



Федор ПРИВАЛОВ, Анатолий СКИРУХА

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по земледелию, Жодино, Республика Беларусь  
e-mail: sevooborot@tut.by*

УДК 633.1:631[582+53+417]

## Влияние структуры посевов в различных видах севооборотов на баланс фосфора и калия

В статье изложены результаты длительного стационарного полевого опыта по изучению баланса фосфора и калия в различных видах севооборотов. При внесении удобрений под возделываемые культуры в рекомендуемых дозах (как хозяйственной, так и почвенной) баланс фосфора и калия в значительной степени зависел от вида севооборота, определяемого структурой посевов, исходного содержания этих элементов в почве, а также уровня продуктивности изучаемых культур и севооборотов, оказывающих непосредственное влияние на вынос. Хозяйственный баланс подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) во всех изучаемых севооборотах складывался положительно. Фактические изменения содержания подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) в почве были меньше, чем расчетные по балансу. Более значительные отклонения фактических изменений от расчетных по хозяйственному балансу в сторону уменьшения отмечены в пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севооборотах с высоким удельным весом пропашных и менее значительные – в севооборотах с многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами. Следовательно, в севообороте без клевера или с его низким удельным весом больше закреплялось фосфора в неподвижные формы.

Хозяйственный баланс калия в зернотравяно-пропашном и зернотравяном севообороте с многолетними травами можно охарактеризовать как слабо положительный с переходом к слабо отрицательному при использовании многолетних трав в более эффективных сочетаниях, в пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севообороте с высоким удельным весом пропашных культур складывающийся баланс калия был отрицательным. Фактически изменения содержания обменного калия ( $K_2O$ ) в почве в зернотравяно-пропашном и зернотравяном севооборотах с клевером и клеверо-злаковой смеси превышали расчетные. При этом увеличение содержания  $K_2O$  в почве в таких севооборотах имело место не только при положительном, но и при слабо отрицательном хозяйственном балансе. Следовательно, возделывание клевера в севообороте в чистом виде или смеси за счет деятельности корневой системы способствует увеличению в почве доступных форм калия за счет менее доступных, пополнению обменных форм за счет необменных.

*Ключевые слова:* севообороты, фосфор, калий, баланс, почва, продуктивность, культура, травы, клевер, пропашные, структура, плодородие.

Fedor PRIVALOV, Anatolij SKIRUKHA

*Research and Practical Center of National Academy of Sciences  
of the Republic of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus  
e-mail: sevooborot@tut.by*

## The influence of the crop structure in various types of crop rotations on the balance of phosphorus and potassium

The article presents the results of a long-term stationary field experiment to study the balance of phosphorus and potassium in various types of crop rotations. When applying fertilizers to cultivated crops at recommended doses both economic and soil balance of phosphorus and potassium largely depended on the type of crop

© Привалов Ф., Скируха А., 2021

rotation, determined by the structure of crops, as well as on the initial content of those elements in soil and the level of the yield of the studied crops and crop rotations affecting directly the removal. The economic balance of mobile phosphorus ( $P_2O_5$ ) in all the studied crop rotations was positive. The actual changes in the content of mobile phosphorus ( $P_2O_5$ ) in soil were less than those calculated by the balance. More significant deviations of actual changes from the calculated ones for economic balance to the direction of decrease were observed in row, cereal row and cereal-grass-row crop rotations with a high specific weight of row crops, and less significant deviations were in crop rotations with perennial legumes and leguminous-cereal grasses. Consequently, more phosphorus was concentrated in immobile forms in crop rotation without clover or with low specific weight of clover.

The economic balance of potassium in cereal-grass-row and cereal row crop rotation with perennial grasses can be characterized as weakly positive with transition to slightly negative when perennial grasses are used in more effective combinations. In row, cereal row and cereal-grass-row crop rotation with a high specific weight of row crops the balance of potassium was negative. Actually, changes in the content of exchangeable potassium ( $K_2O$ ) in soil in cereal-grass-row and cereal grass crop rotations with clover and clover-cereal mixture were higher than the calculated ones in terms of balance. At the same time, the increase of  $K_2O$  content in soil in such crop rotations took place not only with a positive, but also with a slightly negative economic balance. Consequently, cultivation of clover in its pure form or in a mixture in crop rotation due to the root system activity contributes to the increase of available forms of potassium in soil owing to less available ones, replenishment of exchangeable forms due to non-exchangeable ones.

