

HCP <sub>05</sub>	-	300	-	-	1441	-	-	662	-
-------------------	---	-----	---	---	------	---	---	-----	---

## 2. Влияние цеолита на урожайность сена, ц/га

Вариант	Тип естественного луга		
	пойменный	низинный	суходольный
1	33,0	74,0	23,0
2	55,4	89,7	29,4
3	56,0	83,4	30,0
HCP <sub>05</sub>	9,0	15,6	9,6

Примечание. Расшифровка вариантов дана в табл. 1.

1,68 и 1,70 раза, на низинном и суходольном лугах соответственно в 1,21 и 1,13 раза и 1,28 и 1,30 раза.

Увеличение урожайности сена на делянках с цеолитом можно объяснить особенностями самих цеолитов, которые, являясь источником минеральных веществ, способны поглощать, удерживать и постепенно расходовать влагу и минеральные элементы в почве, создавая благоприятные условия для роста и развития растений.

Незначительное различие урожайности сена в вариантах с внесением цеолитов в дозах 0,5 и 1% от пахотного слоя почвы, по-видимому, можно объяснить небольшим различием количества цеолита, проникшего с поверхности делянок вглубь почвы.

*Таким образом, внесение цеолита в дозах 0,5 и 1% от пахотного слоя почвы на поверхность естественных лугов снижает поступление <sup>137</sup>Cs в травостой (сено) в 1,06-1,85 раза и способствует увеличению урожайности на 10,0-23,0 ц/га. Наибольший эффект от внесения цеолита в дозе 1% получен на пойменном луге и составил 1,85 кратную величину. При внесении цеолита в дозе 0,5% снижение радионуклида в 1,51 раза получено на низинном луге. Максимальное (22,4 и 23,0 ц/га) увеличение урожайности сена получено при внесении цеолита в дозах 0,5 и 1% на пойменном луге.*

УДК 631. 83: 531.416.4

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Т.А. Шохова, А.Р. Газиева (научный руководитель С.М. Пакина, д.б.н.)

*Приведены экспериментальные результаты, указывающие на различия в миграционной подвижности питательных элементов, дана количественная оценка миграционными потерям  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  и фосфат-ионов из пахотного слоя, установлена закономерность распределения этих ионов по профилю почвы.*

*Ключевые слова: процесс, миграция, почва, нитраты, фосфаты, калий, аммоний, глубина, ион, распределение.*

*Experimental results pointing out differences in migration mobility of nutrients are presented, quantitative appraisal of  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  and phosphate-ions losses from arable layer is given, regularity of ions' distribution in soil profile is established.*

*Keywords: process, migration, soil, nitrates, phosphates, potassium, ammonium, depth, ion, distribution.*

Несмотря на обширный материал, накопленный за годы исследований по применению минеральных и органических удобрений, в настоящее время отсутствует достаточно полная информация о миграционных процессах питательных элементов за пределами пахотного слоя и закономерностях их передвижения по профилю почвы.

Цель работы – исследование процессов миграции питательных элементов в слое почвы, равном 1 м, в условиях многолетнего стационарного полевого опыта.

В качестве объектов выбраны четыре делянки длительного стационарного опыта, заложенного под руководством В.Ф. Мальцева в 1983 г. на опытном поле Брянской ГСХА. Площадь каждой делянки составляла 22,0 х 10,8 м (236,7 м<sup>2</sup>). Опыт включал следующие варианты: 1. (NPK)<sub>max</sub> + зеленое удобрение (ЗУ) + солома (С) + пестициды (П); 2. (NPK)<sub>mid</sub> + навоз (Н) + П; 3. (NPK)<sub>min</sub> + Н + ЗУ + С + П; 4. Н + ЗУ + С.

(NPK)<sub>max</sub>, (NPK)<sub>mid</sub>, (NPK)<sub>min</sub>: нормы минеральных удобрений (нитрофоска 12:12:12) максимальная, рекомендуемая и уменьшенная на 1/3 от расчетных. В качестве зеленого удобрения использовали озимую рожь (10-12 т/га). Солому вносили в измельченном виде как удобрение в дозе 5 т/га сухой органической массы. Навоз (Н) вносили под пропашные культуры (кукуруза на силос, картофель) в перепревшем виде в дозах соответственно 40 и 50 т/га. В основу опыта положен плодосменный севооборот: горох – озимая пшеница – кукуруза на силос

– ячмень – клевер (пожнивной посев) – озимая рожь – картофель – овес.

