

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

УДК 631.445.2:631.585:631.8



АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ОСВАИВАЕМЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ В ЗЕРНОПРОПАШНОМ ПЛОДОСМЕННОМ СЕВООБОРОТЕ ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ УДОБРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ

В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Н.П. Попова ✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

Аннотация. Цель исследований: Изучение влияния разноглубинной заделки измельченных соломисто-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свиного комплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта. Изучено влияние разноглубинной заделки измельченных соломисто-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свиного комплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта. Исследования проводили при повторном освоении деградированных дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона Нечерноземной зоны РФ легкосуглинистого гранулометрического состава. Установлено, что по степени влияния изученных факторов на содержание легкогидролизуемого азота их можно расположить в порядке снижения эффективности следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В). Доказано, что за период ротации пятипольного севооборота комплексное влияние изученных факторов определяет интенсивность накопления легкогидролизуемого азота в слое 0-40 см в интервале 58,8...75,3%. Остальные 41,2...24,7% изменений сопряжены с другими факторами нитрификации, и в первую очередь – с микробиологической активностью почвы в условиях изменяющихся агроклиматических ресурсов данного региона.

Ключевые слова: азотный режим, легкогидролизуемый азот, осваиваемые дерново-подзолистые почвы, система удобрения, культуры севооборота, гранулометрический состав

Формат цитирования: Шевченко В.А., Соловьев А.М., Попова Н.П. Азотный режим осваиваемых дерново-подзолистых почв Нечерноземья в зернопропашном плодосменном севообороте при разных системах удобрений и обработки // Природообустройство. 2024. № 5. С. 28-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

Scientific article

NITROGEN REGIME OF THE DEVELOPED SOD-PODZOLIC SOILS OF THE NON-CHERNOZEM REGION IN GRAIN-TILLING FRUIT-CHANGING CROP ROTATION UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF FERTILIZATION AND CULTIVATION

V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, N.P. Popova ✉

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova", 127434; 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russia

Abstract. The purpose of the research is to study the effect of multi-depth sealing of crushed straw-crop residues of field crops, calculated doses of mineral fertilizers for the planned crop yield, as well as organic waste from the pig complex used as the main fertilizer on the nitrogen regime of degraded soils along the layers of the root-inhabited horizon. The effect of different-depth incorporation of crushed straw-crop residues of field crops, calculated doses of mineral fertilizers for the planned crop yield, as well as organic waste from the pig complex used as the main fertilizer on the nitrogen regime of degraded soils along the layers of the root-inhabited horizon has been studied. The studies were carried out during

the repeated development of degraded sod-podzolic soils of the North-West region of the Non-Chernozem zone of light loamy granulometric composition. It was established that according to the degree of influence of the studied factors on the content of easily hydrolyzed nitrogen, they can be arranged in order of decreasing efficiency as follows: fertilization system (factor A) → method of incorporation of fertilizers (factor C) → crop rotation cultures (factor B). It is proved that during the rotation period of the five-field crop rotation, the complex influence of the studied factors determines the intensity of accumulation of easily hydrolyzed nitrogen in a layer of 0-40 cm in the range of 58.8...75.3%. The remaining 41.2...24.7% of the changes are associated with other nitrification factors, and primarily with the microbiological activity of the soil in the conditions of changing agro-climatic resources of the region.

Keywords: nitrogen regime, easily hydrolyzed nitrogen, developed sod-podzolic soils, fertilizer system, crop rotation cultures, granulometric composition

Format of citation: Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. Nitrogen regime of the developed sod-podzolic soils of the Non-chernozem region in the grain-tilling fruit-changing crop rotation under different fertilizer systems and cultivation // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 28-36. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-28-36>

Введение. В условиях Нечерноземной зоны, где азот находится в первом минимуме, главное внимание при возделывании запланированных урожаев должно быть уделено определению разницы между потребностью сельскохозяйственных культур и способностью почвы обеспечить их доступными формами азота в течение вегетационного периода [1-4].

Источником азота в почве служит органическое вещество, в котором заключено до 90% азота. Однако вовлекаемые в повторный оборот земли Нечерноземной зоны испытывают резкий дефицит азота, который ежегодно составляет 20...22 кг/га [5, 6]. Его можно уменьшить внесением расчетных доз органических и минеральных удобрений, а также с помощью выращивания однолетних и многолетних культур, в том числе бобовых, и использования растительных остатков, которые являются естественными источниками биологического азота [7-9]. Расчет баланса питательных веществ в почве необходимо выполнять с учетом типа севооборота, агрохимических показателей почвы, поступления и отчуждения элементов питания и уровня кислотности [3]. Учитывая высокую подвижность азота в почвенной среде, для составления баланса определение его содержания в почве рекомендуется выполнять ежегодно.

