

УДК 631.8.022.3:631.582:631.445.2

Т. М. СЕРАЯ, Т. М. КИРДУН, Е. Н. БОГАТЫРЕВА, О. М. БИРЮКОВА, Ю. А. БЕЛЯВСКАЯ

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА
И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ
ПОЧВЫ**

Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь, e-mail: seraya@tut.by

Изучено влияние заделки побочной продукции и доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлено, что осеннее внесение компенсирующей дозы азота по соломе не обеспечило существенного увеличения продуктивности севооборота. Показано, что внесение скорректированных доз фосфорных и калийных удобрений с учетом фосфора и калия, высвобождающихся из соломы предшественника, не привело к снижению продуктивности севооборота по сравнению с применением полных доз удобрений и позволило сохранить P_{60} и K_{360} .

Ключевые слова: дерново-подзолистая супесчаная почва, севооборот, солома, минеральные удобрения, продуктивность, агрохимические показатели.

T. M. SERAYA, T. M. KIRDUN, E. N. BOGATYROVA, O. M. BIRYUKOVA, Yu. A. BELYAVSKAYA

**THE INFLUENCE OF FERTILIZATION SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION
AND AGROCHEMICAL INDICATORS OF SODDY-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

The Institute for Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus, e-mail: seraya@tut.by

The influence of by products ploughing and mineral fertilizer doses on the crop rotation productivity and agrochemical indicators of sod-podzolic sandy loam soil is studied. It's established that autumn application of a compensatory dose of nitrogen to the straw didn't ensure the increased productivity of crop rotation. It's shown that application of correct doses of phosphorus and potassium fertilizers taking into account the phosphorus and potassium from a straw predecessor didn't bring about the reduction of the productivity of crop rotation in comparison with the application of full doses of fertilizers and allowed saving P_{60} and K_{360} .

Keywords: sod-podzolic sandy loam soil, crop rotation, straw, mineral fertilizers, productivity, agrochemical indicators.

Введение. Результаты научных исследований и практический опыт использования незерновой части урожая показывают, что солома является одним из самых дешевых и доступных источников органического вещества. Традиционно солома использовалась в качестве влагопоглощающего материала при подстилочном содержании скота. Однако в последние годы все большее распространение находит применение соломы на удобрение без отчуждения из агроценоза. В Республике Беларусь во время уборки солома зерновых, зернобобовых, гречихи, рапса, листостебельная масса кукурузы измельчается на площади около 2 млн га. С этим количеством побочной продукции в почву поступает более 4 млн т органического вещества, 30 тыс. т азота, 15 тыс. т оксида фосфора и 75 тыс. т оксида калия [1]. Однако среди ученых нет единого мнения о влиянии соломы на урожайность сельскохозяйственных культур и о необходимости внесения компенсирующих доз азота по соломе. По данным ряда авторов [2–4], в связи с тем, что разложение соломы сопровождается поглощением минерального азота почвы интенсивно развивающейся почвенной микрофлорой, для устранения негативного влияния на последующую культуру необходимо дополнительно вносить в почву на каждую тонну измельченной соломы 5–10 кг азота. Но есть данные и о том, что внесенный в почву органический углерод на каждый грамм помогает фиксировать 15–40 мг азота [5, 6]. Значение дополнительного азотного удобрения по соломе, несомненно, все больше уменьшается с повышением плодородия дерново-подзолистых почв и ежегодным применением полного минерального удобрения под сельскохозяйственные культуры.

В связи с этим одним из направлений данных исследований является установление необходимости внесения компенсирующих доз азота по соломе при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой супесчаной почве в нынешних условиях хозяйствования.