*Keywords:* crop rotations, phosphorus, potassium, balance, soil, productivity, crop, grasses, clover, row crops, structure, fertility.

## Введение

В настоящее время доказана тесная связь между урожаем сельскохозяйственных культур и содержанием в почве подвижных форм фосфора и калия. Поэтому повышение содержания этих питательных веществ в почве до оптимального уровня рассматривается как важное условие повышения плодородия почв. Известный английский исследователь Дж. У. Кук [3], анализируя результаты длительных опытов, делает вывод, что на почвах с низким содержанием фосфора и калия нельзя получить максимальные урожаи, сколько бы удобрений ни вносилось дополнительно. Содержание подвижных форм фосфора и калия является одним из важнейших признаков окультуренности дерново-подзолистых почв, тесно связанных с величиной урожаев [1, 2, 3, 4, 5]. По данным многолетних полевых опытов установлено, что увеличение содержания фосфора и калия в почве сопровождается достоверным приростом продуктивности севооборота вплоть до 300 мг/кг [1]. Роль фосфорного и калийного питания растений возрастает в связи с внедрением новых интенсивных сортов сельскохозяйственных культур [4]. Фосфор и калий являются важнейшими элементами, влияющими на качество урожая, принимают активное участие в образовании белковых веществ и нормализации процессов синтеза [5, 6, 7, 8].

Сельскохозяйственные культуры характеризуются разными потреблением элементов питания из почвы и влиянием на их запасы в почве [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Поэтому изучение баланса питательных веществ в севооборотах с различным соотношением культур и динамики содержания этих веществ в почве при разной структуре посевов имеет важное значение для разработки рациональных специализированных севооборотов и системы удобрений для них с целью обеспечения максимального получения продукции при одновременном повышении плодородия почвы.

Почвы Беларуси неоднородны по содержанию подвижных форм фосфора и калия в почве. По данным агрохимического обследования за 2013–2016 гг. [17, 18], содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) в пахотных почвах колеблется от <60 до >400 мг/кг и калия ( $K_2O$ ) от <80 до >400 мг/кг, средневзвешенное содержание  $P_2O_5$  – 188 мг/кг и  $K_2O$  – 218 мг/кг. Почвы, слабо обеспеченные фосфором (<100 мг/кг), составляют 15,2%, калием (<140 мг/кг) – 19,6%. Это надо учитывать при планировании баланса питательных веществ и использовании почв разной степени окультуренности. В ранее проведенных исследованиях баланс элементов питания изучался в основном в связи с применением удобрений [19, 20, 21, 22, 23, 24], но мало внимания уделялось роли различных видов севооборотов с разной структурой посевов.

## Материалы и методы

В проводимых нами исследованиях изучался баланс подвижного фосфора и обменного калия в севооборотах с разной структурой посевов с целью установления возможности накопления их подвижных форм в почве в зависимости от насыщения севооборотов зерновыми, многолетними травами и пропашными культурами. При расчете приходная часть баланса складывалась из поступ-

ления фосфора и калия с удобрениями и семенами. В расходную часть включался вынос с урожаями возделываемых культур [25].

Исследования проводили в 2011–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте, заложенном в 1978 г. в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», на дерново-подзолистом суглинке, подстилаемом с глубины 50–70 см моренным суглинком. Пахотный слой характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 2,48–2,57%, азота – 0,117–0,121%, подвижных форм фосфора – 204–262 мг/кг, калия – 155–274 мг/кг, pH – 5,7–6,1, гидролитическая кислотность составляла 2,27 мг-экв./кг почвы, сумма поглощенных оснований – 74,4 мг-экв./кг.

Исследования проводили в 3–9-польных севооборотах, в которых все поля развернуты в пространстве и во времени, что дало возможность получить данные ежегодно по всем культурам, включенным в севооборот. Общая площадь делянки достигала 75 м<sup>2</sup>, учетная – 50 м<sup>2</sup>, повторность – трехкратная. Все севообороты изучали на фоне применения 11,2 т подстилочного навоза на 1 га пашни. Минеральные удобрения вносили с учетом биологических особенностей возделываемых культур и в соответствии с рекомендациями по применению. Под все культуры в изучаемых севооборотах использовали химические средства защиты от сорняков, болезней и вредителей в соответствии с рекомендациями [26].