Нижней границей оптимального содержания легкогидролизуемого азота в пахотном слое дерново-подзолистых осваиваемых почв считается 60 мг/кг почвы. При содержании азота ниже указанной величины их относят к деградированным, поскольку посевы на таких землях не только имеют пониженную урожайность, но и характеризуется низким качеством выращенной продукции [10, 11].

Цель исследований: Изучение влияния разноглубинной заделки измельченных соломенно-пожнивных остатков полевых культур, расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов, а также органических отходов свинокомплекса, применяемых в качестве основного удобрения, на азотный режим деградированных почв по слоям корнеобитаемого горизонта.

Материалы и методы исследований. Опыты по изучению комплексного влияния систем удобрения (фактор А), способов обработки почвы (фактор С) и последствий культур севооборота (фактор В) при введении в оборот легкосуглинистых дерново-подзолистых почв на азотный режим проводили в первой ротации пятипольного плодосменного зернопашного севооборота в период с 2015 по 2019 гг. в ООО «Ручьевское» Ржевского района Тверской области, вышедших из оборота в 1994 г. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 1,76...1,78 мг/кг – очень низкое; P_2O_5 106...109 мг/кг – повышенное; K_2O 90...100 мг/кг – среднее; pH_{KCl} 4,88...5,0 – слабокислая.

Расчет доз минеральных удобрений под запланированную урожайность выполнен по методике М.К. Каюмова [12]. Фосфорные и калийные удобрения в полной дозе вносили под основную обработку почвы. Азотные удобрения применялись дробно: под предпосевную культивацию – 50%; при посеве – 25%; в подкормки – 25% (табл. 1). Использовались: аммиачная селитра – 34% д.в.; суперфосфат простой – 20% д.в.; хлористый калий – 60% д.в. Жидкие стоки в дозе 80 м³/га заделывали с помощью технологии плановых систем под предпосевную обработку. Твердую фракцию навоза с нормой 40 т/га

распределяли по делянкам при помощи прицепно-разбрасывателя ПРТ-10. Все виды удобрений вносили по фону измельченных соломенно-позеленных остатков предшественника и заделывали в пахотный слой осваиваемых почв тремя способами: дисковыми луцильниками на глубину 7...10 см, отвальными плугами на 18...20 см и чизельными орудиями на 27...30 см.

Позеленно-корневые остатки имели следующий химический состав (% на сухое вещество, в среднем за годы исследований): у люпина N – 1,40; P₂O₅-0,42; K₂O – 1,48; у зерновых культур N – 0,71; P₂O₅-0,15; K₂O – 0,60.

Жидкие стоки в среднем содержали: сухих веществ – 3,0%; общего азота – 0,1%; фосфора подвижного – 0,03%; калия обменного – 0,28%, что соответствовало внесению азота – 123 кг/га, фосфора – 36 кг/га, калия 59 кг/га; рН стоков – 7,4 ед. Твердая фракция навоза имела следующий состав: сухие вещества – 35...40%; азот общий – 0,54%; фосфор подвижный – 0,29%; калий обменный – 0,60%, что также в среднем соответствовало внесению азота – 120 кг/га, фосфора – 34 кг/га, калия – 33 кг/га; рН твердой фракции – 7,9 ед.

Опыт заложен в 4-кратной повторности методом рендомизированных повторений. Площадь посевной делянки – 240 м², учетной – 120 м².

Легкогидролизующий азот определяли по Тюрину и Кононовой в модификации Кудярова, в начале и в конце вегетационного периода.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного и корреляционного анализа в изложении Б.А. Доспехова [11].

Результаты и их обсуждение. Изучено исходное содержание легкогидролизующего азота по слоям почвы при закладке опыта (табл. 2).

Установлено, что в пахотном слое 0-10 см сконцентрировано максимальное количество легкогидролизующего азота, которое (в среднем) перед внесением различных видов удобрений составило 56...57 мг/кг при коэффициенте вариации 3,6...7,1%, что принято считать незначительной разницей, поскольку изменчивость вариационного ряда не превышает 10%, а отклонение от этих величин меньше НСР₀₅ = 3,4 мг.

В пахотном слое 10-20 см обнаружена сниженная концентрация легкогидролизующего азота (53...54 мг/кг почвы), однако его содержание достоверно отличалось от верхнего слоя почвы, поскольку разница составила 2...3 мг/кг при НСР₀₅ = 3,2 мг. Коэффициент вариации относительно среднего статистического значения данного показателя составил 3,7...5,7%, что подтверждает незначительную пестроту изучаемого показателя при закладке опыта.

