

After the fallow crop predecessor, the application of nitrogen fertilizers together with potassium (or phosphorus) and triple combination increases the share of straw in the biological yield without a significant reduction in the grain yield. On light-gray forest soil with sufficient moisture during the growing season, grain yield is largely determined by the application of nitrogen fertilizers. High yield of grain varieties Odessa 115 obtained by making a full dose of fertilizer $N_{60}P_{40}K_{60}$ was, depending on the predecessor: 2.18 t/ha after the fallow; 2.01 t/ha after the wheat. The maximum yield after the tilled predecessor was 2.82 t/ha, it was obtained by applying a full dose of fertilizers with increased in 1.5 times dose of phosphorus and potassium $N_{60}P_{45}K_{90}$.

Keywords: barley, fertilizer, predecessors, cultivation, crop structure, productive bushes, weight of 1000 grains.

УДК 631.83 : 631.46

НАКОПЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЧВЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕВОГО ОПЫТА

**В.Н. Якименко, д.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2, ИПА СО РАН
E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru, тел. (8-383)-36-39-029**

В длительном полевом стационарном опыте на серой лесной почве показано, что накопление и распределение обменного калия в почвенном профиле не зависят от формы используемого калийного удобрения, а определяются интенсивностью баланса калия в агроценозе. Вносимый с KCl хлор равномерно распределяется по всему профилю почвы при наименьшем содержании в 0-20 см слое; в сухие годы аккумуляция хлора протекает интенсивнее. Регулярное использование K_2SO_4 приводит к увеличению содержания в почве подвижной серы пропорционально вносимым дозам удобрения; основное количество серы накапливается в 0-40 см слое почвы, значимая часть сульфат-ионов мигрирует вниз по почвенному профилю.

Ключевые слова: калийные удобрения, длительный полевой опыт, почва, калий, хлор, сера, аккумуляция.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.11

Научно обоснованное использование минеральных удобрений – обязательное условие эффективного функционирования агроэкосистем. Однако наряду с главным компонентом удобрения, определяющим его вид действующим веществом, в агроценоз поступает и значительное количество сопутствующих, или балластных веществ и примесей. Действие балластных компонентов минеральных удобрений на эколого-агрохимическое состояние агроценоза может быть разноплановым и заслуживает пристального внимания.

Основной формой калийных удобрений в нашей стране и за рубежом является хлористый калий. Под картофель, плодово-овощные и технические культуры применяют и сульфат калия. Влияние главного компонента этих удобрений – калия – на плодородие почвы и продуктивность культур довольно подробно рассматривается в ряде работ [1-3], тогда как сопутствующие ему анионы остаются относительно малоизученными. Следует отметить, что хлор и сера, наряду с калием, относятся к необходимым и незаменимым элементам минерального питания растений: хлор участвует в общефизиологических процессах поддержания гомеостаза, сера необходима для регуляции синтеза белка [4]. Недостаток этих элементов в почве способен негативно отразиться на продуктивности культур, однако и избыток хлора и серы может существенно ухудшить экологическое состояние агроценоза [5, 6].

Изучению изменений содержания серы и хлора в почвах агроценозов посвящен ряд исследований [6-11], выполненных в разных регионах страны. Однако полученные результаты носят неоднозначный, а, зачастую, противоречивый характер. Это связано, вероятно, с различными почвенно-климатическими и агротехническими условиями проведения опытов. В земледельческой зоне Западной Сибири число работ по изучению влияния доз и форм калийных удобрений на интенсив-

ность накопления содержащихся в них компонентов в почве агроценоза очень ограничено, что обуславливает целесообразность проведения подобных исследований.

Цель наших исследований – изучить влияние длительного применения возрастающих доз разных форм калийных удобрений на содержание и распределение их компонентов (K, Cl, S) в профиле почвы агроценоза, а также на урожайность картофеля в условиях лесостепи Западной Сибири.