Исследовали 9 схем севооборотов. По видам изучаемые севообороты относятся к зернотравяно-пропашным, зернотравяным, зернопропашным, зерновым, пропашным. Удельный вес основных культур составлял: зерновых – до 75%, многолетних трав – до 50%, однолетних трав – до 12,5%, пропашных – до 100% (см. табл. 1).

Таблица 1. Структура посевов в исследуемых полевых севооборотах

№	Вид севооборота	Количество полей	Структура посевов, %			
			Зерновые и зернобобовые	Многолетние травы	Однолетние травы	Пропашные
1	Зернотравяно-пропашной	8	50	25 К.т.2	12,5	12,5
2	Зернотравяно-пропашной	8	50	25 Кл.1+Кл.1	12,5	12,5
3	Зернотравяной	9	55,6	33,3 К.т.1+К.т.2	11,1	–
4	Зернотравяной	8	37,5	50 К.з.4	12,5	–
5	Зернотравяной	8	62,5	25 Кл.1	12,5	–
6	Зернотравяно-пропашной	9	66,7	11,1 Кл.1	11,1	11,1
7	Зернотравяно-пропашной	8	50	12,5 Кл.1	12,5	25
8	Зернопропашной	4	75	–	–	25
9	Пропашной	3	–	–	–	100

Примечание:

Кл.1 – клевер 1-го года пользования;

К.т.1 и К.т.2 – клеверо-тимофеечная смесь 1-го и 2-го года пользования соответственно;

К.з.4 – клеверо-злаковая смесь 4-го года пользования.

## Основная часть

Проведенные в течение полной 8-летней ротации исследования показали, что хозяйственный и почвенный баланс подвижных форм фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и обменного калия (K<sub>2</sub>O) в различных видах севооборотов в большой степени зависели от вида севооборота с разным соотношением зерновых, многолетних трав и пропашных культур. Он был обусловлен различным уровнем продуктивности

изучаемых культур, а также различным их химическим составом, оказывающим непосредственное влияние на вынос элементов питания. Данные, представленные в таблице 2, показывают, что при применяемой системе удобрений баланс фосфора во всех изучаемых севооборотах является положительным. При этом хозяйственный баланс с наибольшим положительным значением складывался в севооборотах с более низкой продуктивностью. Так, в зернотравяно-пропашном севообороте (сев. 1), где 50% составляли зерновые и 25% – многолетние травы, при использовании клеверо-тимофеечной смеси 2 года подряд продуктивность составила 84,3 ц/га кормовых единиц. При этом в среднем за год приход фосфора превысил расход на 53,5 кг/га. Достаточно высокие показатели по приходной части  $P_2O_5$  показал зернотравяно-пропашной севооборот (сев. 2) с двумя полями клевера на разрыве. Однако в этом севообороте продуктивность достигла 89,2 ц/га к.ед., что на 5,5% выше, чем у севооборота 1. Здесь поступление фосфора с удобрениями превысило вынос его с урожаями на 41,4 кг/га, что несколько ниже, чем у зернотравяно-пропашного севооборота, где многолетние травы использовались в виде клеверо-тимофеечной смеси 2 г.п. Более высокие урожаи обеспечили больший вынос фосфора из почвы. Такая закономерность просматривалась и в зернотравяном севообороте 4, в структуре которого зерновые занимали 37,5%, а многолетние травы – 50%. При 4-летнем использовании клеверо-злаковой смеси продуктивность данного севооборота снизилась до 76,6 ц/га к.ед. (на 9,1%), в то время как положительные величины баланса увеличились до 55,7 кг/га.

С насыщением севооборотов пропашными культурами положительные величины баланса увеличивались, что связано с меньшим выносом фосфора этими культурами ввиду более низкой их продуктивности. Так, в севообороте 9, где 3 поля занимали корнеплоды, кукуруза и картофель (100% пропашных), при более высоких дозах фосфорных удобрений продуктивность составила 83,7 ц/га к.ед., что было на уровне зернотравяного севооборота 5 (83,6 ц/га к.ед.), где поступление фосфора за счет удобрений было значительно ниже. В данном севообороте при поступлении  $P_2O_5$  в почву на 1 га пашни 128,8 и выносе 61,3 кг хозяйственный баланс был наибольшим и составил +67,5 кг/га.

