

УДК 631.42:632.95

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ХЛОРСУЛЬФУРОНА В ПОЧВАХ

© 2021 г. В. В. Тараненко¹, В. С. Белоусов¹, Л. В. Дядюченко¹, *

¹Федеральный научный центр биологической защиты растений
350039 Краснодар-39, Россия

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Оценили негативное воздействие хлорсульфурона на почвы и нейтрализацию остаточных количеств гербицида биологически активными полимерами. Установлено, что хлорсульфурон (ДРХ 4189) на выщелоченных черноземах снижает дыхание почвы на 30–60%, угнетает активность целлюлозоразрушающей микрофлоры. Известкование почв различных генетических типов усиливало фитотоксичность ДРХ 4189 до 25%. Показано, что для регулирования роста растений на гербицидном фоне эффективны катионные полиэлектролиты: алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода.

Ключевые слова: хлорсульфурон, типы почв, фитотоксичность, биологически активные полимеры.

DOI: 10.31857/S0002188121050112

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная и длительная эксплуатация почвенного покрова в качестве неизменного природного технологического ресурса привело к нарушению экологического равновесия и нестабильности биологических систем, что способствует возникновению и развитию процессов деградации наиболее ценного элемента биосферы – почвенного покрова, изначально не возобновляемого и ограниченного качественно и количественно [1]. Постоянно возрастающее применение гербицидов снижает протекторную роль почв – процессы самоочищения и их нейтрализация резко снижаются. Общее направление возрастающего производства пестицидов, переход от стабильных хлорорганических химических соединений к менее устойчивым карбаматам, органофосфатам, сульфонилмочевинам повлекло возникновение проблемы отрицательного последствия остаточных количеств вследствие их высокой фитотоксичности. Биологическая активность гербицидов класса сульфонилмочевин проявляется при внесении дозировок 5–20 г/га [2], а его пространственное распределение при внесении в почву соответствует кривой распределения Гаусса [3]. Здоровая почва имеет более высокую степень защиты от неблагоприятных условий, чем загрязненная.

Для разработки безопасных агротехнологий совершенствуется экспертная оценка почв и создаются ассоциации по вопросам улучшения почвенного покрова. Мировая практика земледелия установила, что применение адсорбентов различной природы – достаточно надежный и универсальный метод снижения фитотоксичности остаточных количеств пестицидов в почве. Служба охраны почв США уже несколько десятилетий широко использует активированный уголь марки гройсеф (Grosefe), который с добавкой специальных веществ дезактивирует остаточные количества не только путем физической сорбции, но и хемосорбции [4–6]. Подобная практика оздоровления почв в РФ крайне незначительна, несмотря на то что остаточные количества пестицидов в почве имеют положительную корреляцию с распространением онкологических заболеваний [7].

В последние годы южные степные пространства под влиянием климатических флуктуаций становятся экологически нестабильным пространством, что обостряет возникающие деградационные процессы и делают особо актуальной проблему оздоровления почв, как основного фактора их продуктивности. Цель работы – поиск способов снижения фитотоксичности остаточных количеств гербицидов группы сульфонилмо-

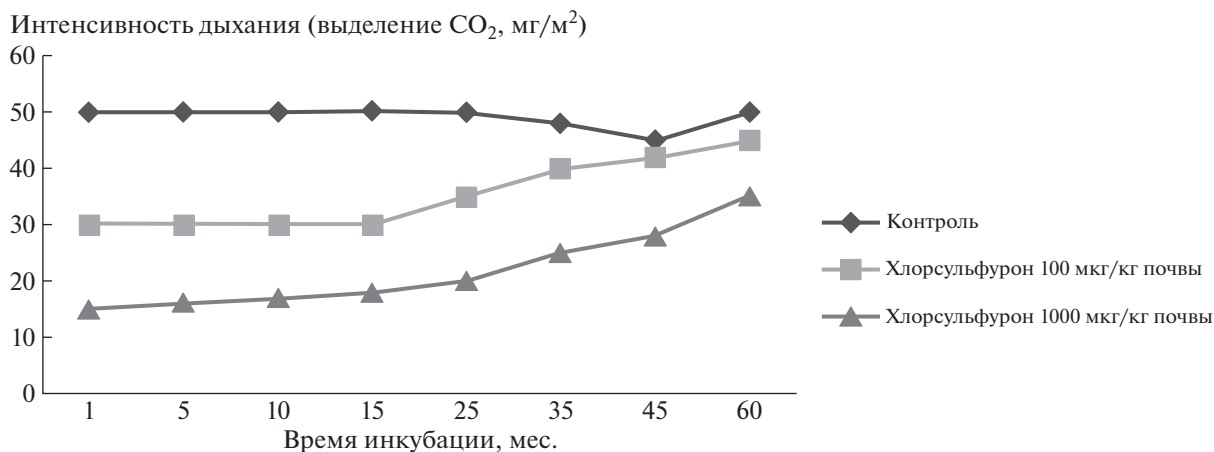


Рис. 1. Влияние хлорсульфурана на интенсивность дыхания выщелоченного чернозема.

