

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.582:631.445.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОТРАВЯНЫХ СЕВООБОРОТОВ И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНОЙ И СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВАХ

В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, О.Г. Кулеш

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

В интенсивных системах земледелия ставится задача получать не только высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур хорошего качества, но и создавать условия для расширенного воспроизводства плодородия почв. В многочисленных опытах, проведенных в Республике Беларусь, установлено, что при достижении продуктивности пашни выше 50 ц к.ед./га при недостаточном уровне применения удобрений может складываться отрицательный баланс по важнейшим элементам питания: азоту, фосфору, калию, а также усиливаются процессы деградации гумуса. Поэтому существенное значение для обоснования наиболее эффективных уровней применения удобрений и целенаправленного регулирования почвенного плодородия имеют балансовые расчеты.

Оценить правильность системы удобрения можно только в условиях их длительного применения в севооборотах. Уровень применения минеральных и органических удобрений в севообороте является одним из наиболее важных факторов, определяющих его продуктивность и состояние агрохимических показателей почвенного плодородия.

Сложившаяся в период 1992–2005 гг. тенденция по снижению объемов применения минеральных и органических удобрений в сочетании с нарушением соотношения питательных веществ в сельскохозяйственном производстве определила необходимость научного поиска и разработки научно обоснованных приемов, позволяющих получать планируемую урожайность сельскохозяйственных культур за счет повышения окупаемости удобрений в севооборотах и более эффективного использования достигнутого потенциала плодородия почв. Основой такого варианта системы применения удобрений, на окультуренных дерново-подзолистых почвах, должно быть поддержание за ротацию севооборота бездефицитного баланса фосфора, калия и гумуса в почвах с оптимальным содержанием этих показателей на основе принципов воспроизводства почвенного плодородия и получения экономически обоснованной продуктивности сельскохозяйственных культур с благоприятным качеством товарной продукции.

В настоящее время агрохимической наукой республики разработан ряд рекомендаций по вопросам эффективного использования минеральных удобрений в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур, ориентирован-

ных на получение максимальной урожайности. На основании этих работ решены вопросы оптимальных доз и сроков внесения удобрений под отдельные сельскохозяйственные культуры, которые реализованы в практической деятельности хозяйств.

Поэтому в дальнейшем развитии нуждаются вопросы оптимизации применения удобрений в севооборотах с различным уровнем обеспеченности элементами питания, которые являются основой планирования потребности республики в минеральных удобрениях, а также послужат нормативной основой прогнозирования продуктивности пахотных земель.

Уровень применения минеральных удобрений в севооборотах является наиболее характерным признаком степени интенсификации земледелия, он же определяет и характер изменения агрохимических свойств почв, запасов в них элементов питания. Исследование указанных вопросов возможно только в севооборотах в условиях длительных стационарных опытов. Необходимость научного поиска для решения сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв, повышения эффективности использования средств химизации на различных уровнях плодородия почв, определения количественных закономерностей изменения агрохимических показателей почв определяет актуальность исследований [1–10].

Цель исследований – установить агрохимически обоснованные и эффективные системы удобрения, обеспечивающие формирование высокой урожайности сельскохозяйственных культур при рациональном использовании почвенных запасов элементов питания, окупаемость 1 кг NPK 10–12 к.ед. и получение растениеводческой продукции, сбалансированной по основным макро– и микроэлементам в соответствии с нормативными требованиями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению продуктивности зернотравяных севооборотов, выносу сельскохозяйственными культурами элементов питания, балансу и интенсивности баланса азота, фосфора и калия в длительных стационарных полевых опытах с удобрениями проводили в 2004–2010 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на мощном лессовидном суглинке почве, в СПК «Щемыслица» Минского района и дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой с глубины 30–50 см песком, почве в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района.

Опыты развернуты в пространстве в трех полях. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы: pH_{KCl} – 5,9–6,1, содержание P_2O_5 – 260–410, K_2O – 90–300 мг/кг почвы, гумуса – 1,9–2,0; дерново-подзолистой супесчаной почвы: pH_{KCl} – 5,7–5,9, гидролитическая кислотность – 1,58–1,92, сумма обменных оснований – 9,10–9,52 смоль(+)/кг почвы, обменные кальций – 4,4–4,8 и магний – 1,3–1,6 смоль(+)/кг почвы, содержание подвижных форм: P_2O_5 – 170–280, K_2O – 110–275 мг/кг почвы; гумуса – 2,6–3,0.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве исследования проводили в зернотравяном севообороте: пелюшко-овсяная смесь (VSB 1132123 + Стрелец) – озимое тритикале Вольтарио с подсевом клевера – клевер Витебчанин – яровая пшеница Тома – яровой рапс Янтарь. Общая площадь делянки – 69 м² (11,5 × 6 м), учетная – 45 м² (10 × 4,5 м).

На дерново-подзолистой супесчаной почве исследования проводили в зерно-травяном севообороте: горохо-овсяная смесь (VSB 1132123 + Стрелец) – ячмень Гонар – озимая рожь Зарница с подсевом клевера – клевер луговой Устойливы – озимое тритикале Вольтарио. Общая площадь делянки – 45 м² (9м x 5м), учетная – 32 м² (8м x 4,0 м).

Повторность вариантов в опытах – 4-кратная.

В схемах опытов предусматривали внесение трех доз азота на фоне фосфорных и калийных удобрений с различной интенсивностью балансов: положительные (150 компенсации выноса P₂O₅ и K₂O), поддерживающие (100) и дефицитные (50 компенсации выноса P₂O₅ и K₂O).

На дерново-подзолистой супесчаной почве осенью 2003, 2004 и 2005 гг. фоном под горохо-овсяную смесь внесено 40 т/га соломистого навоза крупного рогатого скота (НКРС), характеризующегося следующими показателями: влажность – 74,1, рН_{KCl} – 7,60, N общ. – 0,50, P₂O₅ – 0,34, K₂O – 0,57.

Минеральные удобрения (карбамид, аммофос или простой аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили под предпосевную культивацию согласно схемам опытов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Схема опыта и распределение удобрений по культурам зерно-травяного севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве (2004– 2010 гг.)

№ п/п	Сумма NPK за севооборот, кг/га	Горохоовсяная смесь 2004–2006 гг.	*Ячмень 2005–2007 гг.	**Озимая рожь с подсевом клевера 2006–2008 гг.	Клевер луговой 2007–2009 гг.	*** Озимое тритикале 2008–2010 гг.
1	Контроль без удобрений					
2	40 т/га НКРС**** – фон	40 т/га НКРС – фон	Последствие 40 т/га НКРС – фон			
3	N300P350	N60P70	N60P70	P70+N60	P70	P70+N90+30
4	N300K600	N60K120	N60K120	K120+N60	K120	K120+N90+30
5	P350K600	P70K120	P70K120	P70K120	P70K120	P70K120
6	N180P350K600	N30P70K120	N30P70K120	P70K120+N30	P70K120	P70K120+ N90
7	N300P350K600	N60P70K120	N60P70K120	P70K120+N60	P70K120	P70K120+ N90+30
8	N420P350K600	N90P70K120	N60+30P70 K120	P70K120+N60 +N30	P70K120	P70K120+ N90+30+30
9	P200K400	P40K80	P40K80	P40K80	P40K80	P40K80
10	N180P200K400	N30P40K80	N30P40K80	P40K80+N30	P40K80	P40K80+N90
11	N300P200K400	N60P40K80	N60P40K80	P40K80+N60	P40K80	P40K80+N90+30
12	N420P200K400	N90P40K80	N60+30P40 K80	P40K80+ N60+30	P40K80	P40K80+ N90+30+30
13	P100K200	P20K40	P20K40	P20K40	P20K40	P20K40
14	N180P100K200	N30P20K40	N30P20K40	P20K40+N30	P20K40	P20K40+N90
15	N300P100K200	N60P20K40	N60P20K40	P20K40+N60	P20K40	P20K40+N90+30

Примечание. *под ячмень + N30 в фазу стеблевания; **под озимую рожь N весной в фазу возобновления вегетации + N30 в фазу трубкования; *** под озимое тритикале N весной в фазу возобновления вегетации + N30 в фазу стеблевания + N30 в фазу последний лист; ****НКРС – навоз крупного рогатого скота.

