

## БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В ЛЬНЯНОМ СЕВООБОРОТЕ<sup>1</sup>

© 2021 г. Н. Н. Кузьменко

Федеральный научный центр лубяных культур –  
обособленное подразделение Научно-исследовательский институт льна  
172002 Торжок, Тверская обл., ул. Луначарского, 35, Россия

E-mail: kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Поступила в редакцию 04.12.2020 г.

После доработки 17.01.2021 г.

Принята к публикации 11.03.2021 г.

В стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 7-польном льняном севообороте в 2012–2018 гг. изучили баланс элементов питания в почве при разной насыщенности льняного севооборота органическими и минеральными удобрениями. Приведены данные изменения показателей баланса питательных веществ, их содержания в почве, продуктивности при применении в севообороте органической, минеральной, органо-минеральной систем удобрения в 9-й ротации. Показано, что положительный баланс питательных веществ обеспечило применение органо-минеральной системы удобрения при сочетании навоза 5.7 т с минеральными удобрениями (NPK)170 на 1 га севооборотной площади. Среднегодовая доза составила N70P61.4K118.6. Интенсивность баланса азота была равна 117, фосфора – 180 и калия – 111%, среднегодовая продуктивность севооборота – 41.9 ц з.е./га, окупаемость 1 кг NPK – 5.5 кг зерновых единиц.

*Ключевые слова:* дерново-подзолистая почва, система удобрения, баланс питательных веществ, льняной севооборот.

DOI: 10.31857/S0002188121060089

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях дерново-подзолистых почв России урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется уровнем плодородия почвы и применением удобрений. Применение органических и минеральных удобрений наряду с влиянием на общий уровень урожайности является наиболее существенным фактором, способствующим сохранению и повышению плодородия почв. В современных условиях ведения сельского хозяйства при дефиците удобрений и их высокой стоимости сохранение плодородия почв довольно проблематично [1–4].

Существенное значение при оценке систем удобрения и показателей плодородия почв принадлежит определению баланса питательных веществ в почве. Величина потребления и потерь питательных веществ зависит от гранулометрического состава почвы, вида, доз, сроков применения удобрений, от агротехнических приемов воз-

делывания культуры, погодных и ряда других условий [2, 5].

Современные требования к оптимальным показателям баланса дифференцированы в зависимости от уровня плодородия почв. Для азота необходимо поддерживать интенсивность баланса на уровне 80–110%, интенсивность баланса фосфора при низком его содержании в почве – не менее 200, при среднем – 150, при высоком и очень высоком – 80–100%, для калия при низком содержании в почве – 130–150, при среднем – 110–130, повышенном – 80–100% [6]. При разработке системы удобрения в льняном севообороте важно определить оптимальную насыщенность севооборота органическими и минеральными удобрениями, обеспечивающую бездефицитный баланс элементов питания и сохранение плодородия почвы.

В связи со снижением уровня почвенного плодородия возникает необходимость периодического уточнения приходных и расходных статей баланса элементов питания, требует получения информации, необходимой для прогноза изменения уровня плодородия почвы во времени, а также разработки рациональных систем удобрения

<sup>1</sup> Работа выполнена по Госзаданию № 075-00853-19-00 и финансовой поддержке Минобрнауки.

Таблица 1. Схема стационарного опыта

Вариант, №	Система удобрения	Удобрения за ротацию севооборота	НPK, кг д.в./га севооборотной площади
1	Без удобрения (контроль)	0	0
2	Органическая система – навоз 11.4 т/га	Навоз 80 т/га	150
3	Минеральная система – (NPK)150 эквивалентно дозе навоз 11.4 т/га	N400P200K480	150
4	Органо-минеральная система – навоз 5.7 т/га + (NPK)77 эквивалентно дозе навоз 11.4 т/га	Навоз 40 т/га + N200P100K240	150
5	Органо-минеральная система – навоз 5.7 т/га + (NPK)120	Навоз 40 т/га + N200P250K400	200
6	Органо-минеральная система – навоз 5.7 т/га + (NPK)170	Навоз 40 т/га + N300P350K540	250

для его сохранения, что возможно оценить только в длительных опытах [4, 7, 8].