В отличие от фосфора, баланс калия в севооборотах складывался по-другому (см. табл. 3). Наибольший дефицит по калию наблюдался в пропашном севообороте (сев. 9) – 74,8 кг/га, в зернотравяно-пропашном (сев. 7), где однолетних трав было 12,5%, пропашных культур – 25%, он составлял 29,8 кг/га. Иная картина складывалась в зернотравяно-пропашных севооборотах (сев. 1 и 2). При одинаковой структуре посевов в севообороте 1 баланс калия при возделывании клеверо-тимофеечной смеси 2 года подряд был положительным (+8,6 кг/га). Однако в таком же севообороте 2 при возделывании клевера в двух полях на разрыве его продуктивность возросла с 84,3 до 89,2 ц/га к.ед., что увеличивало дефицит калия за счет более высокого выноса его урожаем. В этом случае баланс был отрицательным и составил –11,7 кг/га. Отрицательный баланс калия отмечался и в зернотравяном севообороте 3, где многолетние травы занимали 33,3%. При продуктивности 90,6 ц/га к.ед. баланс составил –11,4 кг/га. Баланс калия в зернотравяном севообороте 4, где зерновые занимали 37,5%, многолетние злаки 4 г.п. – 50%, и в зернотравяном севообороте 5 при 62,5% зерновых и 25% клевера 1 г.п. был положительным и составлял соответственно +7,5 и +8,6 кг/га.

Это свидетельствует о том, что более продуктивные культуры в севообороте более полно (больше) используют питательные вещества для обеспечения высоких урожаев, происходит и больший вынос основных элементов питания – подвижного фосфора и обменного калия.

Проведенные исследования показали (см. табл. 4, 5), что различные виды севооборотов и сложившиеся в них особенности балансов оказывали неодинаковое влияние на содержание подвижных форм фосфора и калия в почве. Сопоставлением фактического увеличения содержания подвижного  $P_2O_5$  в почве, определенного по агрохимическим анализам, с возможным, рассчитанным по балансу, показывает, что в почве его обнаружено меньше, чем ожидалось. Разница в среднем по изучаемым севооборотам составила 8,1–26,8%. Это может быть связано с закреплением части поступившего с удобрениями фосфора в неподвижные формы. По данным источников, такая трансформация возможна.

Таблица 2. Хозяйственный баланс  $P_{2O_5}$  в различных видах севооборотов с разной структурой посевов

№	Вид севооборота	Количество полей	Структура посевов, %				Сбор к. сл., ц/га	Поступление $P_{2O_5}$ в почву, кг/га				Вынос $P_{2O_5}$ с основным и побочным урожаем, кг/га	Баланс, ±, кг/га
			зерновые и зернобобовые	многолетние травы	однолетние травы	пропашные		с минеральными удобрениями	с навозом	с семенами	всего		
1	Зерногравяно-пропашной	8	50	25 К.т.2	12,5	12,5	84,3	75,0	28,1	1,5	104,6	51,1	+53,5
2	Зерногравяно-пропашной	8	50	25 Кл.1+Кл.1	12,5	12,5	89,2	75,0	28,1	1,6	104,6	63,2	+41,4
3	Зерногравяной	9	55,6	33,3 К.т.1+К.т.2	11,1	–	90,6	73,3	25,0	1,4	99,6	55,6	+44,0
4	Зерногравяной	8	37,5	50 К.з.4	12,5	–	76,6	75,0	28,1	0,81	103,9	48,2	+55,7
5	Зерногравяной	8	62,5	25 Кл.1	12,5	–	83,6	65,6	28,1	1,5	45,2	53,5	+41,4
6	Зерногравяно-пропашной	9	66,7	11,1 Кл.1	11,1	11,1	82,0	63,3	25,0	1,6	89,9	54,6	+35,3
7	Зерногравяно-пропашной	8	50	12,5 Кл.1	12,5	25	85,5	69,4	28,1	1,4	95,8	58,1	+37,7
8	Зернопропашной	4	75	–	–	25	79,5	67,5	28,1	1,3	96,9	51,1	+45,8
9	Пропашной	3	–	–	–	100	83,7	90	37,5	1,3	128,8	61,3	+67,5