Исходя из приведенных значений, можно заключить, что среднее содержание легкогидролизующего азота в пахотном слое 0-20 см составляет 55...56 мг/кг почвы. Это дает основание отнести данные осваиваемые сельскохозяйственные угодья к землям слабой степени деградации.

В слое почвы 20-30 см среднее содержание легкогидролизующего азота в момент начала исследований составило 33...34 мг/кг почвы, что на 37,7...38,9% меньше, чем в предыдущем слое почвы, а коэффициент вариации при этом был равен 2,9...8,8%. Еще меньшей была исходная концентрация азота в слое 30-40 см (17...18 мг/кг) при коэффициенте изменчивости данного показателя 5,9...17,6%, то есть в интервале колебаний от незначительной до средней величины.

Следовательно, подготовка опытного участка, включающая в себя такие агротехнические

Таблица 1. Расчетная доза NPK под запланированную урожайность каждой культуры, кг д.в./га

Table 1. Estimated dose of NPK for the planned yield of each crop, kg a.s. /ha

Культура Crop	Планируемая урожайность, ц/га Planned yield, c / ha	Внесено с учетом коэффициентов использования NPK из туков, кг д.в./га Applied taking into account NPK utilization factors from fertilizer, kg a.s. / ha		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люпин узколистный / Narrow-leaved lupine	18	115,53	10,0	44,52
Кукуруза на силос / Corn for silage	400	43,18*	10,0	72,50
Озимая пшеница / Winter wheat	45	130,4	10,0	46,20
Яровой рапс на семена / Spring rape	20	70,95	10,0	16,27
Ячмень на фураж / Barley for fodder	40	68,45	10,0	43,10

* При расчёте азотного питания кукурузы учитывался симбиотический азот, оставленный предшественником в севообороте в количестве 105 кг/га.

* When calculating the nitrogen nutrition of maize, the symbiotic nitrogen left by the predecessor in the crop rotation in the amount of 105 kg/ha was taken into account.

Таблица 2. Исходное содержание легкогидролизуемого азота (мг/кг почвы) по слоям почвы (см) при закладке опыта, 2015 г.

Table 2. The initial content of easily hydrolyzed nitrogen (mg/kg of soil) by soil layers (cm) when laying the experiment, 2015

Система удобрения <i>Fertilization system</i>	Культуры севооборота <i>Cultures of crop rotation</i>	Слой почвы <i>Soil layers</i>			
		0-10	10-20	20-30	30-40
I. Контроль (без удобрений) <i>I. Control without fertilizers</i>	Люпин узколистый / <i>Narrow-leaved lupine</i>	59	56	35	18
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	58	55	34	17
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	55	33	18
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	53	32	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	56	51	31	18
	В среднем / <i>On average</i>	57	54	33	18
II. Расчётные дозы мин. уд. на запланированную урожайность <i>II. Calculated doses of mineral fertilizers for the planned yield</i>	Люпин узколистый / <i>Narrow-leaved lupine</i>	57	54	34	17
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	58	53	33	18
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	54	32	17
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	57	55	34	18
	Ячмень / <i>Barley</i>	55	52	32	16
	В среднем / <i>On average</i>	57	54	33	17
III. Жидкие стоки, 80 м ³ /га <i>III. Liquid effluents, 80 m³/ha</i>	Люпин узколистый / <i>Narrow-leaved lupine</i>	58	55	35	17
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	55	52	33	16
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	54	53	32	17
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	51	31	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	56	52	32	16
	В среднем / <i>On average</i>	56	53	33	17
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га <i>IV. Solid fraction of manure 40 t/ha</i>	Люпин узколистый / <i>Narrow-leaved lupine</i>	58	57	36	20
	Кукуруза на силос / <i>Corn for silage</i>	57	54	34	19
	Озимая пшеница / <i>Winter wheat</i>	56	55	35	18
	Яровой рапс / <i>Spring rape</i>	55	54	33	17
	Ячмень / <i>Barley</i>	54	52	31	18
	В среднем / <i>On average</i>	56	54	34	18
НСР ₀₅ / <i>NSR₀₅</i>		3,4	3,2	2,0	1,2

мероприятия, как удаление кустарниковой растительности, выравнивание, известкование и двухлетний уравнительный посев вико-овсяной смеси с заделкой ее измельченный надземной массы в почву в качестве сидерального удобрения, снижает агрохимическую пестроту участка и обеспечивает незначительные колебания по показателям плодородия.