Цель работы – изучить баланс элементов питания в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разной насыщенности льняного севооборота органическими и минеральными удобрениями.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1948 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на базе опытного поля ФНЦ ЛК в Тверской обл. Чередование культур в севообороте следующее: пар чистый – озимая рожь с подсевом многолетних трав (клевер красный и тимофеевка) – многолетние травы 1-го года пользования – многолетние травы 2-го года пользования – лен-долгунец – ячмень – овес. В 9-й ротации севооборота (2012–2018 гг.) изучали влияние систем удобрения (органической, минеральной, органо-минеральной), эквивалентных по количеству элементов питания за севооборот (150 кг д.в./га) и влияние насыщенности севооборота органическими и минеральными удобрениями (200 и 250 кг д.в./га) на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборота. Схема опыта представлена в табл. 1.

В опыте использовали навоз крупного рогатого скота (**Нав**) состава: N – 0.50, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.25, K<sub>2</sub>O – 0.60%, который вносили в пару под озимую рожь. Минеральные удобрения вносили под все культуры севооборота в рекомендованных дозах. Общая площадь делянки составляла 72 м<sup>2</sup>, учетная – 36 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная.

Возделывание культур в севообороте проводили согласно рекомендованной для данной зоны технологии возделывания. Технологические про-

цессы по выращиванию и уборке осуществляли с максимальным использованием серийных машин и оборудования. Наблюдения и исследования в опыте, химические анализы почвы и растений осуществляли в соответствии с методическими указаниями [9–11] и ГОСТ 26204-84-ГОСТ 26213-84 [12].

Для обоснования наиболее эффективных систем удобрения в 9-й ротации севооборота на основании урожайности и химического состава полученной продукции был рассчитан хозяйственный баланс NPK. В приходной части учитывали поступление элементов питания с удобрениями, в расходной – их вынос основной и побочной продукцией.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что возделывание культур без применения удобрений привело к дефициту азота в почве в размере 33.2, фосфора – 14.6 и калия – 37.5 кг/га. Продуктивность севооборота была самой низкой – 22.7 ц з.е./га. Применение систем удобрения, эквивалентных по количеству внесенных за севооборот элементов питания (150 кг д.в./га севооборотной площади или среднегодовая доза N57.1P28.6K68.6), обеспечило слабоположительный и близкий между собой баланс азота и фосфора. Баланс калия был отрицательным, с наибольшим дефицитом (–36.9 кг/га) отметили при применении органо-минеральной системы удобрения, при которой получили наиболее высокую продуктивность – 40.3 ц з.е./га, на 1.4 и 3.7 ц з.е./га больше ( $HCP_{05} = 3.6$ ), чем при органической и минеральной системах удобрения. Более высокая урожайность культур при применении органо-минеральной системы удобрения была получена не только за счет удобрений, но и за счет почвенного плодородия. Вынос калия куль-

**Таблица 2.** Дозы удобрений и хозяйственный баланс элементов питания в 9-й ротации при разной насыщенности севооборота удобрениями

№	Вариант	Среднегодовое внесение удобрений, кг/га			Средневзвешенный ежегодный вынос, кг/га			Среднегодовой баланс, ± кг/га			Интенсивность баланса, %		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	Без удобрения	0	0	0	33.2	14.6	37.5	-33.2	-14.6	-37.5	0	0	0
2	Нав 11.4 т/га	57.1	28.6	68.6	56.5	27.4	91.4	+0.6	+1.1	-22.8	101	104	75
3	(NPK)150 эквивалентно дозе навоз 11.4 т/га	57.1	28.6	68.6	55.1	27.2	80.5	+2.0	+1.3	-11.9	104	105	85
4	Нав 5.7 т/га + (NPK)77 эквивалентно дозе навоз 11.4 т/га	57.1	28.6	68.6	58.3	27.7	105.5	-1.2	+1.0	-36.9	98	103	65
5	Нав 5.7 т/га + (NPK)120 = 200 кг д.в.	57.1	50.0	95.7	66.0	32.0	112.4	-8.9	+18.0	-16.7	86	156	85
6	Нав 5.7 т/га + (NPK)170 = 250 кг д.в.	70.0	61.4	118.6	59.7	34.2	107.2	+10.3	+27.2	+11.4	117	180	111

**Таблица 3.** Влияние разных систем удобрения на содержание элементов питания в почве и продуктивность льняного севооборота в 9-й ротации

Вариант	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (по Кирсанову)		Содержание K <sub>2</sub> O (по Кирсанову)		Продуктивность севооборота, ц з.е./га	Окупаемость 1 кг NPK, кг з.е.
	мг/кг					
	2011 г.	2018 г.	2011 г.	2018 г.		
1	81	82	66	51	22.7	—
2	278	281	166	139	38.9	7.1
3	144	167	124	121	36.6	5.6
4	199	223	178	123	40.3	8.1
5	295	320	203	199	42.4	7.1
6	272	289	167	214	41.9	5.5
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	20		62		3.6	

турами севооборота с урожаем в этом варианте составил 105.5 кг/га/год, в 1.5 раза больше, чем внесли с удобрениями (68.6 кг д.в./га). Его содержание в почве за ротацию 7-польного севооборота (с 2011 до 2018 г.) снизилось на 55 мг/кг (табл. 2, 3).

