

R.V. Okunev, K.G. Giniyatullin, E.V. Smirnova

Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremlyovskaya str, Kazan, 420008, Russian Federation, e-mail: tutinkaz@yandex.ru.

The influence of moisture content of soil material in the old plow horizon of fallow light gray and gray forest soils on the reflection spectra in the near IR range was studied. It was shown that the effect of moisture on reflection is most pronounced in the wavelength range of 2200–2320 nm, which can be used to indirectly estimate the moisture content in the soil material of old plow horizons. The indicator of the relationship between moisture content and reflection in this range is $R^2=0.90-0.98$. For an indirect assessment of the content of organic matter (OM), it is recommended to use reflectances in the wavelength range of 1714-2000 nm, which are little dependent on soil moisture. The correlation index (R^2) between the reflectivity in this range and the content of organic matter is 0.85-0.96.

Keywords: soil organic matter, infrared spectrometry, influence of moisture, fallow soils.

УДК 631.81: 631.582:631.4

DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.14

БАЛАНС NPK И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНОМ НАСЫЩЕНИИ СЕВООБОРОТА МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ

*А.М. Конова, к.с.-х.н., А.Ю. Гаврилова, к.б.н., Федеральный научный центр лубяных культур
214025, Россия, г. Смоленск, ул. Нахимова, д. 21*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках
Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»
(тема №FGSS-2019-0011)*

В условиях Смоленской области комплексное применение возрастающих доз минеральных удобрений в севообороте (в течение 7 лет) существенно влияло на его продуктивность и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлена наиболее оптимальная по влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур доза минеральных удобрений – $N_{74}P_{74}K_{85}$. Её применение обеспечило высокую продуктивность 1 га севооборотной площади – 38,1 ц з. е., что на 86% превысило контроль, обеспечило бездефицитный баланс азота, фосфора и калия в почве. Длительное применение средств химизации в полевом севообороте повышало содержание подвижных форм фосфора и калия в почве в среднем по опыту на 63 и 25 мг/кг почвы соответственно. Минеральная система удобрения увеличивала подкисление почвы на 0,5 ед. В результате активной минерализации органического вещества содержание гумуса по средневзвешенным показателям снизилось с 2,0 до 1,9%.

Ключевые слова: полевой опыт, минеральные удобрения, севооборот, дерново-подзолистая почва, баланс, плодородие

Для цитирования: Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Баланс NPK и плодородие почвы при различном насыщении севооборота минеральными удобрениями// Плодородие. – 2023. – №4. – С. 57-60. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.14.

Опыты показывают, что возделывание сельскохозяйственных культур без удобрений при дефицитном балансе питательных веществ в почве приводит к постепенному истощению запасов органического вещества, общего азота, фосфора и калия [1, 2]. Существенное влияние на этот процесс оказывает состав культур севооборота. По мере насыщения севооборота высокоурожайными пропашными культурами дефицит питательных веществ, в первую очередь азота и калия, заметно возрастает [3-5].

Применение низких доз удобрений в севооборотах с посевом многолетних трав, наряду с повышением урожайности, создает небольшой положительный баланс азота и фосфора и отрицательный – калия. При внесении средних доз удобрений складывается в основном положительный баланс азота и фосфора, а калия по-прежнему остаётся дефицитным [6-8]. Однако, при увеличении доз удобрений наступает момент, когда урожайность культур больше не повышается, и, в связи с этим, резко возрастает поступление в почву не использованных растениями питательных веществ. Избыточный баланс может привести к созданию неоправданно высокой

обеспеченности почвы элементами питания, их потерям и загрязнению окружающей среды. Поэтому большое внимание уделяют установлению оптимальной интенсивности баланса питательных веществ в севообороте [9, 10].

Баланс питательных веществ – это эколого-агрономический показатель, отражающий круговорот питательных веществ в земледелии. Определение баланса питательных веществ позволяет, прежде всего, оценить влияние удобрений на плодородие почвы. Кроме того, показатели баланса служат основой качества контроля (сертификации) получаемой сельскохозяйственной продукции и загрязнения окружающей среды при положительных его величинах [11, 12].

Цель исследований – установить оптимальный баланс NPK в почве при различном насыщении севооборота минеральными удобрениями.