После третьей ротации севооборота (декабрь 2006 г.) на четырех делянках буром отобраны образцы из каждого слоя почвы, равного 10 см, до глубины 1 м. В образцах почвы гранулометрический состав определяли пипеточным методом Н.А. Качинского, pH – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); гидролитическую кислотность (Н<sub>г</sub>) – по методу Каппена-Гильковича в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); сумму поглощенных оснований (S) – по методу Каппена и Гильковича (ГОСТ 26207-91); подвижные формы фосфора и калия – по методу А.Т. Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91); обменный аммоний – фотометрическим методом с реактивом Нesslerа; нитраты – ионометрическим методом, гумус – по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Удельную поверхность почвы определяли расчетным методом, используя данные гранулометрического состава почв и удельной поверхности частиц разного размера, определенной методом Кутилена.

Почва опытного участка представлена серой лесной легкосуглинистой на лессовидном суглинке и имеет следующее строение профиля: А<sub>пах</sub> (0-20), А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> (20-40), А<sub>2</sub>В (40-50), В<sub>1</sub> (50-70), В<sub>2</sub> (70-90), С (>90 см). Данные гранулометрического состава каждого варианта почти не отличаются друг от друга, почва от поверхности до ма-

теринской породы характеризуется как легкосуглинистая крупнопылеватая. Пахотный слой вариантов 1 и 4

характеризуется соответственно низким и средним содержанием гумуса (табл. 1).

### 1. Агрохимические показатели серой лесной легкосуглинистой почвы

Глубина почвы, см	Гумус, %		pH <sub>KCl</sub>		Н <sub>г</sub> , мг-экв/100 г		S, мг-экв/100 г	
	1	4	1	4	1	4	1	4
0-10	3,39	5,71	4,34	4,35	2,4	0,7	14,6	15,4
10-20	3,39	6,79	4,34	4,45	2,5	0,7	14,6	17,2
20-30	2,50	5,71	4,40	4,41	2,5	1,0	15,2	16,2
30-40	1,43	3,21	4,43	4,28	2,7	0,9	15,4	17,4
40-50	1,43	2,14	4,47	4,45	2,0	0,7	14,0	19,0
50-60	1,07	1,07	4,45	4,48	2,4	0,5	12,6	13,8
60-70	1,07	1,07	4,36	4,50	0,7	1,6	10,8	12,2
70-80	1,07	1,07	4,27	4,43	1,1	2,0	11,2	12,8
80-90	0,7	0,7	4,26	4,38	0,7	1,0	12,0	10,6
90-100	0,7	0,7	4,26	4,22	0,6	1,1	10,4	12,6

1 и 4 – соответственно первый и четвертый варианты опыта.

Несмотря на небольшие различия в значениях  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  по глубине почвы, были выявлены существенные различия в значениях разности  $pH_{KCl} - pH_{H_2O} = \Delta pH$ . Как известно, величина  $\Delta pH$  пропорциональна отрицательному заряду коллоидных частиц с зависящим от pH зарядом. До глубины почвы, равной  $h = 50$  см, не наблюдалось различий в значениях  $\Delta pH$ , однако с глубины  $h = 50$  см кривые зависимости  $\Delta pH = f(h)$  в вариантах резко отличаются друг от друга и характеризуются синхронностью. По величине  $\Delta pH$  варианты расположились в следующей последовательности:  $1 > 4 > 2 > 3$ . Внесение навоза, зеленого удобрения и соломы с минимальной дозой нитрофоски вызвало снижение значения  $\Delta pH$  в 1,5 раза по сравнению с вариантом 1.

Значение суммы поглощенных оснований и гидролитической кислотности изменилось как по профилю почвы, так и в пространстве в зависимости от вида и нормы удобрений. На вариантах 2 и 3 имела место более высокая степень насыщенности основаниями, чем на 1 и 4. На этих вариантах опыта наблюдается интенсивное растворение природных карбонатов кальция и насыщение почвенного поглощающего комплекса катионом  $Ca^{2+}$ . Это явление вызвало резкое снижение значений  $\Delta pH$  или поверхностного потенциала почвенных коллоидов.

