

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94

УДК 631.582:631.82:631.86:631.811

Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В.

**БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В СЕВОБОРОТАХ В УСЛОВИЯХ  
БИОЛОГИЗИРОВАННОГО АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**  
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

**Реферат.** В технологиях возделывания культур необходимо расширять использование биологических приемов. Возрастает роль севооборотов с высокой долей в структуре бобовых трав, сидеральных и промежуточных посевов. Цель исследований – изучение динамики плодородия почвы по основным элементам питания и определение их баланса для разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия Северо-Восточного региона Европейской части России. Опыты проводили на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока. Проанализированы данные длительного стационарного опыта в четырех зернопаротравяных восьмипольных полевых севооборотах. Метеорологические условия в годы исследований (2002–2009 гг.) были близки к средним многолетним значениям и являлись благоприятными для возделывания культур севооборотов. Внесение невысоких доз удобрений ( $N_{45}P_{45}K_{45}$  минеральных, 11,5–22,5 т/га сидеральных) увеличило в почве содержание подвижного фосфора на 11–14 мг/кг ( $HCP_{05} = 9,5$ ) в севооборотах с занятыми и сидеральными парами. Увеличение обменного калия на 15 мг/кг ( $HCP_{05} = 14,1$ ) отмечено в севообороте с двумя полями клевера на сидерат. Положительный баланс азота и фосфора получен в севооборотах с занятыми и сидеральными парами. Баланс по азоту был с более высоким приходом (+157,8...+483,5 кг/га) и интенсивностью 115–140 %. Баланс фосфора сложился при +6,0...+49,6 кг/га. Положительный баланс калия получен только в севооборотах с внесением сидеральных удобрений и промежуточной культуры +69,9...+175,8 кг/га. Интенсивность баланса этих элементов составила 101–118 %. В контрольном севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов баланс азота, фосфора и калия был отрицательным с интенсивностью ниже 100 %. Продуктивность севооборотов составила 4,90–5,41 тыс. корм. ед. По оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания выделился севооборот с двумя полями клевера на сидерат и промежуточной культурой.

**Ключевые слова:** баланс азота, фосфора, калия, интенсивность баланса, минеральные и сидеральные удобрения, плодородие.

**Для цитирования:** Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Баланс элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 84–94. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94.

**For citation:** Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakova E. V. Balance of nutrition elements in crop rotation under biologized adaptive landscape farming // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 84–94. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-84-94.

### Введение

В настоящее время применение минеральных удобрений в полевых севооборотах становится нерентабельным [1]. Значительное сокращение внесения как минеральных, так и органических удобрений в дерново-подзолистые почвы привело к снижению почвенного плодородия [2–4].

Для повышения продуктивности агроценозов Евро-Северо-Востока требуется решение проблемы сохранения и повышения плодородия почв при сокращении материальных и энергетических затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

Климат региона – умеренно-континентальный с холодной продолжительной зимой, умеренно теплым коротким летом с большими колебаниями температуры и осадков в течение года. Все это ослабляет рост растений и приводит к снижению потребления питательных веществ [5].

Среди пахотных земель Кировской области наиболее распространены дерново-подзолистые почвы, которые характеризуются низким естественным плодородием. При существенном сокращении объемов применения удобрений почвы быстро подвергаются деградационным процессам, происходит снижение содержания органического вещества, питательных элементов, ухудшаются ее агрофизические свойства. Для увеличения продуктивности агрофитоценозов как в области, так и регионе в целом, необходимо совершенствование технологий возделывания культур, адаптированных к региональным почвенно-климатическим условиям, переход к биологизированному адаптивно-ландшафтному земледелию [6–9].

Следует отметить, что в России с 2020 г. начал действовать Федеральный закон об органическом сельском хозяйстве (№ 280 ФЗ). При этом в технологиях возделывания культур расширяют количество всех биологических приемов [10].

При современном ресурсном состоянии большинства хозяйств, когда при различных объективных и субъективных причинах использование традиционных органических удобрений практически прекратилось, проблему восстановления плодородия почв решает биологизация земледелия [11, 12]. При этом возрастает роль севооборотов с высокой долей в структуре многолетних и однолетних трав, сидеральных, промежуточных культур. Несмотря на то, что отдельные приемы биологизации земледелия давно и достаточно хорошо изучены, внедрения и системного их освоения в хозяйствах не происходит [13, 14].

