств, трансграничным переносом, содержанием пыли в воздухе и т. д. [14, 15].

Содержание ионов NH_4^+ в осадках (за май-сентябрь) 2002 г. находилось в пределах от 1,6 до 10,5 мг/л, 2003 г. – 0,0-8,0 и 2004 г. – 0,0-0,9 мг/л, соответственно: NO_3^- – 0,8-4,7, 1,4-4,2 и 0,7-2,0 мг/л (табл. 5).

Концентрация ионов NH_4^+ в осадках в среднем за год находилась в пределах от 0,75 до 3,1 мг/л, NO_3^- – 1,19-2,30 мг/л.

Отмечена тенденция увеличения концентрации ионов NH_4^+ и NO_3^- в атмосферных осадках за вегетационный период (май-сентябрь), по сравнению со среднегодовой их концентрацией, а также снижение концентрации NH_4^+ с увеличением выпадения осадков.

Таблица 5

**Содержание ионов NH_4^+ и NO_3^- в атмосферных осадках
на лизиметрической станции, мг/л**

Месяц	NH_4^+			NO_3^-		
	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2002-2003	2003-2004	2004-2005
Май	1,6	0,0	0,0	2,9	3,8	2,0
Июнь	1,8	8,0	0,9	4,7	3,1	1,6
Июль	1,4	0,0	0,0	1,1	1,4	1,2
Август	10,5	1,5	0,4	0,8	1,4	0,7
Сентябрь	1,9	4,0	0,5	2,7	4,2	1,1
Октябрь	10,4	4,1	0,0	0,6	0,8	1,3
Ноябрь	4,3	0,0	0,5	1,0	5,0	0,7
Декабрь	0,0	0,0	1,7	1,7	3,0	0,9
Январь	0,0	0,9	4,5	2,7	1,3	1,7
Февраль	1,5	0,9	0,0	1,4	0,9	1,4
Март	1,0	0,0	0,1	2,2	1,4	0,7
Апрель	2,8	2,0	0,4	2,0	1,4	1,2
Среднее за май-сентябрь	3,4	2,7	0,4	2,5	2,8	1,3
Среднее	3,10	1,78	0,75	2,00	2,30	1,19

В практике сельскохозяйственного производства при расчете хозяйственного баланса в системе «почва-удобрение-растение» одной из приходных статей элементов питания является количество химических элементов поступивших с атмосферными осадками (кг/га). Результаты исследований показали, что поступление химических элементов с атмосферными осадками значительно различаются как ежемесячно, так и ежегодно. Данные поступления азота за год изменялись в следующих пределах: N-NH_4 от 3,73 до 24,10 кг/га, N-NO_3 – 6,89-11,30 кг/га (табл. 6).

Следует отметить, что количество аммонийного и нитратного азота с осадками за вегетационный период с мая по сентябрь, по сравнению с годовым их содержанием, составляет в среднем 42,2 %.

Полученные данные показали, что среднегодовое (за 3 года) поступление общего азота ($\text{N}_{\text{общ}}$) с атмосферными осадками на поверхность почвы составляло 21,10 кг/га.

Просачивание атмосферных осадков через слой почвы глубиной 1,0-1,5 м зависит от гранулометрического состава. Например, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве величина инфильтрата за лизиметрический год (май 2002-апрель 2003 гг.) составляла 2,7 и 2,6 % (в зависимости от глубины лизиметра) от общего количества выпавших атмосферных осадков, за 2003-2004 гг. – 13,1 и 15,6 %, за 2004-2005 гг. – 10,1 и 11,1 %.

2. Плодородие почв и применение удобрений

2004-2005 гг. – 20,2 и 20,8 %, соответственно на супесчаной, подстилаемой песком почве – 23,5 и 34,9 %, 22,6 и 35,1 %, 28,2 и 36,7 % (табл. 7).