На рисунке 1 представлены кривые распределения нитратов по глубине почвы. Первый вариант характеризуется чрезвычайно низким содержанием нитратов в профиле почвогрунта. Реакция нитрификации протекает крайне медленно и выход конечного продукта (нитратов), мал. Замена зеленого удобрения и соломы на навоз

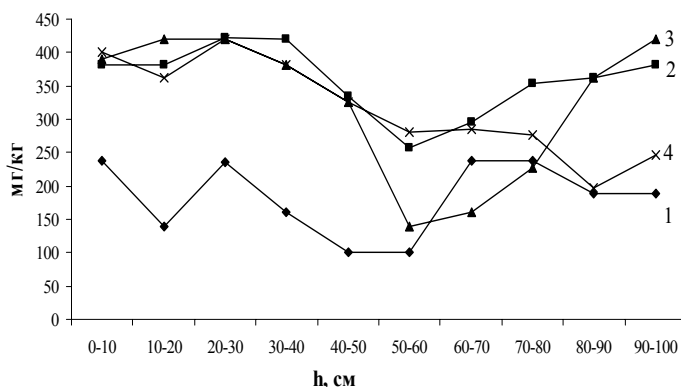
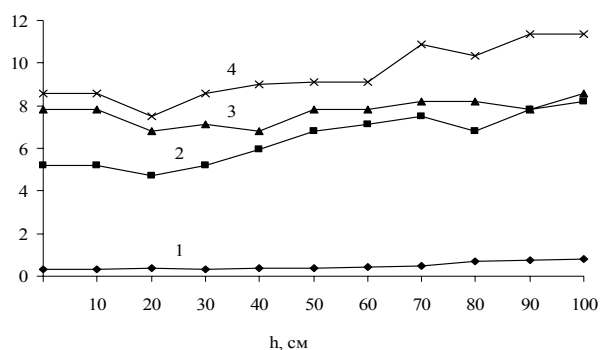
сопровождается резким увеличением нитратов в профиле почвогрунта (вариант 2). Добавление навоза к зеленому удобрению и соломе еще в большей степени повышает содержание нитратов во всем профиле (вариант 3). Навоз стимулирует процесс образования нитратов, которые накапливаются в больших количествах в слое почвы 100 см. Кривые распределения нитратов указывают на процесс выноса нитратов с потоками влаги вглубь почвы.

На рисунке 2 представлены кривые распределения фосфатов по глубине почвы на четырех вариантах опыта. Содержание фосфатов на вариантах 2-4 почти не отличается друг от друга, но выше, чем на варианте 1. Кривые распределения фосфатов по профилю указывают на процесс аккумуляции их в слое почвы 50-100 см на всех вариантах.

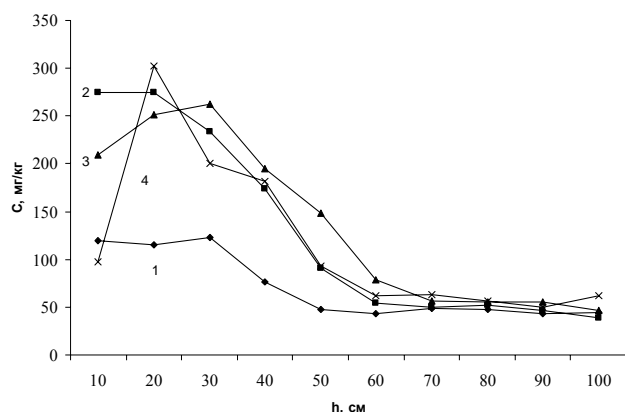
На рисунке 3 представлены кривые распределения обменного калия по глубине почвы на четырех вариантах опыта. В отличие от подвижных фосфатов процесс аккумуляции калия охватывает лишь слой почвы 0-60 см и не наблюдается передвижения калия в более глубокие слои. Содержание калия в почве на вариантах 2-4 значительно выше, чем на варианте 1.

На рисунке 4 представлены кривые распределения обменного аммония по глубине почвы. Аммоний так же, как калий аккумулируется в слое почвы 0-60 см. Но в отличие от калия, он интенсивно передвигается в более глубокие слои. Вариант 4 (без минеральных удобрений) характеризуется наибольшим накоплением аммония в профиле почвы.

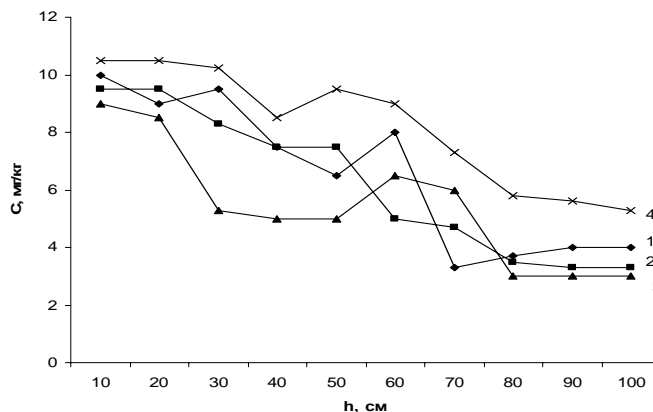
$C_{N-NO_3}$ , мг/кг



**Рис. 1. Кривые распределения нитратов по глубине почвы на четырех вариантах опыта**



**Рис. 2. Распределение фосфатов по глубине почвы на четырех вариантах**



**Рис. 3. Распределение обменного калия по глубине почвы на четырех вариантах**

**Рис. 4. Распределение обменного аммония по глубине почвы на четырех вариантах**

## 2. Запасы питательных элементов в метровом слое почвы (кг/га) на двух вариантах опыта через 23 года после закладки опыта (1983-2006 гг.),