Методика. Исследования проводятся в стационарном полевом опыте, заложенном в 1988 г. на серой лесной среднесуглинистой почве [2]. Опыт расположен на научно-исследовательской станции ИПА СО РАН в лесостепной зоне Западной Сибири (Новосибирская обл., Искитимский р-он). С 2013 г. в опыте изучают действие доз и форм калийных удобрений на агрохимические свойства почвы и продуктивность картофеля. Схема вариантов опыта: 1. Без удобрений (контроль), 2. $N_{100}P_{60}$ (фон), 3. Фон + K_1 (в дозе 30 кг д.в./га), 4. Фон + K_2 (60), 5. Фон + K_3 (90), 6. Фон + K_4 (120), 7. Фон + K_5 (150 кг д.в./га). Кроме того, имеется вариант – бессменный пар. Минеральные удобрения вносили ежегодно весной перед посадкой клубней: азот – в форме Na_{aa} , фосфор – $P_{сд}$, калий: в одной части опыта – KCl, в другой (с 2013 г.) – K_2SO_4 . Повторность в опытах – четырехкратная. Выращивали картофель сорта Розара. Почвенные образцы анализировали стандартными методами [12]: содержание обменного K определяли в вытяжке 1М CH_3COONH_4 , водорастворимого Cl – по Мору, подвижной S – 1 н. KCl [13].

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования показали, что внесение NP-удобрений в почву с истощенным калийным фондом совершенно неэффективно; продуктивность выращиваемого картофеля практически не отличалась от неудобренного участка (рис.). Эффективность разных форм калийных удобрений

ний зависела от их доз. При невысоких дозах – 30-60 кг/га (K_{1-2}) – эффективность сульфата калия несколько превосходила хлорид или равнялась ему. При повышенных дозах калийных удобрений – 90-150 кг/га (K_{3-5}), хлористый калий был явно предпочтительней. Вероятно, хлор в составе хлорида калия, повышая оводненность тканей и увеличивая их водоудерживающий потенциал, способствовал увеличению общего урожая клубней картофеля.

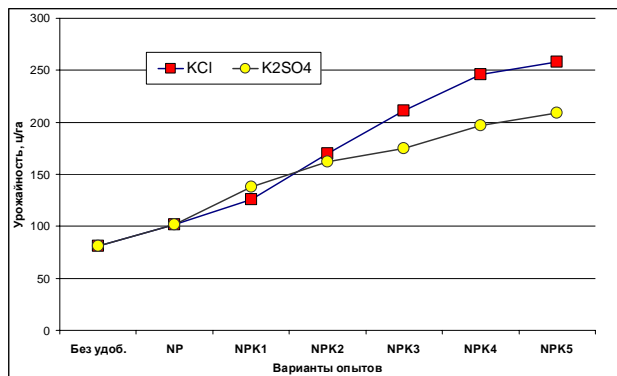


Рис. Урожайность клубней картофеля в зависимости от доз и форм калийных удобрений (среднее за 2013-2018 гг.)

Различная интенсивность использования в вариантах опыта калийных удобрений отразилась на содержании их компонентов в почве (табл. 1, 2).

1. Изменение содержания К, Сl и S в почве полевого опыта (слой 0-20 см), 2018 г.

Вариант опыта	Обменный К, мг/100 г			Водорастворимый Сl, мг/кг			Подвижная S, мг/кг		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Пар	12,0	12,6		8,1	8,8		2,25	2,50	
Без удобрений (контроль)	7,5	7,0		8,1	8,0		2,08	2,02	
N ₁₀₀ P ₆₀ – фон	7,5	7,0		7,7	8,4		2,15	2,18	
Фон +K ₁	9,8	9,8	9,0	7,7	9,6	7,0	2,11	2,18	5,40
Фон +K ₂	12,0	13,0	14,4	8,1	9,6	7,0	1,84	1,86	6,31
Фон +K ₃	15,2	16,1	18,6	7,5	11,8	7,2	1,68	1,85	8,01
Фон +K ₄	25,8	18,2	21,8	7,4	15,5	7,2	1,56	1,69	12,99
Фон +K ₅	30,8	24,7	29,6	8,1	16,4	7,2	1,57	1,70	15,76
HCP ₀₅	4,3	3,1		1,5	3,1		0,21	0,42	

Примечание. 1 – исходное содержание, весна 2013 г.; 2 – калийные удобрения вносили в форме KCl; 3 – калийные удобрения вносили в форме K₂SO₄.

