

ме расхода 7 г/га независимо от кислотности почвы не вызывает ограничений в выборе следующей культуры севооборота.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макеева-Гурьянова Л.Т., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г.* Сульфонилмочевины — новые перспективные гербициды (обзорная информация). М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. — 2. *Матюхин А.П., Захарова Л.М., Кудрявцев Н.А., Матюхина Г.Н.* Рекомендации по применению гербицидов на льне-долгунце. Рекомендации по региональному применению гербицидов в Российской Федерации. М., 2001. С. 205-212. — 3. Методические указания по определению ос-

татков глина (хлорсульфурина) ... методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Методы определения микроколичеств пестицидов... М.: ВО «Колос», 1992. Т. 1. С. 426-434. — 4. Руководство по поиску и отбору гербицидов в условиях вегетационного и полевого опытов, исследованию характеристик их поведения в почве и других объектах окружающей среды. М.: Колос, 1991. С. 54-80. — 5. *Сафонов А.Ф.* Длительному полевому опыту ТСХА 90 лет: итоги научных исследований. М.: Изд-во МСХА, 2002. — 6. *Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г.* Гербициды и окружающая среда. Агрохимия, 2000. №1. С. 37-41. — 7. The Pesticide manual. The British Crop Protection Council 11-th Ed. UK. By ed. C.D.S. Tomlin, 1997.

SUMMARY

During long-term field experiment at Moscow Agricultural Academy named after K.Ar. Timiryazev phytotoxic change rate of various soil layers after chloresulphurone application, 7 gr/hectare dose, in flax crops depending on crop rotation, fertilizers and liming, also aftereffect of this herbicide have been studied. Investigations show that the least phytotoxic herbicide level (7 gr per hectare dose) in flax crops in arable soil layer (0-20 cm) is marked when applying $N_{100}P_{150}K_{120}$. The tendency of arable soil layer phytotoxic level increase in permanent flax crops when fertilizers are not applied has been established. It's been proved that the herbicide lenok is characterized by its average rate of persistence in soil and by unlikely probability of negative sideeffect on sensitive crops on sod-podzol soils in Non-Black-Earth Zone.

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ХЛОРСУЛЬFUРОНА ДЛЯ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА

Л.М. ПОДДЫМКИНА, к. с.-х. н.

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В Длительном полевом опыте МСХА имени К.А. Тимирязева изучали изменение уровня фитотоксичности различных слоев почвы после применения гербицида ленок (д.в. хлорсульфурон) в дозе 7 г/га на посевах льна в зависимости от севооборота, удобрений и известкования и последствие этого гербицида на чувствительные культуры севооборота. Исследования показали, что наименьший уровень фитотоксичности гербицида ленок в дозе 7 г/га на посевах льна в пахотном (0—20 см) слое почвы наблюдался на фоне внесения $N_{100}P_{150}K_{120}$. Установлена также тенденция увеличения уровня фитотоксичности пахотного слоя почвы в бессменных посевах льна на неудобренном фоне. Доказано, что гербицид ленок характеризуется средним уровнем персистентности в почве и малой вероятностью остаточного отрицательного последствия на чувствительные культуры севооборота на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны.

Изучение особенностей поведения и условий разложения пестицидов в почвах в зависимости от свойств препаратов и различных экологических и антропогенных факторов представляет интерес с точки зрения охраны как самих почв, так и окружающей среды в целом, поскольку почва выполняет универсальную роль в нейтрализации разнообразных химических соединений, попадающих в нее либо в качестве отходов хозяйственной деятельности человека, либо в результате целенаправленного применения химических средств.

Фитотоксичность почвы является одним из показателей загрязненности почвы ксенобиотиками и другими токсикантами. При соблюдении регламентов применения и оптимальных норм внесения препаратов в течение одного вегетационного периода и нескольких лет подряд в ротации севооборота, как правило, не возникает опасности загрязнения, превышающего допустимые уровни. Многие аспекты закономерностей поведения препаратов в почве и их поступления в растения при интенсивном комплексном использовании оста-

ются не исследованными до конца, что требует значительного расширения соответствующих экспериментов. Только знание общих закономерностей поведения гербицидов в почве и растениях позволит избежать загрязнения природной среды их остатками.