Таблица 6

Поступление азота с атмосферными осадками (лизиметрический год), кг/га

Месяц	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻		
	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2002-2003	2003-2004	2004-2005
Май	0,39	0,00	0,00	0,71	1,99	0,52
Июнь	0,67	2,29	0,48	1,73	0,88	0,87
Июль	0,67	0,00	0,00	0,53	1,74	1,13
Август	4,65	0,57	0,49	0,36	0,53	0,79
Сентябрь	0,52	0,63	0,21	0,75	0,65	0,46
Октябрь	13,2	2,70	0,00	0,73	0,51	0,83
Ноябрь	0,68	0,00	0,20	0,07	0,88	0,26
Декабрь	0,00	0,00	0,61	0,24	1,31	0,33
Январь	0,00	0,68	1,60	0,85	0,96	0,59
Февраль	0,52	0,70	0,00	0,47	0,68	0,47
Март	0,26	0,00	0,07	0,54	0,48	0,42
Апрель	2,52	0,97	0,08	1,80	0,69	0,23
Сумма	24,10	8,53	3,73	8,80	11,30	6,89
Среднее в месяц	2,00	0,71	0,31	0,73	0,94	0,57
Среднее за три года	12,1			9,0		

Таблица 7

Количество профильтровавшихся атмосферных осадков за лизиметрический год

Лизиметрический год	2002-2003 гг.		2003-2004 гг.		2004-2005 гг.	
Осадки, мм	520		626,7		625,1	
Глубина лизиметра, м	1	1,5	1	1,5	1	1,5
Почва	% просочившихся осадков					
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке	2,7	2,6	13,1	15,6	20,2	20,8
Дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,3 м рыхлым песком	23,5	34,9	22,6	35,1	28,2	36,7

Несколько другой характер инфильтрации атмосферных осадков в почвенном профиле наблюдается в течение годового цикла наблюдений. Так, например, инфильтрация атмосферных осадков за вегетационный период с мая по сентябрь в 2002 г. через слой почвы 1,0 и 1,5 м отсутствовала во всех исследуемых почвах. На дерново-подзолистой супесчаной почве в 2003 г. за тот же период инфильтрат составил 19,5 % от годового его количества, а в 2004 – 10,0 % (табл. 8).

Наибольшее количество профильтровавшейся влаги через слой почвы 1,0 и 1,5 м происходило в ранневесенний период снеготаяния (март-апрель). Так, из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в засушливый (2002 г.) и сла-

бозасушливый (2003 г.) годы наибольшее количество инфильтрата (99-100 % от годового его количества) фильтровалось в период с января по апрель, в оптимальный по степени увлажнения (2004 г.) – весной 51,2 % и осенью 48,8 %. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлым песком, почве доля весеннего инфильтрата составляла от 46,3 до 62,4 %, осеннего – 18,1-43,7 % в зависимости от условий года (табл. 8).

Таблица 8

Динамика просачивания инфильтрата на дерново-подзолистых почвах за 2002-2005 гг.

Почва	2002-2003 гг.			2003-2004 гг.			2004-2005 гг.		
	май-сен-тябрь	ок-тябрь-де-кабрь	ян-варь-апр-ель	май-сен-тябрь	ок-тябрь-де-кабрь	ян-варь-апр-ель	май-сен-тябрь	ок-тябрь-де-кабрь	ян-варь-апр-ель
	распределение инфильтрата по отборам, %								
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке	-	-	100	-	1	99,0	-	48,8	51,2
Дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,3 м рыхлым песком	-	42,5	57,5	19,5	18,1	62,4	10,0	43,7	46,3

Графическое изображение количества профильтровавшихся осадков (л/лизи-метр) через слой почвы 1,0-1,5 м (среднее) за период май 2002 г. – апрель 2005 г. приведено на рисунке.