Таблица 3. Хозяйственный баланс  $K_2O$  в различных видах севооборотов с разной структурой посевов

№	Вид севооборота	Количество полей	Структура посевов, %				Сбор к. ед., ц/га	Поступление $K_2O$ в почву, кг/га				Вынос $K_2O$ с основным и побочным урожаем, кг/га	Баланс, ±, кг/га
			зерновые и зернобобовые	многолетние травы	однолетние травы	пропашные		с минеральными удобрениями	с навозом	с семенами	всего		
1	Зерногравяно-пропашной	8	50	25 К.т.2	12,5	12,5	84,3	120,0	67,5	2,3	189,8	181,2	+8,6
2	Зерногравяно-пропашной	8	50	25 Кл.1+Кл.1	12,5	12,5	89,2	120,0	67,5	2,5	190,0	201,5	-11,7
3	Зерногравяной	9	55,6	33,3 К.т.1+К.т.2	11,1	–	90,6	116,7	60,0	2,2	178,9	190,5	-11,4
4	Зерногравяной	8	37,5	50 К.з.4	12,5	–	76,6	120,0	67,5	1,3	188,8	181,3	+7,5
5	Зерногравяной	8	62,5	25 Кл.1	12,5	–	83,6	112,5	67,5	2,3	182,3	173,7	+8,6
6	Зерногравяно-пропашной	9	66,7	11,1 Кл.1	11,1	11,1	82,0	112,2	60,0	2,4	174,6	174,9	-0,3
7	Зерногравяно-пропашной	8	50	12,5 Кл.1	12,5	25	85,5	120,0	67,5	2,3	189,8	219,6	-29,8
8	Зернопропашной	4	75	–	–	25	79,5	105,0	67,5	2	174,5	189,5	-15,0
9	Пропашной	3	–	–	–	100	83,7	150,0	90,0	2,0	242,0	316,8	-74,8

Таблица 4. Почвенный баланс фосфора в различных видах севооборотов с разной структурой посевов

№ севооборота	Вид севооборота	Структура посевов, %				Среднегодовая продуктивность севооборота, ц/га к.с.д.	Вынос фосфора с урожаем за 1 год, кг/га	Внесено с удобрениями, за 1 год, кг/га	Баланс +/- по разности внесено - вынос, кг/га	Содержание в почве (0-20 см), мг/кг			Возможные изменения в содержании в почве за 8 лет, рассчитанные по балансу, мг/кг	Фактические изменения по агрохимическим анализам, мг/кг почвы
		зерновые	многолетние травы	однолетние травы	пропашные					исходное, начало ротации	фактическое, конец ротации	рассчитанные по балансу, мг/кг		
Фосфор – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>														
1	Зернотравяно-пропашной	50	25 К.т.2	12,2	12,5	84,3	51,1	104,6	+53,5	214	245	+178	+31	
2	Зернотравяно-пропашной	50	25 Кл.1+Кл.1	12,2	12,5	89,2	63,2	104,6	+41,4	262	299	+138	+37	
3	Зернотравяной	55,6	33 Кл.1+К.т.2	11,1	–	90,6	55,6	99,6	+44,0	204	238	+147	+34	
4	Зернотравяной	37,5	50 К.з.4	12,5	–	76,6	48,2	103,9	+55,7	210	225	+185	+15	
5	Зернотравяной	62,5	25 Кл.1	12,5	–	83,6	53,5	95,2	+41,4	215	228	+139	+13	
6	Зернотравяно-пропашной	66,7	11,1 Кл.1	11,1	11,1	82,0	54,6	89,9	+35,3	217	227	+118	+10	
7	Зернотравяно-пропашной	50	12,5 Кл.1	12,5	25	85,5	58,1	98,8	+37,7	224	235	+125	+11	
8	Зернопропашной	75	–	–	25	79,5	51,1	96,9	+45,8	210	218	+153	+8	
9	Пропашной	–	–	–	100	83,7	61,3	128,8	+67,5	213	223	+225	+10	

Различия возможного и фактического накопления подвижных фосфатов существенно зависели также от структуры посевных площадей в севооборотах. Более значительные отклонения фактических изменений от расчетных по хозяйственному балансу в сторону уменьшения отмечены в пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севооборотах (сев. 6–9) с высоким удельным весом пропашных (25%) и менее значительные – в севооборотах с многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами (сев. 1–3). Следовательно, в севооборотах с высоким удельным весом пропашных культур и низким многолетних бобовых и бобово-злаковых трав в неподвижные формы закреплялось больше фосфора, чем в зернотравяном (сев. 3) и зернотравяно-пропашном севооборотах (сев. 1, 2) с клевером и клеверо-тимофеечной смесью 2 г.п.

