

УДК 631.445.2:631.8:631.582 (470.333)

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЛОДОСМЕННОГО СЕВООБОРОТА И ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.М. Белоус¹, В.Г. Сычев², В.Ф. Шаповалов¹, И.Н. Белоус¹

¹Брянская ГСХА, ²ВНИИ им. Д.Н. Прянишникова

Установлено, что систематическое применение повышенных доз органических, органоминеральных и минеральных удобрений в комплексе с химическими средствами защиты растений на радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой песчаной почве обеспечивает высокую продуктивность плодосменного севооборота, способствует сохранению и улучшению агрохимических свойств почвы и получению безопасной по содержанию ¹³⁷Cs продукции.

Ключевые слова: севооборот, система удобрения, плодородие, сельскохозяйственные растения, цезий-137.

Севообороты и удобрения, как правило, определяют формирование запасов гумусовых веществ и энергетический потенциал почв, особенно легкого гранулометрического состава. При этом следует подчеркнуть роль органических удобрений, которые являются важным источником питания растений и формирования структурного и экологического состояния почв, особенно в условиях техногенного загрязнения окружающей среды [1-3].

Применение агрохимических средств на загрязненных радионуклидами почвах может влиять на поступление радионуклидов в растения и накопление их в урожае [4-5].

Исследованиями в частности установлено, что переход радионуклидов в сельскохозяйственные растения из плодородных почв происходит в значительно меньшей степени, чем из низкоплодородных. По мере повышения гумусированности почв поступление радиоцезия в растения снижается в 1,5-2 раза и более [6-7].

Цель исследования – оценить комплексное применение средств химизации, обеспечивающих получение высоких урожаев экологически безопасной продукции культур плодосменного севооборота и воспроизводство плодородия радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой песчаной почвы.

Методика. Объектами исследования послужили агрофитоценозы длительного полевого опыта Новозыбковской опытной станции ВНИИ люпина.

Почва полевого опыта – дерново-подзолистая песчаная, сформированная на древнеаллювиальной супеси, подстилаемой связным песком. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта до закладки опыта: содержание органического вещества 2,1-2,5%, рН_{KCl} 6,5-7,0, Нг – 0,58-0,78 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований 7,94-17,87 мг-экв/100 г почвы, содержание подвижного P₂O₅ и обменного K₂O (по Кирсанову) 385-510 и 69-117 мг/кг почвы соответственно. Плотность радиоактивного загрязнения опытного участка ¹³⁷Cs – 568-724 кБк/м².

Исследования проводили в плодосменном севообороте: картофель, овес, люпин на зеленый корм, озимая рожь. Площадь опытной делянки – 90 м², учетная – 70 м², повторность – 4-кратная.

В качестве органического удобрения использовали подстилочный навоз КРС, который вносили под первую культуру севооборота – картофель. Химический состав навоза: влажность в среднем 77,2%, азот – 0,53, фосфор (P₂O₅) – 0,23, калий (K₂O) – 0,57%.

Минеральные удобрения использовали в виде: Naa (34,4% N), Рсд (48% P₂O₅), Кх (56% K₂O). Под озимую рожь минеральные удобрения вносили дробно – часть азотных, калийных и всю расчетную дозу фосфорных под предпосевную культивацию осенью, остальную часть удобрений весной. Под другие культуры севооборота минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию почвы.

Система защиты растений предусматривала применение следующих пестицидов: на картофеле – зенкор, СП – 0,7 кг/га, ридомил, 75 %-ный СП – 1,5 кг/га, каратэ 50%-ный КЭ – 0,15 л/га, на овсе – диален, 50%-ный ВР – 1,6 л/га, байлетон, 25%-ный СП – 0,6 кг/га, каратэ, 50%-ный КЭ – 0,15 л/га; на люпине – прометрин, СК – 3,5 кг/га, каратэ, 50 %-ный КЭ – 0,1 л/га; на озимой ржи – фундазол, 50%-ный СП – 0,6 кг/га, байлетон, 25 %-ный СП – 0,6 кг/га, каратэ, 50%-ный к.э. – 0,1 л/га.