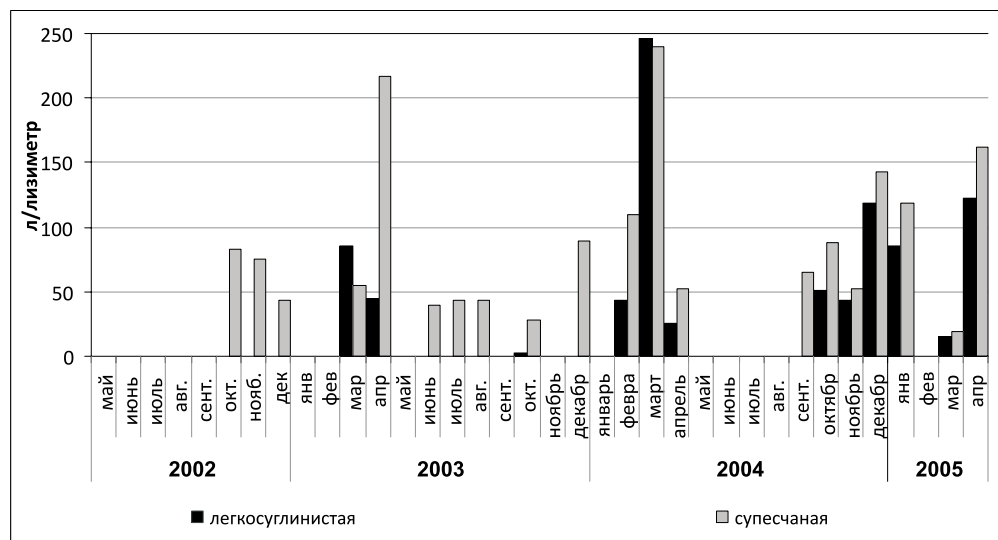


Рис. Количество профильтровавшейся влаги по профилю дерново-подзолистых почв (слой 1,0-1,5 м, среднее)

Осенняя инфильтрация атмосферных осадков в 2002-2003 гг. началась с октября, а в 2004 г. с сентября. В отдельные годы (2004, 2005 гг.) в связи с погодными условиями (оттепели) инфильтрация наблюдалась в январе и феврале. Весенняя инфильтрация начинается с февраля или марта и заканчивается в апреле.

Известно, что почва состоит из твердой, жидкой и газообразной частей. Жидкая фаза почвы (почвенный раствор) это вода с растворенными газами, минеральными и органическими веществами, она находится в пленочной, капиллярной и гравитационной формах и передвигается под влиянием силы тяжести.

Минеральный состав воды отражает результат взаимодействия воды как физической фазы с другими фазами (средами): твердой, т. е. минеральной частью почвенных горизонтов; газообразной (с воздушной средой) и содержащейся в ней влагой и минеральными компонентами. Почвенный раствор, взаимодействуя с твердой и газообразной частями почвы, растворяет в себе минеральные и другие вещества, передвигаясь по законам гравитации вниз по профилю почв.

Изучение концентрации химических элементов в инфильтрационных водах является необходимым условием для установления уровня экологической нагрузки на окружающую среду и количественных потерь химических элементов при возделывании сельскохозяйственных культур.

Определенную роль в химическом составе лизата играют нитраты, образующиеся в процессе нитрификации (превращение нитрифицирующими бактериями аммонийных солей почвы в нитраты) в почве, которые легко растворимы в воде и могут легко вымываться гравитационными водами. Процесс нитрификации играет первостепенную роль в круговороте азота в биосфере и свидетельствует о завершении процесса минерализации в экосистеме.

В почвенном растворе дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы инфильтрация в 2002 г. с мая по декабрь отсутствовала, содержание NO_3^- в лизате в среднем за январь-апрель 2003 г. находилось в пределах от 5,2 до 20,2 мг/л, соответственно в 2003 (октябрь-декабрь)-2004 (январь-апрель) гг. – 6,2-33,9 и в 2004-2005 гг. – 4,5-14,5 мг/л.

В дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве инфильтрация атмосферных осадков наблюдалась и в 2002 г. с октября по декабрь, а в 2003 и 2004 гг. – с мая по декабрь. В зависимости от времени года и вариантов опыта содержание нитратного азота в лизиметрических водах изменялось в пределах – 17,4-33,7 (2002-2003 гг.); 4,9-32,4 (2003-2004 гг.) и 3,2-13,2 (2004-2005 гг.) мг/л. Установлено, что с увеличением атмосферных осадков и количества лизата (из лизиметров глубиной 1,0-1,5 м), концентрация NO_3^- в лизиметрических водах снижалась, что, по-видимому, связано с разбавлением концентрации почвенного раствора (табл. 9).