Калий. Исходное для рассматриваемого опыта с формами калийных удобрений содержание обменного К сформировалось в почве вариантов в результате предшествующего (с 1988 г.) длительного внесения возрастающих доз KCl согласно схемы опыта [2]. Уровень обменного К в почве закономерно изменился в соответствии с поддерживаемым в агроценозе калийным балансом: при его многолетнем сильном дефиците (вар. 1 и 2) содержание обменного К существенно снизилось, а при росте интенсивности баланса (вар. 3-7) – значительно возросло. Внесение в течение 6 лет (2013-2018 г.) разных форм калийных удобрений принципиально не изменило ситуацию (см. табл. 1). Несколько большее накопление обменного К при использовании K₂SO₄ в вариантах 5-7, относительно соответствующих вариантов с KCl, связано, вероятно, с различиями в

урожажности картофеля (см. рис.). Кроме того, имеются данные [14] об увеличении подвижности калия и содержания его легкорастворимых форм в почве под влиянием серосодержащих удобрений.

2. Распределение К, Сl и S в профиле почвы длительного полевого опыта

Вариант опыта	Слой почвы, см					HCP ₀₅
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
	Обменный К, мг/100 г					
Пар	12,0	10,9	12,6	12,1	10,8	1,4
Без удобрений	7,0	6,8	8,6	10,5	9,7	1,6
NPK _{4X}	18,2	8,3	11,5	11,0	9,8	2,2
NPK _{4C}	21,8	8,9	11,8	10,4	9,6	2,4
	Водорастворимый Cl, мг/кг					
Пар	8,8	12,1	13,8	14,1	14,2	3,2
Без удобрений	8,0	9,3	10,1	14,6	14,6	3,0
NPK _{4X}	15,5	21,2	20,3	22,0	21,4	4,0
NPK _{4C}	7,5	11,9	12,3	15,4	15,8	3,2
	Подвижная S, мг/кг					
Пар	2,50	2,13	1,44	1,49	1,86	0,26
Без удобрений	2,02	2,10	1,64	1,48	1,81	0,20
NPK _{4X}	1,69	1,94	1,60	1,70	1,82	0,18
NPK _{4C}	12,99	8,20	2,86	2,71	5,55	0,73

Формы калийных удобрений не различались между собой по влиянию на распределение обменного К в профиле почвы, его содержание изменялось только в верхнем (0-20 см) слое (см. табл. 2). При длительном неиспользовании калийных удобрений (вар. 1 и 2) наблюдалось истощение запасов обменного К как в пахотном, так и в подпахотных горизонтах почвы.

Хлор. Известно, что большинство хлоридов обладает высокой растворимостью и миграционной способностью, эффективных геохимических барьеров для них практически не существует. Следовательно, аккумуляция хлора в экосистемах во многом зависит от режима их увлажнения. Так, в опытах [9] с внесением очень высоких доз KCl (до 3 т/га) под овощные культуры при орошении, хлор в верхних слоях почвы не накапливался – часть его вымывалась в глубь профиля, а часть удалялась с боковым внутрипочвенным стоком. В исследованиях [10] установлено, что в сухие годы содержание хлора в почвенном профиле стабилизировалось или возрастало, а в годы с обильными осадками определенное количество этого аниона вымывалось за пределы метрового слоя. По данным [11], систематическое внесение KCl в дозах 100-150 кг/га привело к накоплению хлора в верхнем (0-40 см) горизонте тяжелосуглинистых почв, тогда как в супесчаных почвах значимой аккумуляции хлора не отмечено.