Результаты комплексного влияния систем удобрения, набора сельскохозяйственных культур и способов заделки соломенно-пожнивных остатков и удобрений на содержание легкогидролизуемого азота по слоям почвы за ротацию 5-польного севооборота в мг/кг представлены в таблице 3.

Исследованиями установлено, что на динамику легкогидролизуемого азота оказывают влияние все вышеперечисленные мероприятия, однако решающее значение имеют система применения удобрения и способ их размещения в обрабатываемом слое почвы. Так, на варианте без

внесения удобрений (контроль) в конце ротации севооборота содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-10 см при минимальной заделке соломенно-пожнивных остатков дисковыми орудиями на глубину 7...10 см осталось практически без изменения относительно первоначального значения и составило в среднем 56 мг/кг почвы при исходном содержании 56...57 мг/кг.

В слое почвы 10-20 см при данном способе обработки отмечено существенное снижение концентрации азота по сравнению с исходным значением (-7 мг/кг при НСР₀₅ = 3,3 мг); в слое 20-30 см содержание легкогидролизуемого азота также уменьшилось на 7 мг/кг при НСР₀₅ = 2,2 мг, а в слое 30-40 см снижение составило 4 мг/кг при НСР₀₅ = 1,3 мг.

При отвальном способе обработки на глубину 18...20 см без внесения удобрений в слоях 0-10 см и 10-20 см снижение концентрации азота укладывалось в статистическую погрешность опыта (-1...-2 мг/кг при НСР₀₅ = 3,3...3,5 мг),

Таблица 3. Комплексное влияние систем удобрения, сельскохозяйственных культур, мелиоративных и агротехнических приемов на динамику содержания легкогидролизуемого азота, мг/кг, по слоям почвы, см, за ротацию севооборота

Table 3. The complex effect of fertilizer systems, agricultural crops, reclamation and agro-technical techniques on the dynamics of the content of easily hydrolyzed nitrogen (mg/kg) by soil layers (cm) during crop rotation

Система удобрения (фактор А)	Культуры севооборота (фактор В)	Способ заделки (фактор С)											
		Минимальная обработка на 7-10 см				Отвальная вспашка на 18-20 см				Чизелевание на 27-30 см			
		0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
I. Контроль (без удобрений) <i>I. Control (without fertilizers)</i>	Люпин узколистный	58	48	28	14	57	55	33	21	55	52	34	19
	Кукуруза на силос	57	47	27	13	56	54	31	19	54	51	33	17
	Озимая пшеница	55	46	26	14	55	53	30	20	52	49	32	19
	Яровой рапс	54	49	27	15	54	52	30	19	52	50	32	19
	Ячмень	55	44	24	14	54	50	28	19	52	47	29	19
	В среднем за ротацию	56	47	26	14	55	53	30	20	53	50	32	19
II. Расчетные дозы мин. уд. на заплани- рованную урожай- ность +P₁₀ кг д.в./га при посеве <i>II. Calculation dozes of mineral fertiliz- ers for the planned yield+P₁₀ kg.a.s./ha when sowing pu посеве</i>	Люпин узколистный	63	57	38	20	60	59	36	24	58	56	38	22
	Кукуруза на силос	62	56	37	21	59	58	34	21	57	55	37	19
	Озимая пшеница	62	56	35	20	58	57	33	23	55	53	36	21
	Яровой рапс	64	59	39	22	59	58	35	23	56	57	37	23
	Ячмень	61	55	35	19	58	55	32	22	55	51	34	21
	В среднем за ротацию	62	57	37	20	59	57	34	23	56	54	36	21
III. Жидкие стоки, 80 м³/га+P₁₀ кг д.в./га при посеве <i>III. Liquid effluents. 80 m³/ha+P₁₀ kg.a.s./ha when sowing</i>	Люпин узколистный	68	61	41	22	65	63	39	29	64	60	44	25
	Кукуруза на силос	65	58	39	21	64	62	37	26	65	59	42	22
	Озимая пшеница	63	59	38	22	63	61	36	27	62	57	41	24
	Яровой рапс	66	59	37	23	65	64	38	28	63	61	43	26
	Ячмень	65	57	38	22	63	59	35	29	61	55	38	24
	В среднем за ротацию	65	59	39	22	64	62	37	28	63	58	42	24
IV. Твердая фракция навоза, 40 т/га+P₁₀ кг.д.в./га при посеве <i>IV. Solid frac- tion of manure, 40 t/ha+P₁₀ kg.a.s./ha when sowing</i>	Люпин узколистный	72	67	42	25	69	66	38	26	66	62	39	22
	Кукуруза на силос	71	64	39	24	68	64	36	24	65	61	39	20
	Озимая пшеница	70	65	40	23	67	63	35	25	62	59	38	22
	Яровой рапс	73	66	38	25	69	66	37	26	67	63	40	23
	Ячмень	68	61	36	22	68	61	33	25	62	57	34	21
	В среднем за ротацию	71	65	39	24	68	64	36	25	64	60	38	22
НСР₀₅	для фактора А	3,8	3,4	2,1	1,2								
	для фактора В	3,7	3,5	2,1	1,4								
	для фактора С	3,5	3,3	2,2	1,3								
	для ABC	6,2	5,8	5,5	2,3								