Глубина слоя, см	NO <sup>3-</sup>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>-</sup>		K <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	1	4	1	4	1	4	1	4
0-20	0,9	21,0	495	999	308	524	24,9	27,4
20-100	4,8	92,5	1674	2886	572	948	56,4	73,0
Отношение содержания элементов питания в слое, равном 20-100 см, к содержанию в слое, равном 0-100 см, %								
	85	81	77	74	65	64	69	73

1, 4 — соответственно первый и четвертый варианты опыта

Были рассчитаны запасы питательных элементов в пахотном слое, равном 0-20 см, и слое почвы 20-100 см. Данные таблицы 2 показывают, что питательные элементы, внесенные в пахотный слой в виде органоминеральных удобрений, мигрируют из пахотного слоя в нижерасположенные слои в разных относительных количествах. За 23 года внесения удобрений из пахотного слоя мигрировало нитратов, фосфатов, аммония и калия соответственно 83, 75, 71 и 65% от оставшихся после биовыноса.

Для объяснения различий в миграции питательных элементов за пределы пахотного слоя использовали уравнение распределения ионов по профилю почвы:

$$C_h = C_{\max} \exp(-\lambda d),$$

где  $C_{\max}$ ,  $C_h$  — максимальное содержание ионов в профиле и на глубине  $h$ ,  $d$  — количество влаги, прошедшей через слой почвы определенной толщины, м;  $\lambda$  — ионопроводная постоянная почвы, равная

$$\lambda = 1,8 \cdot 10^3 \cdot EKO \cdot \sqrt{(Z_1 + Z_2)/2} / ST, \text{ м}^{-1},$$

$EKO$  — емкость поглощения (мг-экв/100 г),  $S$  — удельная поверхность (м<sup>2</sup>/г),  $T$  — температура почвы (°K),  $Z_1$  и  $Z_2$  — соответственно валентность аниона и катиона соли. Обратная величина постоянной ( $1/\lambda$ ) характеризует способность иона мигрировать в данной почве или миграционную подвижность иона.

Для расчета миграционной подвижности нитратов, фосфатов, аммония и калия строили графики функции  $\ln(C_{\max}/C_h) = f(h)$ . Для определения  $\lambda$ , как тангенса угла наклона прямых, необходимо иметь данные о количестве влаги, профильтровавшейся через слой почвы, равный 0-100 см за 23 года (1983-2006 гг.). Для расчета ве-

личины  $d$  были взяты метеорологические данные станции «Брянск». Величину  $d$  рассчитывали как разность суммы осадков и испаряемости за период 1983-2006 гг. Испаряемость рассчитывали по формуле Н.Н. Иванова (1954), используя среднемесячные данные температуры и относительной влажности воздуха. Величина  $d$  за исследуемый период составила 0,18 м. Значения  $\lambda$  для нитратов, фосфатов, аммония и калия составили соответственно 2,8; 4,8; 5,6; 9,4 м<sup>-1</sup>.

Отсюда миграционная подвижность ( $\lambda^{-1}$ ) нитратов, фосфатов, аммония и калия соответственно равна: 0,36; 0,21; 0,18; 0,11 м. Миграционная подвижность нитратов превосходит ее значение для фосфатов, аммония и калия, соответственно в 1,7, 2,0 и 3,3 раза. Более низкое значение ( $\lambda^{-1}$ ) для фосфатов, чем для нитратов, указывает на то, что большая часть фосфатов передвигается в почве в составе монофосфатов и дифосфатов кальция.

Более низкая миграционная подвижность  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{K}^+$  по сравнению с анионами  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{NO}_3^-$  указывает на то, что лишь часть катионов диффузного слоя участвует в инфильтрационном потоке влаги.

*Таким образом, длительное (более 20 лет) применение минеральных удобрений в сочетании с разными видами органических удобрений и органических без включения минеральных приводит к накоплению питательных элементов, оставшихся после биовыноса, в нижних горизонтах серой лесной легкосуглинистой почвы и материнской породе. Распределение нитратов, подвижных соединений фосфора, аммония и калия по профилю почвы подчиняется экспоненциальной зависимости, коэффициент которой характери-*