Год начала нашего опыта с формами калийных удобрений (2013) и несколько предшествующих лет были довольно влажными. В результате исходное содержание хлора в почве вариантов опыта (слой 0-20 см) практически не различалось (см. табл. 1), несмотря на длительное до этого внесение KCl в вариантах NPK [2]. В годы проведения данного опыта (2014-2018) вегетационные периоды характеризовались в целом относительно жаркими и засушливыми условиями, что и способствовало, очевидно, заметному накоплению хлора в почве вариантов с использованием хлорсодержащей формы калийного удобрения. Следует отметить, что ПДК в почвах для водорастворимого хлора до настоящего времени не разработаны. Однако, судя по состоянию растений в опыте, их росту и развитию длительное ежегодное внесение повышенных доз KCl не привело к накоплению в почве токсичных концентраций хлора.

Аналогичные результаты получены и в исследованиях других авторов [1, 9].

В вариантах с применением в качестве калийного удобрения сульфата калия отмечалась тенденция к снижению содержания хлора в почве, вероятно, в связи с потреблением определенного его количества растениями. Отметим, что содержание хлора в верхнем слое почвы всех вариантов опыта (в пару и с растениями, с удобрениями и без них) не опустилось ниже 7-8 мг/кг (см. табл. 1). Данный баланс может быть обусловлен как химическим составом почвообразующей породы, так и интенсивной миграцией хлора по профилю почвы с нисходящими и восходящими потоками влаги. По данным [15], для исследуемой зоны Западной Сибири среднее содержание хлора в выпадающих атмосферных осадках – 2-3 мг/л, а во влаге, испаряющейся с поверхности незасоленных почв, – 1,5 мг/л.

Содержание хлора в «естественной» почве (пар) имеет тенденцию к некоторому возрастанию вниз по профилю, при относительной, в целом, выравненности, исключая верхний 0-20 см слой. Это может быть связано с постепенным утяжелением гранулометрического состава почвы с глубиной (примерно с 30% физической глины в 0-20 см слое до 35-36% в нижней части профиля), а также с влиянием внешних факторов, прежде всего в на наибольшей степени, на верхний почвенный горизонт.

Выращивание растений в контрольном варианте вызвало некоторое снижение содержания хлора в почве до глубины 60 см (см. табл. 2). Длительное внесение KCl привело к существенному возрастанию концентрации хлора по всему профилю почвы, причем увеличение уровня этого галогена в каждом почвенном слое было примерно одинаковым – на 7-8 мг/кг от исходного. Поступающий с удобрениями хлор относительно равномерно распределялся по профилю почвы, а меньшее его содержание в верхнем 0-20 см слое почвы обусловлено активным совокупным влиянием растений, осадков, испарения и других факторов. Использование в качестве калийного удобрения K_2SO_4 вызвало заметное снижение концентрации хлора в пахотном слое почвы; ниже по профилю уровень этого аниона за время проведения опыта не изменился. Таким образом, при любой концентрации водорастворимого хлора в профиле почвы вариантов опыта, его содержание было наименьшим и наиболее динамичным в верхнем пахотном слое.

Сера. По имеющимся грациям [6, 16], содержание подвижной серы в исходной исследуемой почве (целина, пар) низкое – 2-3 мг/кг. Длительное сельскохозяйственное использование почвы способствовало дальнейшему нарастанию дефицита этого элемента. Содержание подвижной серы в почве закономерно снизилось по мере роста урожайности культур в вариантах опыта (см. табл. 1 и рис.), свидетельствуя о значительном выносе серы с растительной продукцией. Это может в дальнейшем негативно отразиться на урожае и его качестве, особенно у культур, нормируемых по содержанию белка.

За время проведения опыта с формами калийных удобрений (2013-2018 г.) содержание сульфатной серы в почве вариантов с KCl практически не изменилось. Наблюдаемый стабильно низкий уровень, вероятно, характерен для данной почвы в сформировавшихся условиях агроценоза и поддерживается за счет как перманентной минерализации почвенного органического ве-

щества, так и процессов влаго-, солепереноса. Атмосферные осадки в исследуемом регионе (вне промышленных территорий) содержат 4-6 мг/л сульфат-иона, а в составе испаряемой с поверхности почвы влаги присутствует около 4 мг/л этого аниона [15].

