

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631. 8.022.3: 631.445.2

ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ И ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и воспроизводство плодородия пахотных почв является задачей исключительной важности. Особую значимость это приобретает в современных условиях ведения сельского хозяйства при дефиците удобрений и их высокой стоимости.

Применение минеральных и органических удобрений, наряду с воздействием на общий уровень урожайности сельскохозяйственных культур, является наиболее существенным фактором, способствующим сохранению и повышению плодородия почв. В условиях дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется плодородием почв и применением удобрений. При нынешнем уровне плодородия почв в республике за счет минеральных и органических удобрений формируется около 45 % урожайности сельскохозяйственных культур.

В настоящее время основным требованием к системе удобрения сельскохозяйственных культур должно быть повышение окупаемости минеральных удобрений, снижение энергетических затрат на их применение и эффективное использование достигнутого потенциала плодородия почв.

Система удобрения в севообороте основывается на нескольких показателях эффективности: агрономическом, когда требуется получить максимальную продуктивность сельскохозяйственных культур и окупаемость применяемых удобрений; экономическом, в основу которого положен принцип наибольшей рентабельности и чистого дохода от применения удобрений; экологическом, предусматривающем сохранение необходимых экологических нормативов и т. д. Однако любая система удобрения должна быть направлена на сохранение, а при необходимости и на повышение плодородия почвы, что не всегда соответствует остальным показателям эффективности, в первую очередь агроэкономическим.

При этом оценить правильность систем удобрения можно только в условиях их длительного применения в севооборотах. Уровень применения удобрений в севооборотах, обеспечивающий их максимальную продуктивность и благоприятный

баланс элементов питания, может быть важным нормативным материалом при разработке мероприятий по сохранению или повышению плодородия почвы [1–5].

Цель исследования – разработать агрохимическую модель формирования высокой урожайности сельскохозяйственных культур, обеспечивающую рациональное использование почвенных запасов элементов питания, окупаемость 1 кг **НПК 8–10 к.ед.**, получение **растениеводческой продукции, сбалансированной по основным макро- и микроэлементам в соответствии с нормативными требованиями.**

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1995–2010 гг. в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области в длительном стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной, подстилаемой с глубины 0,3–0,5 м песком почве, хорошо обеспеченной фосфором и калием, изучали эффективность доз азотных удобрений на фоне фосфорных и калийных в расчете на дефицитный, поддерживающий и положительный балансы. Опыт заложен в 1986 г., до 1995 г. прошло 2 ротации зерно-пропашного севооборота. Опыт развернут в пространстве в 3-х полях. Чередование культур в севооборотах: 1995–2000 гг., 3-я ротация зерно-пропашного севооборота – картофель Орбита – ячмень Сябра – озимая рожь Верасень – овес Дукат; 1999–2005 гг., 4-ротация зерно-травяно-пропашного севооборота – картофель Скарб – ячмень Дзівосны – **озимая рожь Ігуменская с подсевом клевера лугового – клевер луговой Слуцкий ранний – озимая тритикале Міхась**; 2005–2010 гг., 5-я ротация зерно-травяного севооборота горохо-овсяная смесь – ячмень Гонар – озимая рожь Зарніца с **подсевом клевера лугового – клевер луговой Устойлівы – озимая тритикале Вольтаріо.**

Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед началом 3-й ротации севооборота: pH_{KCl} 6,1–6,3, гидролитическая кислотность – 1,58–1,92 смоль (+)/кг почвы, 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 P_2O_5 – 190–268, K_2O – 153–244 мг/кг почвы; гумуса – 2,78–2,99 %.

Под картофель осенью 1994, 1995 и 1996 гг. внесен солоmistый навоз крупного рогатого скота (НКРС) из расчета 70 т/га с содержанием N – 0,36 %, P_2O_5 – 0,18 и K_2O – 0,33 %; осенью 1998, 1999 и 2000 гг. внесено 60 т/га солоmistого навоза крупного рогатого скота (НКРС) с содержанием азота – 0,47 %, фосфора – 0,23 и калия – 0,45 %; под горохо-овсяную смесь осенью 2003, 2004 и 2005 гг. внесено 40 т/га солоmistого навоза КРС с содержанием N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,27 и K_2O – 0,35 %. Химический анализ подстилочного навоза КРС выполнен в соответствии с государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713–85, золы – по ГОСТ 26714–85, общего азота – по ГОСТ 26715–85, общего фосфора – по ГОСТ 26717–85, общего калия – по ГОСТ 26718–85.