В отличие от фосфора, влияние изучаемых севооборотов на содержание подвижных форм калия в почве было иным. Многие культуры, особенно пропашные и многолетние бобовые травы, в процессе своего развития очень требовательны к этому элементу. Поэтому во всех севооборотах, в состав которых входят пропашные культуры и многолетние бобовые травы, констатируется четко выраженный баланс между приходом и выносом калия из почвы. Так, данные наших исследований (см. табл. 5) показывают, что с наибольшей отрицательной величиной баланс калия складывается в пропашном севообороте. В нем (сев. 9) при 100% пропашных культур вынос калия с гектара был выше на 75 кг по отношению к внесению. По мере уменьшения насыщения севооборотов пропашными культурами и ввода в их структуру многолетних и однолетних трав величины отрицательного баланса по калию несколько снизились, но имели место, что связано с большим его выносом из почвы.

По содержанию калия не отмечено такой выраженной связи между расчетным балансом и фактическими изменениями содержания в почве. Известно, что калий в почве находится в различных формах, характеризующихся разной степенью подвижности и доступности для растений: воднорастворимый, обменный и необменный почвенно-поглощающего комплекса, входящий в состав минералов. Доказано, что в питании растений принимают участие все они, однако ведущим является обменный [2]. Все формы калия находятся в динамическом равновесии и могут переходить из одной формы в другую, из обменной в необменную и обратно [1, 2, 4]. Этим можно объяснить различия между расчетными и фактическими изменениями количества обменного калия в почве в наших опытах. Анализ данных отклонений показывает, что они находятся в тесной зависимости от состава и соотношения культур в севооборотах. В зернотравяных и зернотравяно-пропашных севооборотах с клевером, где пропашных не более 12,5%, фактическое увеличение содержания  $K_2O$  в почве, как правило, было выше расчетного по хозяйственному балансу. Так, в этих севооборотах оно составило +12 – +45 мг на 1 кг почвы. В пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севообороте без клевера или с его низким удельным весом (сев. 7, 8, 9) фактическое увеличение содержания  $K_2O$  в почве было отрицательным. Это означает, что в севооборотах без клевера значительная часть обменного калия переходила в необменную форму. В севооборотах же с клевером, наоборот, имело место пополнение обменного калия за счет необменного.

Следовательно, возделывание клевера в чистом виде и в смеси со злаками в севообороте способствует увеличению в почве доступных форм калия за счет менее доступных. Очевидно, это происходит за счет взаимодействия корневых выделений растений с твердой фазой почвы. Можно полагать, что клевер, имея более мощную корневую систему, больше накапливает и корневых выделений, способствующих пополнению доступного калия за счет малодоступных форм. Увеличение накопления  $K_2O$  в почве, возможно, происходило также за счет большего перемещения калия в поверхностный горизонт из нижних слоев почвы благодаря мощной корневой системе клевера. В том и другом случае возделывание данной культуры в севообороте способствует улучшению режима калийного питания растений. Клевер, таким образом, является не только большим потребителем калия, но и культурой, способствующей мобилизации доступных его форм. Можно полагать, что каждому типу севооборота с определенной системой удобрений соответствуют определенный, присущий ему уровень усвояемых форм калия в почве и способность поддерживать его по мере потребления растениями.

Таблица 5. Почвенный баланс калия в различных видах севооборотов с разной структурой посевов