Повышение доз удобрений при органо-минеральной системе обеспечило большую продуктивность севооборота — 42.4 и 41.9 ц з.е./га и одновременно более высокий вынос питательных веществ урожаем. Применение в севообороте навоза 5.7 т/га в сочетании с минеральными удобрениями в дозе 120 кг д.в./га севооборотной площади (среднегодовая доза N57.1P50K95.7) обеспечило положительный баланс фосфора — +18.0 кг/га, увеличение его содержания в почве на 25 мг/кг при дефиците азота — 8.9 и калия — 18.1 кг/га (интенсивность баланса 156, 86 и 85%).

Положительный баланс всех элементов питания: азота — +10.3, фосфора — +27.3 и калия — +11.4 кг/га (интенсивность баланса 117, 180 и 111%) получили при самой высокой насыщенности севооборота удобрениями: навоз 5.7 т/га + +170 кг д.в. в форме минеральных удобрений/га севооборотной площади (среднегодовая доза N70P61.4K118.6).

Данные интенсивности баланса, полученные в нашем опыте для азота и калия, близки к рекомендуемым другими авторами для льняных севооборотов. Например, интенсивность баланса азота рекомендуется поддерживать на уровне 100–130, фосфора — 120–150 и калия — 105–120% [8, 13]. Интенсивность баланса фосфора в нашем исследовании была более высокой.

Применение данной насыщенности севооборота удобрениями позволило увеличить в почве содержание подвижного фосфора за 9-ю ротацию с 272 до 289 (на 17) мг/кг, содержание калия – со 167 до 214 (на 47) мг/кг. Только в этом варианте сложился положительный баланс калия. Продуктивность севооборота в сравнении с вариантом 5, где насыщенность была меньше, имела тенденцию к снижению с 42.4 до 41.9 ц з.е./га, окупаемость удобрений снизилась с 7.1 до 5.5 кг з.е.

Рост продуктивности в севообороте сопровождался большим выносом элементов питания. Отрицательный баланс калия в льняном севообороте объясняется наиболее высоким его выносом культурами севооборота. В среднем в удобренных вариантах вынос калия превосходил вынос азота в 1.7 раза, фосфора – в 3.3 раза (табл. 2).

Примененные в севообороте дозы азота 57.1 кг д.в./га (варианты 2–5) обеспечили его баланс в почве от слабо отрицательного (–8.9) до слабо положительного (+2.0 кг/га). Только в одном варианте при применении среднегодовой дозы N70 (вариант 6) получили положительный его баланс в размере +10.3 кг/га. Интенсивность баланса составила 117%.

Небольшой дефицит азота в почве можно допустить, учитывая, что в севообороте в течение 2-х лет возделываются многолетние травы (клевер красный и тимофеевка). При средней урожайности сена 47 ц/га после уборки в почве оставалось в среднем такое же количество органических остатков (46 ц/га) в виде стерни и корней. Растительные остатки многолетних трав содержат: азота – 1.05–2.25, фосфора – 0.33–0.57, калия – 1.09–2.50%. С ними в почву поступало: азота – 48.3–103.5, фосфора – 15.2–26.2 и калия – 50.1–115 кг/га.

Баланс фосфора при применении в севообороте дозы 28.6 кг д.в./га (варианты 2–4) можно было определить как уравновешенный. Интенсивность баланса 103–105%. Повышение дозы фосфора до 50 и 61.4 кг д.в./га (варианты 5 и 6) обеспечило его положительный баланс в размере +18.0 и +27.2 кг/га соответственно, интенсивность увеличилась до 156 и 180%, содержание элемента в почве повысилось на 25 и 17 мг/кг и было в пределах ошибки опыта.