Минеральные удобрения (аммиачную селитру, простой аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили под предпосадочную и предпосевную культивацию согласно схеме опыта на фоне действия и последействия навоза КРС (табл. 1).

2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 1

Схема опыта и распределение удобрений по 3 севооборотам на дерново-подзолистой супесчаной почве (1995–2010 гг.)

Сумма NPK за ротации севооборотов, кг/га			Сумма NPK за 3 севооборота	В среднем за год, кг д.в./га
3-я ротация, зерно-пропашной севооборот	4-я ротация, зерно-травяно-пропашной севооборот	5-я ротация, зерно-травяной севооборот		
Контроль без удобрений				
70 т/га НКРС – фон	60 т /га НКРС – фон	40 т/га НКРС – фон	170 т/га НКРС – фон	12,1 т/га – фон
N300P280	N300P350	N300P350	N900P980	N64P70
N300K510	N300K630	N300K600	N900K1740	N64K124
P280K510	P350K630	P350K600	P980K1740	P70K124
N180P280K510	N180P350K630	N180P350K600	N540P980K1740	N39P70K124
N300P280K510	N300P350K630	N300P350K600	N900P980K1740	N64P70K124
N420P280K510	N420P350K630	N420P350K600	N1260P980K1740	N90P70K124
P160K360	P200K440	P200K400	P560K1200	P40K86
N180P160K360	N180P200K440	N180P200K400	N540P560K1200	N39P40K86
N300P160K360	N300P200K440	N300P200K400	N900P560K1200	N64P40K86
N420P160K360	N420P200K440	N420P200K400	N1260P560K1200	N90P40K86
P80K180	P100K220	P100K200	P280K600	P20K43
N180P80K180	N180P100K220	N180P100K200	N540P280K600	N39P20K43
N300P80K180	N300P100K220	N300P100K200	N900P280K600	N64P20K43

Общая площадь делянки – 45 м² (9 м x 5 м), учетная для зерновых – 32 м² (8 м x 4 м), для пропашных – 22,4 м² (8 м x 2,8 м), повторность – четырехкратная.

Предпосадочную и предпосевную обработку почвы и уход за растениями осуществляли по общепринятым технологиям и в соответствии с отраслевыми регламентами [6]. В опыте применяли интегрированную систему защиты растений от сорняков, болезней и вредителей.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками: гидролитическую кислотность – по Каппену, сумму обменных оснований – по Каппену-Гильковицу, фосфор и калий в почве – по методу Кирсанова, обменные кальций и магний – по методу ЦИНАО на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ГОСТ 26570–95, ГОСТ 305–97), гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО; в растительных образцах после мокрого озоления проб в смеси серной кислоты и пероксида водорода азот и фосфор определяли фотоколориметрическим индофенольным и ванадо-молибдатным методами (ГОСТ 26657–85), калий – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504–97). Химический анализ навоза крупного рогатого скота (НКРС) выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами; определение влаги и сухого

остатка по ГОСТ 26713–85, золы – по ГОСТ 26714–85, органического вещества – по ГОСТ 27980–88, общего азота – по ГОСТ 26715–85, общего фосфора – по ГОСТ 26717–85, общего калия – по ГОСТ 26718–85. Математическая обработка экспериментального материала проведена дисперсионным методом с использованием программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность отдельных севооборотов и урожайность сельскохозяйственных культур в них рассмотрены в работах [7–9].