Полевые и лабораторно-аналитические исследования проводили по общепринятым методикам [8-10]. Погодные условия в период проведения исследований различались: наиболее благоприятные (1993, 1994, 1998, 2001, 2008, 2009, 2012), умеренные (1996, 1998, 2007, 2008, 2011), засушливые (1995, 1999, 2002, 2003, 2005, 2010) годы.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования выявили, что эффективность применяемых средств химизации в значительной степени определялась биологическими особенностями полевых культур и погодными условиями вегетационных периодов (табл. 1). В контрольном варианте (без внесения удобрений) прослеживается тенденция к снижению продуктивности севооборота от первой ротации до четвертой, что свидетельствует о снижении уровня плодородия почвы. Самая высокая продуктивность опытного севооборота отмечена в первой и пятой ротациях, что объясняется различием погодных условий, которые непосредственно влияли на гидротермический режим почвы и как следствие на урожайность культур плодосменного севооборота.

1. Влияние систем удобрения и пестицидов на среднегодовую продуктивность севооборота, ц/га з.е.

Вариант опыта	Ротация севооборота					Среднее	Прибавка, ц/га з.е.	
	I	II	III	IV	V		к контролю	от пестицидов
	1993-1996 гг.	1997-2000 гг.	2001-2004 гг.	2005-2008 гг.	2009-2012 гг.			
1. Контроль (без удобрений)	18,3	15,0	13,5	13,1	13,1	14,6	-	-
2. Навоз, 80 т/га	21,8	21,3	20,0	18,0	24,2	21,1	6,5	-
3. Навоз, 40 т/га + N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	30,1	27,8	24,3	27,1	32,5	28,4	13,8	-
4. N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	26,8	23,6	23,0	23,6	29,2	25,2	10,6	-
5. N ₄₀₀ P ₂₀₀ K ₄₈₀	33,7	28,9	26,8	28,7	34,4	30,5	15,9	-
6. N ₆₀₀ P ₃₀₀ K ₇₂₀	32,2	29,6	24,5	30,9	38,1	31,1	16,5	-
7. Навоз, 40 т/га + N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀ + пестициды	36,6	33,4	32,2	33,3	39,3	35,0	20,4	6,6
8. N ₄₀₀ P ₂₀₀ K ₄₈₀ +пестициды	31,6	25,5	23,1	26,4	32,7	27,9	13,3	2,7

9. N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + пестициды	39,8	34,0	30,4	32,3	23,5	32,0	17,4	1,5
10. N ₆₀₀ P ₃₀₀ K ₇₂₀ + пестициды	38,7	34,8	31,0	36,9	41,5	36,6	22,0	5,5
НСР ₀₅	6,0	4,6	4,2	6,1	10,3			

Последовательно возрастающие дозы NPK как при отдельном внесении, так и в комплексе с химическими средствами защиты растений способствовали увеличению продуктивности плодосменного севооборота. Наиболее высокая продуктивность севооборота в первой ротации – 39,8 ц/га з.е. получена по минеральной системе со средней дозой – N₁₀₀P₅₀K₁₂₀ в комплексе с пестицидами. Во второй ротации севооборота более эффективной оказалась минеральная система с повышенными дозами N₁₅₀P₇₅K₁₈₀ в комплексе с пестицидами (вар. 10). В третьей ротации севооборота по уровню продуктивности выделилась органоминеральная система удобрения в сочетании с химическими средствами защиты растений (вар. 7). В четвертой и пятой ротациях севооборота максимальная продуктивность получена по минеральной системе удобрения с повышенной дозой NPK в комплексе с пестицидами (N₁₅₀P₇₅K₁₈₀ + пестициды).

В среднем за пять ротаций плодосменного севооборота уровень продуктивности его практически одного порядка получен по органоминеральной и минеральной системам с повышенными дозами NPK в сочетании с пестицидами. Исходя из этого оптимальными для плодосменного севооборота на дерново-подзолистой песчаной почве следует считать органоминеральную и минеральную системы удобрения с повышенными дозами NPK в комплексе со средствами защиты растений.