№ севооборота	Вид севооборота	Структура посевов, %				Среднегодовая продуктивность севооборота, ц/га к. ед.	Внос калия с урожаем за 1 год, кг/га	Внесено с удобрениями, за 1 год, кг/га	Баланс +/-, внесено – вынос, кг/га	Содержание в почве (0–20 см), мг/кг		Возможные изменения в содержании в почве за 8 лет, рассчитанные по балансу, мг/кг	Фактические изменения по агрохимическим анализам, мг/кг почвы
		зерно-высе	многолетние травы	однолетние травы	пропашные					исходное, начало ротации	фактическое, конец ротации		
1	Зерногравяно-пропашной	50	25 К.т.2	12,2	12,5	84,3	181,2	189,8	+8,6	155	192	+27	+37
2	Зерногравяно-пропашной	50	25 Кл.1+Кл.1	12,2	12,5	89,2	201,5	190,0	-11,7	185	230	-38	+45
3	Зерногравяной	55,6	33 Кл.1+К.т.2	11,1	–	90,6	190,5	178,9	-11,4	210	227	-39	+17
4	Зерногравяной	37,5	50 К.з.4	12,5	–	76,6	181,3	188,8	+7,5	200	228	+25	+28
5	Зерногравяной	62,5	25 Кл.1	12,5	–	83,6	173,7	182,3	+8,6	237	251	+29	+14
6	Зерногравяно-пропашной	66,7	11,1 Кл.1	11,1	11,1	82,0	174,9	174,6	-0,3	254	266	-1	+12
7	Зерногравяно-пропашной	50	12,5 Кл.1	12,5	25	85,5	219,6	189,8	-29,8	219	198	-100	-21
8	Зернопропашной	75	–	–	25	79,5	189,5	174,5	-15,0	274	245	-50	-29
9	Пропашной	–	–	–	100	83,7	316,8	242,0	-74,8	224	179	-248	-45

Калий – К<sub>2</sub>O

## Выводы

1. При внесении удобрений под возделываемые культуры в рекомендуемых дозах как хозяйственный, так и почвенный баланс фосфора и калия в значительной степени зависит от вида севооборота, определяемого структурой посевов, исходного содержания этих элементов в почве, а также уровня продуктивности изучаемых культур и севооборотов, оказывающих непосредственное влияние на вынос.

2. Наиболее положительная величина баланса фосфора наблюдалась в пропашном севообороте без зерновых, однолетних и многолетних трав – +67,5 кг/га. С насыщением же севооборотов зерновыми и многолетними травами положительные величины баланса уменьшались, что связано с большим выносом фосфора данными культурами ввиду более высокой их продуктивности и содержания фосфора в урожае. Использование многолетних трав в более эффективных сочетаниях также обеспечивало больший вынос фосфора из почвы.

3. Фактические изменения содержания подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) в почве были меньше, чем расчетные по балансу. Более значительные отклонения фактических изменений от расчетных по хозяйственному балансу в сторону снижения отмечены в пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севооборотах (сев. 6–9) с высоким удельным весом пропашных (25%) и менее значительные в севооборотах (сев. 1–3) с многолетними бобовыми и бобово-злаковыми травами. Следовательно, в севообороте без клевера или с его низким удельным весом больше фосфора закреплялось в неподвижные формы. По отношению к возможным изменениям по балансу фактически изменения в севооборотах с клевером и клеверо-тимофеечной смесью 2 г.п. составляли 17–27%, а без них – 4–9%.

4. Хозяйственный баланс калия в зернотравяно-пропашном и зернотравяном севообороте с многолетними травами можно охарактеризовать как слабо положительный с переходом к слабо отрицательному при использовании многолетних трав в более эффективных сочетаниях в виде клевера и клеверо-тимофеечной смеси 2 г.п. В пропашном, зернопропашном и зернотравяно-пропашном севообороте с высоким удельным весом пропашных культур складывающийся баланс калия был отрицательным.

5. Фактически изменения содержания обменного калия ( $K_2O$ ) в почве в зернотравяно-пропашном и зернотравяном севооборотах с клевером и клеверо-злаковой смеси, как правило, были выше расчетных по балансу. При этом увеличение содержания  $K_2O$  в почве в таких севооборотах имело место не только при положительном, но и при слабо отрицательном хозяйственном балансе. Следовательно, возделывание клевера в севообороте в чистом виде или смеси благодаря деятельности корневой системы способствует увеличению в почве доступных форм калия за счет менее доступных, пополнению обменных форм за счет необменных. Почвенный баланс в севооборотах с высоким удельным весом пропашных культур без клевера или с его невысоким удельным весом складывался отрицательно.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010) / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2012. – 275 с.
2. Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 272 с.
3. Кук, Дж. У. Системы удобрений для получения максимальных урожаев / Дж. У. Кук. – М.: Колос, 1975. – 410 с.
4. Лапа, В. В. Удобрения как фактор повышения продуктивности земледелия и воспроизводства плодородия почв – состояние и перспективы / В. В. Лапа // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 38–42.
5. Прудников, В. А. Пути повышения эффективности применения извести и удобрений на дерново-подзолистой суглинистой почве: автореф. дис. ... д.-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В. А. Прудников. – Минск, 1993. – 43 с.
6. Вильдфлуш, И. Р. Удобрения и качество урожая сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. – Минск: Технопринт, 2005. – 276 с.
7. Детковская, Л. П. Влияние удобрений на урожай и качество зерна / Л. П. Детковская, Е. М. Лимантова. – Минск: Ураджай, 1987. – 135 с.
8. Толстоусов, В. П. Удобрения и качество урожая / В. П. Толстоусов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 192 с.