При внесении соломы в почву имеющиеся в соломе питательные вещества в процессе ее разложения высвобождаются и становятся доступными для растений. Кроме этого, вследствие усиливающейся микробиологической деятельности может изменяться доступность питательных веществ почвы для растений и тем самым косвенно их количество. При этом высвобождаемый из соломы азот поглощается микроорганизмами, которые ее разлагают, и в первый год после заделки в питание растений практически не участвует. Содержащийся в послеуборочных остатках калий находится в легкодоступной для растений форме и может участвовать в питании последующей культуры. Исследованиями зарубежных ученых установлено, что не менее половины содержащегося в соломе злаковых культур фосфора представлено легкоусвояемыми соединениями, т. е. в год действия он может быть эффективнее даже водорастворимых форм фосфорных удобрений [7]. Это позволило предположить, что при заделке соломы предшествующей культуры можно существенно снизить дозы калийных и фосфорных удобрений под последующую культуру.

Цель работы – оценить влияние заделки побочной продукции и доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Объекты и методы исследования. Стационарный технологический опыт заложен в 2010 г. в двух последовательно открывающихся полях в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. Исследования проводили в следующем севообороте (см. табл. 2): кукуруза, гибрид Дельфин – подсолнечник, гибрид Белинда – ячмень, сорт Стратус + сидеральный люпин (согласно схеме опыта) – гречиха, сорт Сапфир + сидеральный люпин (согласно схеме опыта) – овес голозерный, сорт Крепыш. Дозы минеральных удобрений под культуры: кукуруза – $N_{90+30}P_{60}K_{140}$; подсолнечник – $N_{90}P_{60}K_{120}$; ячмень – $N_{60+30}P_{60}K_{120}$; гречиха – $N_{40}P_{50}K_{90}$; овес голозерный – $N_{60+30}P_{50}K_{100}$ (за севооборот – $N_{430}P_{280}K_{570}$). Предшественник кукурузы – ячмень + сидеральный люпин (согласно схеме опыта). Повторность вариантов в опыте – четырехкратная. Общая площадь делянки – 31,2 м², учетная – 22,0 м².

Перед закладкой полевого опыта почва опытного участка характеризовалась следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: рН_{ккл} 5,7–6,0, содержание гумуса – 2,15–2,64 %, подвижных форм P_2O_5 – 120–160 мг/кг почвы, K_2O – 135–172 мг/кг почвы.

Агрохимические показатели определяли по общепринятым методикам: органическое вещество – по Тюрину (ГОСТ 26213–91); обменную кислотность – потенциметрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91).

Подготовка к закладке опыта проведена в 2010 г. Первое поле открыто в 2010 г., второе поле – в 2011 г. После уборки возделываемых культур на зерно солому распределяли по полю согласно схеме опыта. В вариантах без соломы побочную продукцию вывозили с поля. *Под кукурузу* солому ячменя измельчали из расчета 3,1 т/га, согласно схеме опыта вносили компенсирующую дозу азота в виде карбамида (N_{30}), жидкого навоза КРС (ЖН КРС) (30 т/га) и сидеральной массы люпина (135 ц/га зеленой массы), посеянного после заделки соломы ячменя. *Под подсолнечник* измельчали в среднем 6,3 т/га растительных остатков кукурузы, компенсирующую дозу азота вносили в виде карбамида (N_{30}) и ЖН КРС (30 т/га). *Под ячмень* измельчали 6,1 т/га растительных остатков подсолнечника, компенсирующую дозу азота вносили в виде карбамида (N_{42}) и ЖН КРС (30 т/га). *Под гречиху* солому ячменя измельчали из расчета 3,9 т/га, согласно схеме опыта вносили компенсирующую дозу азота в виде карбамида (N_{30}), ЖН КРС (30 т/га) и сидеральной массы люпина (50 ц/га зеленой массы), посеянного после заделки соломы ячменя. *Под овес* солому гречихи измельчали из расчета 2,4 т/га, согласно схеме опыта вносили компенсирующую дозу азота в виде карбамида (N_{10}), ЖН КРС (30 т/га) и сидеральной массы люпина (61 ц/га зеленой массы), посеянного после заделки соломы гречихи. Применяемые органические удобрения имели следующие показатели (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Показатели органических удобрений (в расчете на сухое вещество), %