Органо-минеральная система удобрения, предусматривающая внесение N45–105P20–70K45–127,5 на фоне 17,5 т/га солоमистого навоза КРС, обеспечила продуктивность зерно-пропашного севооборота на уровне 54–62 ц к.ед./га. Максимальная продуктивность севооборота на уровне 61,4–62,0 ц к.ед./га получена при внесении N75+30P40,70K90,127,5 на фоне 17,5 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения продуктивность была ниже на 20,5 21,1 ц к.ед./га. При внесении парных комбинаций N75P70, N75K127,5 и P70K127,5 на фоне 17,5 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 4,7– 5,3 ц к.ед./га, 5,2– 5,8 ц к.ед./га и 10,5–11,1 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения с N75+30P40,70K90,127,5 на фоне 17,5 т/га. При отсутствии в системе удобрения азотных удобрений, при внесении P20–70K45–127,5 недобор продуктивности севооборота составил 10,5–11,1 ц к.ед./га – 14,2–14,8 и 15,5–16,1 ц к.ед./га (табл. 2).

Продуктивность зерно-травяно-пропашного севооборота при применении органо-минеральной системы удобрения, предусматривающей среднегодовое внесение N36,60,84P20,40,70K44,88,126 на фоне 12 т/га навоза КРС, формировалась на уровне 77–88 ц к.ед./га. Максимальная продуктивность севооборота 87,5 и 87,7 ц к.ед./га получена при внесении N60+24P40K88 и N60+24P70K126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения недобор продуктивности составил 23,1–23,3 ц к.ед./га. При внесении парных комбинаций N60P70, N60K126 и P70K126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 4,7–5,3 ц к.ед./га, 5,2–5,8 ц к.ед./га и 10,5–11,1 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения, включающей N60 + 24P40,70K88,126 на фоне 12,0 т/га навоза КРС. В варианте без удобрений получена среднегодовая продуктивность 56,7 ц к.ед./га. Недобор кормовых единиц по сравнению с полной дозой N36,60,84P20,40,70K44,88,126 на фоне 12 т/га НКРС составил 19,9–31,0 ц к.ед./га. Применение парных комбинаций P20,40,70 K44,88,126 на фоне 12 т/га НКРС способствовало формированию продуктивности севооборота на уровне 70,6–74,7 ц к.ед./га (табл. 2).

Продуктивность зерно-травяного севооборота формировалась на уровне 85–96 ц к.ед./га при применении органо-минеральной системы удобрения, предусматривающей среднегодовое внесение N36,60,84P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га навоза КРС. Максимальная продуктивность севооборота 95,5 и 95,9 ц к.ед./га получена при внесении N60 + 24P40K80 и N60 + 24P70K120 на фоне 8,0 т/га навоза КРС. При применении органической системы удобрения недобор продуктивности составил 25,3–25,7 ц к.ед./га. При внесении парных

2. Плодородие почв и применение удобрений

комбинаций N60P70, N60K120 и P70K120 на фоне 8 т/га навоза КРС недобор продуктивности севооборота составил 5,4–5,8 ц к.ед./га, 8,4–8,8 ц к.ед./га и 13,8–14,2 ц к.ед./га соответственно по отношению к системе удобрения, включающей N60+24P40,70K80,120 на фоне 8 т/га. В варианте без удобрений получена среднегодовая продуктивность 60,5 ц к.ед./га. Недобор кормовых единиц по сравнению с полной дозой N36,60,84P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га навоза КРС составил 25,1–35,4 ц/га. Применение парных комбинаций P20,40,70K40,80,120 на фоне 8 т/га НКРС способствовало формированию продуктивности севооборота на уровне 76,0–81,7 ц к.ед./га, прибавка составила 5,8–11,5 ц к.ед./га (табл. 2).

Таблица 2

Продуктивность зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве (1995–2010 гг.)