В варианте с внесением 63 кг/га д. в. карбамида содержание NO_3^- в инфильтрате на легкосуглинистой почве в среднем за январь-апрель-2003 г. составило 15,9 мг/л, за октябрь-декабрь 2003 г. – 26,1 и январь-апрель 2004 – 11,7 мг/л, соответственно в 2004 (октябрь-декабрь) и 2005 гг. (январь-апрель) – 9,8 и 7,3 мг/л. Увеличение дозы азота с 63 до 93 кг/га д. в. приводило к увеличению концентрации NO_3^- в инфильтрате на легкосуглинистой почве в среднем за январь-апрель 2003 г. на 4,3 мг/л (или на 27,0 %), за октябрь-декабрь 2003 г. – 7,8 (29,9 %) и январь-апрель 2004 г. – на 6,2 мг/л (53,0 %), соответственно в 2004 (октябрь-декабрь) – на 4,7 (48,0 %) и 2005 г. (январь-апрель) – на 6,3 мг/л (86,3 %).

Увеличение нитратов в инфильтрационных водах, с увеличением дозы азотных удобрений, выявлено и в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлыми песками, почве – за лизиметрический 2002-2003 гг., в зависимости от сезона года на 11,1 и 10,3 мг/л (или на 63,4 и 44,0 %), в 2003-2004 гг. – на 20,2, 6,7 и 4,7 мг/л (206,1, 26,1 и 31,8 %) и 2004-2005 гг. – на 8,6, 1,6 и 2,6 мг/л, (268,8, 21,1 и 25,2 %).

Таблица 9

**Содержание нитратов в лизиметрических водах
дерново-подзолистых почв, мг/л**

Вариант	Содержание NO ₃ ⁻ , мг/л								
	2002-2003 гг.			2003-2004 гг.			2004-2005 гг.		
	май-сентябрь	октябрь-декабрь	январь-апрель	май-сентябрь	октябрь-декабрь	январь-апрель	май-сентябрь	октябрь-декабрь	январь-апрель
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке									
1	-	-	5,2	-	19,8	6,2	-	6,8	5,5
2	-	-	11,6	-	28,2	6,5	-	4,9	4,5
3	-	-	15,9	-	26,1	11,7	-	9,8	7,3
4	-	-	20,2	-	33,9	17,9	-	14,5	13,6
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком									
1	-	21,9	20,2	10,3	24,0	11,3	10,0	7,2	9,8
2	-	17,4	27,5	4,9	25,7	14,1	3,5	5,9	13,2
3	-	18,2	23,4	9,8	25,7	14,8	3,2	7,6	12,9
4	-	29,7	33,7	30,0	32,4	19,5	11,8	9,2	10,3

На долю нитратов в лизиметрических водах, во все годы исследований приходилось 95-100 % содержания общего азота.

Содержание аммония (NH₄⁺) в инфильтрате за исследуемый период, было невысоким и не превышало 0,77 мг/л (в среднем за лизиметрический год), что составляло максимум 5 % от общего азота.

В годы исследований не наблюдалось превышения ПДК нитратов (45 мг/л) и аммония (2,5 мг/л) в лизиметрических водах [32].

Потери химических элементов (кг/га) из почв с нисходящими токами влаги являются одной из расходных статей баланса, и имеют практическое значение в расчетах доз минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур.

Потери нитратного азота с лизиметрическими водами различались в зависимости от гранулометрического состава почв и доз применяемых азотных удобрений. В период исследований потери нитратного азота с лизиметрическими водами составляли: из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы за 2002-2003 гг. 0,02-3,08 кг/га, 2003-2004 гг. – 5,65-18,60 и 2004-2005 гг. – 6,90-16,85 кг/га; соответственно из супесчаной – 17,45-44,40, 19,60-38,50 и 11,53-15,07 кг/га в зависимости от вариантов опыта (табл. 10).