Вид органического удобрения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Углерод	Влажность	Отношение C/N
Подстилочный навоз	2,18	1,14	2,77	43,2	78	20
Жидкий навоз	2,87	2,27	4,44	30	95	10
Солома ячменя (под кукурузу)	0,57	0,39	1,50	47,1	16	83
Солома кукурузы	1,10	0,49	1,72	47,0	16	43
Солома подсолнечника	0,71	0,29	3,36	43,7	16	49
Солома ячменя (под гречиху)	0,71	0,38	1,41	47,6	16	67
Солома гречихи	0,91	0,41	2,90	45,1	16	50
Солома овса	0,49	0,41	1,75	46,7	16	95
Зеленая масса сидерального люпина	2,98	0,45	2,35	48,0	85	16

Химический анализ жидкого навоза выполняли в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: влагу и сухой остаток определяли по ГОСТ 26713–85; органический углерод – ГОСТ 27980–88; общий азот – ГОСТ 26715–85; общий фосфор – ГОСТ 26717–85; общий калий – ГОСТ 26718–85.

В образцах побочной продукции (соломе зерновых, листостебельной массе кукурузы и подсолнечника) определяли содержание влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97), органического углерода (ГОСТ 27980–88), азота (ГОСТ 13496.4–93), фосфора (ГОСТ 26657–97), калия (ГОСТ 30504–97), кальция (ГОСТ 28901–91) и магния (ГОСТ 30502–97).

Минеральные удобрения в виде карбамида, суперфосфата аммонизированного и калия хлористого внесены весной под культивацию. В вариантах, где дозы фосфорных и калийных удобрений скорректированы с учетом высвобождения фосфора и калия из соломы предшественника в первый год [8], под кукурузу внесли $N_{90+30}P_{50}K_{100}$, подсолнечник – $N_{90}P_{40}K_{40}$, ячмень – $N_{60+30}P_{50}K_{0}$, гречиху – $N_{40}P_{40}K_{40}$, овес голозерный – $N_{60+30}P_{40}K_{30}$ (за севооборот – $N_{430}P_{220}K_{210}$).

При расчете продуктивности культур севооборота использовали следующие коэффициенты перевода в кормовые единицы (к.ед.): для кукурузы – 1,31; подсолнечника – 1,47; ярового ячменя: зерно – 1,25, солома – 0,36; гречихи: зерно – 0,94, солома – 0,28; овса: зерно – 1,0, солома – 0,31 [9].

Расчет баланса азота фосфора и калия выполнен по методике [10], экономической эффективности проведен по методике [11]. Для определения условного чистого дохода предварительно рассчитывали стоимость прибавки урожая каждой культуры севооборота, полученной за счет удобрений, и затраты на получение прибавки урожая от удобрений. Использованы нормативы затрат на технологические процессы, цены на удобрения и сельскохозяйственную продукцию по уровню цен в Республике Беларусь на 2015 г. в долларовом эквиваленте.

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. На дерново-подзолистой супесчаной почве при соблюдении основных элементов технологии возделывания культур продуктивность пятипольного севооборота в среднем по двум полям в варианте без удобрений составила 197 ц к.ед/га (табл. 2). Внесение $N_{430}P_{280}K_{570}$ увеличило суммарную продуктивность севооборота на 111 ц к.ед/га, или на 8,7 ц к.ед. на 1 кг NPK. За счет запашки побочной продукции возделываемых культур суммарная продуктивность увеличилась на 39 ц к.ед/га в варианте без минеральных удобрений и на 25 ц к.ед/га в варианте с внесением $N_{430}P_{280}K_{570}$.