в то время как в слоях почвы 20-30 и 30-40 см оно было достоверным и составило 3 и 2 мг/кг почвы при $HCP_{0,5} = 2,2$ и 1,3 мг соответственно.

Чизелевание на глубину 27-30 см обеспечивает в среднем за ротацию севооборота более равномерное распределение легкогидролизуемого азота по слоям почвы относительно других способов механической обработки, при котором существенная разница по сравнению с первоначальным значением установлена лишь для слоев 0-10 и 10-20 см, в то время как для слоя почвы 20-30 см снижение было всегда несущественным ($-1...-2$ мг/кг при $HCP_{0,5} = 2,2$ мг), а для слоя почвы 30-40 см оно также укладывалось в ошибку опыта.

Таким образом, на варианте без внесения удобрений минимальная обработка оказывает достоверное влияние на содержание легкогидролизуемого азота лишь в пахотном слое 0-10 см, отвальная вспашка – в пахотном слое 0-20 см, а безотвальное рыхление с помощью чизеля – в подпахотном слое 20-40 см.

Внесение расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность в сочетании с применением P_{10} кг д.в./га при посеве обеспечивает содержание легкогидролизуемого азота, равное исходному значению по изученным слоям почвы, при всех способах заделки соломенно-пожнивных остатков и минеральных туков. Тем не менее достоверное увеличение азота при минимальной обработке характерно только для слоя 0-10 см; при отвальной вспашке отмечена лишь положительная тенденция повышения этого соединения по всем почвенным горизонтам, а при чизелевании существенное улучшение азотного режима обнаружено в подпахотном слое 20-40 см.

Применение в безопасных дозах органических отходов свиного комплекса в качестве основного удобрения, в сочетании с заделкой измельченных соломенно-пожнивных остатков и P_{10} кг д.в./га одновременно с посевом, для оптимального развития корневой системы полевых культур обеспечило в конце ротации севооборота существенное увеличение содержания легкогидролизуемого азота по профилю почвы при всех способах обработки пахотного слоя. Так, на фоне минимальной обработки при заделке 80 м³/га жидких стоков концентрация азота относительно исходного значения в слое 0-10 см в среднем увеличилась на 8...9 мг/кг почвы, а в слоях 10-20, 20-30 и 30-40 см – на 5...6 мг/кг, что всегда было существенной прибавкой.

Заделка удобрительных средств отвальными плугами способствует равномерному

распределению легкогидролизуемого азота по всем почвенным слоям, однако при этом наибольшее положительное влияние данный способ обработки оказывает на пахотный слой почвы 0-20 см, в котором увеличение содержания азота по сравнению с первоначальным значением составило 5...8 мг/кг почвы, в то время как в подпахотном слое 20-30 см его концентрация в конце ротации повысилась лишь на 3...4 мг/кг почвы. Вместе с тем жидкие стоки свиноводческого комплекса при их ежегодном внесении за счет повышенной фильтрации существенно повысили содержание легкогидролизуемого азота также и в слое 30-40 см ($+4...5$ мг/кг почвы при $HCP_{0,5} = 1,3$ мг).

В нашем опыте ежегодная заделка жидких стоков чизелеванием на глубину 27... 30 см обеспечивала более равномерное распределение азота по всем почвенным слоям относительно других способов заделки. При этом в слое 0-10 см содержание этого соединения в конце ротации севооборота было на 1...2 мг/кг ниже, чем на вариантах с отвальной вспашкой и минимальной обработкой. В слое 10-20 см оно также уменьшилось на 1...4 мг/кг почвы, однако в слое 20-30 см концентрация азота при чизельной обработке повысилась на 3...5 мг/кг, а в слое 30-40 см – на 2...4 мг/кг почвы.