Среднегодовой уровень применения удобрений, кг д.в./га	Среднегодовая продуктивность севооборотов, ц к.ед./га				Прибавка, ц к.ед./га от		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений, к.ед.	
	1	2	3	среднее	НПК	N	НПК	N
1. Без удобрений	34,0	56,7	60,5	50,4	–	–	–	–
2. Навоз КРС 12,1 т/га (фон)	40,9	64,4	70,2	58,5	–	–	–	–
3. Фон + N64P70	56,7	81,7	90,1	76,2	17,7	–	13,2	–
4. Фон + N64K124	56,2	83,4	87,1	75,6	17,1	–	9,0	–
5. Фон + P70K124	50,9	74,7	81,7	69,1	10,6	–	5,4	–
6. Фон +N39P70K124	56,9	81,8	93,1	77,3	18,8	8,2	8,0	21,0
7. Фон + N64P70K124	60,4	83,1	93,9	79,1	20,6	10,0	7,9	15,6
8. Фон + N90*P70K124	62,0	87,7	95,5	81,7	23,2	12,6	8,1	14,0
9. Фон + P40 K86	47,2	72,7	80,4	66,8	8,3	–	6,4	–
10. Фон +N39P40K86	57,2	78,8	91,1	75,7	17,2	8,9	10,2	22,8
11.Фон + N64P40K86	56,8	83,0	93,1	77,6	19,1	10,8	9,9	16,9
12. Фон + N90*P40K86	61,4	87,5	95,9	81,6	23,1	14,8	10,5	16,4
13.Фон + P20K43	45,9	70,6	76,0	64,2	5,7	–	8,9	–
14. Фон + N39P20K43	54,4	76,6	85,4	72,1	13,6	7,9	13,2	20,2
15.Фон + N64P20K43	56,2	79,7	89,2	75,0	16,5	10,8	12,9	16,9
НСП ₀₅	1,9	1,4	1,2	0,86				

Примечание. Дробное внесение азотных удобрений в 2 или 3 срока. То же в табл. 4. В графе 1 – зерно-пропашной, 2 – зерно-травяно-пропашной, 3 – зерно-травяной севооборот. То же в табл. 3.

Более высокая среднегодовая продуктивность сельскохозяйственных культур в зерно-травяном севообороте была обусловлена высокой урожайностью зеленой массы горохо-овсяной смеси и кле-вера лугового, зерна озимой ржи (диплоидный сорт) и озимой тритикале и их отзывчивостью на внесенные минеральные удобрения. Среднегодовая продуктивность в варианте без внесения удобрений в зерно-травяном севообороте за счет новых сортов и культур на 78 % превысила среднегодовую продуктивность в 3-й ротации зерно-пропашного севооборота (табл. 2).

Результаты исследований показали, что максимальная среднегодовая продуктивность 3-х сево-оборотов – 81,6 и 81,7 ц к.ед./га – получена при применении среднегодовой дозы N90P40K86 и N90P70K124 на фоне органических удобрений 12 т/га, при этом 23,1 и 23,2 ц к.ед./га формировалось за счет NPK, окупаемость 1 кг д.в. NPK составила 10,5 и 8,1 к.ед., в том числе 1 кг азота 16,4 и 14,0 к.ед. соответственно (табл. 2). Органические удобрения повысили среднегодовую продуктивность изучаемых севооборотов на 8,1 ц к.ед./га (6,9–9,7 ц к.ед./га в севооборотах). При применении парной комбинации фосфорных и калийных удобрений (P20,40,70K43,86,124) среднегодовая продуктивность повысилась на 5,7–10,6 ц к.ед./га (5,0–11,5 ц к.ед./га в севооборотах), при оплате 1 кг РК 5,4–8,9 к.ед. Внесение парных комбинаций N64P70 и N64K124 обеспечило прибавку среднегодовой продуктивности севооборотов на 17,7 и 17,1 ц к.ед./га соответственно, что значительно превысило эффективность совместного применения фосфорных и калийных удобрений P20,40,70K43,86,124. Окупаемость 1 кг NP и NK составила 13,2 и 9,0 к.ед.

Продуктивность севооборотов при среднегодовом внесении разных доз азотных удобрений увеличилась в следующих пределах: при применении N39 – на 7,9–8,9 ц к.ед./га (6,0–11,4 ц к.ед./га в севооборотах), N64 – на 10,0–10,8 ц к.ед./га (8,4–13,2 ц к.ед./га в севооборотах), N90 – на 12,6–14,8 ц к.ед./га (11,1–15,5 ц к.ед./га в севооборотах). Фосфорные удобрения увеличили среднегодовую продуктивность севооборотов на 6,8 ц к.ед./га, калийные – на 3,8 ц к.ед./га (табл. 2).