Таблица 2

Схема опыта и распределение удобрений по культурам зерноотравяного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (2006 – 2011 гг.)

№ п/п	Сумма NPK за севооборот, кг/га	Пелюшкова смесь 2006–2008 гг.	* Озимое тритикале + клевер 2007–2009 гг.	Клевер луговой 2008–2010 гг.	**Яровая пшеница 2009–2011 гг.	*** Яровой рапс 2010–2011 гг.
1			Контроль без удобрений			
2	40 т/га НКРС – фон 1	40 т/га НКРС – фон	Последствие 40 т/га НКРС – фон			
3	фон 1 + N120	N30	N30	–	N30	N30
4	фон 1 + N240	N60	N60	–	N60	N60
5	фон 1 + N360	N90	N90	–	N90	N90
6	фон 1 + N240P150	N60P30	N60P30	P30	N60P30	N60P30
7	фон 1+N240K310	N60K60	N60K60	K70	N60K60	N60K60
8	Навоз + P150K310 – фон 2	P30K60	P30K60	P30K70	P30K60	P30K60
9	фон 2 + N120	N30P30K60	N30P30K60	P30K70	N30P30K60	N30P30K60
10	фон 2 + N240	N60P30K60	N60P30K60	P30K70	N60P30K60	N60P30K60
11	фон 2 + N360	N90P30K60	N90P30K60	P30K70	N90P30K60	N90P30K60
12	Навоз + P300K620 – фон 3	P60K120	P60K120	P60K140	P60K120	P60K120
13	фон 3 + N120	N30P60K120	N30P60K120	P60K140	N30P60K120	N30
14	фон 3 + N240	N60P60K120	N60P60K120	P60K140	N60P60K120	N60
15	фон 3 + N360	N90P60K120	N90P60K120	P60K140	N90P60K120	N90
16	фон 3 + N360 дробно	N60+30P60K120	N60+30P60K120	P60K140	N60+30P60K120	N60+30
17	фон 3 + N480 дробно	N90+30P60K120	N90+30P60K120	P60K140	N60+30+30P60K120	N90+30

Примечание. * под озимое тритикале N90 во время возобновления весенней вегетации + N30 в стадию стеблевания; **под яровую пшеницу + N30 в фазу кущения, + N30 в фазу начала трубкования; *** под яровой рапс N30 в фазу растяжки стебля.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве осенью 2005, 2006 и 2007 гг. фоном внесено 40 т/га соломистого навоза крупного рогатого скота под пелюшко-овсяную смесь.

В опытах применяли интегрированную систему защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

Предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли в соответствии с отраслевыми регламентами и рекомендациями по интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур [11, 12, 13].

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: обменную кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85), гидrolитическую кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212–84), сумму обменных оснований – по Каппену–Гильковицу (ГОСТ 27821–88), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91), обменные кальций и магний – методом ЦИНАО (ГОСТ 26487–85), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213). В растительных образцах после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пергидроля определяли: азот и фосфор фотоколориметрическим индофенольным и ванадо-молибдатным методами, калий – на пламенном фотометре, кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Органические удобрения анализировали по ГОСТ 26712–85–ГОСТ 26718–85 (общий азот – в модификации ЦИНАО – индофенольным методом, фосфор – молибдатным методом, калий – на пламенном фотометре).

Учет урожая – сплошной поделяночный. Балансовые расчеты проводили согласно методике РУП «Институт почвоведения и агрохимии» [14].

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с питанием растений, большое влияние оказывает водный и температурный режимы почв и воздуха в течение вегетационного периода растений. Как избыток, так и недостаток влаги и тепла негативно сказывается на урожае сельскохозяйственных культур. Наиболее близкими величинами для характеристики оптимального водного и теплового режимов почв и растений являются среднепогодные показатели осадков и температуры воздуха.

За вегетационный (апрель–август, 2004–2011 гг.) период возделывания сельскохозяйственных культур распределение осадков, температура воздуха и сумма температур выше 10 °С и ГТК отличались от среднепогодных величин.

За апрель–август 2010 г. выпало 338,6 мм осадков при средней многолетней величине 350 мм. Температура воздуха значительно превышала средний многолетний показатель: на 1,9 °С в июне, на 5,4 °С в июле и на 4,7 °С в августе. Гидротермический коэффициент (условный показатель увлажнения по Селянинову) в течение вегетационного периода изменялся в пределах 0,9–1,9, что позволило сделать заключение о слабозасушливом периоде в июне и июле.

За апрель–август 2009 г. выпало 502,8 мм осадков. Однако в апреле только 4,6 мм (ср. многол. 46 мм), а в июне 255 мм (12 июня 48, 1мм, а 23 июня 91,5 мм при средней многолетней 78 мм). Гидротермический коэффициент в течение вегетационного периода изменялся в пределах от 0,3 (апрель) до 5,6 (июнь), что свидетельствует о высоком избытке влаги не только в июне, но и в мае и в июле, т.к. месяцы с ГТК выше 1,6 характеризуются как избыточно влажные.

За апрель–август 2008 г. выпало 310,1 мм осадков, что только на 40 мм меньше среднепогодной величины (350 мм). Гидротермический коэффициент изме-

нялся в пределах от 0,8 (июнь) до 1,7 (апрель), что позволяет сделать заключение о некотором недостатке влаги, т. к. месяцы с ГТК от 1,0 до 1,3 (май и август) относятся к слабозасушливым, от 1,0 до 0,7 (июнь) – к засушливым, а от 1,3 до 1,6 (июль) – к оптимальным.

Температура воздуха всего периода вегетации 2007 г. превышала среднемноголетний уровень на 1,2–4,0°C. Количество осадков в апреле и июне в 3 и 2 раза соответственно было меньше средней многолетней величины, а сумма осадков за 5 месяцев на 70 мм ниже. Недостаток влаги и повышенная температура воздуха оказали отрицательное влияние на урожайность клевера лугового и зерновых во всех вариантах опыта при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Очень сложные погодные условия сложились в вегетационный период в 2006 г. Апрель характеризовался прохладной и сухой погодой. После посева горохо-овсяной смеси и зерновых за 15 дней при прохладной и ветреной погоде не выпало ни одного мм осадков. В период налива зерна в течение 20 дней во второй половине июня и первой – июля также осадков не было. В августе выпадение осадков было в три раза выше среднего многолетнего уровня. В сумме за 5 месяцев количество осадков превысило норму на 105 мм.

Вегетационный период 2005 г. отличался затяжной и холодной весной и количеством осадков выше средней многолетней величины в два раза в мае и очень сильным ураганым ветром и проливным дождем в течение двух суток в августе, что продлило созревание зерновых культур на две недели. Недостаток осадков ощущался в июне и июле.