Запашка соломы с компенсирующей дозой азота, внесенной осенью в виде карбамида (за 5 лет – 142 кг д.в/га), обеспечила увеличение продуктивности севооборота на 62 ц к.ед/га, при этом за счет азота получено 23 ц к.ед/га; в варианте с внесением NPK компенсирующая доза азота по влиянию на урожайность была не эффективной (см. табл. 2). В варианте, где солома предшественника была запахана осенью, а компенсирующая доза азота (за 5 лет – 142 кг д.в/га) внесена весной, прибавка продуктивности возделываемых культур составила 96 ц к.ед/га, при этом за счет азота получено 57 ц к.ед/га (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние разных систем удобрения на продуктивность культур севооборота

Вариант опыта	Урожайность, ц/га					Продуктивность, ц к.ед/га			
	кукуруза	подсол- нечник	ячмень	гречиха	овес	сум- марная	прибавка		
							к конт- ролю	за счет соломы и азота*	за счет азота*
1. Без удобрений (контроль)	70	22,6	20,5	15,5	18,8	197	—	—	—
2. $N_{430}P_{280}K_{570}$	96	36,0	51,7	17,5	18,9	308	111	—	—
3. ПН КРС, 60 т/га	91	28,9	22,7	16,0	17,3	236	39	—	—
4. ПН КРС, 60 т/га + $N_{430}P_{280}K_{570}$	108	35,1	50,6	16,9	17,1	321	123	—	—
5. Сидераты	77	24,3	21,9	21,5	21,5	223	25	—	—
6. Сидераты + $N_{430}P_{280}K_{570}$	98	36,2	53,2	20,7	23,3	322	125	—	—
7. Солома + сидераты	81	26,6	32,5	22,8	24,5	255	58	58	19
8. Солома + сидераты + $N_{430}P_{280}K_{570}$	101	36,3	58,5	23,7	22,5	341	144	33	8
9. Солома + сидераты + $N_{430}P_{220}K_{210}$	100	36,5	56,5	24,5	22,7	340	142	—	—
10. Солома + ЖН КРС, 150 т/га	86	31,9	40,0	23,1	25,2	286	89	89	50
11. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + $N_{430}P_{280}K_{570}$	108	36,8	60,6	23,1	21,2	357	160	49	24
12. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + $N_{430}P_{220}K_{210}$	109	38,2	60,6	25,8	22,8	367	170	—	—
13. Солома + N_{142} весной	83	31,7	46,5	25,0	22,4	294	96	96	57
14. Солома + N_{142} осенью	76	30,9	34,9	23,2	23,8	260	62	62	23
15. Солома + N_{142} осенью + $N_{430}P_{280}K_{570}$	98	36,5	59,9	24,5	23,9	342	145	34	-5
16. Солома + N_{142} осенью + $N_{430}P_{220}K_{210}$	96	37,8	59,7	25,4	23,8	342	144	—	—
17. Солома	73	27,8	31,1	21,5	19,1	236	39	39	—
18. Солома + $N_{430}P_{280}K_{570}$	98	37,8	55,8	21,7	23,0	333	136	25	—
19. Солома + $N_{430}P_{220}K_{210}$	99	38,6	55,3	22,2	22,3	335	138	—	—
HCP_{05}	6,9	3,0	3,2	1,7	1,8	23,3			

* Компенсирующая доза азота внесена в виде карбамида (N_{142}), жидкого навоза КРС (150 т/га) и сидеральной массы люпина (246 ц/га зеленой массы).

Запашка зеленой массы сидерального люпина под кукурузу, гречиху и овес обеспечила увеличение суммарной продуктивности севооборота на 25 ц к.ед/га в варианте без внесения минеральных удобрений, с внесением НРК прибавка была недостоверной (14 ц к.ед/га).

Применение соломы с внесением компенсирующей дозы азота в составе жидкого навоза КРС (за 5 лет – 150 т/га) увеличило продуктивность севооборота на 89 ц к.ед/га, при этом за счет жидкого навоза КРС получено 50 ц к.ед/га, или 33 к.ед/т навоза. В варианте с внесением $N_{430}P_{280}K_{570}$ за счет запашки соломы с жидким навозом КРС получено 49 ц к.ед/га. Высокая эффективность совместного применения соломы с жидким навозом КРС или сидератами получена и в исследованиях И. В. Русаковой [12].