чевин для сохранения самоочищающейся способности почв.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на почвах сельхозугодий Предкавказской равнины и предгорий Кавказа, почвенный покров которых имеет в своей структуре типы почв, не имеющие аналогов в мировом почвенном покрове: выщелоченные сверхмощные черноземы, перегнойно-карбонатные тяжелосуглинистые, бурые остаточнок-карбонатные тяжелосуглинистые, бурые ненасыщенные тяжелосуглинистые почвы, желтоземы слабоподзолонные легкоглинистые.

Образцы почв отбирали из горизонта А целинных участков каждого изученного типа почв, доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали, просеивались через сито 2 мм. Опыт проводили в вегетационных сосудах емкостью 0.5 л, повторность пятикратная, вегетационный период составлял 21 сут при влажности почвы 50–60% ППВ. Фитотоксический фон моделировали путем обработки почвы в вегетационном сосуде водным раствором хлорсульфурана (ДРХ 4189). опыты по определению дыхания почвы проводили по общепризнанным методикам [8].

Методические подходы определения адсорбции как разницы между исходной концентрацией ксенобиотика и равновесной изложены ранее [9, 10]. В качестве сорбентов использовали катионные полиэлектролиты: поли-N,N-диметил-N,N-дидодециламмонийхлорид (ПДМДДАХ) и его сополимер с N,N-диметил-N,N-дидодециламмонийгидрофосфатом (ПДМДДАГФ). Опыт проводили с черноземом выщелоченным тяжелосуглинистым и черноземом карбонатным тяжелосуглинистым.

Последовательность операций в опытах была следующей: 1 – обработка подготовленной почвы в вегетационном сосуде гербицидом в дозах 100, 500 и 1000 мг/кг почвы, 2 – через 1 сут обработка почвы сорбентом в дозах 1.0 и 10.0 кг/га, 3 – через 1 сут высев тест-культуры (кукуруза и горох), 4 – вегетация растений при влажности 50–60% ППВ и 5 – через 21 сут учет надземной зеленой массы. Гидролитическую кислотность почв нейтрализовали внесением извести-пушенки в дозе 0.75 Н_г.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием (показателя наименьшей существенной разницы (*HCP*₀₅)) [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Однократное применение хлорсульфурана (ДРХ 4189) даже в незначительных дозах оказывало существенное влияние на микробную массу выщелоченного чернозема, составляющую по данным многих исследований 2.5–5.0 т/га. В первую неделю после попадания гербицида в почву ее дыхание (выделение CO₂) в зависимости от дозы гербицида снижалось на 30–60% (рис. 1) и только через 2 мес. восстанавливалось до 70–90% первоначального режима, не преодолев полностью стрессовую ситуацию.

Влияние хлорсульфурана на активность целлюлозоразрушающей микрофлоры было менее значительным, но продолжительным. Увеличение дозировки хлорсульфурана снижало активность целлюлозоразрушающей микрофлоры, увеличивая количество неразложившейся клетчатки на 15–25% по отношению к контролю в течение 2-х мес., но по истечении 4-х мес. инкубации количество неразложившейся клетчатки пре-