Методика. Полевой стационарный опыт заложен в 1967 г. в трех полях севооборота на участке обособленного подразделения Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК согласно Методике [13, 14]. Пахотный горизонт дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

характеризовался следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,0%, pH_{KCl} – 4,9, Нг (по Каппену) – 4,2 мг-экв/100 г почвы, обменная кислотность – 0,35 мг-экв/100 г почвы, P_2O_5 (по Кирсанову) – 38 мг/кг почвы, K_2O (по Кирсанову) – 85 мг/кг почвы.

Полная схема опыта включала 9 последовательно возрастающих доз азотных (аммиачная селитра), фосфорных (двойной суперфосфат) и калийных (калий хлористый) минеральных удобрений и их различные комбинации и составляла 81 вариант. Здесь будет рассмотрена выборка из 9 вариантов полных доз удобрений за восьмью ротациями севооборота (2012-2018 г.). Многолетние травы подкармливали только аммиачной селитрой. Фосфорные и калийные удобрения вносили под вспашку осенью, азотные – под предпосевную культивацию и в подкормку.

Чередование культур в севообороте было следующим: яровая тритикале с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1- и 2-го годов пользования, озимая тритикале, ячмень, овес на зеленую массу, овес на зерно.

Введение культур в севооборот – поочередное, посевная площадь делянки 115 м^2 (23 м x 5 м), повторность – двукратная, расположение делянок – рендомизированное. Измерение показателей структуры урожая проводили согласно методике Госсортсети. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом регрессионного анализа. Расчет баланса основных макроэлементов – по методике ВИУА.

В почвенных образцах определяли органическое вещество по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, pH солевой вытяжки – потенциометрическим методом, подвижные соединения фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [15].

При расчете баланса азота (N), фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) в приходной части учитывали следующие источники поступления питательных веществ: с минеральными удобрениями, с атмосферными осадками и семенами. Поступление азота с атмосферными осадками в данном регионе составило около 4 кг/га пашни. Поступление азота, фосфора и калия с семенами взято по их содержанию и массе высеваемого материала и составило в среднем за годы проведения опыта 5,0 кг/га азота, 1,9 фосфора и 4,0 кг/га калия. В расходной части учитывали вынос элементов питания с урожаем (зерно + солома).

После подсчета приходных и расходных статей определяли интенсивность баланса по каждому элементу, который представляет собой отношение суммарной величины прироста к величине суммарного расходования, выраженное в процентах. Интенсивность может быть меньше 100% (дефицитный баланс), равна 100% (бездефицитный баланс) и более 100% (положительный баланс).

Результаты и их обсуждение. Для изучения и последующего контроля и направленного регулирования агрохимических свойств почвы, улучшения ее плодородия при более экономном и экологически безопасном расходовании агрохимических средств, рассчитан баланс основных макроэлементов за ротацию севооборота.

Состояние баланса азота в опыте определяли дозами азотных, фосфорных и калийных удобрений (уравнение 1). Азотные удобрения улучшали баланс азота, фосфорные, а калийные – повышали дефицит его в почве. При этом устойчиво проявлялось отрицательное взаимодействие азота и фосфора. Это связано с тем, что фосфорные и калийные удобрения значительно увеличивали продуктивность севооборота, а, следовательно, повышали вынос азота с урожаем.

$$Y = 9,7 - 109,1P^{0,5} + 64,2N - 103,5K - 50,8(NP)^{0,5} + 93,3(NK)^{0,5} + 66,1(PK)^{0,5}; R = 0,97 \quad (1)$$

При выращивании культур без удобрений (вариант 000) баланс азота был отрицательным (табл. 1). При внесении ежегодно 18,5 кг/га азота и выше устанавливался стабильный положительный баланс элемента. Продуктивность севооборота увеличилась с 23,9 до 41,0 ц/га з. е. Однако положительный баланс азота не привел к существенному повышению продуктивности севооборота, по сравнению с предыдущей дозой. Таким образом, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве высокая продуктивность севооборота (38,1 ц/га з. е.) сформировалась при внесении оптимальных в отношении влияния на урожайность доз удобрений ($N_{74}P_{74}K_{85}$ – вариант 444). Дальнейшее увеличение доз азота способствовало незначительному приросту урожайности. Исходя из этих данных, годовая доза азота должна составлять не менее 74 кг д.в./га, а суммарное количество азота за ротацию следует увеличить до 518 кг/га, что соответствует интенсивности баланса 113%.