Вегетационный период 2004 г. отличался затяжной и холодной весной и количеством осадков выше средней многолетней величины в июле и августе, что продлило созревание зерновых культур на две недели.

Сумма выпавших осадков за период вегетации (май–август) составила в 2004 г. – 387,4 мм, 2005 г. – 399,9 мм, 2006 г. – 455 мм, 2007 г. – 281,8 мм, 2008 – 310,1 мм, 2009 г. – 502,8 мм, 2010 г. – 338,6 мм при средней многолетней величине 302 мм. Сумма активных температур также изменялась по годам исследований, а в соответствии с этими показателями изменялся и условный показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК по Селянинову), который в 2004 г. составил 1,12–2,8, 2005 г. – 0,73–3,31, 2006 г. – 1,3–4,8, 2007 г. – 0,3–2,5, 2008 г. – 0,8–1,7, 2009 г. – 0,3–5,5, в 2010 г. – 1,0–2,7. В Беларуси вегетационные периоды с показателями ГТК 1,0–1,3 характеризуются как слабозасушливые, 1,3–1,6 оптимальные, а больше 1,6 – влажные [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованиях на дерново-подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почвах наиболее значительное влияние на продуктивность зернотравяных севооборотов оказали биологические особенности культур и удобрения. Росту урожайности пелюшко-овсяной смеси, озимых тритикале и ржи, яровых пшеницы и ячменя, рапса способствовали в большей степени возрастающие дозы азотных удобрений. В то же время продуктивность клевера лугового в вариантах с применением возрастающих доз азотных удобрений под покровную культуру снижалась, а максимальных значений достигала в вариантах с внесением фосфорных и калийных удобрений.

Среднегодовая продуктивность зернотравяного севооборота при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в удобренных вариантах составила 81,9–108,7 ц к.ед./га, в варианте без удобрений – 68,7 ц к.ед./га (табл. 3). Внесение 8 т/га севооборотной площади солоमистого навоза КРС увеличило продуктивность севооборота на 13,2 ц к.ед./га. В вариантах с отдельным внесением азотных удобрений N24–72 продуктивность севооборота составила 85,9–90,1 ц/га к.ед., при прибавке от внесения данных удобрений – 4,0–8,2 ц к.ед./га. В вариантах с внесением NP и NK– удобрений продуктивность севооборота повысилась на 9,6 и 10,6 ц к.ед./га соответственно. Введение в систему удобрения фосфора и калия повысило продуктивность в фоновых вариантах на 13,7 (P30K62) и 21,5 (P60K124) ц к.ед./га.

Таблица 3

Влияние удобрений на продуктивность зернотравяного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность основной продукции, ц/га					Средне- годовая продук- тивность, ц к.ед./га	Прибав- ка, ц к.ед./га от	Оку- пае- мость, к.ед.
	пелюш- ка-овес, з/масса	озимое трити- кале, зерно	клевер 1 года, з/масса	яровая пшени- ца, зерно	яровой рапс, семена			
Без удобре- ний	319	53,8	684	39,8	16,6	68,7	–	–
8 т	382	61,9	839	45,9	19,8	81,9	–	–
N24	430	67,9	814	51,0	22,0	85,9	4,0	16,7
N48	488	71,9	794	54,7	23,7	89,2	7,3	15,2
N72	500	74,7	756	57,5	25,4	90,1	8,2	11,4
N48P30	493	73,4	834	55,7	23,2	91,5	9,6	12,3
N48K62	494	74,0	848	56,0	23,7	92,5	10,6	9,6
P30K62	437	68,7	1036	50,3	22,3	95,6	13,7	14,9
N24P30K62	473	73,1	982	56,6	24,2	97,8	15,9	13,7
N48P30K62	508	76,6	961	59,7	25,9	100,2	18,3	13,1
N72P30K62	540	79,5	911	62,3	26,6	100,6	18,7	11,4
P60K124	457	75,4	1153	50,9	23,6	103,4	21,5	11,7
N24P60K124	520	80,4	1089	57,3	25,0	105,9	24,0	11,5
N48P60K124	558	84,0	1058	60,8	26,2	107,9	26,0	11,2
N72P60K124	568	86,8	972	62,9	28,2	106,7	24,8	9,7
N72P60K124	565	89,0	1007	64,2	27,3	108,7	26,8	10,5
N96*P60K124	575	93,1	942	67,6	26,7	108,1	26,2	9,4
HCP ₀₅	17	1,6	14	2,3	1,3	1,0		

Примечание. *Дробное внесение азотных удобрений.

При среднегодовом применении N24-72P30K62 на фоне внесения 8 т/га севооборотной площади навоза азотные удобрения повысили продуктивность севооборота на 2,2–5,0 ц к.ед./га при общей продуктивности 97,8–100,6 ц к.ед./га, при этом оплата 1 кг NPK составила 11,4–13,7 к.ед. Внесение N24–96 на фоне P60K124 обеспечило продуктивность зернотравяного севооборота 105,9–108,7 ц к.ед./га. Прибавка от внесения азотных удобрений составила 2,5–

5,3 ц к.ед./га, полного минерального удобрения – 24,0–26,8 ц к.ед./га при окупаемости 1 кг NPK 9,4–11,5 к.ед.

Максимальная продуктивность зернотравяного севооборота 107,9 ц к.ед./га получена при среднегодовом внесении N48P60K124 на фоне 8 т/га солоمیсто-го навоза КРС. Прибавка от применения азота в данном варианте составила 4,5 ц к.ед./га, NPK-удобрения – 26,0 ц к.ед./га при окупаемости 1 кг NPK 11,2 к.ед. Дальнейшее увеличение доз азотных удобрений не приводило к повышению продуктивности севооборота, что обусловлено, в первую очередь, отрицательным действием азота на развитие растений клевера в первый год жизни. Необходимо отметить, что доля клевера лугового в общей продуктивности севооборота составила 35–47 .

Таким образом, основное влияние на продуктивность зернотравяного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве оказало почвенное плодородие (62–65). Применение органических удобрений обеспечило получение 12–13 продукции, внесение фосфорных и калийных удобрений обеспечило 20 продукции севооборота. Низкое долевоe участие азотных удобрений в формировании урожая севооборота (2–5) обусловлено возделыванием в севообороте клевера лугового.

Продуктивность культур севооборота, наряду с содержанием в них элементов питания обуславливала закономерные изменения величины выноса основных элементов питания.

В исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве внесение азотных удобрений в значительной мере приводило не только к росту урожая, но и повышало содержание азота в сухой массе растений, поэтому с увеличением доз азотных удобрений закономерно рос и вынос этого элемента в вариантах опыта.

В варианте без удобрений вынос азота за ротацию севооборота составил 591 кг/га (табл. 4). Внесение органических удобрений способствовало увеличению выноса азота на 124 кг/га. Применение азотных удобрений в наибольшей степени влияло на величину выноса данного элемента. В варианте с наибольшей дозой удобрений (N480P300K620) этот показатель достигал 1042 кг/га, в то время как в варианте с наибольшей продуктивностью (N240P300K620) этот показатель составил 946 кг/га. Таким образом, в зернотравяном севообороте с возделыванием клевера лугового увеличение доз азотных удобрений с 240 до 480 кг д.в./га на фоне P300K620 приводило к неэффективному использованию азота, вынос увеличился на 96 кг/га при недостоверном увеличении продуктивности севооборота.