Установлено, что по истечении пяти ротаций плодосменного севооборота произошло определенное изменение основных агрохимических показателей почвенного плодородия (табл. 2). Так в контрольном варианте (без удобрений) наблюдалось снижение содержания

органического вещества с 1,91 до 1,68, уменьшилась сумма поглощенных оснований, увеличилась гидролитическая кислотность, отмечено снижение фосфора и обменного калия в почве. Таким образом, ведение сельскохозяйственного производства на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава без применения удобрений (органических и минеральных) и мелиорантов приводит к деградации почвенного плодородия.

Внесение подстильного навоза в дозе 80 т/га за ротацию севооборота обеспечивало содержание в почве органического вещества практически на исходном уровне, аналогичная картина наблюдалась и по органоминеральной системе удобрения. При повышении доз минеральных удобрений (N₆₀₀P₃₀₀K₇₂₀) за ротацию севооборота отмечена тенденция к повышению содержания органического вещества в почве. Минеральная система со средними и низкими дозами NPK не обеспечила сохранения органического вещества почвы на исходном уровне. В этих вариантах наблюдалась тенденция к снижению его содержания.

Органическая и органоминеральные системы удобрения сдерживали подкисление почвы, а минеральная система разной степени насыщенности обусловила тенденцию к повышению гидролитической кислотности почвы.

Во всех изучаемых вариантах опыта отмечено снижение суммы поглощенных оснований.

Органическая и органоминеральная системы удобрения оказали стабилизирующее влияние на содержание подвижных фосфатов в почве, в то время как по минеральной системе удобрения наблюдалось снижение содержания в почве подвижного фосфора.

2. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические показатели дерново-подзолистой песчаной почвы (слой 0-20 см; четвертое поле)

Внесено удобрений в сумме за одну ротацию севооборота	С орг., %			pH _{KCl}			Нг			S			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	1993 г.	2008 г.	2012 г.	1993 г.	2008 г.	2012 г.	1993 г.	2008 г.	2012 г.	1993 г.	2008 г.	2012 г.	1993 г.	2008 г.	2012 г.	1993 г.	2008 г.	2012 г.
Контроль (без удобрений)	1,91	1,72	1,68	6,90	6,84	6,50	0,54	0,59	0,61	10,0	7,2	6,3	370	285	248	71	47	41
Навоз, 80 т/га	2,09	2,11	2,13	6,95	6,57	6,55	0,56	0,59	0,60	12,2	8,2	8,0	369	360	356	78	90	94
Навоз, 40 т/га + N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	2,06	2,08	2,11	6,95	6,57	6,53	0,51	0,53	0,55	10,8	6,3	5,5	370	393	399	76	101	108
N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	2,20	1,95	1,98	7,01	6,47	6,43	0,54	0,59	0,60	16,4	6,3	5,6	359	393	398	80	98	102
N ₄₀₀ P ₂₀₀ K ₄₈₀	2,50	2,47	2,49	7,05	6,77	6,55	0,54	0,63	0,65	15,8	9,9	9,4	358	340	338	93	113	117
N ₆₀₀ P ₃₀₀ K ₇₂₀	2,26	2,38	2,41	7,00	6,76	6,70	0,54	0,76	0,78	15,0	9,2	8,8	395	373	370	106	166	171
НСР ₀₅	0,02	0,07	0,04	0,08	0,10	0,04	0,07	0,10	0,03	0,75	0,68	0,35	10	6	8	12	12	5

Накопление в почве обменных форм калия наблюдалось по всем системам удобрения, но наибольших значений эти показатели достигли в варианте с внесением повышенных доз удобрений – N₆₀₀P₃₀₀K₇₂₀ за ротацию плодосменного севооборота.

Важнейший показатель качества сельскохозяйственной продукции в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды – содержание радионуклидов, которое должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам (СанПиН 2.3.2. 1078-01) [11].

Проведенными лабораторно-аналитическими исследованиями установлено, что в контрольном варианте с течением времени наблюдалась тенденция к снижению концентрации радиоцезия в урожае отдельных культур севооборота (картофель, люпин) (табл. 3). Изучаемые системы удобрения способствовали снижению накопления ¹³⁷Cs в урожае культур севооборота, при этом сельскохозяйственные культуры значительно различались между собой по уровню накопления ¹³⁷Cs.