С широким внедрением в практику сельского хозяйства нового поколения малодозовых гербицидов, например, сульфонилмочевин, биологическая активность которых проявляется уже при внесении в почву 5~20 г вещества на 1 га, неизбежно возникает проблема изучения их последствия и фитотоксичности для защищаемых культур. Многими исследователями отмечается, что при нарушении технологии применения сульфонилмочевинных препаратов и/или при внесении их без учета особенностей почвы, агротехники и прочих условий возможен эффект последствия на культуры севооборота [1, 2, 7].

Из производных сульфонилмочевин хлорсульфурон является наиболее изученным препаратом. Он довольно персистентен в окружающей среде, его остатки могут вызвать поврежде-

ния чувствительных культур даже через 2-3 года после применения.

Методика

Исследования проводили в Длительном полевом опыте на территории МСХА имени К.А. Тимирязева, заложенном в 1912 г. на Полевой опытной станции проф. А.Г. Дояренко [5]. Общие агротехнические мероприятия в севообороте и на бессеменных посевах полевых культур осуществляются общим фоном и в оптимальные сроки.

В 2002-2003 гг. в вариантах с посевами льна-долгунца (*Linum sp.*) провели обработку гербицидом ленок в дозе 7 г/га по препарату в фазу елочки (высота растений культуры 10–12 см).

По метеорологическим условиям вегетационные периоды 2002-2003 гг. значительно отличались друг от друга и от среднеголетних значений. 2002 г. отличался аномально высокими температурами воздуха и низкой обеспеченностью осадками по сравнению со среднегоголетними данными. Вегетационный период 2003 г. был благоприятным по погодным условиям для нормально-го роста и развития растений.

В соответствии с [4] в сроки 1, 7, 15, 30, 140 сут с контроля и с обработанных гербицидом делянок отбирали по горизонтам образцы почвы (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 см) с помощью почвенного бура. В них методом ВЭЖХ (высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе ф. Gold Backman) определяли содержание остатков хлорсульфурана (д.в. гербицида ленок) [3].

В наших исследованиях уровень фитотоксичности почвы изучали методом биоиндикации в вегетационных опытах, проводимых в камерах лаборатории искусственного климата — ЛИК, ВНИИФ (ф.Фетч, Германия). Растения высевали в парафинированные бумажные стаканы диаметром 100 мм с 600 г воздушно-сухой почвы, просеянной через 2 мм сито. Повторность опыта 5-кратная для каждого вида тест-растений. В контроле (без гер-

бицида) использовали почву с изолированного участка целины, расположенного рядом с опытным полем.

В качестве тест-растений использовали горчицу белую (*Sinapis alba*) и редьку дикую (*Raphanus sp.*), которые по-разному реагируют на присутствие хлорсульфурана в почве. По данным ВНИИ фитопатологии, для горчицы белой эффективные дозы (ED_{50}) — 0,45 и ED_{84} — 1,78 мг/кг, а для редьки дикой соответственно — 1,59 и 3,98 мг/кг.

Опыт проведен в контролируемых условиях. Через 28 сут надземную массу тест-растений срезали и взвешивали. Об уровне фитотоксичности хлорсульфурана в опытных образцах почвы судили по снижению массы надземной части растений в сравнении с контрольными растениями.

Фитотоксичность почвы определяли по формуле

$$I_0 = 100 \cdot \left(1 - \frac{m_0}{m_k} \right),$$

где I_0 — ингибирование роста биомассы растения-индикатора (% к контролю); m_0 и m_k — масса надземной части растений соответственно в опытном и контрольном вариантах (г).

Для количественного расчета содержания остатков гербицида в почве использовали индикаторные шкалы (рис. 1). По полученным данным строили график «Пробит-анализ» и определяли дозы хлорсульфурана, вызывающие 50 и 84% угнетение растений (табл. 1, рис. 2). И далее по этим значениям определяли коэффициент селективности (избирательности), которые равны 3,5 (по ED_{50}) и 2,2 (по ED_{84}).