Установлено, что в вариантах со сниженными дозами фосфорных и калийных удобрений с учетом фосфора и калия, высвобождающихся из запаханной соломы предшественника (вар. 9, 12, 16, 19), суммарная продуктивность за пятипольный севооборот была на уровне вариантов с внесением полных доз фосфора и калия (вар. 8, 11, 15, 18) (см. табл. 2). В результате за 5 лет сэкономлено 60 кг/га д.в. фосфора и 360 кг/га д.в. калия, что по ценам на удобрения в 2015 г. составило 103 долл/га.

Расчет экономической эффективности применяемых в опыте систем удобрения показал, что за пятилетний период минеральная система удобрения обеспечила получение чистого дохода в размере 460 долл/га при рентабельности 73 % (табл. 3).

В вариантах с органоминеральной системой удобрения чистый доход зависел от вида органического удобрения. При применении $N_{430}P_{280}K_{570}$ на фоне внесения под кукурузу подстильно-

Т а б л и ц а 3. Экономическая эффективность систем удобрения в пятипольном севообороте на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант опыта	Стоимость прибавки	Общие затраты	Чистый доход	Рентабельность, %	Себестоимость, долл/ц к.ед.
	долл/га				
2. $N_{430}P_{280}K_{570}$	1094	634	460	73	5,7
3. ПН КРС, 60 т/га	535	319	216	68	8,2
4. ПН КРС, 60 т/га + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1261	880	381	43	7,1
5. Сидераты	172	85	86	101	3,4
6. Сидераты + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1143	696	447	64	5,6
7. Солома + сидераты	411	137	273	199	2,4
8. Солома + сидераты + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1253	720	533	74	5,0
9. Солома + сидераты + $N_{430}P_{220}K_{210}$	1227	636	591	93	4,5
10. Солома + ЖН КРС, 150 т/га	705	237	469	198	2,7
11. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1410	789	622	79	4,9
12. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + $N_{430}P_{220}K_{210}$	1459	721	738	102	4,2
13. Солома + N_{142} весной	719	213	506	238	2,2
14. Солома + N_{142} осенью	467	158	309	195	2,5
15. Солома + N_{142} осенью + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1222	723	499	69	5,0
16. Солома + N_{142} осенью + $N_{430}P_{220}K_{210}$	1223	646	577	89	4,5
17. Солома	286	61	225	365	1,6
18. Солома + $N_{430}P_{280}K_{570}$	1226	662	564	85	4,9
19. Солома + $N_{430}P_{220}K_{210}$	1243	587	656	112	4,3

го навоза КРС в дозе 60 т/га, при общем повышении продуктивности севооборота, чистый доход и рентабельность были ниже, чем при минеральной системе удобрения, и составили 381 долл/га и 43 %. Соответственно, себестоимость 1 ц к.ед., полученных за счет применения минеральных удобрений, при минеральной системе удобрения была ниже (5,7 долл.), чем при органоминеральной с внесением подстилочного навоза КРС (7,1 долл.). Более эффективным с экономической точки зрения было использование в качестве органических удобрений сидератов: чистый доход составил 447 долл/га, рентабельность – 64 %. Максимальный в опыте чистый доход в вариантах с применением полных доз минеральных удобрений получен при использовании в качестве органических удобрений соломы возделываемых культур с жидким навозом КРС: чистый доход составил 622 долл/га, рентабельность – 79 % при себестоимости дополнительной продукции 4,9 долл/ц.

В вариантах со сниженными дозами фосфорных и калийных удобрений чистый доход был на уровне 577–738 долл/га при рентабельности 89–112 % и, соответственно, более низкой себестоимости дополнительной продукции – 4,2–4,5 долл/ц.