Один из показателей соблюдения биологических законов в земледелии (закон возврата веществ, закон оптимума, максимума, минимума и др.) – баланс элементов питания, который характеризует соотношение поступления их и выноса сельскохозяйственными культурами за определенный промежуток времени и является основным критерием экологизации системы использования удобрений [15]. Изучение баланса питательных веществ позволяет анализировать и оценивать эффективность используемых удобрений, их влияние на плодородие почвы, продуктивность севооборота и химическую нагрузку на почву, растения и окружающую среду [16]. По мнению Д. Н. Прянишникова [17] что вынос азота и калия необходимо возмещать на 75–80 %, а фосфора – на 100–110 %.

**Цель исследований** – изучение динамики плодородия почвы по основным элементам питания и определение их баланса для разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия Северо-Восточного региона Европейской части России.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования проводили в 2002–2009 гг. в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока, заложенном в 1976 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Объектами исследований были четыре зернопаротравяных восьмипольных севооборота с различной долей в структуре посевов бобовых, зернобобовых, сидеральных культур.

Севообороты развернуты в пространстве и во времени. Размещение делянок систематическое, повторность четырехкратная. Общая площадь одной делянки 77 м<sup>2</sup>, учетной – 48,4 м<sup>2</sup>.

Агрохимические показатели почвы пахотного слоя опытного участка следующие:  $pH_{\text{сол.}} = 4,59-5,00$  единиц, содержание подвижного фосфора – 148,0–157,0 мг/кг почвы, подвижного калия – 127,0–140,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 1,74–2,00 % (по Тюрину).

Метеорологические условия периода вегетации культур севооборотов в годы исследований были близки к среднесуточным значениям (количество осадков – 322 мм, температура воздуха – 67,6 °С). Количество осадков и показатели температуры воздуха превысили среднесуточные значения в 2004 и 2007 гг. на 44–63 мм и 5,2–6,8 °С соответственно).

В опыте возделывали районированные для Кировской области сорта зерновых и кормовых культур. Агротехника возделывания традиционная для зоны.

Минеральные удобрения вносили под все культуры кроме клевера в дозе  $N_{45}P_{45}K_{45}$ . Дозы выбраны на основе предыдущих исследований, которые показали, что такое количество удобрений обеспечивает формирование не менее 3,5–4,5 т/га зерновых, 8,0–12,0 т/га сена многолетних трав на почвах с высоким содержанием фосфора и повышенным калия. Навоз не вносили, запахивали зеленую массу сидеральных и промежуточных культур [18].

Исследования проводили на основе методик [19, 20]. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с использованием пакета программ «Microsoft Excel 2007».

В приходной части баланса азота учитывали поступление питательных веществ с минеральными и сидеральными удобрениями, а также биологически фиксированный азот и поступление его в составе атмосферных осадков (6,6 кг/га). В расходную часть баланса включали вынос N с урожаем. Потери азота из-за эрозии были приняты за 0 кг/га, так как на опытных участках эрозионные процессы практически отсутствуют.

Расчеты баланса фосфора и калия упрощаются, потому что практическое значение имеют только их вынос растениями и приход в составе минеральных и органических удобрений.

Схема севооборотов:

I	II
1. Пар чистый,	1. Пар занятый (горчица + пелюшка + овес),
2. Озимая рожь,	2. Озимая рожь,
3. Ячмень с подсевом клевера,	3. Вика + пшеница + ячмень
4. Клевер I года пользования (г.п.),	(зернофураж),
5. Клевер II г.п.,	4. Ячмень с подсевом клевера,
6. Яровая пшеница,	5. Сидеральный пар (клевер),
7. Вика + пшеница + ячмень	6. Озимая рожь,
(зернофураж),	7. Яровая пшеница,
8. Овес.	8. Овес
III	IV
1. Пар сидеральный (донник),	1. Пар сидеральный (клевер),
2. Озимая рожь,	2. Озимая рожь,
3. Ячмень с подсевом клевера,	3. Вика + пшеница + ячмень
4. Клевер I г.п.,	(зерносенаж), промежуточная культура,
5. Клевер II г.п. (отава),	4. Ячмень с подсевом клевера,
6. Яровая пшеница,	5. Сидеральный пар (клевер),
7. Вика + пшеница + ячмень	6. Озимая рожь,
(зерносенаж) (отава),	7. Яровая пшеница,
8. Овес + донник	8. Овес с подсевом клевера

### Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что в контрольном севообороте с чистым паром (I) (без внесения навоза) отмечено наименьшее поступление азота – 939,8 кг/га (таблица 1). В этом варианте вносили меньше минеральных удобрений (на 40–90 кг/га), чем в других севооборотах, так как в структуре три поля занимают чистый пар и клевер двух лет использования, где удобрения не использовали. Доля корнестерневых остатков незначительна – 350,8 кг/га. Два поля клевера и поле смеси вика + пшеница + ячмень, посеянной на зернофураж, фиксируют из атмосферы 364,0 кг/га биологического азота.

**Таблица 1 – Баланс азота в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель	Севооборот				
	I	II	III	IV	
Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед.	4,90	5,30	5,41	5,10	
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	939,8	1182,6	1677,7	1699,8
	сидеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	КСО*	350,8	590,1	824,9	1008,4
	биологической азотфиксацией	364,0	277,5	582,8	421,4
Вынос с урожаем, кг/га	1078,5	1024,8	1324,5	1216,3	
Баланс, кг/га	-138,7	+157,8	+353,2	+483,5	
Интенсивность баланса, %	87	115	127	140	

*Примечание.* \* здесь и далее – корнестерневые остатки.

Несмотря на невысокую дозу минеральных удобрений (N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>) в севообороте с чистым паром отмечена хорошая урожайность озимой ржи – 3,22 т/га, яровых зерновых – 3,52–4,29 т/га, клевера лугового первого и второго года пользования – 9,30 и 9,60 т/га соответственно. При высокой урожайности обеспечивается и высокий вынос питательных элементов из почвы. Продуктивность контрольного севооборота составила 4,90 тыс. корм. ед., что ниже на 2,0–5,1 тыс. корм. ед., чем в севооборотах с занятым и сидеральными парами.

Наибольшее количество азота выносятся с урожаем клевера. Отмечено, что клевер, независимо от уровня минерального питания, в среднем по севообороту дает наибольшее количество корнестерневых остатков и надземной массы. Два поля клевера в сумме выносят 406,4 кг/га азота. Значительный вынос азота отмечали и у ячменя – 128,7 кг/га, яровой пшеницы – 127,4 кг/га. Высокий вынос питательных элементов у клевера подтверждают и исследования Замятина С. А., Измestьева В. М. [21], Завалина А. А., Пасынкова А. В. [22], Хайбулина М. М. [23]. Вынос элементов с урожаем всех культур севооборота с чистым паром составил 1078,5 кг/га и сформировался отрицательный баланс 138,7 кг/га с интенсивностью 87 %.

Значительная часть урожая формируется благодаря азоту почвы и если его не возмещать, то это приводит к снижению в почве минерального азота, а также гумуса [24]. Положительный баланс азота сформировался в севообороте II с занятым смесью горчица + пелюшка + овес паром и одногодичным клевером на сидерат. Минеральные удобрения в этом севообороте вносили в семи полях, что в сумме за ротацию составило 315 кг/га. Поступление азота превосходило его вынос на 157,8 кг/га при интенсивности баланса 115 %.

Если в большей степени насыщать севообороты приемами биологизации, можно получить более позитивный баланс и его интенсивность. В севообороте III с донником на сидерат, двумя полями клевера и запахиванием в двух полях отавы клевера и бобово-злаковой смеси, баланс азота увеличился в положительную сторону до 353,2 кг/га, а интенсивность возросла до 127 %.

В структуре севооборота длительной ротации можно иметь два сидеральных клеверных пара севооборота IV. Для снижения фитотоксичности высевали промежуточную культуру (редька масличная) после бобово-зерновой смеси на сенаж. При невысоком уровне внесения минеральных удобрений за счет биологических факторов в этом севообороте увеличилось поступление азота до 1008,4 кг/га, что значительно выше его выноса с урожаем. Таким образом, мы зафиксировали положительный баланс азота – 483,5 кг/га, а его интенсивность превысила оптимальный уровень (140 %).