Показатель селективности =

$$= \frac{ED_{50 \text{ редьки}}}{ED_{50 \text{ горчицы}}} = \frac{1,59}{0,45} = 3,5.$$

Показатель селективности =

$$= \frac{ED_{84 \text{ редьки}}}{ED_{84 \text{ горчицы}}} = \frac{3,98}{1,78} = 2,24.$$

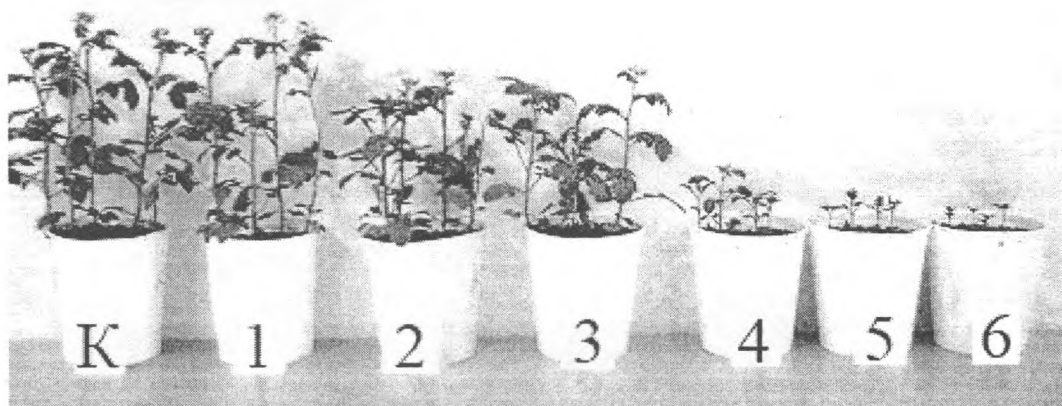


Рис. 1. Шкала для гербицида ленок (75% в.д.в. хлорсульфурон) на горчице белой: К — контроль, 1 — 0,125 г, 2 — 0,25 г, 3 — 0,5 г, 4 — 1,0 г, 5 — 2,0 г, 6 — 4,0 г по д.в. на 1 га

Т а б л и ц а 1

Снижение биомассы растений горчицы и редьки в зависимости от доз гербицида

Индикатор (тест-культура), % угнетения	Доза, д.в. г/га / lg доз					
	0,125/2,1	0,25/2,4	0,5/2,7	1,0/3,0	2,0/3,3	4,0/3,6
Горчица	15,0	25,8	53,0	78,8	87,9	97,0
Пробит	3,9	4,3	5,08	5,8	6,18	6,9
Редька	10,6	16,0	24,4	34,0	54,3	72,3
Пробит	3,8	4,0	4,3	4,59	5,1	5,58

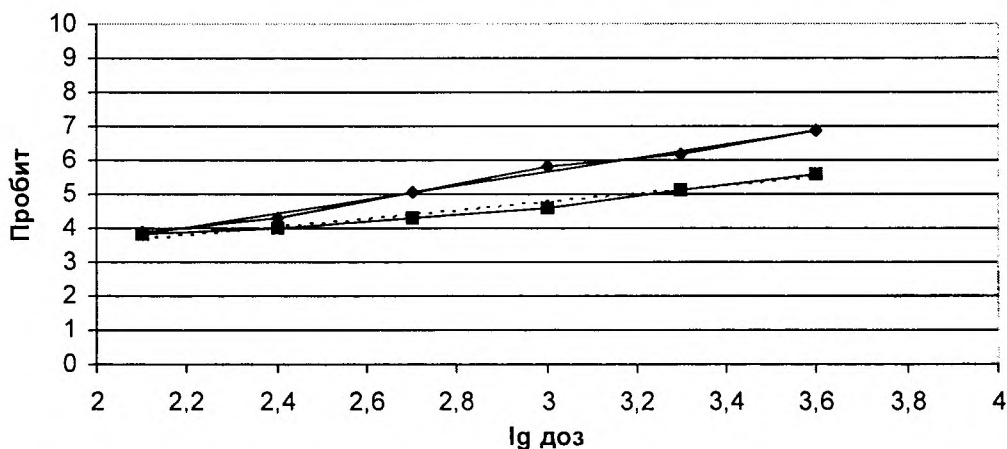


Рис. 2. Индикаторная шкала для гербицида ленок: у — пробит по % снижения надземной массы по отношению к контролю; х — lg доз (по таблице мантиссы десятичных логарифмов)

Анализ экспериментальных данных (см. табл. 1) свидетельствует, что для снижения вегетативной массы редьки на 50% требуется в 3,5 раза больше гербицида, чем для горчицы, для 84% угнетения — соответственно в 2,24 раза. Следовательно, редька более устойчива к хлорсульфурону, чем горчица.