Таблица 4

Вынос элементов питания за ротацию зернотравяного севооборота

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг / т				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Без удобрений	591	234	611	214	125	17,2	6,8	17,8	6,2	3,6
Навоз, 40 т– фон 1	715	281	806	259	144	17,4	6,9	19,7	6,3	3,5
Фон 1 + N120	768	299	907	264	141	17,9	7,0	21,1	6,1	3,3
Фон 1 + N240	829	322	968	275	150	18,6	7,2	21,7	6,2	3,4
Фон 1 + N360	861	327	965	282	149	19,1	7,3	21,4	6,3	3,3

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг /т				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Фон 1 + N240P150	853	328	954	280	158	18,7	7,2	20,9	6,1	3,5
Фон 1 + N240K310	821	316	1079	253	140	17,7	6,8	23,3	5,5	3,0
Фон 1 + P150K310 – фон 2	797	314	1103	263	146	16,7	6,6	23,1	5,5	3,1
Фон 2 + N120	842	332	1146	264	149	17,2	6,8	23,4	5,4	3,0
Фон 2 + N240	887	345	1177	276	152	17,7	6,9	23,5	5,5	3,0
Фон 2 + N360	931	355	1195	296	155	18,5	7,1	23,8	5,9	3,1
Фон 1 + P300K620 – фон 3	854	335	1233	276	147	16,5	6,5	23,8	5,3	2,8
Фон 3 + N120	896	355	1266	281	152	16,9	6,7	23,9	5,3	2,9
Фон 3 + N240	946	376	1326	290	156	17,5	7,0	24,6	5,4	2,9
Фон 3 + N360	986	385	1355	295	158	18,5	7,2	25,4	5,5	3,0
Фон 3 + N360	1005	387	1378	296	159	18,5	7,1	25,3	5,4	2,9
Фон 3 + N480	1042	391	1408	304	164	19,3	7,2	26,0	5,6	3,0

Удельный вынос азота изменялся в вариантах опыта от 16,5 до 19,3 кг/т к.ед. Внесение азотных удобрений увеличивало на 0,4–0,5 кг (в зависимости от фона) затраты данного элемента на формирование 1 т к.ед. основной и соответствующего количества побочной продукции культур севооборота.

Баланс азота за ротацию севооборота был отрицательным и изменялся в пределах от – 14 до –139 кг/га при интенсивности баланса 63,4–95,4 (табл. 5). Оптимальные параметры интенсивности баланса азота, предложенные Институтом почвоведения и агрохимии, при продуктивности, полученной в нашем опыте, должны составлять более 130. Наименьшая разница между приходом и расходом азота наблюдалась в варианте с внесением за ротацию севооборота 360 кг д.в./га азота на фоне внесения органических удобрений, интенсивность баланса при этом составила 95,4. Таким образом, внесение азотных удобрений и возделывание в севообороте клевера лугового полностью не компенсировало вынос данного элемента культурами севооборота.

В вариантах, где не вносили азотные удобрения, расход данного элемента значительно превышал его приход. В фоновых вариантах с внесением P150K310 и P300K620 на фоне органических удобрений баланс азота составил соответственно –80 и –88 кг/га, в варианте без удобрения – –139 кг/га. В варианте оптимальном по продуктивности баланс азота составил – 45 кг/га при интенсивности баланса 90,2 .

Суммарный вынос фосфора за ротацию севооборота был не таким значительным, как вынос азота и составил в зависимости от варианта опыта 234–391 кг/га. Таким образом, вынос фосфора по отношению к варианту без удобрений вырос на 67. В варианте с наибольшей продуктивностью отчуждение данного элемента с урожаем за ротацию севооборота составило 376 кг/га.

Затраты фосфора на формирование 1 т к.ед. продукции культур севооборота ниже, чем затраты калия и азота и изменялись в меньших пределах (6,5–7,3 кг). При внесении фосфорных удобрений значения удельного выноса имеют тенденцию к снижению на 0,3–0,4 кг (в зависимости от фона). В то же время внесение азотных удобрений приводило к некоторому повышению удельного выноса фосфора.

Баланс и интенсивность баланса элементов питания в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой суглинистой почве

Вариант	Баланс элементов питания, кг/га					Интенсивность баланса,				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Без удобрений	-139	-141	-384	-252	-103	63,4	3,7	8,5	23,4	12,8
Навоз, 40 т – фон 1	-81	-108	-357	-182	-87	81,2	37,7	33,5	49,0	32,3
Фон 1 + N120	-61	-118	-418	-183	-85	86,5	35,6	30,0	48,9	32,9
Фон 1 + N240	-42	-132	-454	-189	-90	90,6	33,1	28,3	48,0	31,5
Фон 1 + N360	-14	-134	-451	-194	-89	95,4	32,8	28,5	47,5	31,7
Фон 1 + N240P150	-48	-46	-444	-194	-96	89,8	77,3	28,8	47,3	30,2
Фон 1 + N240K310	-23	-128	-332	-176	-84	93,3	33,8	53,0	49,7	33,1
Фон 1 + P150K310 – фон 2	-80	-38	-362	-185	-89	82,2	80,3	50,4	48,8	31,9
Фон 2 + N120	-63	-48	-385	-184	-90	86,5	76,4	48,8	48,6	31,6
Фон 2 + N240	-38	-56	-404	-191	-92	91,2	73,5	47,7	47,7	31,2
Фон 2 + N360	-19	-61	-409	-202	-94	94,6	71,7	47,3	46,3	30,7
Фон 1 + P300K620 – фон 3	-88	39	-257	-192	-89	81,9	119,1	69,0	47,7	31,8
Фон 3 + N120	-67	27	-276	-195	-92	86,2	112,2	67,0	47,2	31,1
Фон 3 + N240	-45	15	-309	-200	-94	90,2	106,6	64,3	46,6	30,5
Фон 3 + N360	-33	11	-322	-202	-95	92,7	104,8	63,3	46,4	30,5
Фон 3 + N360	-38	8	-340	-204	-97	91,9	103,5	62,1	46,3	30,1
Фон 3 + N480	-23	6	-354	-207	-99	94,5	102,3	61,0	45,8	29,6

В балансе фосфора наблюдаются закономерные изменения в зависимости от доз фосфорных удобрений. В вариантах, где фосфорные удобрения не вносили, баланс данного элемента был отрицательным и составил -108 – -141 кг/га при интенсивности $3,7$ – $37,7\%$. При внесении 150 кг д.в./га фосфора его баланс также был отрицательным и изменялся в пределах от -38 до -61 кг/га. Интенсивность баланса в данном случае повышалась до $71,7$ – $80,3$ и была близка к оптимальной, которая составляет 50 – 70 для почв с высокой обеспеченностью фосфором. Варианты опыта с внесением 300 кг д.в./га фосфора характеризовались положительным балансом (6 – 39 кг/га) при интенсивности $102,3$ – $119,1$.

Наиболее значительным из выносов всех основных элементов питания был вынос калия культурами севооборота. В варианте без удобрений этот показатель составил 611 кг/га. За счет увеличения продуктивности севооборота при внесении органических удобрений общий вынос калия увеличился до 806 кг/га. При повышении доз как калийных, так и азотных удобрений происходило значительное увеличение выноса калия. В вариантах с внесением возрастающих доз азотных удобрений на фоне 2 (P150K310) вынос калия составил 1146 – 1195 кг/га, на фоне 3 (P300K620) – 1266 – 1355 кг/га. В варианте с наибольшей продуктивностью (N240P300K620) вынос калия составил 1326 кг/га, при дальнейшем увеличении доз азотных удобрений до 480 кг д.в./га, при недостоверном повышении продуктивности севооборота вынос калия увеличился на 82 кг/га.

