

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
НСР ₀₅	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 ¹³⁷Cs 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. Пакишина, д.б.н.)

Приведены экспериментальные результаты, указывающие на различия в миграционной подвижности питательных элементов, дана количественная оценка миграционным 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 x 10,8 м (236,7 м²). Опыт включал следующие варианты: 1. $(NPK)_{max}$ + зеленое удобрение (ЗУ) + солома (С) + пестициды (П); 2. $(NPK)_{mid}$ + навоз (Н) + П; 3. $(NPK)_{min}$ + Н + ЗУ + С + П; 4. Н + ЗУ + С.

$(NPK)_{max}$, $(NPK)_{mid}$, $(NPK)_{min}$: 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, рН – потенциметрическим методом (ГОСТ 26483-85); гидролитическую кислотность (H_+) – 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 Несслера; 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: A_{max} (0-20), A_1A_2 (20-40), A_2B (40-50), B_1 (50-70), B_2 (70-90), C (>90 см). Данные гранулометрического состава каждого варианта почти не отличаются друг от друга, почва от поверхности до материнской породы характеризуется как легкосуглинистая крупнопылевая. 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 _{KCl}		H _г , 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_{H2O} и pH_{KCl} по глубине почвы, были выявлены существенные различия в значениях разности pH_{KCl} - pH_{H2O} = ΔpH. Как известно, величина ΔpH пропорциональна отрицательному заряду коллоидных частиц с зависящим от pH зарядом. До глубины почвы, равной h = 50 см, не наблюдалось различий в значениях ΔpH, однако с глубины h = 50 см кривые зависимости ΔpH = f(h) в вариантах резко отличаются друг от друга и характеризуются синхронностью. По величине ΔpH варианты расположились в следующей последовательности: 1 > 4 > 2 > 3. Внесение навоза, зеленого удобрения и соломы с минимальной дозой нитрофоски вызвало снижение значения ΔpH 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 Ca²⁺. Это явление вызвало резкое снижение значений ΔpH 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-NO3}, мг/кг

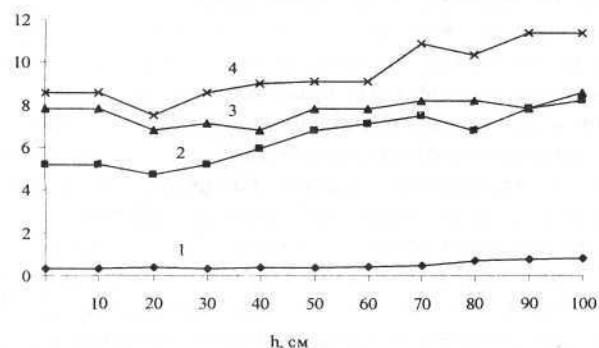


Рис. 1. Кривые распределения нитратов по глубине почвы на четырех вариантах опыта

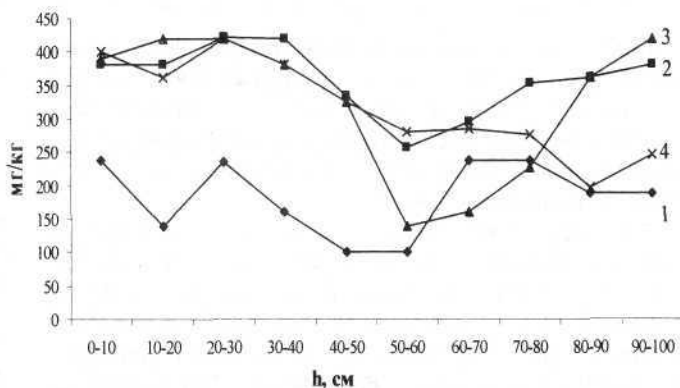


Рис. 2. Распределение фосфатов по глубине почвы на четырех вариантах

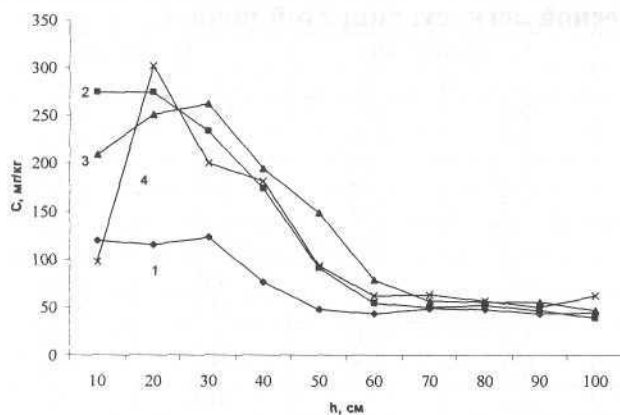


Рис. 3. Распределение обменного калия по глубине почвы на четырех вариантах

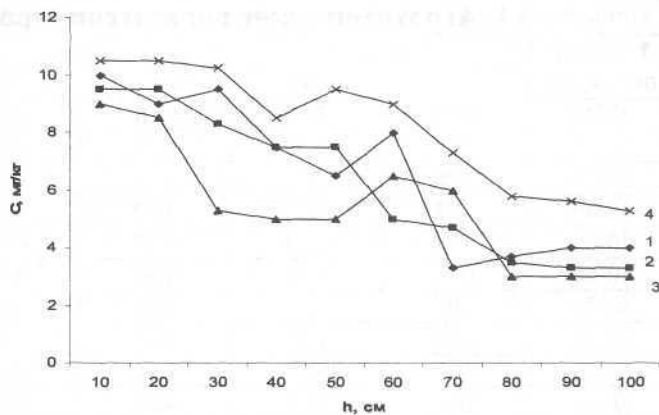


Рис. 4. Распределение обменного аммония по глубине почвы на четырех вариантах

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 ³⁻		P ₂ O ₅ ⁻		K ⁺		NH ₄ ⁺	
	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; λ – 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 (м²/г), T – температура почвы (°К), 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 λ , 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 величины 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 λ для нитратов, фосфатов, аммония и калия составили соответственно 2,8; 4,8; 5,6; 9,4 м⁻¹.

Отсюда миграционная подвижность (λ^{-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 (λ^{-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 NH₄⁺ и K⁺ по сравнению с анионами H₂PO₄⁻ и NO₃⁻ 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 характеризует миграционную подвижность иона ($1/\lambda$, м). По величине $1/\lambda$ питательные элементы составили следующую последовательность: нитраты > фосфаты > аммоний > калий.