Результаты

При определении фитотоксичности почвы, взятой с полевого опыта, в качестве тест-растения использовали горчицу белую как более устойчивую к хлорсульфурону. Фитотоксичность почвы оценивали по образцам, отобраным осенью 2002 г. (через 139 дней после применения гербицида), а последнее — по образцам почвы, отобраным весной 2003 г. (через 336 дней).

При проведении исследований было установлено, что почва, отобранная с полевого опыта через 30 сут после применения гербицида, обладала фитотоксичностью, что выразилось в угнетении развития растений. Наибольшее снижение массы растений наблюдалось на известкованной почве (рис. 3), что указывает на более высокое содержание остаточных количеств хлорсульфура. Без внесения извести при бессменном выращивании льна наибольший уровень фитотоксичности выявлен на неудообренной почве (рис. 3, б), а наименьший — на фоне внесения $N_{100}P_{150}K_{120}$ (рис. 3, г).

Через 140 дней после применения гербицида в посевах льна в севообороте при внесении NPK на фоне извести и под посевами бессменного льна при внесении NPK + навоз масса растений была ниже по сравнению с контролем, что указывает на фитотоксичность.

Растения, выращенные на почве, отобранной осенью 2002 г. в вариантах бессменного возделывания льна, где не вносили удобрения, и при совместном внесении NPK с навозом имели меньшую биомассу, чем контрольные рас-

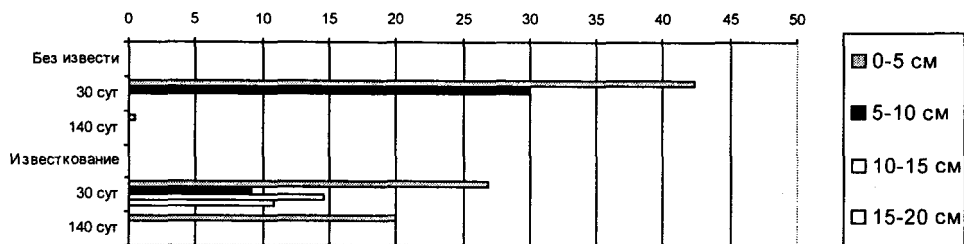
тения, что указывает на фитотоксичность почвы, т.е. наличие остаточных количеств хлорсульфура (табл. 2).

Установлено снижение массы растений на неудообренной известкованной и известкованной почве на 40%, при внесении NPK и извести — на 50%. В то же время на фоне минеральных удобрений (NPK) отмечалось увеличение массы растений на 20% на фоне без извести и на 40% на фоне с известью. На почве при возделывании льна-долгунца в севообороте биомасса растений горчицы на известкованном фоне была такой же, как и у контрольных растений, а при внесении извести — ниже на 20%.

Таким образом, фитотоксическое действие остаточных количеств хлорсульфура зависит как от способа возделывания льна-долгунца, так и от вносимых удобрений и pH почвы. В севообороте к осени препарат уже не оказывает воздействия на рост и развитие растений горчицы, так же как и в монокультуре на фоне минерального удобрения (NPK), что указывает на его разрушение.