Отказ от внесения по соломе компенсирующих доз минерального азота в вариантах с применением NPK под культуру, без снижения продуктивности севооборота, обеспечил увеличение чистого дохода на 65 и 79 долл/га.

В результате исследований установлено, что наиболее низкое содержание азота в зерне изучаемых культур отмечено у кукурузы – 1,19–1,54 %, в зерне гречихи содержание азота изменялось в пределах – 1,40–1,69 %, зерне овса – 1,37–1,82 %, семенах подсолнечника – 1,66–2,31 %, зерне ячменя – 1,63–2,50 %. Что касается соломы вышеперечисленных культур, то наиболее высокое содержание азота характерно для растительных остатков кукурузы – 0,91–1,27 % и гречихи – 0,70–1,08 %, в соломе ячменя содержание азота находилось на уровне 0,61–0,80 %, подсолнечника – 0,56–0,89 %, овса – 0,22–0,79 %. Наиболее высоким содержанием фосфора отличаются семена подсолнечника 1,23–1,45 % при низком содержании данного элемента в растительных остатках – 0,24–0,35 %. В зерне гречихи содержание фосфора было на уровне 0,57–1,08 %, овса – 0,68–0,81 %, ячменя – 0,66–0,81 %, кукурузы – 0,55–0,61 %; соломы – 0,35–0,43 %, 0,44–0,68, 0,36–0,41 и 0,38–0,67 % соответственно.

По содержанию калия в основной продукции культуры расположились в следующий ряд по убыванию: подсолнечник (1,11–1,24 %) – кукуруза (0,92–1,01 %) – гречиха (0,62–0,78 %) – ячмень (0,64–0,68 %) – овес (0,40–0,48 %); в побочной продукции: подсолнечник (2,92–3,66 %) – гречиха (2,21–3,66 %) – овес (1,50–2,04 %) – кукуруза (1,49–1,84 %) – ячмень (1,12–1,62 %).

На основании учета приходных и расходных статей выполнен расчет хозяйственного баланса основных элементов питания (табл. 4). Установлено, что за севооборот положительный баланс азота в почве обеспечила органоминеральная система удобрения, где в качестве органических удобрений применялись как подстилочный навоз КРС (интенсивность баланса 109 %), так и солома возделываемых культур (интенсивность баланса 103–120 %).

Т а б л и ц а 4. Влияние разных систем удобрения на баланс элементов питания в пятипольном севообороте на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант опыта	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	баланс, ± кг/га	ИБ, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %
1. Без удобрений (контроль)	–310	9	–128	7	–369	14
2. N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	–198	70	60	126	–6	99
3. ПН КРС, 60 т/га	–169	65	–8	95	–104	80
4. ПН КРС, 60 т/га + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	59	109	204	186	230	130
5. Сидераты	–249	37	–118	24	–345	29
6. Сидераты + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	–102	85	84	136	37	106
7. Солома + сидераты	–192	58	–93	49	–107	81
8. Солома + сидераты + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	22	103	145	156	434	154
9. Солома + сидераты + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	19	103	89	136	69	109
10. Солома + ЖН КРС, 150 т/га	–180	68	32	115	127	119
11. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	45	105	284	203	681	180
12. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	31	104	223	181	313	137
13. Солома + N ₁₄₂ весной	–113	80	–132	39	–187	71
14. Солома + N ₁₄₂ осеню	–52	89	–121	37	–183	67
15. Солома + N ₁₄₂ осеню + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	156	120	116	144	355	145
16. Солома + N ₁₄₂ осеню + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	150	119	59	122	1	100
17. Солома	–278	34	–117	37	–179	67
18. Солома + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	26	103	124	149	352	147
19. Солома + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	32	104	59	122	–1	100

При минеральной системе удобрения вынос азота превышал его поступление в почву на 198 кг/га при интенсивности баланса 70 %. Хозяйственный баланс фосфора был положительным во всех вариантах с внесением фосфорных удобрений. Следует отметить, что скорректированные дозы фосфорных удобрений с учетом содержания элемента в соломе были достаточны не только для поддержания бездефицитного баланса фосфора, но и повышали его содержание в почве (интенсивность баланса – 122–181 %), при внесении полных доз фосфорных удобрений поступление P₂O₅ превышало его расход на 116–284 кг/га при интенсивности баланса 144–203 %.