Особую обеспокоенность в стране вызывает состояние баланса фосфора, так как за последние 27 лет вынос этого элемента с урожаями культур превысил его поступление в почву более, чем на 12 млн т, что приводит к обеднению почв фосфором. В первую очередь это касается регионов Нечерноземной зоны [24, 25].

Наши исследования показали, что внесение минеральных удобрений  $N_{45}P_{45}K_{45}$  и сидеральных удобрений 11,5–25,5 т/га сохраняет количество подвижного фосфора в почве. Достоверное увеличение этого элемента произошло в сидеральных севооборотах и севообороте с занятым паром на 11–14 мг/кг и содержание по группировке пахотных почв перешло из группы «повышенное» в группу «высокое» (таблица 2).

**Таблица 2 – Баланс фосфора в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель		Севооборот			
		I	II	III	IV
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	сидеральными удобрениями	287,4	436,0	488,7	511,9
	КСО	62,4	121,0	218,7	241,9
Вынос с урожаем, кг/га		426,6	374,2	482,7	462,3
Баланс, кг/га		-139,2	+61,8	+6,0	+49,6
Интенсивность баланса, %		67	117	101	111
Содержание $P_2O_5$ в начале ротации, мг/кг почвы		157	137	147	144
Содержание $P_2O_5$ в конце ротации, мг/кг почвы		160	151	157	155
НСР <sub>05</sub> (по содержанию $P_2O_5$ )		9,5			

В контрольном севообороте с чистым паром внесение наименьшего количества удобрений 225,0 кг/га и отсутствие органических удобрений создало отрицательный баланс фосфора 139,2 кг/га при интенсивности 67 %. Вынос фосфора увеличивается в первую очередь за счет посевов клевера. При урожайности сухого вещества свыше 9,0 т/га из почвы выносятся 111,6–115,2 кг/га этого элемента. Озимая рожь при урожайности 3,5 т/га и выше выносит 37,4–51,4 кг/га азота, яровые зерновые – 43,3–49,5 кг/га.

В севообороте II с занятым паром при внесении 315,0 кг/га фосфора с минеральными удобрениями и 121,0 кг/га с корнестерневыми остатками и растительной массой клеверного сидерата, поступление подвижного фосфора превосходило его потребление растениями, создавая положительный баланс 61,8 кг/га с интенсивностью 117 %.

В сидеральных севооборотах также создавался положительный баланс фосфора, но наибольший его показатель наблюдали в севообороте с двумя клеверными полями и промежуточной культурой. Поступление фосфора с сидеральными культурами в количестве 241,9 кг/га позволило сформироваться положительному балансу (+ 49,6 кг/га) при экологически безопасных нормативах интенсивности [26] для данных почв 111 %. В севообороте с донником благодаря меньшему поступлению органической массы при более высоком выносе питательных элементов получен бездефицитный баланс (101 %).



Баланс калия в течение последних 27 лет в земледелии России складывался со значительным дефицитом. Использование калийных удобрений всегда было ниже, чем азотных и фосфорных, ежегодный дефицит этого элемента менялся от 16 до 36 кг/га при средней дозе внесения 1–2 кг/га [21].

За период исследований в опыте при систематическом внесении калийных удобрений и поступлении органической массы бобовых и зерновых культур количество подвижного калия в почве осталось в пределах группы «повышенного» содержания. Отмечено достоверное увеличение обменного калия в почве сидерального (с двумя полями клевера) севооборота IV – на 15,0 мг/кг (табл. 3).

**Таблица 3 – Баланс калия в севооборотах (2002–2009 гг.)**

Показатель		Севооборот			
		I	II	III	IV
Поступило всего (кг/га), в т. ч. с:	минеральными удобрениями	508,5	834,9	1145,7	1142,4
	сидеральными удобрениями	225,0	315,0	270,0	270,0
	КСО	283,5	519,9	875,7	872,4
Вынос с урожаем, кг/га		806,9	839,0	1075,8	966,6
Баланс, кг/га		-298,4	-4,1	+69,9	+175,8
Интенсивность баланса, %		63	99	107	118
Содержание K <sub>2</sub> O в начале ротации, мг/кг почвы		132	128	128	127
Содержание K <sub>2</sub> O в конце ротации, мг/кг почвы		136	132	138	142
НСР <sub>05</sub> (по содержанию K <sub>2</sub> O)		14,1			

С урожаем культур также выносятся значительное количество этого элемента. Клевера выносят до 186,0–192,0 кг/га калия, яровые зерновые – до 105,6 кг/га, озимая рожь – до 82,0 т/га.