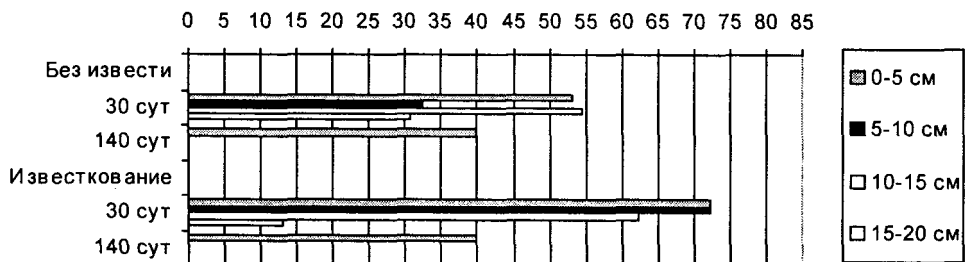
Следовательно, наименьший уровень фитотоксичности остатков гербицида ленок при применении на посевах льна в дозе 7 г/га установлен при его бессменном возделывании на фоне внесения $N_{100}P_{150}K_{120}$ без известкования. Наиболее высокий уровень фитотоксичности пахотного слоя почвы формировался при применении гербицида ленок на бессменных посевах льна на неудообренном фоне и на фоне NPK+навоз+известь. По нашему мнению, возможной причиной увеличения фитотоксичности гербицида в почве в посевах бессменного льна на неудообренном фоне может быть снижение скорости химического распада хлорсульфура (в кислой среде преобладает химическое разрушение, а при нейтральной и слабощелочной — микробиологическое и химическое) в связи с крайне засушливыми погодными условиями периода вегетации.

Фитотоксичность почвы под посевом льна-долгунца в севообороте

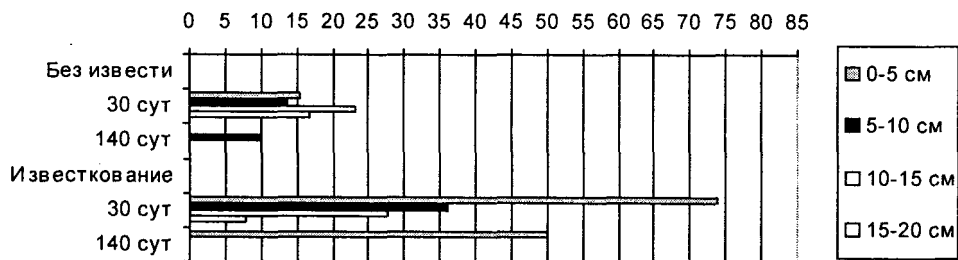


а) лен в севообороте (на фоне NPK)

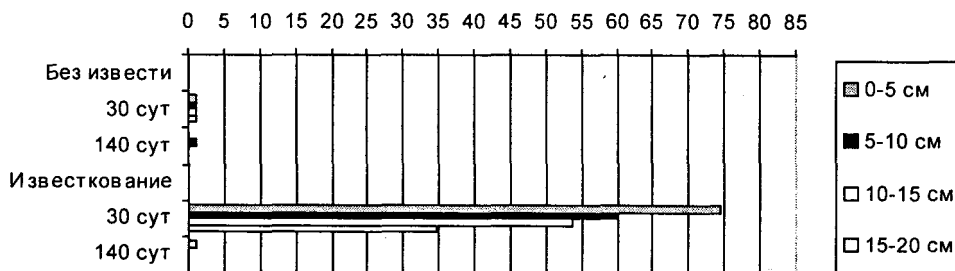
Фитотоксичность почвы под бесменным посевом льна-долгунца



б) бесменный лен (без удобрений)



в) бесменный лен (на фоне NPK + навоз)



г) бесменный лен (на фоне NPK)

Рис. 3. Уровень фитотоксичности в различных слоях почвы после применения гербицида ленок на посевах льна в дозе 7 г/га в зависимости от севооборота, удобрений и известкования

Примечание. Через 140 сут после внесения гербицида проведена биоиндикация верхнего горизонта $A_{\text{нах}}$ (0-20 см), в остальные сроки — по слоям через каждые 5 см, сырая надземная масса горчицы белой в контроле — 2,6 г.

Уровень фитотоксичности и последствия гербицида ленок (д.в. хлорсульфурон) в посевах льна-долгунца в зависимости от удобрений и севооборота (% снижения биомассы тест-растений горчицы белой)

Вариант	Осень 2002 г.	Весна 2003 г.
<i>Бесменно</i>		
Без удобрений (контроль)	40	+33,7
	40	12,8
NPK	+20	+551,1
	+40	+159,3
NPK+навоз	10	+47,6
	50	+39,5
<i>В севообороте</i>		
NPK	0	+4,6
	20	12,7

Примечание. В числителе — без известки, в знаменателе — по фону известкования «+» нарастание биомассы в опытных вариантах по сравнению с контролем.