1. Баланс азота за 8-ю ротацию севооборота

Вариант	Дозы P-K, кг д.в./га в год	Дозы N, кг д.в./га в год	Среднегодовой урожай продукции с 1 га, ц. з. ед.	Приход, кг д.в./га		Расход, кг д.в./га		Баланс, +/-	Интенсивность баланса, %
				всего	в т.ч. с удобрениями	всего	в т.ч. вынос с урожаем		
000	0-0	0	20,4	170	0	229	214	-59	74
111	18,5-21,4	18,5	23,9	310	130	270	248	+40	114
222	37,0-42,8	37,0	27,7	410	260	353	293	+57	116
333	55,7-64,3	55,7	36,0	530	390	480	453	+50	110
444	74,0-85,6	74,0	38,1	670	518	590	550	+80	113
555	92,5-107,0	92,5	38,8	710	648	650	562	+60	109
666	111,0-128,4	111,0	38,8	930	777	780	566	+150	119
777	129,5-149,8	129,5	40,6	1036	906	810	609	+226	128
888	148,0-171,2	148,0	41,0	1086	1036	780	599	+306	139

Примечание. В таблицах 1-3 представлены зашифрованные варианты, где первое число означает азот, второе – фосфор, третье – калий. 000 – вариант без удобрений. Единичная доза азота и фосфора составила 20 кг д.в./га, калия – 25 кг д.в./га, т.е. вариант 333 следует понимать как $N_{60}P_{60}K_{75}$.

Из уравнения 2 видно, что достоверное влияние на баланс фосфора оказали только фосфорные удобрения. Численные значения коэффициентов уравнений также подтверждают более сильное действие фосфорных удобрений по сравнению с азотом и калием.

$$Y = -94,7 - 8,0K^{0,5} - 5,1N + 121,3P - 3,3K; R = 0,99 \quad (2)$$

Баланс фосфора в неудобренном варианте складывался с дефицитом 86 кг/га, или 12 кг/га ежегодно (табл. 2).

2. Баланс фосфора за 8-ю ротацию севооборота

Вариант	Дозы N-K, кг д.в./га в год	Дозы P, кг д.в./га в год	Среднегодовой урожай продукции с 1 га, ц. з. ед.	Приход, кг д.в./га		Вынос с урожаем, кг/га	Баланс, +/-	Интенсивность баланса, %
				всего	в т.ч. с удобрениями			
000	0-0	0	20,4	14	0	100	-86	14
111	18,5-21,4	18,5	23,9	144	130	120	+24	120
222	37,0-42,8	37,0	27,7	274	260	139	+135	202
333	55,7-64,3	55,7	36,0	404	390	180	+224	224
444	74,0-85,6	74,0	38,1	532	518	182	+350	292
555	92,5-107,0	92,5	38,8	662	648	200	+462	331
666	111,0-128,4	111,0	38,8	791	777	201	+590	386
777	129,5-149,8	129,5	40,6	920	906	214	+706	429
888	148,0-171,2	148,0	41,0	1050	1036	216	+834	486

Положительный баланс фосфора в севообороте достигался внесением даже небольших доз фосфорных удобрений (18 кг/га), что обусловлено низким использованием фосфора растениями. Систематическое применение фосфорных удобрений в дозах от 37 до 148 кг/га обеспечило положительный баланс фосфора, ежегодно в почве его оставалось от 19 до 119 кг/га.

Наиболее значительный прирост среднегодового уровня общей продукции севооборота наблюдался при внесении фосфора в годовой дозе 74 кг/га. Систематическое применение такой дозы фосфора на фоне оптимальных годовых доз азота и калия (N₇₄K₈₅) повышало продуктивность севооборота по сравнению с фоном на 17 ц/га з. е. в год.

Таким образом, установлено, что на дерново-подзолистой среднесуглинистой слабоокультуренной почве для получения среднегодового урожая общей продукции на уровне 38,1 ц/га з. е. и выше и создания положительного баланса по фосфору необходимо ежегодно вносить не менее 74 кг/га фосфорных удобрений на оптимальном фоне азота и калия, что соответствует интенсивности баланса 292% с ежегодным превышением поступления над расходом 50 кг/га. При такой интенсивности баланса фосфора, наряду с получением высокой продуктивности

севооборота, обеспечивалось существенное улучшение фосфатного состояния почвы.