Использование в качестве калийного удобрения K_2SO_4 даже в невысоких дозах существенно интенсифицировало баланс серы в опыте; содержание подвижной серы в почве соответствующих вариантов значительно возросло в прямой зависимости от доз вносимого сульфата калия (см. табл. 1).

Распределение подвижной серы в профиле исследуемой почвы (см. табл. 2) носит равномерно убывающий характер, однако в слое 80-100 см отмечается рост концентрации этого аниона. При многолетнем выращивании растений без использования серосодержащих удобрений уровень доступной серы в почве снижался, прежде всего, в пахотном слое. Систематическое внесение сульфата калия в вариантах опыта привело к значительному увеличению содержания подвижной серы по всему почвенному профилю; максимальное накопление наблюдалось в верхних почвенных горизонтах (0-20 и 20-40 см). Таким образом, внесенная с удобрениями сера аккумулировалась в основном в верхней корнеобитаемой части почвенного профиля, оставаясь доступной для выращиваемых культур даже с относительно слабо развитой корневой системой. Некоторое количество внесенных сульфатов мигрировало в нижнюю часть профиля почвы.

Заключение. Результаты проведенного полевого стационарного опыта свидетельствуют, что длительное внесение эквивалентных доз разных форм калийных удобрений привело к увеличению содержания обменного калия в почве на примерно одинаковую величину, обусловленную поддерживаемой интенсивностью калийного баланса в агроценозе. Повышение уровня обменного калия отмечалось только в пахотном слое почвы. Длительный сильно дефицитный баланс калия вызвал существенное снижение содержания его обменной формы в верхней части почвенного профиля и сильное лимитирование калийного питания растений.

Использование хлористого калия способствовало накоплению в почве водорастворимого хлора; интенсивность этого накопления зависела как от вносимых доз удобрения, так и от количества выпадающих атмосферных осадков: при повышенных дозах KCl и в засушливые годы аккумуляция хлора в почве протекала интенсивнее. При любом содержании водорастворимого хлора в почве, его распределение по почвенному профилю было довольно равномерным с наименьшей концентрацией в верхнем 0-20 см слое.

Длительное неиспользование серосодержащих удобрений в вариантах опыта привело к заметному снижению содержания подвижной серы в почве, что может негативно отразиться на качестве растительной продукции. Внесение в течение нескольких лет сульфата калия способствовало, пропорционально вносимым дозам удобрения, существенному повышению содержания подвижной серы в пахотном и подпахотном слоях почвы. Кроме того, значимое количество сульфат-ионов мигрировало в нижнюю часть почвенного профиля.

Литература

1. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
2. Якименко В.Н. Калий в агроце-

нозах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с. 3. Сычев В.Г., Никитина Л.В. Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений // Плодородие. – 2017. – № 6. – С. 5-7. 4. Алехина Н.Д., Балконин Ю.В., Гавриленко В.Ф. Физиология растений. – М.: Академия, 2005. – 640 с. 5. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. – Майкоп: Адыгея, 2003. – 1028 с. 6. Аристархов А.Н. Агрохимия серы. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с. 7. Панасин В.И., Новикова С.И., Рымаренко Д.А. Сера в земледелии Калининградской области // Плодородие. – 2016. – № 3. – С. 6-8. 8. Шеуджен А.Х., Слюсарев В.Н., Бондарева Т.Н. и др. Валовое содержание серы и ее формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агроценоза // Плодородие. – 2014. – № 4. – С. 29-30. 9. Назарюк В.М., Маслова И.Я. Изучение возможности систематического использования хлорсодержащих калийных удоб-

рений в овощеводстве Западной Сибири // Агрохимия. – 1990. – № 7. – С. 45-52. 10. Танин К.А. Баланс хлора, серы и калия в многолетнем опыте с формами калийных удобрений // Агрохимия. – 1965. – № 12. – С. 43-50. 11. Харьков Д.В. Результаты многолетних полевых опытов с формами калийных удобрений // Калийные удобрения. – М.: Колос, 1964. – С. 57-92. 12. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с. 13. Методические указания по определению содержания подвижной серы в почвах. – М.: Колос, 1983. – 15 с. 14. Вальников И.У. Действие серосодержащих удобрений на агрохимические свойства серых лесных почв // Агрохимия. – 1981. – № 8. – С. 58-63. 15. Казанцев В.А. Проблемы педологизации. – Новосибирск: Наука, 1998. – 280 с. 16. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу. – М.: МСХ СССР, 1983. – 24 с.