В нейтральных и слабощелочных почвах этот процесс тормозится еще в большей степени. Поэтому хлорсульфурон отличался повышенной степенью устойчивости, из-за этого в бесменных посевах льна на фоне внесения NPK + навоз + известь скорость деструкции данного гербицида может заметно снижаться. Следует также отметить тот факт, что хлорсульфурон локализовался в основном в слое почвы 5-10 см, что указывает на слабую его миграцию по профилю почвы.

На фоне известкования наблюдалось некоторое увеличение продолжительности периода сохранения остаточного действия гербицида только в севообороте в вариантах без удобрений и при внесении NPK (табл. 3).

Почва, отобранная в декабре 2003 г., практически не обладала фитотоксичностью, так как масса растений горчицы была на уровне контроля, а при выращивании ее на почве, взятой в вариантах с внесением удобрений, она превышала контроль. Так, без известки увеличение массы растений достигало на фоне NPK — 92%, NPK + навоз — 10% на бесменном льне и соответственно — 9 и 115% — в севообороте.

На известкованном фоне стимуляция нарастания биомассы растений под влиянием ранее внесенных удобрений была менее заметной и составляла 8-13% в монокультуре и 13% — в севообороте.

Это было связано и с тем, что погодные условия 2003 г. были благоприятны для дальнейшего быстрого разложения остатков гербицида в разных вариантах опыта в отличие от 2002 г., когда в условиях аномально сухого начала вегетационного сезона повышалась прочность сорбционных связей остатков хлорсульфурона с почвенно-поглощающим комплексом и снижалась их доступность для деструкции как химической, так и микробиологической (табл. 4).

Таким образом, по результатам исследований в 2003 г. действия хлорсульфурона в дерново-подзолистой почве этот гербицид можно характеризовать как среднеперсистентный. В итоге для вариантов без внесения известки $T_{50} = 3-4$, $T_{90} = 12-14$ и $T_{99} = 23-29$ сут и для известкованных участков — $T_{50} = 4-7$, $T_{90} = 13-22$ и $T_{99} = 27-44$ сут (рис. 4).

Т а б л и ц а 3

Биотестирование уровня фитотоксичности дерново-подзолистой почвы через 139 сут после применения гербицида ленок на посевах льна в дозе 7 г/га (индикатор — горчица белая, 2003 г.)

Вариант	Удобрения	Биомасса горчицы, г	Отклонение от контроля, %
Контроль (без извести)		1,34	—
Бессменно	Без удобрений	1,30	3
	NPK	2,57	+92
	NPK+навоз	1,48	+10
В севообороте	Без удобрений	1,80	+34
	NPK	1,47	+9
	NPK+навоз	2,88	+115
HCP ₀₅		0,20	—
Контроль (по извести)		2,10	—
Бессменно	Без удобрений	2,03	4
	NPK	2,26	+8
	NPK+навоз	2,38	+13
В севообороте	Без удобрений	1,75	17
	NPK	1,88	11
	NPK+навоз	2,37	+13
HCP ₀₅		0,28	—

Т а б л и ц а 4

Изменение уровня фитотоксичности пахотного слоя почвы в посевах льна в зависимости от севооборота, удобрений и известкования после применения гербицида ленок в дозе 7 г/га (% отклонения от контроля, 2002-2003 гг.)

Вариант		Удобрения	Осень 2002* учет 4.11.02	Весна 2003** учет 22.05.03
В севообороте Бессменно	Без извести	NPK	20	0
		Без удобрений	40	0
		NPK+навоз	10	0
		NPK	0	0
HCP ₀₅			10	
В севообороте Бессменно	По извести	NPK	0	12
		Без удобрений	40	13
		NPK+навоз	50	0
		NPK	0	0
HCP ₀₅			12	12

* Через 139 дней, ** через 336 дней после применения гербицида.