Регрессионные модели баланса калия в севообороте свидетельствуют, что в восьмой ротации баланс калия зависел от доз азотных, фосфорных и калийных удобрений. При этом четко проявлялось высокое отрицательное действие азота и фосфора, которые, способствуя росту продуктивности севооборота, приводили также к увеличению выноса калия из почвы (уравнение 3).

$$Y = -111,3 - 22,8N^{0,5} - 31,9P^{0,5} + 110,9K; R = 0,99 \quad (3)$$

Баланс калия на контроле, а также в варианте с единичными дозами минеральных удобрений, складывался с дефицитом от 26 до 130 кг/га, или 3-18 кг/га в год (табл. 3). Применение калийных удобрений в дозе 21 кг/га и выше улучшало баланс калия на всех азотно-фосфорных фонах. При внесении оптимальных годовых доз удобрений в диапазоне от N₇₄P₇₄K₈₅ до N₉₂P₉₂K₁₀₇ высокая продуктивность севооборота (38,1-38,8 ц/га з. е.) формировалась при уравновешенном балансе калия (144-166%). Внесение более высоких доз калийных удобрений, обеспечивающих незначительное дальнейшее повышение урожайности, приводило к накоплению в почве избыточного количества калия, не используемого растениями.

3. Баланс калия за 8-ю ротацию севооборота

Вариант	Дозы N-P, кг д.в./га в год	Дозы K, кг д.в./га в год	Среднегодовой урожай продукции с 1 га, ц. з. ед.	Приход, кг д.в./га		Расход, кг д.в./га		Баланс, +/-	Интенсивность баланса, %
				всего	в т.ч. с удобрениями	всего	в т.ч. вынос с урожаем		
000	0-0	0	20,4	49	0	179	172	-130	27
111	18,5-18,5	21,4	23,9	199	150	225	215	-26	88
222	37,0-37,0	42,8	27,7	349	300	272	260	+77	128
333	55,7-55,7	64,3	36,0	499	450	400	374	+99	125
444	74,0-74,0	85,6	38,1	649	600	449	419	+200	144
555	92,5-92,5	107,0	38,8	798	749	478	457	+320	166
666	111,0-111,0	128,4	38,8	939	890	503	461	+436	186
777	129,5-129,5	149,8	40,6	1098	1049	598	518	+500	183
888	148,0-148,0	171,2	41,0	1248	1199	576	537	+672	216

По результатам исследований интенсивное применение агрохимических средств в течение последних 7 лет в полевом севообороте по-разному отразилось на агрохимических показателях почвы (табл. 4).

В повышении почвенного плодородия большое значение придается содержанию гумуса в почве. Почвы Смоленской области от природы бедны органическим веществом и вследствие этого малоплодородны. Исходное содержание гумуса в почве на момент закладки опыта соответствовало низкой степени обеспеченности (2,0%). Продолжительное возделывание культур без удобрений привело к уменьшению запасов гумуса на 15% по сравнению с исходным. Систематическое применение

минеральных удобрений значительно замедляло потери органического вещества почвы. Наиболее сильное положительное действие оказывает внесение высоких доз полного минерального удобрения в севооборотах с многолетними бобовыми травами. В этом случае значительно повышается урожайность культур севооборота, увеличивается масса корневых и пожнивных остатков, что благоприятно влияет на обогащение почвы органическим веществом [4]. В нашем севообороте, включающем 28,6% многолетних трав, при ежегодном внесении удобрений в дозах N₂₀₋₄₀P₂₀₋₄₀K₂₅₋₅₀ и N₁₀₀₋₁₂₀P₁₀₀₋₁₂₀K₁₂₅₋₁₅₀ потери гумуса уменьшились до 5%. На остальных

минеральных фонах содержание гумуса оставалось на уровне исходного количества или даже немного превысило его.

4. Изменение плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в слое 0-20 см к концу 8-й ротации севооборота

Вариант	Гумус, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы
000	1,7	4,5	25	74
111	1,9	4,4	90	112
222	1,9	4,3	94	98
333	2,1	4,4	102	129
444	2,0	4,4	128	100
555	1,9	4,6	89	111
666	1,9	4,2	90	114
777	2,0	4,4	108	122
888	2,2	4,3	180	125
Среднее по опыту	1,9	4,4	101	110
Исходная почва	2,0	4,9	38	85

В Немаловажный фактор почвенного плодородия, оказывающий значительное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур, – кислотность почвы. В опыте исходная почва была среднекислой. Применение минеральных удобрений сопровождалось постоянным подкислением почвы – в среднем по опыту на 0,5 ед. Таким образом, к концу восьмой ротации севооборота почва стала относиться к группе сильнокислых.