В отличие от удельного выноса фосфора для калия данный показатель увеличился с повышением доз удобрений. В варианте без удобрений этот показатель составил $17,8$ кг к.ед./т, при внесении N480P300K620 – $26,0$ кг к.ед./т. Таким образом, затраты калия на формирование 1 т к.ед. продукции культур севооборота увеличиваются с повышением доз калийных и азотных удобрений.

Расчет баланса калия в опыте показал, что потребление растениями данного элемента превышало его поступление в почву на 257–454 кг/га. В вариантах, где калий не вносился, его баланс составил –357 – –454 кг/га. При внесении за ротацию севооборота 310 кг д.в./га калия баланс данного элемента был отрицательный –332 – –409 кг/га. Внесение 620 кг д.в./га калия также не было достаточным для положительного баланса, в данном случае баланс изменялся от –257 до –354 кг/га. Интенсивность баланса калия изменялась по вариантам опыта от 8,5 до 69,0. В варианте с наибольшей продуктивностью вынос калия составил 1326 кг/га, баланс – –309 кг/га, при его интенсивности 64,3.

Общий вынос растениями кальция и магния в меньшей степени зависел от системы удобрения и составил 214–304 и 125–164 кг/га соответственно. Удельный вынос кальция и магния изменялся в небольших пределах 5,3–6,3 и 2,8–3,6 кг к.ед./т соответственно и имел тенденцию к снижению с повышением доз минеральных удобрений.

Разница между приходом и расходом кальция составила –184 – –252 кг/га, магния – –84 – –103 кг/га при интенсивности баланса 23,4–49,7 и 12,8–33,1 соответственно.

Высокая продуктивность зернотравяного севооборота, значительный вынос основных элементов питания привели к изменениям агрохимических показателей пахотного слоя исследуемой почвы, в большей мере это отразилось на содержании подвижного фосфора и калия (табл. 6).

На фоне высокого содержания фосфора в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве происходило снижение на 6–24 мг/кг почвы содержания его подвижных форм в вариантах без внесения фосфорных удобрений. При применении за ротацию севооборота 150 кг д.в./га фосфора (рассчитанного на 50 компенсации выноса) содержание подвижных фосфатов увеличилось на 5–16 мг/кг почвы только в вариантах с внесением P150K310 и N120P150K310 на фоне подстилочного навоза КРС. Применение за ротацию 300 кг д.в./га фосфора приводило к повышению количества подвижных фосфатов на 10–24 мг/кг почвы. Значительный вынос калия растениями при отрицательном балансе за ротацию севооборота привел к тому, что во всех вариантах опыта наблюдалось обеднение почвы подвижными формами калия (уменьшение на 18–80 мг/кг почвы).

За ротацию севооборота в зависимости от системы удобрения показатель кислотности pH имел тенденцию к снижению на 0,04–0,29 ед., содержание гумуса снизилось на 0,04–0,23.

На дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем за три года (2004–2006 гг.) урожайность зеленой массы горохо-овсяной смеси (VSB 1132123 + Стрелец) формировалась на уровне 244–404 ц/га. При внесении минеральных удобрений на фоне 40 т/га органических урожайность зеленой массы практически не зависела от доз фосфорных и калийных удобрений, а увеличивалась при нарастании доз азотных удобрений. оптимальная, математически достоверная урожайность 393 ц/га зеленой массы формировалась при применении системы удобрения с поддерживающими балансами фосфора и калия N30P40K80 на фоне 40 т/га НКРС, при самой высокой в опыте оплате минеральных удобрений (NPK) 54,7 кг зеленой массы горохо-овсяной смеси. Сбор сухого вещества при данной системе удобрения составил 78,7 ц/га. Максимальная оплата азотных удобрений зеленой массой 166 и 94 кг получена при применении N30 на фоне положительных и поддерживающих балансов фосфора и калия P70K120 и P40K80.

Таблица 6

**Динамика агрохимических показателей пахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы
в зернотравяном севообороте**

№ п/п	pH _{KCl}		P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг			Гумус,			
	2005–2006	2010–2011	+	2005–2006	2010–2011	+	2005–2006	2010–2011	+	2005–2006	2010–2011	+
1	6,07	6,00	-0,07	265	243	-22	92	74	-18	1,79	1,59	-0,20
2	6,10	6,05	-0,05	257	251	-6	121	92	-29	1,87	1,73	-0,14
3	6,08	5,98	-0,10	277	266	-11	146	81	-65	1,92	1,81	-0,11
4	6,05	5,99	-0,06	289	279	-10	139	87	-52	1,91	1,78	-0,13
5	6,06	6,01	-0,05	294	274	-20	152	87	-65	1,95	1,87	-0,08
6	6,10	6,00	-0,10	326	306	-20	156	88	-68	2,01	1,78	-0,23
7	6,09	5,95	-0,14	307	283	-24	212	132	-80	1,96	1,75	-0,21
8	5,99	5,88	-0,11	362	378	16	226	185	-41	1,90	1,79	-0,11
9	6,04	5,84	-0,20	357	362	5	220	169	-51	1,86	1,76	-0,10
10	5,92	5,82	-0,10	363	346	-17	205	150	-55	1,91	1,77	-0,14
11	5,99	5,85	-0,14	353	343	-10	209	191	-18	1,92	1,88	-0,04
12	6,00	5,88	-0,12	410	420	10	300	261	-39	1,94	1,83	-0,11
13	5,99	5,85	-0,14	414	431	17	299	248	-51	1,91	1,78	-0,13
14	5,98	5,88	-0,10	409	433	24	284	264	-20	1,97	1,86	-0,11
15	5,92	5,76	-0,16	416	433	17	298	233	-65	1,96	1,84	-0,12
16	5,94	5,65	-0,29	406	424	18	277	238	-39	1,96	1,83	-0,13
17	5,96	5,67	-0,29	387	406	19	273	218	-55	1,92	1,83	-0,09
НСР				24,6	26,3		26	29				

На фоне интегрированной системы защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, оптимальный уровень урожая ячменя 38–54 ц/га обеспечивался при применении N60P40K80 (PK на поддерживающие балансы) +N30 в фазу начала стеблевания на фоне последействия 40 т/га органических удобрений, а в среднем за три года 48,7 ц/га (табл. 7).