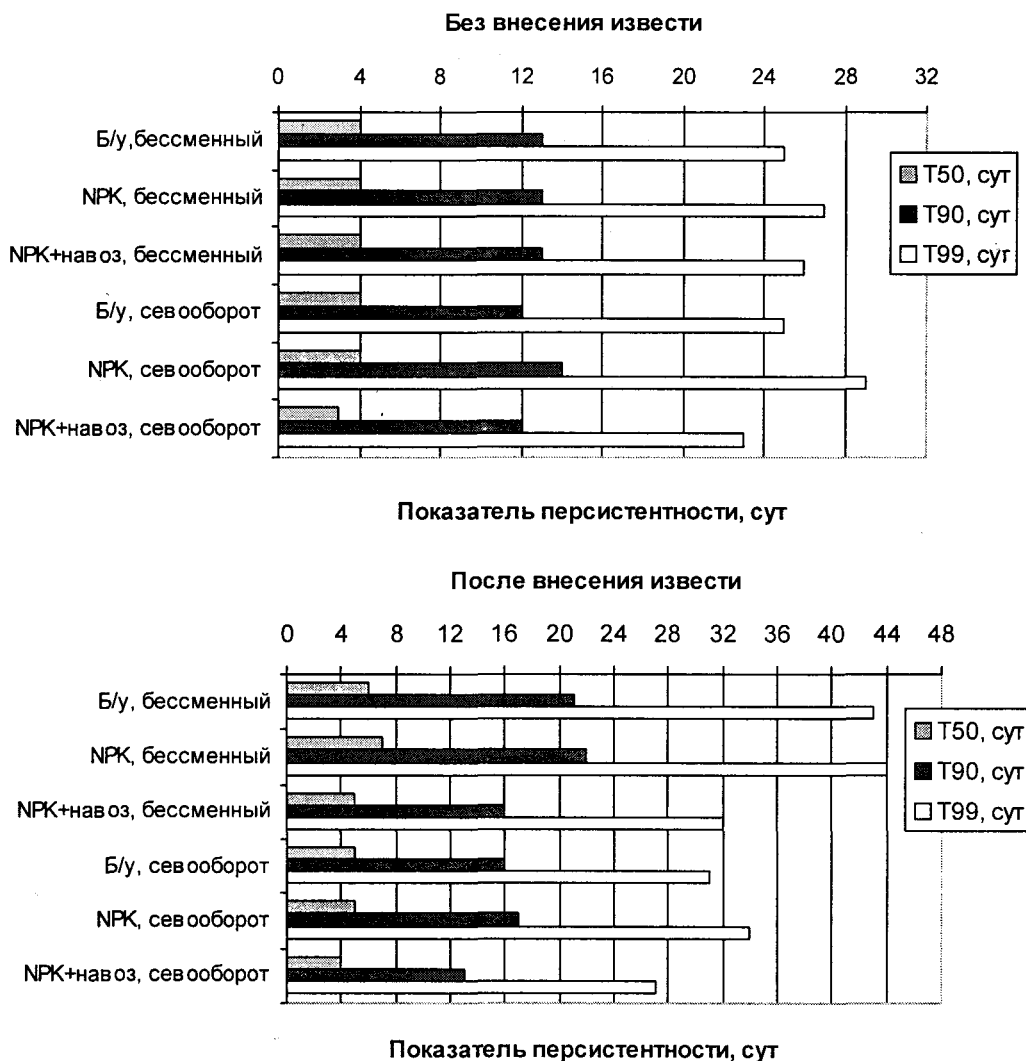


Рис. 4. Уровень персистентности хлорсульфурина при бессменном возделывании льна-долгунца, 2003 г.

Заключение

Регламент применения гербицида ленок в посевах льна в дозе 7 г/га удовлетворяет экологической безопасности для окружающей среды. Применение этого препарата в рекомендованных дозах до 7 г/га характеризуется малой вероятностью остаточного отрицательно-

го последствия на чувствительные культуры севооборота на дерново-подзолистых почвах для Нечерноземной зоны.

В течение 2 лет экспериментально установлено, что на фоне внесения минеральных удобрений $(M_{III})P_{15}(K_{12})$ и органических (навоз — 20 т/га) применение ленка на посевах льна-долгунца при нор-