Наибольшее влияние на размеры накопления ¹³⁷Cs в урожае клубней картофеля оказали органоминеральная и минеральная системы со средними (2 NPK) и повышенными

(3 NPK) дозами удобрений. При этом действие пестицидов практически не проявилось. Отмечено также снижение концентрации радиоцезия в клубнях картофеля в четвертой и пятой ротациях севооборота. Наибольшая кратность снижения накопления цезия получена по органоминеральной и минеральной системам со средними (2 NPK) дозами.

В среднем за пять ротаций севооборота во всех изучаемых вариантах опыта, включая контрольный, концентрация ¹³⁷Cs в клубнях картофеля не превышала санитарно-гигиенический норматив – 120 Бк/кг.

Овес среди изучаемых культур отличался высоким накоплением радиоцезия по сравнению с картофелем и озимой рожью, при этом важную роль играли также погодные условия и уровень минерального питания. В годы с засушливым вегетационным периодом растения овса накапливали больше радиоцезия по сравнению с благоприятными по условиям увлажнения годами. Во второй и пятой ротациях севооборота самыми неблагоприятными для овса были 1999 и 2010 годы, что предопределило более высокое содержание радиоцезия в урожае зерна по вариантам опыта по сравнению с первой, третьей и четвертой ротациями севооборота.

Гарантированное получение продукции, соответствующей санитарно-гигиеническому нормативу (СанПиН 2.3.2.1078-01), при благоприятных погодных условиях, длительном и

систематическом применении средств химизации обеспечивало применение органоминеральной и минеральной систем со средними и повышенными дозами удобрений.

3. Влияние длительного применения средств химизации на поступление ^{137}Cs в урожай культур плодосменного севооборота, Бк/кг

Внесено удобрений в сумме за одну ротацию севооборота	Картофель						Овес						Люпин на зеленый корм						Озимая рожь					
	Ротации севооборота, годы																							
	1-я 1993-1996	2-я 1997-2000	3-я 2001-2004	4-я 2005-2008	5-я 2009-2012	среднее	1-я 1993-1996	2-я 1997-2000	3-я 2001-2004	4-я 2005-2008	5-я 2009-2012	среднее	1-я 1993-1996	2-я 1997-2000	3-я 2001-2004	4-я 2005-2008	5-я 2009-2012	среднее	1-я 1993-1996	2-я 1997-2000	3-я 2001-2004	4-я 2005-2008	5-я 2009-2012	среднее
Контроль (без удобрений)	96	82	81	77	63	78	108	132	126	60	148	115	340	187	378	336	241	296	77	81	60	57	104	76
Навоз, 80 т/га	46	40	36	27	21	34	85	88	61	49	68	70	276	120	136	155	186	141	49	60	38	28	38	43
Навоз, 40 т/га + N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	39	32	34	21	20	29	78	86	60	37	83	69	182	151	131	129	74	133	32	33	34	23	59	36
N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀	45	32	38	26	22	33	89	91	68	39	83	74	170	136	170	180	106	152	42	46	32	24	70	43
N ₄₀₀ P ₂₀₀ K ₄₈₀	35	33	27	17	14	25	62	69	47	41	79	60	166	108	98	117	105	119	29	41	31	21	58	36
N ₆₀₀ P ₃₀₀ K ₇₂₀	27	32	24	15	23	24	69	87	61	35	79	66	134	80	77	92	74	91	43	40	26	30	48	37
Навоз, 40 т/га + N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₂₄₀ + пестициды	35	28	33	23	17	27	71	86	66	35	58	63	162	98	93	140	81	115	34	40	30	21	36	32
N ₄₀₀ P ₂₀₀ K ₄₈₀ + пестициды	33	31	37	27	23	30	89	101	75	42	70	75	174	132	190	195	91	156	41	45	34	24	69	43
N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₂₀ + пестициды	39	29	28	19	14	26	54	87	47	32	54	55	170	96	106	129	86	117	26	33	26	18	37	28
N ₆₀₀ P ₃₀₀ K ₇₂₀ + пестициды	43	40	21	13	12	26	52	58	46	29	56	48	120	79	79	92	68	88	24	33	23	18	41	28