9. Шемпель, В. И. Влияние удобрений на накопление зернобобовыми культурами корневых и пожнивных остатков / В. И. Шемпель, Н. П. Кукреш // Земледелие и растениеводство в БССР. – Минск: Ураджай, 1967. – Т. 12. – С. 68–80.
10. Потребление и возврат в почву элементов питания культурой ячменя / Т. Н. Кулаковская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – Минск: Ураджай, 1973. – С. 99–107.
11. Ярошевич, М. И. Количество и химический состав корневых и пожнивных остатков культур зvena севооборота (ячмень, клевер, лен): дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М. И. Ярошевич. – Минск, 1973. – 189 с.
12. Шостак, Ч. А. Продуктивность и химический состав зерновых, зернобобовых и пропашных культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах, развивающихся на супесях, подстилаемых около 1 м моренным суглинком, в южной части БССР / Ч. А. Шостак, М. Н. Масный // Продуктивность и химический состав полевых культур БССР. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 55–85.
13. Никончик, П. И. Научные основы интенсивного использования пашни в севооборотах на дерново-подзолистых почвах БССР: дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.01 / П. И. Никончик. – Жодино, 1985. – 505 с.
14. Галкович, А. В. Вынос основных питательных веществ в севооборотах на дерново-подзолистых супесчаных почвах Полесья БССР / А. В. Галкович, Н. С. Галкович, А. И. Бандарович // Агрохимия. – 1988. – № 9. – С. 39–40.
15. Скируха, А. Ч. Накопление послеуборочных остатков основными зерновыми и кормовыми культурами в различных видах севооборотов / А. Ч. Скируха, А. А. Усеня, С. И. Тупик // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. – Жодино, 2003. – Вып. 39. – С. 92–98.
16. Скируха, А. Ч. Корневые и пожнивные остатки полевых культур в севообороте как резерв повышения содержания основных элементов минерального питания в почве / А. Ч. Скируха, Л. Н. Грибанов, А. А. Усеня // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск, 2017. – Вып. 53. – С. 13–19.
17. Лапа, В. В. Плодородие почв – основа устойчивого развития аграрной отрасли Республики Беларусь / В. В. Лапа // Земледелие и защита растений. – 2018. – Прил. к № 2. – С. 3–9.
18. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; ред. В. В. Лапа // Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 631 с.
19. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество озимой ржи / В. Д. Абашев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 4. – С. 26–28.
20. Масловский, В. Д. Агробиологические основы повышения качества зерна яровой пшеницы при формировании урожайности на серых лесных почвах Волго-Вятского района Нечерноземной зоны России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.09 / В. Д. Масловский. – СПб, 1992. – 48 с.
21. Гурбан, К. А. Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и ячменя на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах северо-восточной части Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / К. А. Гурбан; Белорус. НИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – 24 с.
22. Влияние систем удобрения на урожайность и качество озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / В. В. Лапа [и др.] // Главный агроном. – 2016. – № 5. – С. 20–21.
23. Макаров, Р. Ф. Влияние удобрений на урожайность и качество мягкой пшеницы / Р. Ф. Макаров, В. В. Архипова // Зерновые культуры. – 1999. – № 2. – С. 25–26.
24. Шафронов, О. Д. Динамика изменения содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых почвах / О. Д. Шафронов, В. Н. Темников // Агрохимический вестник. – 2008. – № 6. – С. 21–23.
25. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. – 26 с.
26. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

*Поступила в редакцию 29.01.2021*