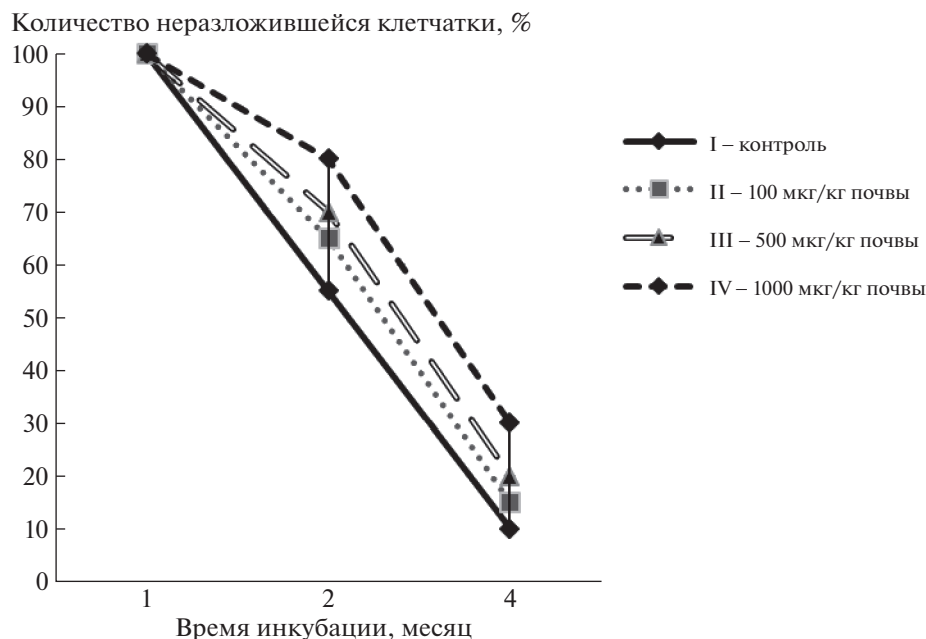


Рис. 2. Влияние хлорсульфурана на активность целлюлозоразрушающей микрофлоры в выщелоченном черноземе, % неразложившейся клетчатки.

вышло контроль на 10–15% при дозировке гербицида 1000 мкг/га (рис. 2).

При изучении влияния известкования на фитотоксичность остаточных количеств хлорсульфурана была определена гидролитическая кислотность испытанных почв (табл. 1). Показано, что снижение кислотности во всех типах почв, исследованных в опыте, увеличивало фитотоксичность хлорсульфурана на 20–30%.

Проведение испытаний способа регулирования роста тест-растений на фоне остаточных количеств гербицидов с помощью катионных полиэлектролитов ПДМДДАХ и его сополимера с ДМДААГФ было основано на идее разработки детоксикантов, характеризующихся водорастворимостью, достаточной для продвижения по почвенному профилю, и наличием полярных (гидрофильных) и неполярных (гидрофобных) функциональных групп, способных к ионному обмену.

Эффективность детоксикации определяли отношением зеленой массы растений в варианте с детоксикантом к массе таковой в варианте без применения детоксиканта (фон), выраженным в %. Проведенные исследования (табл. 2) показали, что испытанные катионные полиэлектролиты взаимодействовали как с полифункциональными компонентами почвенного комплекса, так и с молекулами гербицидов, представляющими собой преимущественно нейтральные молекулы или анионы.

Показано, что алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода проявляли высокую способность к инаktivации остаточных гербицидов. Увеличение дозировки полиэлектролитов до 10 кг/га (расход рабочей жидкости 300 л/га) усиливал эффект детоксикации. Применение полиэлектролитов при ожидаемом уровне потерь 50–75% на фоне остаточных количеств гербицида удваивало растительную массу. Развитие этих исследований позволило разработать рекомендации по их применению [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование гербицидов в сельскохозяйственном производстве оказывало стрессовое влияние на почвы, которое проявлялось в снижении дыхания почвы на 30–70% и угнетении активности целлюлозоразрушающей микрофлоры на 10–15% в течение нескольких месяцев после их применения. Снижение кислотности почв известкованием повышало фитотоксичность хлорсульфурана на 20–30%. Преодоление негативного последствия гербицида возможно при применении катионных полиэлектролитов. Высокой эффективностью в инаktivации остатков хлорсульфурана обладали алкиламмониевые соли с *n*-алкильными заместителями длиной 11–12 атомов углерода.

Таблица 1. Влияние известкования на активность гербицида ДРХ 4189 (доза 5 г/га)

Тип почвы	Культура	Доза извести, ц/га	Надземная масса, г/сосуд	<i>HCP</i> ₀₅
Чернозем выщелоченный	Кукуруза	0	7.67	0.63
		9.2	6.40	
	Горох	0	2.12	0.69
		9.2	4.43	
Перегноино-карбонатные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	6.94	0.85
		2.3	5.85	
	Горох	0	5.73	0.99
		2.3	4.58	
Бурые остаточоно-карбонатные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	4.85	0.95
		6.6	3.88	
	Горох	0	2.82	0.64
		6.2	1.73	
Бурые ненасыщенные тяжелосуглинистые	Кукуруза	0	5.12	0.64
		6.2	3.72	
	Горох	0	2.53	0.60
		6.2	1.63	
Желтоземы слабоподзоленные легкоглинистые	Горох	0	2.79	0.69
		6.6	1.92	