Таблица 7

Влияние различных систем применения удобрений на урожайность культур и продуктивность зернотравяного севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, ц/га

Среднегодовое применение удобрений, кг д.в./га	Горохо-овсяная смесь	Яровой ячмень	Озимая рожь	Клевер 1 года пользования	Озимое тритикале	Среднегодовая продуктивность, ц к.ед./га	Прибавка, ц к.ед. от минеральных удобрений	
							Прибавка, ц к.ед. от	Окупаемость, к. ед.
1. Без удобрений	244	31,2	32,8	509	40,5	60,5	–	–
2. 8 т/га НКРС – фон	311	37,0	38,4	596	41,5	70,2	9,7	–
3. N60P70	356	46,5	63,5	616	67,5	90,1	19,9	15,3
4. N60K120	345	44,8	62,5	588	65,4	87,1	16,9	9,4
5. P70K120	354	44,5	47,7	671	48,1	81,7	11,5	6,0
6. N36P70K120	403	47,5	57,1	694	65,8	93,1	22,9	10,1
7. N60P70K120	394	47,9	62,3	669	68,2	93,9	23,7	9,5
8. N84P70K120	404	49,0	72,6	582	73,6	95,5	25,3	9,2
9. P40K80	365	43,4	46,6	653	47,0	80,4	10,2	8,5
10. N36P40K80	393	46,4	56,3	667	66,3	91,1	20,9	13,4
11. N60P40K80	388	46,5	62,5	656	69,1	93,1	22,9	12,7
12. N84P40K80	401	48,7	71,7	608	72,6	95,9	25,7	12,6
13. P20K40	344	41,0	43,9	610	45,9	76,0	5,8	9,7
14. N36P20K40	353	43,6	53,3	629	62,9	85,4	15,2	15,8
15. N60P20K40	371	46,7	59,4	618	66,1	89,2	19,0	15,8
НСР _{0,05}	10	1,7	3,5	8	1,4	1,7		

Оптимальная урожайность зерна диплоидного сорта озимой ржи Зарница 71,7 ц/га в среднем за три года (2006–2008 гг.) формировалась при комплексном последовательном и совместном применении средств химизации (N90P40K80 на фоне последействия 40 т/га навоза КРС). При оптимальной урожайности окупаемость 1 кг NPK составила 15,9 кг и 1 кг азотных удобрений – 27,9 кг зерна.

Внесение возрастающих доз азотных удобрений (N30–90) обеспечило прибавку урожайности зерна 9,4–25,1 ц/га при увеличении содержания белка на 0,1–0,7 и сбора белка – на 102–270 кг/га.

Урожайность зеленой массы клевера лугового Устойливы в среднем за три года (2007–2009 гг.) на уровне 286–402 ц/га получена в 1-м укосе, а во 2-м укосе – 220–299 ц/га. В сумме за два укоса и в среднем за три года внесение P70K120 обеспечило урожайность зеленой массы клевера лугового Устойливы на уровне 582–694 ц/га. Внесенные под покровную культуру озимую рожь азотные удобрения в дозах 60 и 90 кг/га снижали урожайность зеленой массы клевера

1 укоса. Максимальная урожайность 694 ц/га зеленой массы формировалась при применении P70K120 и внесении N30 P70K120 под предшественник – озимую рожь. Прибавка при сравнении с внесением P40K80 и P20K40 составила 24 ц/га и 65 ц/га соответственно. Сбор сухого вещества при оптимальной урожайности составил 103,5 ц/га, или 123,2 ц/га сена, 145,5 ц/га кормовых единиц.

Среднегодовое содержание сырого белка в 1-м укосе изменялось в зависимости от системы удобрения от 13,3 до 15,0, 2-м укосе – от 13,6 до 17,0.

В среднем за три года (2008–2010 гг.) оптимальная урожайность зерна озимого тритикале Вольтарио 72,6 ц/га формировалась при комплексном последовательном и совместном применении средств химизации, в том числе N150P40K80 на фоне последействия 40 т/га навоза КРС.

При оптимальной урожайности зерна озимого тритикале прибавка зерна от NPK составила 31,1 ц/га, в том числе от азотных удобрений 25,6 ц/га, при оплате 1 кг NPK – 11,5 кг зерна и 1 кг азота – 17,1 кг зерна. Последействие органических удобрений (40 т/га) не оказало достоверного влияния на урожайность зерна озимого тритикале. Внесение возрастающих (90, 120, 150 кг/га) доз азотных удобрений на фоне P20, 40, 70, 80, 120 обеспечило прибавку урожайности зерна 17,0–25,6 ц/га при окупаемости 1 кг N – 16,8–21,5 кг зерна.

Среднегодовая продуктивность зернотравяного севооборота при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве при применении органо-минеральной системы удобрения формировалась на уровне 76,0–95,9 ц к.ед./га, в варианте без удобрений – 60,5 ц к.ед./га (см. табл. 7).

Оптимальная продуктивность зернотравяного севооборота 95,9 ц к.ед./га формировалась при применении органо-минеральной системы удобрения (среднегодовое внесение 8 т/га НКРС + N84P40K80). Азотные удобрения вносили в три срока. При применении данной системы удобрения получена прибавка от NPK 25,7 ц к.ед./га, в том числе за счет действия азота 15,5 ц к.ед./га, при оплате 1 кг NPK 12,6 кг и 1 кг азотных удобрений 18,5 кг кормовых единиц.

При применении азотных (N36,60) удобрений на фоне фосфорных и калийных в расчете на дефицитные балансы (P20K40) недобор продукции по сравнению с оптимальной по продуктивности системой удобрения составил 10,5–6,7 ц к.ед./га.

Известно, что показатель выноса элементов питания, рассчитанный на единицу основной продукции с соответствующим количеством побочной, является величиной менее варьированной, чем хозяйственный вынос, что обусловлено некоторым саморегулированием растений путем изменения как химического состава, так и соотношения между основной и побочной продукцией. Показатель выноса элементов питания с единицей основной продукции четко характеризует особенности культур. Однако, анализ многочисленных данных показал, что и эти показатели подвергаются значительному варьированию под влиянием условий выращивания: влагообеспеченности, гранулометрического состава почвы, ее агрохимических показателей, запасов подвижных элементов питания, технологии возделывания, применения минеральных и органических удобрений, особенностей сорта и др. Максимальный хозяйственный и удельный вынос элементов питания характерен для систем удобрения N84P40, 70K80, 120 на фоне действия и последействия 40 т/га НКРС. При применении N84P40, 70K80, 120 следующий удельный вынос элементов питания: N – 18,3 и 18,7 кг/т, P₂O₅ – 9,5 и 9,9 кг/т, K₂O – 26,2 и 28,6 кг/т, CaO – 4,5 и 4,6 кг/т и MgO – 3,1 кг/т (табл. 8).

**вынос элементов питания за ротацию зернотравяного севооборота
на дерново-подзолистой супесчаной почве (2004–2010 гг.)**

Применение удобрений, кг д.в./га	Хозяйственный вынос элементов питания, кг/га					Удельный вынос элементов питания, кг/т				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Без удобрений	435	190	443	153	99	15,9	7,8	14,8	4,1	3,0
2. 40 т/га нкрс – фон	504	226	596	168	104	16,0	8,5	17,9	4,2	3,0
3. N300P350	687	303	710	198	135	17,9	9,2	19,5	4,8	3,5
4. N300K600	657	283	919	174	109	17,7	8,9	25,1	4,3	2,9
5. P350 K600	588	272	894	177	108	16,6	9,2	24,6	4,3	3,0
6. N180 P350 K600	675	311	998	175	116	17,5	9,8	26,8	4,7	3,2
7. N300 P350 K600	698	319	1015	200	123	17,5	9,6	27,2	4,3	3,1
8. N420* P350 K600	734	328	1030	178	115	18,7	9,9	28,6	4,6	3,1
9. P200 K400	567	267	838	169	108	16,2	9,2	23,3	4,1	3,1
10. N180 P200 K400	656	298	920	188	119	16,9	9,2	24,4	4,5	3,1
11. N300 P200 K400	681	308	945	179	119	17,5	9,4	25,3	4,3	3,1
12. N420* P200 K400	718	314	960	180	118	18,3	9,5	26,2	4,5	3,1
13. P100K200	555	246	742	160	102	16,7	8,8	21,8	4,1	3,0
14. N180 P100K200	595	272	781	174	111	16,4	8,8	21,3	4,2	3,0
15. N300 P100 K200	651	284	822	184	121	17,3	8,9	22,4	4,5	3,2
НСП ₀₅										

Примечание. *Внесение азотных удобрений в два и три срока.