Расчет баланса калия показал, что вынос растениями этого элемента превышал его поступление на 298,4 и 4,1 кг/га в севообороте с чистым (I) и занятым (II) парами. Баланс складывался отрицательный. Интенсивность баланса в контрольном севообороте составляла всего 63 %. В севообороте с занятым паром и одним полем сидеральных культур интенсивность достигала почти 100 % (99,5 %), что превысило экологически безопасные нормативы в зависимости от содержания их подвижных соединений в данном типе почв (70 %).

В сидеральных севооборотах при внесении N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> минеральных и органических (донник, клевер) удобрений получили положительный баланс калия 69,9 и 175,8 кг/га при высоком показателе интенсивности – 107 и 118 % соответственно.

Положительный баланс калия (162 и 37 кг/га) в исследованиях Дзюина А. Г. и Дзюина Г. П. [16] на дерново-подзолистых почвах складывался при внесении N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> на фоне органических удобрений. В исследованиях Виговскис Я. с соавторами [27] при внесении низкой дозы калийных удобрений (K<sub>45</sub>) в почве сохраняется дефицит калия (-46... -12,1 кг/га).

Как показали наши предыдущие исследования в шестипольных севооборотах, положительный баланс всех элементов возможен и при более низких дозах минеральных (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>) и органических удобрений (5 т/га), если в структуре севооборотов чистые пары заменены занятыми и сидеральными и клевер используется два года. Запахивание клевера лугового как сидерального удобрения обеспечивает поступление в почву не менее 10 т/га надземной массы и корней, что равнозначно количеству элементов питания, которое поступает с 30 т навоза. При этом в навозе (справочные данные) содержится в несколько раз меньше азота, фосфора и калия (0,30; 0,12; 0,33 %), чем в растительной массе клевера (1,28; 0,33;

1,18 %) [28, 29]. Это еще раз подтверждает, что биологическая интенсификация в севооборотах направлена на сохранение и повышение плодородия дерново-подзолистых почв.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что за восемь лет ротации полевых севооборотов на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах с повышенным содержанием подвижного фосфора и обменного калия при внесении невысоких ( $N_{45}P_{45}K_{45}$ ) доз минеральных удобрений и использовании таких средств биологизации как сидеральные удобрения, промежуточные культуры, запахивание корнестерневых остатков и отавы многолетних и однолетних трав, возможно повышение содержания в почве основных питательных элементов и формирование их положительного баланса.

Положительный баланс азота отмечен в севооборотах с занятыми и сидеральными парами при возделывании в них зернобобовых смесей, донника, клевера лугового (+157,8...+483,5 кг/га) с интенсивностью баланса выше оптимального (115–140 %).

Эти севообороты обеспечили и положительный, но с меньшим поступлением, баланс фосфора (+6,0...+49,6 кг/га) при интенсивности 101–117 %, что соответствует экологически безопасным нормативам.

Положительный баланс калия создавался только в севооборотах с использованием сидеральных органических удобрений (+69,9...+175,8 кг/га) при интенсивности выше оптимального значения (107 и 118 %).

В севообороте с чистым паром при минимальном поступлении питательных элементов баланс NPK был отрицательным при его интенсивности 87, 67 и 63 % соответственно.

По наиболее оптимальному сочетанию продуктивности и баланса элементов питания можно выделить севооборот с двумя сидеральными клеверными парами и одной промежуточной культурой (IV).