Таблица 10

Потери $N-NO_3$ при выщелачивании из дерново-подзолистых почв, кг/га

Вариант	2004-2005 гг.			2003-2004 гг.				2002-2003 гг.				Среднее за звено севооборота
	октябрь-декабрь	январь-апрель	сумма	май-сентябрь	октябрь-декабрь	январь-апрель	сумма	май-сентябрь	октябрь-декабрь	январь-апрель	сумма	
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке												
1	-	0,02	0,02	-	0,09	5,80	5,89	-	4,25	3,70	7,95	4,62
2	-	2,56	2,56	-	0,05	5,60	5,65	-	3,55	3,35	6,90	5,04
3	-	3,08	3,08	-	0,11	9,95	10,06	-	4,85	4,80	9,65	7,61
4	-	2,59	2,59	-	0,70	17,90	18,60	-	7,30	9,55	16,85	12,70
В среднем по опыту	-	2,06	2,06	-	0,24	9,81	10,05	-	4,99	5,35	10,34	7,49
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком												
1	7,05	10,40	17,45	2,78	4,00	12,80	19,60	0,94	4,50	6,60	12,14	16,40
2	12,10	15,30	27,40	1,26	7,10	19,30	24,10	0,53	3,45	7,55	11,53	21,00
3	13,60	16,30	29,90	2,18	5,20	14,70	22,10	0,56	5,20	7,80	13,66	21,90
4	18,30	26,10	44,40	7,10	10,40	26,20	38,50	2,82	4,45	7,80	15,07	32,70
В среднем по опыту	12,76	17,03	29,79	3,33	6,68	18,25	26,08	1,21	4,40	7,44	13,10	23,00

Повышение вносимой дозы минерального азота в 1,5 раза (с 63 до 93 кг/га д. в.) увеличило потери $N-NO_3$ с инфильтратом, в среднем за звено севооборота: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на 66,8 %, на рыхлосупесчаной – на 49,3 %.

В течение года наибольшие потери нитратного азота во всех исследуемых почвах происходят в ранневесенний период снеготаяния. Внесение органических удобрений (весна 2003 г.) не сказалось на количественных потерях нитратного азота с инфильтратом.

Потери аммонийного азота ($N-NH_4^+$) с инфильтратом, по сравнению с $N-NO_3^-$, в почвах разного гранулометрического состава незначительны. Например, в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве они достигают 0,35 кг/га или 5,8 % от общего азота, в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной – 0,94 кг/га или 3,0 %.

Для оценки тесноты связи между количеством профильтровавшихся осадков через слой почвы 1,0-1,5 м, и потерями нитратного азота с инфильтратом в различные периоды года использовался корреляционный анализ (коэффициент корреляции – r и коэффициент детерминации – d_{yx}).

Коэффициент корреляции между количеством потерь (кг/га) нитратного азота при выщелачивании и количеством лизиметрических вод находится в пределах от 0,75 до 0,94, а коэффициент детерминации – в пределах от 57 до 89 %, что свидетельствует о сильной их взаимосвязи (табл. 11).

Таблица 11

Коэффициент корреляции потерь нитратного азота к количеству профильтровавшихся осадков

Почва дерново- подзоли- стая	2002-2003 гг.		2003-2004 гг.			2004-2005 гг.			r	d _{yx} (r ²)
	ок- тябрь- де- кабрь	ян- варь- апрель	май- сен- тябрь	ок- тябрь- де- кабрь	ян- варь- апрель	май- сен- тябрь	ок- тябрь- де- кабрь	ян- варь- апрель		
	Количество профильтровавшей влаги, л/лиз									
Легко-суг- линистая	-	44,2	-	3,2	279,0	-	188,5	213,6	-	-
Рыхлосу- песчаная	209,4	276,4	63,8	103,8	401,6	65,1	278,7	233,3		
Потери нитратного азота с лизиметрическими водами, кг/га										
Легко-суг- линистая	-	2,06	-	0,24	9,81	-	4,99	5,35	0,94	0,89
Рыхлосу- песчаная	12,76	17,03	3,33	6,68	18,25	1,21	4,40	7,44	0,75	0,57

Полученные данные свидетельствуют, что потери азота (сумма $N-NO_3^- + N-NH_4^+$) из дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы (1,0-1,5 м) значительно больше (в 2,15 раз) поступления его с атмосферными осадками. Нитратная форма азота очень подвижная и потери ее при выщелачивании превышают приход с атмосферными осадками на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2,1, а на рыхлосупесчаной почве – в 4,9 раза. В то же время выщелачивание ионов NH_4^+ существенно ниже на обеих почвах (0,35 и 0,94 кг/га) по сравнению с поступлением с осадками (12,1 кг/га), что указывает на преобладающее их поглощение почвой (табл. 12).