Следовательно, заделка жидких животноводческих стоков чизельной обработкой почвы способствует гомогенному распределению и лучшему закреплению легкогидролизуемого азота по всему корнеобитаемому слою, в то время как минимальная обработка обеспечивает максимальное накопление азота только в самом верхнем горизонте 0-10 см.

Внесение в качестве удобрения твердой фракции навоза по фону измельченных соломенно-пожнивных остатков и P_{10} кг/га д.в. при посеве способствовала в среднем за ротацию максимальному накоплению азота при всех способах обработки почвы как относительно контрольного варианта, так и других систем удобрения. По сравнению с исходным значением содержание легкогидролизуемого азота в слое 0-10 см возросло при минимальной обработке на 14...15 мг/кг, при отвальной вспашке – на 11...12 мг/кг, при чизелевании – на 7...8 мг/кг почвы. Заделка твердой фракции навоза обеспечила увеличение содержания азота по сравнению с минеральной системой удобрения в слое 0-10 см при минимальной обработке на 9 мг/кг, в слое 10-20 см – на 8 мг/кг, в слое 20-30 см – на 2 мг/кг, в слое 30-40 см – на 4 мг/кг почвы.

Применение твердой фракции навоза в качестве основного удобрения имело преимущество в накоплении легкогидролизующего азота по сравнению с заделкой жидких стоков на освоенных легкосуглинистых почвах Верхневолжья. Так, при минимальной обработке содержание легкогидролизующего азота по мере углубления почвенных слоев с интервалом 10 см от заделки твердой фракции возрастало в среднем за ротацию на 6 мг/кг почвы в пахотном слое 0-20 см и на 1 мг/кг в подпахотном слое 20-40 см. При отвальной вспашке и при чизелевании отмечено увеличение этого соединения только в пахотном слое (соответственно на 3 и 2 мг/кг почвы), в то время как в подпахотном горизонте преимущество в накоплении легкогидролизующего азота остается за внесением жидких стоков в дозе 80 м³/га, что объясняется их высокой просачиваемостью в нижние слои под действием гравитации.

При изучении влияния культур севооборота (фактор В) на динамику содержания легкогидролизующего азота за ротацию севооборота нами не установлено существенных различий между ними по его накоплению как при одинаковом фоне удобрения (фактор А), так и при изучении почвенных проб, взятых с одинаковых почвенных слоев, и равном способе обработки пахотного слоя почвы (фактор С). Тем не менее максимальное содержание азота в конце ротации относительно средних значений обеспечивали люпин узколистый и яровой рапс, которые накапливали в изученных слоях при всех способах заделки соломенно-пожнивных остатков и удобрений на 1...3 мг/кг почвы больше этого соединения, чем другие культуры севооборота при НСР₀₅ = 1,4...3,7 мг. Это, по нашему мнению, объясняется, во-первых, наличием стержневой корневой системы, во-вторых – активной симбиотической фиксацией азота у люпина.

Растения с мочковатой корневой системой (озимая пшеница, ячмень) и многоярусной узловой (кукуруза) не оказывают заметного влияния на динамику накопления легкогидролизующего азота в аналогичных почвенных слоях.

На основании анализа полученных данных можно заключить, что достоверное влияние от комплексного действия изученных факторов (при взаимодействии АВС) относительно контрольного варианта на динамику накопления легкогидролизующего азота при освоении выбывших из производственного использования почв сельскохозяйственного назначения оказывает внесение органических отходов свиноводческих

комплексов в сочетании с припосевным внесением фосфорных удобрений.

Вместе с тем следует отметить, что многолетнее применение минимальной обработки обеспечивает существенное увеличение этого соединения только в самом верхнем слое 0-10 см, отвальная вспашка – в пахотном слое почвы 0-20 см, а чизелевание – в подпахотном слое 20-40 см.

В итоге на содержание легкогидролизующего азота в почвенных слоях малопродуктивных земель с промывным типом водного режима изученные факторы можно расположить в порядке их убывания следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки соломенно-пожнивных остатков и удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В).

На основании расчетов, выполненных по корреляционной зависимости содержания легкогидролизующего азота от комплексного влияния систем удобрения, сельскохозяйственных культур в севообороте и способов заделки удобрений, установлено, что в среднем за ротацию коэффициент корреляции между концентрацией легкогидролизующего азота и вносимыми удобрениями укладывается в интервал 0,64...0,71 ед., что соответствует средней или сильной зависимости.

Между набором сельскохозяйственных культур в севообороте и концентрацией азота в корнеобитаемом слое почвы 0-40 см отмечена слабая взаимосвязь (0,22...0,27 ед.), в то время как относительно способов заделки удобрений по фону измельченных соломенно-пожнивных остатков выявлена средняя коррелятивная зависимость (0,36...0,42 ед.).