Положительный баланс калия (37–681 кг/га) отмечен при органоминеральной системе удобрения во всех вариантах с полной дозой калийных удобрений.

В вариантах с применением скорректированных доз хлористого калия, где компенсирующая доза азота по соломе внесена в виде жидкого навоза КРС и сидеральной массы люпина, баланс калия также был положительным и составил 313 и 69 кг/га соответственно. Скорректированные дозы хлористого калия, внесенные по соломе с компенсирующей дозой азота в виде карбамида или без дополнительного азота, были достаточны для поддержания калия в почве на исходном уровне (см. табл. 4).

В результате агрохимического анализа почвенных образцов, отобранных перед закладкой опыта и в конце севооборота, установлено, что бездефицитный баланс гумуса обеспечила органо-минеральная система удобрения, где в качестве органических удобрений применяли подстилочный навоз КРС и солому возделываемых культур (табл. 5). В вариантах с минеральной и органической системами удобрения наблюдается тенденция к снижению содержания гумуса в почве. Следует отметить, что отказ от внесения компенсирующей дозы азота по соломе не оказал существенного влияния на содержание гумуса по сравнению с вариантами, где азот был внесен.

Т а б л и ц а 5. Влияние систем удобрения на изменение содержания гумуса и подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант опыта	Гумус, %		P ₂ O ₅ , мг/кг		K ₂ O, мг/кг	
	1	2	1	2	1	2
1. Без удобрений (контроль)	2,33	2,18	157	125	146	102
2. N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,36	2,24	163	170	157	140
3. ПН КРС, 60 т/га	2,28	2,18	151	145	146	114
4. ПН КРС, 60 т/га + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,18	2,22	159	199	148	172
5. Сидераты	2,31	2,16	160	135	150	124
6. Сидераты + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,34	2,26	158	167	149	166
7. Солома + сидераты	2,33	2,28	153	135	146	148
8. Солома + сидераты + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,36	2,38	141	159	139	214
9. Солома + сидераты + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	2,36	2,37	141	145	139	168
10. Солома + ЖН КРС, 150 т/га	2,27	2,26	152	153	148	182
11. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,25	2,33	143	198	150	272
12. Солома + ЖН КРС, 150 т/га + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	2,25	2,30	143	178	143	213
13. Солома + N ₁₄₂ весной	2,32	2,27	151	116	161	150
14. Солома + N ₁₄₂ осенью	2,29	2,25	153	123	142	138
15. Солома + N ₁₄₂ осенью + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,41	2,41	154	173	139	190
16. Солома + N ₁₄₂ осенью + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	2,39	2,38	154	164	139	166
17. Солома	2,3	2,36	157	128	158	156
18. Солома + N ₄₃₀ P ₂₈₀ K ₅₇₀	2,37	2,40	156	178	160	227
19. Солома + N ₄₃₀ P ₂₂₀ K ₂₁₀	2,38	2,39	156	166	160	178
НСР ₀₅	0,15	0,17	14	15	14	12

П р и м е ч а н и е. 1 – среднее по двум полям перед наложением схемы опыта (2010–2011 гг.); 2 – среднее по двум полям через 5 лет.

Фактическое содержание в почве подвижных форм фосфора в основном соответствовало расчетному балансу данного элемента. В вариантах с органо-минеральной системой удобрения, при внесении полных доз фосфорных удобрений, отмечено увеличение P₂O₅ в почве на 18–55 мг/кг, при внесении скорректированных доз фосфора с учетом его содержания в запаханной соломе содержание P₂O₅ осталось на исходном уровне (отмечена небольшая тенденция к увеличению) и только в варианте с применением жидкого навоза КРС увеличилось на 35 мг/кг.