### Литература

1. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 3 – 6. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
2. Шафран С. А. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны // Агрехимия. 2016. № 8. С. 3–10.
3. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Воробьев В. А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрехимия. 2016. № 4. С. 10–17.
4. Иванов А. И., Цыганова Н. А., Воробьев В. А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрехимия. 2010. № 3. С. 17–21.
5. Система ведения агропромышленного производства Кировской области. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 368 с.
6. Noskova E. N., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the Volga-Vyatka region // International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations” (FARBA 2021), 2021. Vol. 254. Art. No. 7009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125407009.
7. Сысуев В. А. Приоритеты и проблемы аграрной науки на Евро-Северо-Востоке России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 3(46). С. 4–9.
8. Чеботарев Н. Т., Шергина Н. Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество кормовых культур в условиях севера // Кормопроизводство. 2020. № 8. С. 15–19.
9. Измestьев В. М., Свечников А. К. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность кормовых севооборотов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 4 (47). С. 29–34.

10. Кудяров В. Н. Эмиссия закиси азота в условиях применения удобрений (аналитический обзор) // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1192–1205. DOI: 10.31857/S0032180X2010010X.
11. Voronkova N. A., Bobrenko I. A., Nevenchannaya N. M., Popova V. I. Efficiency of biologization of agriculture in Western Siberia (on the example of the Omsk region) // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 548. Art. No. 022071. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022071.
12. Tomashova O., Osenniy N., Abdurashytov S., Ilyin A., Veselova L. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Art. No. 04010. DOI: 10.1051/e3sconf/202021004010.
13. Ерофеев С. А. Биологизация земледелия – основа эколого-ландшафтного земледелия // Евразийский Союз Ученых. 2018. № 8(53). С. 8–11.
14. Лукин С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области) // Земледелие. 2021. № 1. С. 11–15. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
15. Сычев В. Г. Агрохимическая служба – 50 лет на благо урожая // Материалы 48-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии». М: ВНИИА, 2014. С. 3–14.
16. Дзюин А. Г., Дзюин Г. П. Влияние длительного применения систем удобрений на баланс питательных веществ в почве // Агрохимический вестник. 2015. № 6. С. 14–17.
17. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения. М.: Наука, 1963. 724 с.
18. Козлова Л. М. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации земледелия в Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 2. С. 30–34.
19. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 42 с.
20. Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии: методические указания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 25 с.
21. Замятин С. А., Измestьев В. М. Влияние полевых севооборотов на баланс азота в почве // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 3(34). С. 39–43.
22. Завалин А. А., Пасынков А. В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: РАСХН, 2007. 208 с.
23. Khaibullin M. M., Kirillova G. B., Yusupova G. M., Kagirow E. S., Ismagilov R. Z., Rakhimov R. R., Sergeev V. S., Khaziev F. H., Gaifullin R. R. & Bagautdinov F. Y. Influence of percentage fertilizer systems on change of agrochemical properties of the arable layer of leach chernozem and on the crops productivity of crop rotation // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. No. 13. P. 6527–6532. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6527.6532.
24. Шафран С. А., Кирпичников Н. А., Ермаков А. А., Семенова А. И. Динамика содержания подвижного фосфора в почвах нечерноземной зоны и его регулирование // Агрохимия. 2021. № 5. С. 14–20. DOI: 10.31857/S0002188121050100.
25. Karabutov A. P., Tyutyunov S. I., Solovichenko V. D. Mobile phosphorus and exchange potassium of typical black soil in long-term use of arable land // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. No. 6. P. 812–816. DOI: 10.35940/ijeat.F1154.0886S19.
26. Шафран С. А., Кирпичников Н. А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.
27. Виговскис Я., Ермуш А., Шварта А., Сарканбарде Д., Агафонова Л., Штиканс Ю. Основные показатели плодородия почвы в длительном дренажном стационаре в Латвийской республике // Известия ТСХА. 2012. № 3. С. 136–141.
28. Абашев В. Д., Козлова Л. М. Клевер луговой в севооборотах на дерново-подзолистых почвах Кировской области // Земледелие. 2009. № 3. С. 36–37.
29. Козлова Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 33(1). С. 6–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10102.

## References

1. Baibekov R. F. Nature-like technologies is the basis for sustainable development of agriculture // Zemledelie. 2018. No. 2. P. 3–6. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
2. Shafran S. A. The dynamics of soil fertility in the non-chernozem zone and its reserves // Agrochimia. 2016. No. 8. P. 3–10.



3. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Vorob'ev V. A., Tsyganova N. A. The agri-environmental consequences of long-term use of scarce systems of fertilizer on well-cultivated soddy-podzolic soils // *Agrohimia*. 2016. No. 4. P. 10–17.
4. Ivanov A. I., Tsyganova N. A., Vorob'ev V. A. Assessing the long-term use of well-cultivated soddy-podzolic soil under different fertilizing systems // *Agrohimia*. 2010. No. 3. P. 17–21.
5. The system of agro-industrial production of the Kirov region. Kirov: North-East Agricultural Research Institute, 2000. 368 p.
6. Noskova E. N., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the Volga-Vyatka region // International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations” (FARBA 2021). 2021. Vol. 254. Art. No. 7009. DOI: 10.1051/e3sconf/202125407009.
7. Sysuev V. A. Priorities and problems of agrarian science in Euro-North-East of Russia // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. No. 3(46). P. 4–9.
8. Chebotarev N. T., Shergina N. N. The effect of long-term fertilization on forage crop productivity and quality in the North // *Fodder Production*. 2020. No. 8. P. 15–19.
9. Izmetev V. M., Svechnikov A. K. Effect of long-term application of fertilizers on productivity of forage crop rotations // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015. No. 4(47). P. 29–34.
10. Kudryarov V. N. Nitrous oxide emission from soils at the fertilizers application (analytical review) // *Eurasian Soil Science*. 2020. No. 10. P. 1192–1205.
11. Voronkova N. A., Bobrenko I. A., Nevenchannaya N. M., Popova V. I. Efficiency of biologization of agriculture in Western Siberia (on the example of the Omsk region) // IOP Conference. Series “Earth and Environmental Science”. 2020. Vol. 548. Art. No. 022071. DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022071.
12. Tomashova O., Osenniy N., Abdurashytov S., Ilyin A., Veselova L. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 210. Art. No. 04010. DOI: 10.1051/e3sconf/202021004010.
13. Erofeev S. A. Biological of zemedelie – based ecological-landscape agriculture // *Eurasian Union of Scientists*. 2018. No. 8(53). P. 8–11.
14. Lukin S. V. Influence of agriculture biologization on soil fertility and productivity of agrocenoses (Belgorod experience) // *Zemledelie*. 2021. No. 1. P. 11–15. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
15. Sychoy V. G. Agrochemical service – 50 years for the benefit of the crop // Materials of the 48<sup>th</sup> International. scientific. conf. young scientists, agrochemists and environmentalists “Agroecological foundations of fertilizer use in modern agriculture”. Moscow: VNIIA, 2014. P. 3–14.
16. Dzyuin A. G., Dzyuin G. P. Influence of long-term application of fertilizers on nutrient balance in soil // *Agrochemical Herald*. 2015. No. 6. P. 14–17.
17. Pryanishnikov D. N. Selected articles. Moscow: Nauka, 1963. 724 p.
18. Kozlova L. M. Working out of field crop rotations at various levels of intensification of agriculture in Kirov region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014. No. 2. P. 30–34.
19. Methodological guidelines for determining the balance of nutrients of nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium. Moscow: CINA0, 2000. 42 p.
20. Balance of humus and nutrients in intensive agriculture: methodological guidelines. Kirov: North-East Agricultural Research Institute, 1989. 25 p.
21. Zamjatin S. A., Izmetjev V. M. The influence of field crop rotations on the balance of nitrogen in the soil // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2013. No. 3(34). P. 39–43.
22. Zavalin A. A., Pasyukov A. V. Nitrogen nutrition and grain quality forecast. Moscow: RASkHN, 2007. 208 p.
23. Khaibullin M. M., Kirillova G. B., Yusupova G. M., Kagirov E. S., Ismagilov R. Z., Rakhimov R. R., Sergeev V. S., Khaziev F. H., Gaifullin R. R. & Bagautdinov F. Y. Influence of percentage fertilizer systems on change of agrochemical properties of the arable layer of leach chernozem and on the crops productivity of crop rotation // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. No. 13. P. 6527–6532. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6527.6532.
24. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A., Ermakov A. A., Semenova A. I. Dynamics of the content of mobile phosphorus in the soils of the non-chernozem zone and its regulation // *Agrohimia*. 2021. No. 5. P. 14–20. DOI: 10.31857/S0002188121050100.
25. Karabutov A. P., Tyutyunov S. I., Solovichenko V. D. Mobile phosphorus and exchange potassium of typical black soil in long-term use of arable land // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. No. 6. P. 812–816. DOI: 10.35940/ijeatF1154.0886S19.
26. Shafran S. A., Kirpichnikov N. A. Scientific Basis for Predicting the Content of Mobile Forms of Phosphorus and Potassium in Soils // *Agrohimia*. 2019. No. 4. P. 3–10. DOI: 10.1134/S0002188119040112.