Если на основании коэффициентов корреляции можно судить о перспективном направлении, обеспечивающем стабилизацию азотного режима малопродуктивных почв (в данном случае это система удобрения), то с помощью определения коэффициентов детерминации представляется возможность выявить долю любого фактора в накоплении легкогидролизующего азота в почве. В нашем опыте степень сопряженности вносимых удобрений с динамикой накопления легкогидролизующего азота в корнеобитаемом слое 0-40 см составляет 41,0...50,4%, с набором культур в севообороте – 4,8...7,3%, со способами заделки удобрений – 13,0...17,6%.

В сумме комплексное влияние систем удобрения, полевых культур и способов заделки удобрений в пахотный слой определяет интенсивность накопления легкогидролизующего азота в слое 0-40 см в интервале 58,8...75,3%. Остальные 41,2...24,7% сопряжены с другими

факторами нитрификации и, на наш взгляд, в первую очередь – с микробиологической активностью почвенной биоты в конкретных почвенно-климатических условиях.

Выводы

1. Внесение расчетных доз минеральных удобрений под запланированную урожайность посевов сельскохозяйственных культур по фону измельченных соломисто-пожнивных остатков обеспечивает в конце ротации пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота достоверное увеличение легкогидролизуемого азота при минимальной обработке только в слое 0-10 см, в то время как при отвальной вспашке обнаружена лишь положительная тенденция его увеличения по всем почвенным горизонтам, а при чизелевании установлено существенное улучшение азотного режима в подпахотном слое 20-40 см.

2. Применение органических отходов свинокмлекса в безопасных дозах в качестве основного удобрения обеспечило в конце ротации

севооборота существенное повышение легкогидролизуемого азота по профилю почвы при всех способах их утилизации. Тем не менее заделка твердой фракции навоза способствовала максимальному накоплению легкогидролизуемого азота при изученных приемах обработки почвы относительно изученных систем удобрения в пахотном слое 0-20 см, в то время как в подпахотном слое 20-40 см преимущество в увеличении его концентрации остается за внесением жидких стоков, что объясняется их высокой просачиваемостью в нижние слои почвы под действием сил гравитации.

3. По степени влияния на содержание легкогидролизуемого азота в почвенных слоях малопродуктивных дерново-подзолистых почв легкосуглинистого гранулометрического состава, вовлекаемых в производственный оборот, изученные факторы можно расположить в порядке снижения их эффективности следующим образом: система удобрения (фактор А) → способ заделки удобрений (фактор С) → культуры севооборота (фактор В).

Список использованных источников

1. **Завалин А.А., Соколов О.А.** Поток азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней: учебное пособие. М.: ВНИИА, 2015. 96 с.
2. **Сычев В.Г.** Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
3. **Налиухин А.Н.** Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернотравяного севооборота в зависимости от баланса питательных веществ / Ерегин А.В., Демидов Д.В., Гусева Ю.Е., Хрунов А.А. // *Агрохимия*. 2023. № 1. С. 3-12. DOI: 10.31857/S0002188123010076, EDN: FDSRZR
4. **Шевченко В.А.** Регулирование баланса потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых и старопахотных земель Нечерноземной зоны: монография / В.А. Шевченко, Н.С. Матюк, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева, Н.П. Попова М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 161 с.
5. **Завалин А.А., Чернова Л.С.** Ресурсы биологического азота и его использование в земледелии России // *Плодородие почв России: состояние и возможности: Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской)* / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2019. С. 40-49.
6. **Шафран С.А.** Динамика содержания питательных веществ в дерново-подзолистых почвах в длительных полевых опытах / Ермаков А.А., Семенова А.И., Яковлева Т.А. // *Плодородие*. 2020. № 4. С. 7-9. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.02.
7. **Шевченко В.А., Кобозева Т.П., Попова Н.П.** Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», 2018. 204 с.