При нарастании доз азотных, фосфорных и калийных удобрений общий и удельный вынос элементов питания увеличивался.

При расчете баланса элементов питания [14] в приходную статью включено поступление азота, фосфора и калия с органическими и минеральными удобрениями; осадками и семенами (N12,4 P1,8 K11,8), среднегодовая фиксация азота свободноживущими микроорганизмами 15,0 кг/га и среднегодовая фиксация азота 1 ц зеленой массы клевера лугового – 0,35 кг азота и горохо-овсяной смеси – 0,20 кг. В статью расхода – вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами, газообразные потери азота, которые в среднем составляют 25 от общего количества, внесенного с минеральными и органическими удобрениями, вынос с инфильтрационными водами (N10K25) (табл. 9).

Баланс азота в зернотравяном севообороте с горохо-овсяной смесью и клевером луговым отрицательный в варианте без органических и минеральных удобрений, а также при внесении P20,40,70K40,80,120 (без азотных удобрений), в остальных вариантах он положительный от 0,9 (фон) до 25,5 кг/га при его интенсивности 101–114.

Баланс фосфора отрицательный при внесении фосфорных удобрений в расчете на дефицит от –5,7 до –13,3 кг/га, в фоновом варианте (–21,8 кг/га) и без удобрений (–36,3 кг/га), при внесении N60K120 (–33,1 кг/га). Положительный баланс фосфора изменялся в пределах от 0,6 до 39,1 кг/га при интенсивности баланса 101–172.

**Баланс и интенсивность баланса элементов питания за ротацию севооборота
на дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Баланс элементов питания, кг/га			интенсивность баланса,		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	- 19,8	- 36,3	- 102,8	75	5	10
2. 8 т/га нкрс – фон	3,6	- 21,8	- 105,4	101	52	27
3. N60P70	13,3	32,7	- 128,3	107	154	24
4. N60K120	15,7	- 33,1	- 49,9	110	41	76
5. P70K120	- 4,7	39,1	- 44,9	93	172	78
6. N36P70K120	5,1	31,2	- 65,8	103	150	71
7. N60P70K120	18,8	29,6	- 69,2	109	146	70
8. N84*P70K120	26,1	27,8	- 72,1	111	142	69
9. P40K80	0,8	10,1	- 73,9	96	119	62
10. N36P40K80	7,8	3,8	- 90,3	103	106	57
11. N60P40K80	19,1	1,8	- 95,2	110	103	56
12. N84*P40K80	29,8	0,6	- 98,2	114	101	55
13. P20K40	- 2,5	- 5,7	- 94,5	95	88	46
14. N36P20K40	20,8	- 11,0	- 102,4	109	80	44
15. N60P20K40	22,5	- 13,3	- 110,5	112	77	42

Примечание. *Внесение азотных удобрений в два срока.

Баланс калия отрицательный во всех вариантах опыта от - 44,9 кг/га (при внесении P70K120) до - 102,8 кг/га (без удобрений). Отрицательный баланс калия в зернотравяном севообороте объясняется очень высоким выносом калия горохо-овсяной смесью и клевером луговым. Баланс по калию отрицательный при возделывании горохо-овсяной смеси в пределах 88–167 кг/га, а по клеверу - -225– -350 кг/га. Интенсивность баланса по калию в севообороте изменялась в пределах 10–78 (табл. 9).

В среднем по трем полям содержание гумуса за ротацию севооборота изменялось в пределах ошибки опыта (различия по вариантам составили от +0,09 до -0,12). кислотность пахотного слоя достоверно повышалась на 0,15–0,34 ед. Содержание подвижного фосфора за ротацию севооборота имело тенденцию к снижению на 10–32 мг/кг почвы, а содержание подвижного калия практически во всех вариантах достоверно снизилось на 27–48 мг/кг почвы (табл. 10).

Таблица 10

**Динамика агрохимических показателей пахотного слоя дерново-подзолистой
супесчаной почвы в зернотравяном севообороте**

№ п/п	pH _{KCl}			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг			Гумус,		
	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+
1	5,82	5,66	-0,16	168	136	-32	110	71	-39	2,60	2,63	0,03
2	5,87	5,72	-0,15	185	154	-31	125	92	-33	2,79	2,76	-0,03
3	5,78	5,55	-0,23	256	226	-30	114	74	-40	2,83	2,81	-0,02
4	5,84	5,65	-0,19	187	158	-29	247	220	-27	3,02	2,90	-0,12

№ п/п	pH _{KCl}			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг			Гумус,		
	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+	2003–2005	2008–2010	+
5	5,86	5,67	–0,19	270	257	–13	275	238	–37	2,90	2,85	–0,05
6	5,81	5,54	–0,27	275	264	–11	246	213	–33	2,94	2,83	–0,11
7	5,78	5,47	–0,31	285	258	–27	239	202	–37	2,87	2,86	–0,01
8	5,72	5,38	–0,34	281	264	–17	238	202	–36	2,91	2,90	–0,01
9	5,82	5,62	–0,20	277	250	–27	246	216	–30	2,99	2,89	–0,10
10	5,77	5,57	–0,20	255	245	–10	226	188	–38	2,98	2,90	–0,08
11	5,76	5,50	–0,26	260	235	–25	202	154	–48	2,91	2,89	–0,02
12	5,75	5,42	–0,33	245	222	–23	192	148	–44	2,89	2,91	0,02
13	5,80	5,69	–0,11	237	214	–23	197	161	–36	2,88	2,85	–0,03
14	5,81	5,62	–0,19	221	199	–22	162	133	–29	3,00	2,98	–0,02
15	5,84	5,59	–0,25	217	187	30	146	109	–37	2,81	2,90	0,09
НСР	0,08	0,08		24,6	26,3		17,9	18,2		0,31	0,28	

Таким образом, при применении различных систем удобрения сельскохозяйственных культур в зернотравяном севообороте: горохо-овсяная смесь – ячмень – озимая рожь с подсевом клевера – клевер луговой – озимое тритикале в условиях окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы наиболее эффективной является органо-минеральная система удобрения, включающая применение фосфорных и калийных удобрений (P40,70K80,120) из расчета 100–150 компенсации выноса P₂O₅ и K₂O и внесение 84 кг азотных удобрений в два или три срока на фоне 8 т/га органических удобрений, при которой обеспечивается продуктивность севооборота на уровне 95,9–95,5 ц к.ед./га. Однако, при применении указанных доз органических и минеральных удобрений, в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы наблюдается повышение кислотности на 0,33–0,34 ед., снижение содержания фосфора – на 23–17 мг/кг и калия – на 44–36 мг/кг почвы. Содержание гумуса изменялось в пределах ошибки опыта.