Таблица 12

Поступление $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$ с атмосферными осадками и их потери при выщелачивании, кг/га

Показатель	Поступление с атмосферными осадками	Потери при выщелачивании (тах)	
		дерново-подзолистая	
		легкосуглинистая	рыхлосупесчаная
$N-NO_3^-$	9,0	18,6	44,4
$N-NH_4^+$	12,1	0,35	0,94
Сумма	21,1	18,95	45,34

Среднегодовая продуктивность звена севооборота (гречиха-картофель-посо) в опыте в вариантах с внесением $N_{63-93}P_{45}K_{95}$ составила (в среднем за три года) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве 70,7-72,1 ц/га к. ед., на рыхлосупесчаной – 57,0-60,2 ц/га к. ед. (табл. 13).

Известно, что показатели баланса элементов питания, как система расчетов количественного поступления и расхода их в процессе питания растений за определенный промежуток времени, является важной агрохимической характеристикой и критерием оценки биологического качества сельскохозяйственной продукции,

2. Плодородие почв и применение удобрений

а также достаточно объективно прогнозируют уровень загрязнения окружающей среды.

Таблица 13

Продуктивность звена севооборота в лизиметрическом опыте, 2002-2004 гг.

Вариант	Продуктивность, к. ед, ц/га			
	гречиха	картофель	посо	среднее
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке				
1. Контроль	6,9	113,5	22,6	47,6
2. P ₄₅ K ₉₅ (фон)	14,4	130,5	25,5	56,8
3. Фон + N ₆₃	17,1	160,9	38,4	72,1
4. Фон + N ₉₃	12,4	162,4	37,2	70,7
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком				
1. Контроль	7,6	94,9	16,5	39,7
2. P ₄₅ K ₉₅ (фон)	7,2	122,8	23,7	51,2
3. Фон + N ₆₃	8,3	139,2	33,1	60,2
4. Фон + N ₉₃	7,0	129,6	34,3	57,0

Важнейший показатель баланса – это его интенсивность, т. е. соотношение приходной части к расходной и выраженной в %. Оптимальный вариант баланса – это полное равновесие. Дефицитный баланс элементов питания, т. е. превышение расхода над приходом для состояния почвенного плодородия совершенно нежелателен. Соответственно, положительный баланс должен быть умеренным и регулируемым, поскольку это сопряжено с дополнительными материально-энергетическими издержками. Состояние баланса элементов питания отражает тенденции изменения плодородия почв и характеризует возможность повышения продуктивности земель. На современном уровне сельскохозяйственного производства рекомендуется поддерживать интенсивность баланса азота на пахотных почвах в пределах 100-120 % [33].

Расчет статей прихода и расхода азота (в среднем за три года по 2-м исследуемым почвам) в варианте с внесением полного минерального (N₆₃P₄₅K₉₅) и органического удобрения (20 т/га ОУ – среднегодовая доза органических удобрений в звене севооборота) показывает, что на долю прихода азота с органическими удобрениями приходилось 88 кг/га (47,5 %) от общей суммы его поступления, с минеральными удобрениями – 63 кг/га (34)%, с атмосферными осадками – 21,1 кг/га (11,4 %), от биологической фиксации – 10,0 (5 %) и с семенами – 3,0 кг/га (1,6 %).

Доля статей расхода азота составила: вынос с урожаем сельскохозяйственных культур звена севооборота – 113,3 кг/га (или 68,3 %), потери от выщелачивания – 14,8 кг/га (8,9 %) и газообразные потери – 37,8 кг/га (22,8 %).

Анализ данных баланса азота в 2002-2003 гг. показал, что интенсивность баланса в вариантах с полной дозой удобрений (вар. 3-4), находилась в пределах: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве от 133 до 160 %, на рыхлосупесчаной – 124-133 %, соответственно в 2003-2004 гг. – 177-165 и 191-185 и 2004-2005 гг. – 62-62 и 64-75 % (табл. 14).

Интенсивность баланса азота в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, %

Вариант	2002*-2003 гг.	2003*-2004 гг.	2004*-2005 гг.
	гречиха*	картофель*	просо*
Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающейся на легком лессовидном суглинке			
1. Контроль	-	35	26
2. P ₄₅ K ₉₅ (фон)	88	277	30
3. Фон + N ₆₃	133	177	62
4. Фон + N ₉₃	160	165	69
Дерново-подзолистая супесчаная, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлым песком			
1. Контроль	98	44	36
2. P ₄₅ K ₉₅ (фон)	80	215	26
4. Фон + N ₆₃	124	191	64
5. Фон + N ₉₃	133	185	75

* Годы возделывания культур звена севооборота.