В результате проведенных исследований установлено, что получение урожая зеленой массы люпина, соответствующей нормам по содержанию в ней цезия-137, возможно лишь при длительном систематическом применении повышенных доз минеральных удобрений. В первой ротации севооборота ни в одном из изучаемых вариантов опыта зеленая масса люпина по ^{137}Cs не соответствовала ветеринарно-санитарным требованиям (100 Бк/кг) [12]. В последующих ротациях севооборота в варианте с повышенными дозами удобрений (3 НРК) получена экологически безопасная зеленая масса люпина. В среднем за пять ротаций севооборота применение повышенной дозы минеральной системы удобрения как в комплексе со средствами защиты растений, так и без них обеспечило содержание ^{137}Cs в зеленой массе люпина, не превышающее требований СанПиН -01-100 Бк/кг.

При возделывании озимой ржи, так же как других культур севооборота, влияние погодных условий сказывалось на размере накопления радиоцезия урожаем зерна по ротациям севооборота. Наибольшее накопление радиоцезия отмечено во второй и пятой ротациях севооборота. В среднем за пять ротаций севооборота во всех изучаемых вариантах опыта, за исключением контрольного, содержание ^{137}Cs в зерне озимой ржи было в 1,6-2,5 раза ниже норматива (70 Бк/кг). При этом наибольшее снижение концентрации ^{137}Cs в зерне озимой ржи отмечалось по минеральной системе со средними (2 НРК) и повышенными (3 НРК) дозами в комплексе со средствами защиты растений.

Выводы. Длительное, систематическое применение повышенных доз органических, органоминеральных и минеральных удобрений в комплексе с химическими средствами защиты растений на радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой песчаной почве обеспечивает высокую продуктивность плодосменного севооборота – 35 ц/га з.е., способствует сохранению и улучшению агрохимических свойств почвы и получению экологически безопасной продукции по содержанию ^{137}Cs (СанПиН 2.3.2.1078-01).

Литература

- Минеев В.Г. Агрохимическая наука в современной экономической и экологической ситуации // Химия в сельском хозяйстве. – 1993. – № 5-6. – С. 3-5.
- Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М. и др. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия // Плодородие. – 2009. – № 1. – С. 4-6.

- Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности и их взаимосвязь. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228 с.

- Алексахин Р.М., Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Попова Т.И. Ведение земледелия на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Земледелие. – 2006. – № 3. – С. 22-27.

- Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Коренев В.Б. Влияние средств химизации на динамику накопления радиоцезия в сельскохозяйственных культурах, его миграцию и плодородие дерново-подзолистой песчаной почвы // Проблемы агрохимии экологии. – 2011. – № 2. – С. 5-12.

- Воробьев Г.Т., Чумаченко И.Н., Маркина З.Н., Курганов А.А., и др. Почвенное плодородие и радионуклиды. – М.: НИА природа. – 2002. – 357 с.

- Алексахин Р.М., Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А. Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае // Агрохимия. – 1992. – № 3. – С. 127-138.

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.

- Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 196 с.

- Методические указания по определению естественных радионуклидов в почвах и растениях. – М.: Наука, 1985. – 112 с.

- Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: СанПиН 2.3.2.1078-01. – М.: Минздрав РФ. – 2002. – 164 с.

- Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринарная патология. – 2002. – № 4. – С. 44-45.

**EFFECT OF THE LONG-LIVED APPLICATION OF CHEMICALS ON THE PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION
AND THE FERTILITY OF SODDY-PODSOLIC SOIL UNDER RADIOACTIVE CONTAMINATION**

N.M. Belous¹, V.G. Sychev², V.F. Shapovalov¹, I.N. Belous¹

*¹Bryansk State Agricultural Academy, ul. Tsvetochnaya 40–45, Kokino, Vygonichi raion, Bryansk oblast,
243365 Russia, E-mail: bgsha@bgsha.com*

²Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry,

Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

It has been established that the systematic application of increased rates of organic, organo-mineral, and mineral fertilizers in combination with plant-protection chemicals on radioactively polluted sandy soddy-podzolic soil provides a high productivity of crop rotation and favors the preservation and improvement of agrochemical properties of soil and the obtainment of safe crop in terms of contamination with ¹³⁷Cs

Keywords: crop rotation, fertilizing system, fertility, agricultural crops, cesium-137.