Таблица 2. Эффективность детоксикации почв от остаточных количеств хлорсульфурона с помощью катионных полиэлектролитов

Тип почв	Культура	Вариант	Эффективность детоксикации, %
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый	Кукуруза	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
		Фон + П ₂ 1.0 кг/га	125*
		Фон + П ₂ 10.0 кг/га	150*
		Фон + П ₁ 1.0 кг/га	133*
		Фон + П ₁ 10.0 кг/га	164*
	Горох	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
	Фон + П ₂ 1.0 кг/га	181*	
	Фон + П ₂ 10.0 кг/га	309*	
	Фон + П ₁ 1.0 кг/га	175*	
	Фон + П ₁ 10.0 кг/га	377*	
Чернозем карбонатный тяжелосуглинистый	Кукуруза	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
		Фон + П ₂ 1.0 кг/га	154*
		Фон + П ₂ 10.0 кг/га	291*
		Фон + П ₁ 1.0 кг/га	147*
		Фон + П ₁ 10.0 кг/га	220*
	Горох	ДРХ 4189 5.0 г/га (фон), 100%	—
	Фон + П ₂ 1.0 кг/га	181*	
	Фон + П ₂ 10.0 кг/га	369*	
	Фон + П ₁ 1.0 кг/га	175*	
	Фон + П ₁ 10.0 кг/га	337*	

Примечание. П₁ – ПДМДААХ, П₂ – сополимер ПДМДААХ с ДМДААГФ (70 : 30, мольные %).*Различия достоверны при $p = 0.95$.

Загрязняющие вещества почвы не консервативны. Возможны и необходимы приемы по их трансформации, разложению и сорбционному самоочищению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота // Сб. мат-лов Всерос. научн. конф. М., 2008. 404 с.
2. Поддубкина М.М. Последствие хлорсульфурана для культур севооборота // Изв. ТСХА. 2007. № 3. С. 29–37.
3. Горбатов В.С., Колупанова В.Н., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Пространственная вариабельность остаточных количеств хлорсульфурана в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 1983. № 6. С. 112–115.
4. Kennedy J.M., Jeffery L.S. Use of activated charcoal to reduce injury to summer squash by ethalfluralin or pendimethalin // Tennessee Farm and Home Sci. 1983. № 125. P. 26–29.
5. Oyg A.G. Effect of activated carbon on phytotoxicity of terlacil to several crops // Weed Sci. 1982. V 30. № 6. P. 683–687.
6. Romanowaki R.R. Activated carbon protects direct-seeded tomateta from partially selective herbicides // J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 1982. V 107. № 1. P. 27–30.
7. Ларионов К.В. Распространение пестицидов в экосистеме Краснодарского края, их минерализация и воздействие на окружающую среду: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Краснодар, 2008. 22 с.
8. Теннер Е.З., Школьникова В.К., Переверзева Т.И. Практикум по микробиологии. М., 2004. 256 с.
9. Белоусов В.С. Композиционные сорбционные инактиваторы остатков почвенных гербицидов // Агрохимия. 2005. № 7. С. 43–50.
10. Белоусов В.С. Циолитсодержащие породы Краснодарского края в качестве инактиваторов тяжелых металлов в почве // Агрохимия. 2006. № 4. С. 78–81.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
12. Белоусов В.С., Тараненко В.В., Володин А.Б., Капустин С.И., Пашков Ю.И. Применение сорбционных композиций для детоксикации почв, загрязненных остатками пестицидов: Рекоменд. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 2019. 12 с.

Development of Methods for Neutralizing Residual Amounts of Chlorsulfuron in Soils

V. V. Taranenko^a, V. S. Belousov^a, and L. V. Dyadyuchenko^{a, #}

^a Federal Research Center of Biological Plant Protection
Krasnodar-39 350039, Russia

[#] E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

The aim of the study was to assess the negative impact of chlorosulfuron on the soil and neutralize the residual amounts of herbicide with biologically active polymers. It was found that chlorosulfuron on leached chernozems reduces soil respiration by 30–60%, inhibits the activity of cellulose-destroying microflora. Liming of soils of various genetic types increases the phytotoxicity of chlorosulfuron up to 25%. Cationic polyelectrolites are effective in regulating plant growth on a herbicide background: alkylammonium salts with *n*-alkyl substituents of 11–12 carbon atoms long.

Key words: chlorosulfuron, soil types, phytotoxicity, biologically active polymers.