Также заметные изменения произошли и с содержанием в почве подвижных форм калия. Внесение только минеральных удобрений или только подстилочного навоза КРС было недостаточным для поддержания бездефицитного баланса подвижных форм калия в почве: снижение составило 17 и 32 мг/кг почвы соответственно. Снижение данного элемента в почве произошло и при заправке сидератов (см. табл. 5).

Близким к исходному содержанию калия в почве к концу севооборота осталось в вариантах с заправкой соломы как с компенсирующими дозами азота, так и без них. Максимальный прирост содержания K₂O в почве (на 51–122 мг/кг) отмечен в вариантах с заправкой соломы и внесением полной дозы хлористого калия, при внесении скорректированных доз калия с учетом его высвобождения из запаханной соломы содержание K₂O в почве также увеличилось, но на меньшие величины – 18–70 мг/кг.

Закключение. На дерново-подзолистой супесчаной почве в вариантах с органоминеральной системой удобрения осеннее внесение компенсирующей дозы азота (в виде карбамида) по измельченной соломе предшественника в пятипольном севообороте не обеспечило существенного увеличения продуктивности возделываемых культур. Отказ от внесения компенсирующей дозы азота по соломе обеспечил снижение затрат и, соответственно, увеличение чистого дохода на 65–79 долл/га и не оказал существенного влияния на содержание гумуса в почве по сравнению с вариантами, где азот был внесен.

Внесение скорректированных доз фосфорных и калийных удобрений с учетом фосфора и калия, высвобождающихся из соломы предшественника, не привело к снижению продуктивности севооборота по сравнению с применением полных доз фосфора и калия, позволяя сэкономить 60 кг/га д.в. фосфора и 360 кг/га д.в. калия, что по ценам на удобрения на 2015 г. составило 103 долл/га, при этом содержание подвижных форм фосфора и калия в почве оставалось на исходном уровне или имело тенденцию к увеличению и увеличивалось в вариантах с внесением жидкого навоза КРС.

Список использованных источников

1. Серая, Т.М. Солома – тоже удобрение / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Белорусская нива. – 2013. – 22 нояб. (№ 210). – С. 29–33.
2. Методические указания по учету и применению органических удобрений / В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвовед. и агрохимии. – Минск, 2007. – 13 с.
3. Справочная книга по производству и применению органических удобрений / под ред. А.И. Еськова; ВНИПТИОУ. – Владимир, 2001. – С. 322–326.
4. Карелин, Г. Наиболее целесообразное использование соломы / Г. Карелин, Н. Володарская // Земледелие. – 1974. – № 8. – С. 57.
5. Донос, А.И. Роль растительных остатков в пополнении запасов минерального питания / А.И. Донос, Д.Н. Кордуняну // Агрохимия. – 1980. – № 6. – С. 63–69.
6. Верниченко, Л.Ю. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Л.Ю. Верниченко, Е.Н. Мишустин // Использование соломы как органического удобрения. – М., 1980. – С. 1–7.
7. Черепанов, Г.Г. Роль послеуборочных остатков в почвозащитном земледелии: обзор. информ. / Г.Г. Черепанов / ВНИИТЭИагропром. – М., 1991. – 52 с.
8. Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от ее видового состава и удобрения азотом / Т.М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 70–77.
9. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая / В.В. Лапа, В.Н. Босак; Ин-т почвовед. и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – С. 115–117.
10. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвовед. и агрохимии. – Минск: Белорус. науч. ин-т внедрения новых форм хоз-ния в АПК, 2007. – 24 с.
11. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвовед. и агрохимии, 2010. – 24 с.
12. Русакова, И.В. Воспроизводство плодородия почв на основе использования возобновляемых биоресурсов / И.В. Русакова // Агрохим. вест. – 2013. – № 4. – С. 7–12.

Поступила в редакцию 12.01.2016