контрольном варианте (без внесения удобрений), где был получен отрицательный баланс фосфора, отмечено некоторое снижение содержания подвижных фосфатов. В вариантах с положительным балансом фосфора произошло дальнейшее накопление его подвижных форм в среднем по опыту на 63 мг/кг. Применение удобрений в севообороте существенно отразилось и на содержании подвижных форм калия в пахотном слое почвы. От уровня минерального питания превышение к неудобренному фону составило от 13 до 40 мг/кг почвы. В результате, по классификатору, почва в зависимости от фона минеральных удобрений перешла из разряда с низким содержанием подвижных форм фосфора и калия в группу с повышенным их содержанием.

Заключение. При возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве зернотравяного севооборота для получения среднегодовой продуктивности не ниже 38,1 ц/га з.е., а также поддержания почвенного плодородия на оптимальном уровне и сохранения

содержания в почве подвижных форм фосфора и калия ежегодные дозы минеральных удобрений должны составлять не менее N₇₄P₇₄K₈₅.

Литература

1. Лана В.В., Ивахненко Н.Н. Продуктивность севооборотов, баланс элементов питания и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений // Плодородие. – 2014. – № 5. – С. 5-8.
2. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Изучение показателей почвенного плодородия окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы на разных стадиях формирования природных экосистем // Агрохимия. – 2022. – № 6. – С. 14-27.
3. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Продуктивность зерновых культур и баланс макроэлементов в серой лесной почве при использовании минеральных удобрений и растительных остатков // Плодородие. – 2018. – № 6. – С. 4-8.
4. Измествев В.М., Свечников А.К., Соколова Е.А. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв в кормовых севооборотах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 6. – С. 37-41.
5. Кузьменко Н.Н. Оценка плодородия дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения в севообороте // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 1. – С. 38-44.
6. Бельченко С.А. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота, баланс элементов питания и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 5. – С. 94-95.
7. Золкина Е.И. Влияние длительного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур // Плодородие. – 2019. – № 5. – С. 20-23.
8. Ямалудинова В.Р., Завьялова Н.Е., Фомин Д.С., Васбиева М.Т. Влияние систем удобрения на показатели плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 1. – С. 29-32.
9. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие и последствие длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели почвы // Плодородие. – 2021. – № 4. – С. 10-13.
10. Анкудович Ю.Н. Продуктивность севооборота, баланс элементов питания и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы // Плодородие. – 2022. – № 5. – С. 8-11.
11. Хайдуков К.П., Алиев А.М., Шевцова Л.К. Факторы сохранения плодородия дерново-подзолистой почвы // Плодородие. – 2014. – № 5. – С. 28-29.
12. Гогмачадзе Г.Д., Матюк Н.С., Полин В.Д., Коваленко Е.В. Изменение параметров плодородия длительно используемых дерново-подзолистых пахотных почв // АгроЭкоИнфо. – 2015. – № 1. – С. 1.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 366 с.
14. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
15. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Колос, 2001. – 512 с.

BALANCE AND FERTILITY OF SOD-PODZOLIC SOIL UNDER CONDITIONS OF DIFFERENT SATURATION OF CROP ROTATION WITH MINERAL FERTILIZERS

A.M. Konova, A.Yu. Gavrilova

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Nakhimova ul., 21, Smolensk, 214025, Russia

In the conditions of the Smolensk region, the complex application of increasing doses of mineral fertilizers in crop rotation (for 7 years) significantly affected its productivity and fertility of sod-podzolic light loamy soil. The most optimal dose of mineral fertilizers with respect to the effect on crop yields has been established – N₇₄P₇₄K₈₅. Its use ensured high productivity of 1 ha of crop rotation area – 38.1 c. units, which exceeded the control by 86%, provided a deficiency-free balance of nitrogen, phosphorus and potassium in the soil. Long-term use of chemicalization agents in field crop rotation increased the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil on average by 63 and 25 mg/kg of soil, respectively. The mineral fertilizer system increased soil acidification by 0.5 units. As a result of active mineralization of organic matter, the humus content by weighted average decreased from 2.0% to 1.9%.

Keywords: field experience, mineral fertilizers, crop rotation, sod-podzolic soil, balance.