ВЫВОДЫ

1. С атмосферными осадками в среднем за год (2002-2005 гг.) поступало: общего азота – 21,1 кг/га, в том числе N-NO₃⁻ – 9,0, N-NH₄⁺ – 12,1 кг/га. Процент профильтровавшихся атмосферных осадков через слой 1,0-1,5 м дерново-подзолистых почв зависит от их гранулометрического состава и количества выпавших атмосферных осадков: в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве его величина составляла в засушливый год 2,7 %, в оптимальный по увлажнению – 20,5 %; в рыхлосупесчаной – 29,2 и 32,5 % соответственно.

2. Потери азота при выщелачивании определяются гранулометрическим составом почв, количеством выпавших и профильтровавшихся атмосферных осадков и дозами вносимых азотных удобрений, в частности из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ежегодно выщелачивалось: N-NH₄⁺ – до 0,35 кг/га, N-NO₃⁻ – 0,02-18,6 кг/га, из супесчаной – N-NH₄⁺ – до 0,94 кг/га, N-NO₃⁻ – 11,53-44,4 кг/га.

3. Увеличение дозы внесения азота с 63 до 93 кг/га д. в. повышало потери нитратного азота при выщелачивании с инфильтрационными водами из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на 66,8 %; из рыхлосупесчаной – на 49,3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Computer model for managing saline water for irrigatoin and crop growth: Preliminari testing with lysimeter data [Text] / A. Majeed [et al]. – Agricul. Water Manag, 1994. – №4. – P. 239-251.
2. Wuetal, L. Numerical and field evaluation of soil water sampled by suction lysimeters / L. Wuetal. – Journal of Envir Qual, 1995. – №1. – P.147-152.
3. Безлюдный, Н. Н. Потери азота на дерново-подзолистых почвах Белорусской ССР и способы их сокращения / Н. Н. Безлюдный, Т. Н. Малец, В. М. Ковтун – Агрохимия. – 1986. – №11. – С. 3-8.

4. Безлюдный, Н. Н. Миграция азота в профиле дерново-подзолистых почв БССР / Н. Н. Безлюдный, Т. Н. Денисов, А. К. Петрович / Агрохимия. – 1982. – №6. – С. 12-18.
5. Семененко, Н. Н. Запасы и распределение азота в дерново-подзолистых автоморфных и полугидроморфных почвах Белорусской ССР / Н. Н. Семененко // Докл. ВАСХНИЛ. – 1981. – №11. – С. 16-18.
6. Панников, В. Д. Лизиметрия – эффективный метод агрохимических исследований / В. Д. Паников. – Сельское хозяйство за рубежом. – 1980. – №8. – С. 2-13.
7. Шишов, Л. Л. Лизиметры в почвенных исследованиях / Л. Л. Шишов [и др.]; под ред. Л. Л. Шишова. – М., 1998. – 264 с.
8. Кореньков, Д. А. Агрохимия азотных удобрений / Д. А. Кореньков. – М.: Наука, 1976. – 184 с.
9. Семененко, Н. Н. Влияние способов применения азотных удобрений под картофель на песчаных почвах на баланс азота удобрений / Н. Н. Семененко // Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений: материалы Междунар. науч. — практ. конф. – Горки, 2001. – Ч.2. – С. 160-162.
10. Смирнов, П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N) / П. М. Смирнов. – М., 1982. – 74 с.
11. Семененко, Н. Н. Азот в земледелии Беларуси / Н. Н. Семененко, Н. В. Невмержицкий. – Минск: Хата, 1997. – 194 с.
12. Семененко, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семененко. – Минск: Хата, 2003. – 162 с.
13. Ибрагимов, Н. А. Отрицательное влияние нерационального применения минеральных удобрений на окружающую среду / Н. А. Ибрагимов // Самаркандский СХИ. – Самарканд, 1991. – 16 с.
14. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 1992 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1994. – С. 30-31.
15. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 2003 г.; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2003. – С. 52-53.
16. Юшкевич, И. А. Поступление азота, фосфора и калия с атмосферными осадками в условиях Белоруссии / И. А. Юшкевич, Н. И. Туренков, И. А. Алексейчик // Почвоведение. – 1971. – №11. – С. 70-74.
17. Туренков, Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – Минск: Наука и техника, 1980. – 215 с.
18. Постников, А. В. Миграция биофильных элементов и их баланса в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах при различных системах применения минеральных удобрений / А. В. Постников, А. П. Смирнов, А. Л. Филиппов // Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении, мелиорации и агроэкологии. – М.: Немчиновка, 1999. – С. 21-33.
19. Потери питательных элементов при инфильтрации атмосферных осадков из основных типов почв Среднего Поволжья / И. П. Бреус [и др.] // Агрохимия. – 1995. – №9. – С. 3-10.
20. Лизиметрический стационар Казанского госуниверситета / И. П. Бреус [и др.] // Агрохимический вестник. – 2003. – №2. – 13с.
21. Годовая динамика лизиметрического стока модельных дерново-подзолистых почв / А. Б. Умарова [и др.] // Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении, мелиорации и агроэкологии. – М.: Немчиновка, 1999. – С. 183-187.