Анализируя роль факторов в формировании среднегодовой (81,6 ц к.ед./га) продуктивности севооборотов на дерново-подзолистой супесчаной почве при среднегодовом применении N90P40K86 на фоне органических удобрений (навоза КРС) 12 т/га, следует отметить, что плодородие почвы имело основное значение в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур – 61,8 % (55,4 % в 3-й ротации зерно-пропашного севооборота, 64,8 % в зерно-травяно-пропашном и 63,1 % в зерно-травяном). Внесение азотных удобрений обеспечило 18,1 % (от 16,2 % в 5-й ротации до 23,1 % в 3-й ротации). Высока роль органических удобрений в зерно-пропашном севообороте – 11,2 %, в 4-й и 5-й ротациях – 8,8 и 10,1 %, в среднем за 3 ротации – 9,9 %. Роль фосфорных и калийных удобрений в формировании продуктивности севооборотов в 3-й и 5-й ротациях была одинаковой – 10,3 и 10,6 %. В среднем за 3 ротации их доля составила 10,2 % (табл. 3).

2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 3

Участие исследованных факторов в формировании продуктивности севооборотов (1995–2010 гг.)

Факторы	Севообороты							
	1-й, 1995–2000 гг.		2-й, 1999–2005 гг.		3-й, 2004–2010 гг.		в среднем за 3 севооборота	
	Доля участия факторов в формировании продуктивности севооборотов							
	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%	ц к.ед./га	%
Почва	34,0	55,4	56,7	64,8	60,5	63,1	50,4	61,8
Органические удобрения	6,9	11,2	7,7	8,8	9,7	10,1	8,1	9,9
РК-удобрения	6,3	10,3	8,3	9,5	10,2	10,6	8,3	10,2
N-удобрения	14,2	23,1	14,8	16,9	15,5	16,2	14,8	18,1
Продуктивность	61,4	100	87,5	100	95,9	100	81,6	100

В соответствии с методикой [10] был рассчитан среднегодовой баланс элементов питания за 3 ротации севооборота. В приходную статью включены: поступление азота, фосфора и калия с органическими (N53,1P26,9K46,6) и минеральными удобрениями, осадками и семенами (N12,4P1,8K11,8); среднегодовая фиксация азота (15,0 кг/га) свободноживущими микроорганизмами и среднегодовая симбиотическая фиксация азота клевером (0,35 кг/ц зеленой массы) и горохо-овсяной смесью (0,20 кг/ц зеленой массы). В статью расхода включены: вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами; газообразные потери азота, которые в среднем составили 25 % от общего количества, внесенного с минеральными и органическими удобрениями; вынос с инфильтрационными водами (N20K26).

Баланс азота был отрицательным в вариантах без удобрений и фоновом (среднегодовое внесение навоза КРС 12 т/га), а также при внесении парных комбинаций P20,40,70K43,86,124, т. е. в вариантах без внесения азотных удобрений.

Баланс фосфора был отрицательным в вариантах без удобрений (–38,6 кг/га), без минеральных удобрений (–18,5 кг/га), при последствии фосфорных удобрений при внесении парной комбинации N64K124 (–32,2 кг/га) и при внесении фосфорных удобрений в расчете на дефицитный баланс в дозе P20 (–3,0... –11,7 кг/га) (табл. 4).

**Среднегодовой баланс элементов питания за 3 севооборота
в дерново-подзолистой супесчаной почве**

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	
	баланс, ± кг/га	ИБ*, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %	баланс, ± кг/га	ИБ, %
1. Без удобрений	-35,5	62	-38,6	4	-93,3	11
2. Фон -12 т/га навоз КРС	-4,4	96	-18,5	61	-69,7	46
3.Фон + N64P70	11,4	107	37,4	161	-95,4	38
4. Фон + N64K124	13,9	109	-32,2	47	7,5	104
5. Фон + P70K124	-5,2	89	43,0	178	20,9	113
6. Фон +N39P70K124	-4,6	97	36,5	159	0,2	100
7. Фон + N64P70K124	12,2	107	35,0	155	-1,7	99
8. Фон + N90*P70K124	17,7	110	32,9	150	-9,4	95
9. Фон + P40 K86	-13,5	90	14,9	128	-10,9	93
10. Фон + N39P40K86	1,8	101	7,7	113	-23,9	86
11.Фон + N64P40K86	11,0	107	6,2	110	-32,2	82
12. Фон + N90*P40K86	21,4	112	3,0	105	-37,4	80
13.Фон + P20K43	-10,8	92	-3,0	94	-43,1	70
14. Фон + N39P20K43	5,4	104	-9,4	84	-56,3	65
15.Фон + N64P20K43	14,9	109	-11,7	81	-62,3	62

Примечание. ИБ – интенсивность баланса.