Отрицательный баланс калия практически во всех вариантах опыта свидетельствовал о том, что высокий уровень продуктивности севооборота достигнут за счет использования его из почвы, т.е. за счет почвенного плодородия. Примененные в севообороте дозы калия 68.6 и 95.7 кг д.в./га (варианты 2–5) были недостаточными для сохране-

ния его почвенных запасов. За ротацию севооборота содержание калия в почве при применении данных доз удобрений снизилось в среднем на 22.5 мг/кг (табл. 3). Положительный баланс калия +11.4 кг/га и прирост его содержания на 47 мг/кг получили при применении дозы K118.6 (вариант 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сохранение запасов питательных веществ в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным содержанием калия в 7-польном льняном севообороте обеспечило применение органо-минеральной системы удобрения при сочетании навоз 5.7 т/га + 170 кг д.в. в форме минеральных удобрений/га севооборотной площади. Среднегодовая доза составила N70P61.4K118.6. Баланс элементов питания в почве составил: азота – +10.3, фосфора – +27.2 и калия – +11.4 кг/га в год при интенсивности 117, 180 и 111% соответственно. Среднегодовая продуктивность севооборота составила 41.9 ц з.е./га, окупаемость 1 кг NPK – 5.5 кг зерновых единиц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чекмарев П.А.* Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению в 2012 г. // *Агрохимия*. вестн. 2012. № 1. С. 2–4.
2. *Сычев В.Г., Шафран С.А.* О балансе питательных веществ в земледелии России // *Плодородие*. 2017. № 1. С. 1–4.
3. *Лана В.В.* Повышение плодородия почв и эффективности применения удобрений – основные приоритеты в развитии агрохимических исследований (на примере республики Беларусь) // *Плодородие*. 2019. № 3. С. 3–6.
4. *Kosolapova A., Yamaltdinova V., Mitrofanova E., Fomin D., Teterlev I.* Yields of field crops and sod-podzolic soil fertility of west Ural depending on fertilizer system // *Bulgar. J. Agricult. Sci.* 2016. V. 22. № 3. P. 381–385.
5. *Жуков Ю.П.* Агроэкологическая оценка различных удобрений в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // *Агро XXI*. 2008. № 1–3. С. 37–39.
6. *Державин Л.М.* Научно-методологические основы проектирования применения удобрений в ресурсосберегающих технологиях // *Плодородие*. 2011. № 3. С. 19–22.
7. *Семендяева Н.В.* Влияние длительного применения удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы таежной зоны западной Сибири // *Агрохимия*. 2010. № 3. С. 3–11.
8. *Горбылева А.И., Горелько Н.М.* О принципах планирования системы удобрения в севооборотах // *Все-союз. конф. “Почвенно-агрохимические и биологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов”*. Тез. докл. Пушкино, 1988. С. 195–197.

9. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. М.: ВАСХНИЛ, 1986. 146 с.
10. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.
11. Методические указания по проведению агрохимических исследований со льном-долгунцом. М.: ВАСХНИЛ, 1972. 49 с.
12. ГОСТ 26204-84 – ГОСТ 26213-84. Почвы. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. 54 с.
13. *Петрова Л.И.* Эффективный баланс азота, фосфора и калия в льняном севообороте (для льноводных хозяйств Нечерноземной зоны России) // Информ. листок № 60–92. Тверь: Тверской ЦНТИ, 1992.

## Balance of Nutrition Elements on Sod-Podzolic Soil in Flax Crop Rotation

N. N. Kuzmenko<sup>a, #</sup>

<sup>a</sup> Federal Scientific Center of Bast-Fiber Crops Breeding,  
ul. Lunacharskogo 35, Tver district, Torzhok 172002, Russia

<sup>#</sup>E-mail: kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

In a stationary experiment on sod-podzolic light loamy soil in a 7-field flax crop rotation in 2012–2018, the balance of nutrients in the soil was studied at different saturation of the flax crop rotation with organic and mineral fertilizers. The data on changes in the indicators of the balance of nutrients, their content in the soil, and productivity when using organic, mineral, and organo-mineral fertilizer systems in the 9<sup>th</sup> rotation in the crop rotation are presented. It is shown that a positive balance of nutrients was provided by the use of an organo-mineral fertilizer system when combining 5.7 tons of manure with mineral fertilizers (NPK) 170/ha of crop rotation area. The average annual dose was N70P61.4K118.6. The intensity of the nitrogen balance was equal to 117, phosphorus – 180 and potassium – 111%, the average annual crop rotation productivity was 41.9 c g.u./ha, the payback of 1 kg of NPK was 5.5 kg of grain units.

*Key words:* sod-podzolic soil, fertilizer system, nutrient balance, flax crop rotation.