22. Варюшкина, Н. М. Трансформация азота различных видов органических удобрений в дерново-подзолистых почвах / Н. М. Варюшкина, М. В. Никифорова, М. М. Никитина // Бюл. ВИАУ. – М., 1988. – Т. 88. – С. 74-79.

23. Процесс денитрификации и потери азота из почвы / Е. Н. Мишустин [и др.] // Известия ТСХА. – 1965. – №3.

24. Головатый, С. Е. Газообразные потери азота на дерново-подзолистой легко-суглинистой почве / С. Е. Головатый, Н. Д. Волкова // Почва – удобрение – плодородие: материалы Междунар. науч. — произв. конф. – Минск, 1999. – С. 93-94.

25. Кирпанева, Л. И. Характер вымывания подвижных форм азота из почвы / Л. И. Кирпанева, А. М. Варюшкина, Л. И. Романюк // Бюл. ВИАУ им. Д. Н. Прянишникова. – 1975. – №4. – С. 80-87.

26. Филимонов, Д. А. Влияние сельскохозяйственных культур на потери азота с лизиметрическими водами / Д. А. Филимонов, И. А. Лаврова, Е. В. Руделев // Бюл. ВИАУ им. Д. Н. Прянишникова. – 1975. – №25. – С. 66-69.

27. Левин, Ф. И. К вопросу о миграции элементов в дерново-сильноподзолистых почвах / Ф. И. Левин, Е. Н. Субботина // Повышение плодородия почв Нечерноземной полосы. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – Вып. 3. – С. 146-151

28. Fate of Azolla spp. and urea nitrogen applied to wetland rice (*Oryza sativa* L.) / I. Watanabe [and al.] // Biol. Fertil. Soils. – 1989. – Vol. 8, №2. – P. 102-110.

29. Khind, C. S. Effect of floodwater depth on ammonia volatilization loss from urea in flooded soil / C. S. Khind, A. Garg, M. S. Bajwa // Internat. Rice Res. Newsletter. – 1989. – Vol. 14, N1. – P. 23-24.

30. Scharf, P. C. Alley M. M. Nitrogen loss pathways and nitrogen loss inhibitors / P. C. Scharf // J. Fertil. Iss. – 1988. – Vol. 5, №4. – P. 109-125.

31. Муравин, Э. А. Использование растениями и потери меченого азота удобрений в последствии / Э. А. Муравин [и др.] // Плодородие. – 2003. – №5. – С. 18-20.

32. Сборник гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены: Минск: ГУРЦГЭ и ОЗ МЗ РБ., 2005. – 96 с.

33. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 2001. – 300 с.

NITROGEN MIGRATION AND BALANCE IN SOD-PODZOLIC SOILS WITH DIFFERENT LEVELS OF APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZER (ACCORDING TO THE DATA OF LYSIMETRIC RESEARCH «INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND ADROCHEMISTRY»)

G. V. Pirogovskaia, O. P. Sazonenko

Summary

The article addresses the receipt of nitrogen compound with atmospheric precipitation and its migration into sod-podzolic soils of different granulometric composition at different levels of nitrogen fertilizer.

Поступила 28 сентября 2011 г.