Баланс калия был положительным только при среднегодовом внесении K124 в парных комбинациях с азотными (N64K124) и фосфорными (P70K124) удобрениями, а также при полной дозе N90P70K124 на фоне навоза КРС 12 т/га.

При среднегодовом применении N90P40K86 на фоне навоза КРС 12 т/га баланс азота и фосфора был положительным – 21,4 и 3,0 кг/га соответственно, калия – отрицательным (-37,4 кг/га). При внесении N90 на фоне P70K124 баланс азота и фосфора был положительным и составил 17,7 и 32,9 кг/га при интенсивности баланса 110 и 150 % соответственно, баланс калия – отрицательным (-9,4 кг/га).

2. Плодородие почв и применение удобрений

Таблица 5
Изменение агрохимических показателей пахотного слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы при
возделывании зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов 1995–2010 гг.

Вариант	pH _{KCl}				P ₂ O ₅ , мг/кг				K ₂ O, мг/кг				Гумус, %							
	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	+	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	+	1994–1996 гг.	1998–2000 гг.	2003–2005 гг.	2008–2010 гг.	+					
1. Без удобрений	6,18	6,13	6,82	5,66	0,52	190	181	168	136	-54	153	133	110	71	-82	2,83	2,84	2,60	2,63	-0,3
2. 12,1 т/га – фон	6,21	6,22	5,87	5,72	-0,49	194	200	185	154	-40	169	158	125	92	-77	2,79	2,94	2,79	2,76	-0,03
3. N64 P70	6,14	6,16	5,78	5,55	-0,59	215	245	256	226	11	162	145	114	74	-88	2,78	3,14	2,83	2,81	0,03
4. N64 K124	6,13	6,17	5,84	5,65	-0,48	197	203	187	158	-39	201	225	247	220	19	2,97	3,16	3,02	2,90	-0,07
5. P70K124	6,29	6,23	5,86	5,67	-0,62	238	268	270	257	19	230	275	275	238	8	2,89	3,12	2,90	2,85	-0,04
6. N39P70K124	6,24	6,17	5,81	5,54	-0,70	235	263	275	264	29	200	239	246	213	13	2,91	3,08	2,94	2,83	-0,08
7. N64P70K124	6,19	6,13	5,78	5,47	-0,72	238	276	285	258	20	218	233	239	202	-16	2,86	3,09	2,87	2,86	0
8. N90P70K124	6,15	6,07	5,72	5,38	-0,77	264	281	281	264	0	226	235	238	202	-24	2,90	3,09	2,91	2,90	0
9. P40 K86	6,17	6,16	5,82	5,62	-0,55	241	270	277	250	9	206	238	246	216	10	2,92	3,12	2,99	2,89	-0,03
10. N39P40K86	6,06	6,11	5,77	5,57	-0,53	252	260	255	245	-7	244	234	226	188	-56	2,97	3,37	2,98	2,90	-0,07
11. N64P40K86	6,05	6,14	5,76	5,50	-0,50	268	270	260	235	-33	232	222	206	154	-78	2,90	3,35	2,91	2,89	-0,01
12. N90P40K86	6,10	6,10	5,75	5,42	-0,68	238	257	240	222	-16	202	213	192	148	-54	2,89	3,25	2,89	2,91	0,02