ACCUMULATION OF COMPONENTS OF POTASSIUM FERTILIZERS IN SOIL OF LONG-TERM FIELD EXPERIENCE

V.N. Yakimenko

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Lavrentyeva pr. 8/2, 630090 Novosibirsk, Russia, e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

In the long field stationary experiment on gray forest soil, it was shown that the accumulation and distribution of exchangeable potassium in the soil profile does not depend on the form of potash fertilizer, but is determined by the intensity of potassium balance in the agroecosystem. Chlorine applied with KCl is evenly distributed over the entire soil profile with the lowest content in the 0–20 cm layer; during dry years, chlorine accumulates more intensively. Regular use of K_2SO_4 leads to an increase in the content of mobile sulfur in the soil in proportion to the doses of fertilizer; Most of the sulfur accumulates in the 0–40 cm soil layer, a significant part of the sulfate ions migrates down the soil profile.

Key words: potash fertilizers, soil, potassium, chlorine, sulfur.

УДК 633.853.52: 632.8: 631.559

РОЛЬ ПРЕДШЕСТВЕННИКА В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ СОИ НА ФОНЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

**К.А. Никульчев, к.с.-х.н., ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»
675027, Россия, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, дом 19,
e-mail: KosNik86@mail.ru**

Дан анализ эффективности предшественников сои и пшеницы в длительном стационарном опыте с удобрениями Географической сети опытов. Опыт заложен в 1962 – 1964 гг. в пятипольном севообороте на опытном поле ВНИИ сои на луговой чернозёмовидной почве. Установлено, что соя является хорошим предшественником для пшеницы. Применение азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{210}P_{240}$ за ротацию севооборота повышает урожайность пшеницы до 30 %. Выявлено, что сою лучше размещать по соево-овсяной смеси и следует воздержаться от её размещения по сое, посеянной на сидерат, так как это снижает её урожайность более, чем на 20 %.

Ключевые слова: предшественник, соя, пшеница, севооборот, стационар, удобрения.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.108.12

В длительном стационарном опыте ФГБНУ ВНИИ сои, заложенном в 1962 г. и проводимом по настоящее время, изучали вопросы, связанные с минеральным питанием сои и пшеницы в севообороте. Установлены и обоснованы агроэкологические условия формирования урожайности этих культур, их зерновая продуктивность при длительном внесении удобрений [1, 2, 4, 5]. Однако до сих пор данный севооборот не анализировали с точки зрения определения лучших предшественников для сои и пшеницы.

Несмотря на то, что в литературных источниках встречается множество работ по изучению роли предшественников в формировании урожайности сои и пшеницы в севообороте, результаты их противоречивы и не дают ответ на вопрос о лучших предшественниках при длительном применении удобрений [3, 6, 7]. В связи с этим возникла необходимость проанализировать данные об урожайности пшеницы и сои, полученной в

стационарном опыте ВНИИ сои, для установления роли предшественников в формировании этого показателя на фоне длительного применения удобрений.

Схема 5-польного севооборота: 1 – овёс; 2 – соя; 3 – пшеница; 4 – соя; 5 – пшеница.

Схема длительного стационарного полевого опыта, включающая чередование культур, виды и дозы удобрений, заложенного в 3-кратной повторности в пространстве и во времени, в 5-польном севообороте с 40 %-ным насыщением соей и пшеницей и 20 %-ным – овсом (в настоящее время) по изучению системы удобрения в севообороте представлена в таблице 1.

Технология возделывания культур в севообороте менялась, исходя из временных предпосылок. Так же с течением времени в севообороте происходила сорто-смена и использовались эффективные средства защиты растений от вредных объектов (сорные растения, болезни и вредители).