References

1. **Zavalin A.A., Sokolov O.A.** Nitrogen fluxes in the agroecosystem: from the ideas of D.N. Pryanishnikov to the present day. Moscow: VNIIA; 2016. 591 p.
2. **Sychev V.G.** The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation. M.: RAS, 2019. 325 p.
3. **Naliukhin A.N., Eregin A.V., Demidov D.V., Guseva Yu.E., Khrunov A.A.** Changes in agrochemical properties of sod-podzolic soil and productivity of grain-grass crop rotation depending on the balance of nutrients // *Agrokhimiya*. 2023. No. 1. P. 3-12. DOI: 10.31857/S0002188123010076, EDN: FDSRZR
4. **Shevchenko V.A., Matyuk N.S., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P.** Regulation of the balance of flows of biogenic elements in agroecosystems of developed and old arable lands of the Non-Chernozem zone. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 161 p.
5. **Zavalin A.A., Chernova L.S.** Biological nitrogen resources and its use in agriculture in Russia/ In the collection: *Soil fertility in Russia: status and capabilities. Collection of articles (dedicated to the 100th anniversary of the birth of Tamara Nikandrovna Kulakovskaya)*. Edited by V.G. Sychev. Moscow, 2019. P. 40-49.
6. **Shafran S.A., Ermakov A.A., Semenova A.I., Yakovleva T.A.** Dynamics of nutrient content in sod-podzolic soils in long-term field experiments // *Fertility*. 2020. No. 4. P. 7-9. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.02
7. **Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P.** Optimization of the feed value of corn and soy silage on reclaimed lands of the Non-Chernozem region. M.: Federal State Budgetary Institution "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov". 2018. 204 p.
8. **Ermalaev S.A., Sychev V.G., Plushikov V.G.** Agrochemical and ecological state of soils of Russia // *Plodorodiye*. 2001. No. 1. P. 4-7.

8. Ермалаев С.А., Сычев В.Г., Плющиков В.Г. Агрохимическое и экологическое состояние почв России // Плодородие. 2001. № 1. С. 4-7.

9. Шарков И.Н. Эффективность азотного удобрения при увеличении поступления в почву растительных остатков в лесостепи Западной Сибири / Колбин С.А., Прозоров А.С., Самохвалова Л.М. // Агрохимия. 2022. № 3. С. 22-30. DOI: 10.31857/S0002188122030097.

10. Шевченко В.А. Перспективы производства растениеводческой продукции на мелиорированных землях Нечерноземной зоны России: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2017. 918 с.

11. Каюмов М.К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур: учебник. М.: Агропромиздат, 1989. 320 с.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Об авторах

Виктор Александрович Шевченко, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», SPIN-код: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; ID РИНЦ 479685; Scopus Author ID57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Алексей Малахович Соловьев, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий отделом управления плодородием почв мелиорируемых земель Нечерноземной зоны; SPIN-код: 6080-1245; ORCID: 0000-0002-8387-0989; ID РИНЦ 756344; Scopus Author ID57219090365; WOS Research ID HGE-8331-2022; solo-a45@mail.ru

Наталья Павловна Попова, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела управления плодородием почв мелиорируемых земель Нечерноземной зоны; SPIN-код: 1891-2369; ORCID: 0000-0002-9301-027X; ID РИНЦ 891027; Scopus Author ID57219096264; WOS Research ID HGE-8317-2022; lyn.popova@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Шевченко В.А., Соловьев А.М., Попова Н.П. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.09.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.09.2024

9. Sharkov I.N., Kolbin S.A., Prozorov A.S., Samokhvalova L.M. Efficiency of nitrogen fertilizer with an increase in the intake of plant residues into the soil in the forest-steppe of Western Siberia // Agrokimiya. 2022. No. 3. P. 22-30. DOI: 10.31857/S0002188122030097

10. Shevchenko V.A. Prospects of crop production on reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of Russia: monograph. – Federal State Budgetary Institution “VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”. 2017 P. 27-65.

11. Kayumov M.K. Programming of agricultural crops. M.: Agropromizdat, 1989. 320 p.

12. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). – 5th ed., supplement and revision – M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

Information about the authors

Viktor A. Shevchenko, DSc (Agro), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 8028-2743; ORCID: 0000-0002-5444-9693; RSCI ID479685; Scopus Author ID57209792752; WOS Research ID A-8909-2016; shevchenko.v.a@yandex.ru

Alexey M. Solovyov, DSc (Agro), professor, head of the department of soil fertility management of reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 6080-1245; ORCID: 0000-0002-8387-0989; ID RSCI 756344; Scopus Author ID57219090365; WOS Research ID HGE-8331-2022; solo-a45@mail.ru

Natalia P. Popova, CSc (Agro), associate professor, leading researcher of the department of soil fertility management of reclaimed lands of the Non-Chernozem zone of the «Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov»; SPIN code: 1891-2369; ORCID: 0000-0002-9301-027X; RSCI ID891027; Scopus Author ID57219096264; WOS Research ID HGE-8317-2022; lyn.popova@yandex.ru

Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Popova N.P. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.