Окончание табл. 5

Вариант	pH _{KCl}				P ₂ O ₅ , мг/кг				K ₂ O, мг/кг				Гумус, %							
	1994-1996 гг.	1998-2000 гг.	2003-2005 гг.	2008-2010 гг.	1994-1996 гг.	1998-2000 гг.	2003-2005 гг.	2008-2010 гг.	1994-1996 гг.	1998-2000 гг.	2003-2005 гг.	2008-2010 гг.	1994-1996 гг.	1998-2000 гг.	2003-2005 гг.	2008-2010 гг.				
13. P20K43	6,12	6,21	5,80	5,69	-0,41	246	259	237	214	-32	220	224	197	161	-59	2,84	3,17	2,88	2,85	0,01
14. N39P20K43	6,05	6,14	5,81	5,62	-0,38	232	241	221	199	-33	192	203	162	133	-59	2,99	3,26	3,00	2,98	-0,01
15. N64P20K43	6,05	6,14	5,84	5,59	-0,41	248	249	217	187	-61	210	172	146	109	-101	2,80	3,27	2,81	2,90	0,1
НСР	0,08	0,09	0,14	0,15		26	24	25	46		22	19	18	32		0,35	0,32	0,31	0,48	

2. Плодородие почв и применение удобрений

Степень и направленность изменений агрохимических показателей почв при систематическом применении минеральных и органических удобрений определяются типом севооборота, уровнем продуктивности возделываемых культур, системой применения удобрений и т. д.

За ротацию зерно-пропашного севооборота при внесении органических удобрений 17,5 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды, содержание гумуса и фосфора сохранились на первоначальном уровне – pH_{KCl} 6,1–6,2, гумус – 2,84–3,37 %, фосфор – 181–281 мг/кг почвы или имели тенденцию к накоплению. Содержание подвижного калия в пахотном слое достоверно снизилось в варианте без удобрений и при внесении N75P20K45 на фоне органических удобрений 17,5 т/га. При применении P20,40,70K45,90,127,5 и на их фоне азотных удобрений содержание калия изменялось в пределах ошибки опыта или достоверно увеличилось (табл. 5).

За ротацию зерно-травяно-пропашного севооборота при внесении органических удобрений 12 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды достоверно увеличилась на 0,32–0,40 ед. до pH_{KCl} 5,72–5,87 за счет большого выноса кальция и магния клевером луговым. Содержание подвижного фосфора достоверно снизилось при применении N60P20K44 на фоне органических удобрений 12 т/га. В остальных вариантах содержание фосфора изменялось в пределах ошибки опыта с тенденцией к снижению при внесении N36,60,84P40,20K88,44 на фоне органических удобрений 12 т/га. Содержание подвижного калия в вариантах без удобрений, без минеральных удобрений и при внесении на фоне органических удобрений N60P70, N84P40K88 и N30,60P20K44 достоверно снизилось за счет высокого выноса калия клевером луговым. Несмотря на высокую урожайность клевера лугового (538–619 ц/га) и накопление им в почве биологического азота, содержание гумуса в пахотном слое изменялось в пределах ошибки опыта с тенденцией к снижению или достоверно снизилось при внесении N36,60,84P40K88 и N36,60P20K44.

За ротацию зерно-травяного севооборота при внесении органических удобрений 8 т/га и на их фоне минеральных обменная кислотность почвенной среды достоверно увеличилась на 0,15–0,34 ед. до pH_{KCl} 5,38–5,72 за счет выноса кальция и магния горохо-овсяной смесью и клевером луговым. Содержание подвижных фосфора и калия во всех вариантах имело тенденцию к снижению или достоверно снизилось на 10–32 мг/кг и 27–52 мг/кг почвы за счет высокой продуктивности севооборота на уровне 60,5–95,9 ц к.ед./га и большого выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами, особенно горохо-овсяной смесью и клевером луговым. Содержание гумуса в пахотном слое изменялось в пределах ошибки опыта.

Неодинаковые темпы изменений обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия в севооборотах объясняются в первую очередь величиной продуктивности сельскохозяйственных культур, их сортовыми и видовыми различиями, что влияло на вынос элементов питания, а также количеством внесенных в ротациях органических удобрений.

Установлено, что при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве 3-х (зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного) севооборотов (1994–2010 гг.) в варианте без удобрений при среднегодовой

продуктивности 50,4 ц к.ед./га содержание гумуса снизилось на 0,30 %, подвижного фосфора – на 54 мг/кг почвы (3,8 мг/кг ежегодно) и калия – на 82 мг/кг (5,9 мг/кг ежегодно); кислотность почвенной среды пахотного слоя увеличилась на 0,54 ед.