ВЫВОДЫ

В зернотравяных севооборотах: а) пелюшко-овсяная смесь – озимое тритикале – клевер – яровая пшеница – яровой рапс на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при продуктивности культур 68,7–108,7 ц к.ед./га; б) горохо-овсяная смесь – яровой ячмень – озимая рожь с подсевом клевера – клевер луговой – озимое тритикале на дерново-подзолистой супесчаной почве при продуктивности культур 60,5–95,9 ц к.ед./га:

- общий вынос элементов питания с урожаями культур увеличивался с повышением доз удобрений; наиболее значительным был вынос калия, затем в убывающем порядке идут азот, фосфор, кальций и магний;

- при меньшем внесении фосфорных удобрений на 70 кг/га и калийных – на 20 кг/га среднегодовая продуктивность зернотравяного севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на 8,2–12,8 ц к.ед./га выше, чем на дерново-подзолистой супесчаной;

- при внесении наибольшей суммарной дозы минеральных удобрений (N480P300K620) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве вынос азота составил 1042 кг/га, фосфора – 391, калия – 1408, кальция – 304, магния – 164 кг/га; удельный вынос в данном варианте составил: азота – 19,3, фосфора – 7,2, калия – 26,0, кальция – 5,6, магния – 3,0 кг/т;
- при внесении на дерново-подзолистой супесчаной почве наибольшей дозы минеральных удобрений (N420P350K600) вынос азота составил 734 кг/га, фосфора – 328, калия – 1030, кальция – 178, магния – 115 кг/га; удельный вынос в данном варианте составил: азота – 18,7, фосфора – 9,9, калия – 28,6, кальция – 4,6, магния – 3,1 кг/т; при меньшем, чем на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве общем выносе элементов питания, удельный вынос фосфора на 2,7 кг/т и калия на 2,6 кг/т выше;
- на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве расход основных элементов питания, за исключением фосфора при внесении за ротацию 300 кг/га, превышал их поступление с удобрениями, что обусловило отрицательный баланс; баланс фосфора при внесении 300 кг/га составил 6–39 кг/га при интенсивности баланса 102,3–119,1; применение калийных удобрений в дозах 310 и 620 кг д.в./га за ротацию севооборота было недостаточным для компенсации полного выноса калия с урожаем растениеводческой продукции, отрицательный баланс калия составил – 257–409 кг/га (интенсивность – 47,3–69,0);
- на фоне высокого содержания фосфора в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве происходило снижение на 6–24 мг/кг его подвижных форм в вариантах без внесения фосфорных удобрений; при применении за ротацию севооборота 150 и 300 кг д.в./га фосфора содержание подвижных фосфатов увеличилось на 5–24 мг/кг почвы; обеднение почвы подвижными формами калия (уменьшение на 18–80 мг/кг почвы) наблюдалось во всех вариантах опыта; показатель кислотности (pH_{KCl}) имел тенденцию к снижению на 0,04–0,29 ед., содержание гумуса снизилось на 0,04–0,24 ;
- в дерново-подзолистой супесчаной почве баланс азота отрицательный в вариантах без внесения органических и минеральных удобрений, а также при внесении P20,40,70K40,80,120 (без азотных удобрений); при применении N30,60,84 на фоне PK баланс азота положительный от 0,9 (фон) до 25,5 кг/га при его интенсивности 101–114; баланс фосфора отрицательный при внесении фосфорных удобрений в дозе P20 от – 5,7 до – 13,3 кг/га и без фосфорных удобрений от – 21,8 кг/га до – 36,3 кг/га, положительный баланс фосфора при внесении P40,70 изменялся в пределах от 0,6 до 39,1 кг/га при интенсивности баланса 101–172; баланс калия отрицательный во всех вариантах опыта от – 44,9 кг/га при внесении P70K120 до – 102,8 кг/га (без удобрений); интенсивность баланса по калию в севообороте изменялась в пределах 10–78;
- в дерново-подзолистой супесчаной почве происходило снижение (повышение кислотности) показателя кислотности (pH_{KCl}) на 0,11–0,34 ед., содержания гумуса – на 0,01–0,11, содержания подвижного фосфора – на 17–32 и калия – на 27–48 мг/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагин, А.М. Влияние длительного применения различных систем удобрения в севообороте на изменение агрохимических свойств и окультуренность

почвы / А.М. Брагин // Эффективность удобрений, урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почв. – Горки: БСХА, 1989. – С. 9–23.

2. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.

3. Воспроизводство плодородия почвы при длительном применении удобрений в севообороте / А.М. Лыков [и др.] // Повышение плодородия почв и получение запланированных урожаев сельскохозяйственных культур: сб. научных трудов / Московская с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева; гл. ред. А.И. Пупонин. – М.: ТСХА, 1985. – С. 16–22.

4. Минеев, В.Г. Плодородие и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений и их последствии / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова, М.Ф. Овчинникова // Агрохимия. – 2004. – № 7. – С. 5–10.

5. Минеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

6. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011– 2015 гг. / В.Г. Гусаков [и др.], под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: МСХПРБ Госкомимущества, 2010. – 106 с.

7. Справочник агрохимика / В.В. Лапа. [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

8. Лапа, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск, 2002. – 184 с.

9. Кулеш, О.Г. Продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при различных системах удобрения в зернотравяном севообороте: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / О.Г. Кулеш; НИИПА. – Минск, 2014. – 22 с.

10. Продуктивность зернотравяного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем удобрения / В.В. Лапа [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46) – С. 89–104.

11. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 460 с.

12. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. Акад. Наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ. Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2012. – 288 с.

13. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / Нац. Акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ. Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2012. – 469 с.

14. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / Институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 24 с.

15. Мельник, В.И. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР / В.И. Мельник, М.А. Гольберг. – Минск, 1985. – 450 с.

CROP ROTATION PRODUCTIVITY AND NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM BALANCE IN CROPPING ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM AND LOAMY SOIL

V.V. Lapa, N.N. Ivakhnenko, O.G. Kulesh

Summary

It was revealed that average annual grain-grass rotation productivity on sod-podzolic loamy soil during lower phosphorus fertilization at 70 kg/ha and potassium fertilization at 20 kg/ha on 8,2–12,8 h of f.u./ha was higher than at the sod-podzolic sandy loam. Total nutrients removal with yields has increased with increasing of fertilizer doses; potassium removal was the most significant, then nitrogen, phosphorus, calcium were in descending order; it was observed at all experiment variants the depletion of mobile forms of potassium on sod-podzolic soil in the 18–80 mg/kg and 27–48 mg/kg on sandy loam soil; humus content varied in both soil variants within experimental error.

Поступила 22.04.15

УДК 631.416.4:631.582:631.8

БАЛАНС КАЛИЯ В ЧЕРНОЗЕМЕ ОПОДЗОЛЕННОМ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОМ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Г.Н. Господаренко, О.В. Никитина, Ю.И. Кривда
*Уманский национальный университет садоводства,
г. Умань, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Проблема баланса калия в земледелии очень важна и до конца не разработана. Обычно ученые предлагают полную компенсацию удобрениями выноса калия урожаем. Однако в этом, в большинстве случаев, нет никакой необходимости. Прежде всего, расчеты, выполненные на основе средних коэффициентов, как правило, не совпадают с данными по выносу в конкретных условиях, особенно на культурах с высоким выносом калия за счет ботвы (свекла сахарная), листо-стеблевой массы (кукуруза) и соломы зерновых. Значительная часть калия растительных остатков к моменту уборки урожая остается на поле, причем с существенными различиями в зависимости от погодных условий [1].

Изменение содержания подвижных форм калия в почвах находятся в определенной зависимости от состояния их баланса [2, 3, 4].

По мнению Д.Н. Прянишникова, допустимая интенсивность баланса калия должна составлять не менее 80% [5]. На черноземах типичных, выщелоченных и оподзоленных с повышенным и высоким содержанием подвижных соединений