27. Vigovskis J., Jermuss A., Svarta A., Sarkanbarde D., Agafonova L., Stikans J. Main indices of soil fertility in the long-term drainage experiment in the Republic of Latvia // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012. No. 3. P. 136–141.

28. Abashev V. D., Kozlova L. M. Meadow clover in crop rotations in sod-podzolic soil in Kirov region // *Zemledelie*. 2009. No. 3. P. 36–37.

29. Kozlova L. M. Productivity and balance of main nutrients in crop rotations at different levels of intensification // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2019. No. 33(1). P. 6–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10102.

UDC 631.582 : 631.82 : 631.86 : 631.811

Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A., Svetlakova E. V.

### **BALANCE OF NUTRITION ELEMENTS IN CROP ROTATION UNDER BIOLOGIZED ADAPTIVE LANDSCAPE FARMING**

**Summary.** *In the light of recent developments, the use of biological techniques in crop cultivation technologies needs to be expanded. The role of crop rotations with a high proportion of legume grasses, green manure crops and intermediate crops is increasing. The purpose of the research is to study soil fertility dynamics in terms of the main nutritional elements and determine their balance for the development of the adaptive landscape farming system in the North-Eastern region of the European part of Russia. Experiments were carried out on the experimental plots of the FARC of the North-East in 2002–2009. Soil – sod-podzolic middle loamy. We analyzed data of a long-term stationary experiment in four grain-fallow-grass field crop rotations. Meteorological conditions during the years of research were close to the average long-term values and favorable for crop cultivation. The introduction of low doses of fertilizers ( $N_{45}P_{45}K_{45}$  as mineral, 11.5–22.5 t/ha as green manure) increased the content of mobile phosphorus in the soil by 11–14 mg/kg ( $LSD_{05} = 9.5$ ) in crop rotations with occupied and green manure fallows. An increase in exchangeable potassium by 15 mg/kg ( $LSD_{05} = 14.1$ ) was noted in crop rotation with two clover fields for green manure. A positive balance of nitrogen and phosphorus was obtained in crop rotation with occupied and green manure fallows. The nitrogen balance was with a higher intake of +157.8 – +483.5 kg/ha and balance intensity – 115–140 %. The balance of phosphorus has developed at +6.0...+49.6 kg/ha. The positive balance of potassium was only in crop rotations with the introduction of green manure fertilizers and intermediate crop (+69.9...+175.8 kg/ha). The intensity of the balance of these elements was 101–118 %. In the control crop rotation with bare fallow at a minimum intake of nutrients, the negative balance of nitrogen, phosphorus and potassium was obtained; the intensity was below 100 %. Productivity of crop rotation was at the level of 4.90–5.41 thousand fodder units. According to the optimal combination of productivity and the balance of nutritional elements, crop rotation with two clover fields for green manure and an intermediate crop stood out.*

**Keywords:** *balance of nitrogen, phosphorus, potassium, balance intensity, mineral fertilizers and green manure, fertility.*

Козлова Людмила Михайловна, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledel\_niish@mail.ru.

Носкова Евгения Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledel\_niish@mail.ru.

Попов Фёдор Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, заведующий лабораторией агрохимии и кормопроизводства,

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166А; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Kozlova Lyudmila Mikhailovna, Dr. Sc. (Agr.), head of the Department of crop farming, agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Noskova Eugenia Nikolaevna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of soil management, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Popov Fyodor Aleksandrovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, head of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

Svetlakova Elena Vyacheslavovna, junior researcher of the Laboratory of agrochemistry and fodder production, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: zemledele\_niish@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 28.04.2021.*

*Дата принятия к печати – 25.08.2021.*