Среднегодовое применение органических удобрений (навоз КРС) 12 т/га обеспечило сохранение содержания гумуса на первоначальном уровне, а содержание подвижных фосфора и калия при этом снизилось на 40 мг/кг и 77 мг/кг почвы соответственно. Обменная кислотность почвенной среды повысилась во всех вариантах на 0,38–0,82 ед. При увеличении доз азотных удобрений кислотность пахотного слоя увеличилась, а содержание подвижных фосфора и калия уменьшилось. В варианте с оптимальной в опыте продуктивностью 81,6 ц к.ед./га при среднегодовом внесении N90P40K86 на фоне органических удобрений 12 т/га почвенная кислотность повысилась на 0,68 ед., содержание подвижных фосфора и калия снизилось на 16 мг/кг и 54 мг/кг почвы соответственно.

ВЫВОДЫ

1. При возделывании зерно-пропашного, зерно-травяно-пропашного и зерно-травяного севооборотов на дерново-подзолистой супесчаной почве наиболее эффективной являлась органо-минеральная система удобрения, которая предусматривала внесение K90P40K86 на фоне среднегодового применения органических удобрений 12 т/га. Данная система удобрения обеспечила среднегодовую продуктивность севооборотов 81,6 ц к.ед./га при окупаемости минеральных удобрений 10,5 к.ед. и способствовала поддержанию бездефицитного баланса гумуса. Однако дозы минеральных удобрений были недостаточны для поддержания почвенного плодородия: кислотность пахотного слоя повысилась на 0,68 ед., содержание подвижных фосфора и калия снизилось на 16 и 54 мг/кг почвы соответственно.

2. При среднегодовом применении минеральных удобрений N90P70K124 на фоне 12 т/га органических удобрений сформировалась среднегодовая продуктивность севооборотов 81,7 ц к.ед./га при окупаемости 1 кг NPK 8,1 кг к.ед. Данная система удобрения обеспечила бездефицитные балансы гумуса и подвижного фосфора. Содержание подвижного калия снизилось на 24 мг/кг почвы, кислотность почвенного раствора увеличилась на 24 мг/кг почвы.

3. Исключение из системы удобрения сельскохозяйственных культур в севооборотах фосфора или калия приводило к уменьшению среднегодовой продуктивности севооборотов на 2,9–3,5 ц к.ед./га и существенному снижению содержания в почве отсутствующего элемента питания.

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. Плодородие почв и применение удобрений

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

3. Лыков, А.М. Воспроизводство плодородия почвы при длительном применении удобрений и севооборота / А.М. Лыков // Повышение плодородия почв и получение запланированных урожаев сельскохозяйственных культур. – М., 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. Романова, 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. Гусаков, В.Г. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков // Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси. – Минск: Бел. наука, 2005. – 460 с.

7. Лапа, В.В. Продуктивность зернового севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы при различных системах применения удобрений / В.В. Лапа // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 20–29.

8. Лапа, В.В. Продуктивность зерно-травяно-пропашного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем удобрения / В.В. Лапа // Агрохимия. – 2009. – № 6. – С. 22–31.

9. Лапа, В.В. Продуктивность зерно-травяного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем / В.В. Лапа // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 89–104.

CROP ROTATIONS PRODUCTIVITY AND CHANGE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL UNDER LONG-TERM FERTILIZATION

V.V. Lapa, N.N. Ivakhnenko

Summary

In a long-term (1995–2010) stationary field experiment on sod-podzolic loamy sand soil in three crop rotations the effect of different levels and correlations of mineral fertilization on the productivity of agricultural crops and dynamics soil agrochemical properties was studied. It was found that the maximum crop productivity (8,2 t f.u./ha) was ensured at the average annual application of N90P40K89 in combination with 12,1 t/ha manure. During the investigated period (14 years), the contents of mobile phosphorus and potassium forms (Kirsanov) decreased in variant with the optimum productivity by 16 and 54 mg/kg soil, respectively, and the soil acidity increased by 0,68 pH units, the content of humus being remained stable.

Поступила 23.04.13