

УДК 632.915

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ИНДИКАЦИЯ И ПРОГНОЗ ECOLOGICAL STATE OF AGRICULTURAL SOIL: INDICATION AND FORECAST

Г.Е. Ларина, ВНИИ фитопатологии, 143050, Россия, Московская область, Одинцовский р-он, пос. Большие Вяземы, ул. Институт, 16, кв. 240, тел.: (903) 152-73-04, e-mail: galara@mail.ru

G.E. Larina, VNI phytopathology, 143050, Russian Federation, Moscow region, Odintsovsky district, Bolshye Vyazemy, Institut st., 16, ap. 240. tel.: (903) 152-73-04, e-mail: galara@mail.ru

В статье проведено сравнение возможностей аналитического и биологического метода для индикации экологического состояния почвы сельскохозяйственного использования, дан прогноз уровня фитотоксичности почвы после применения сульфонилмочевинных и имидазолиновых гербицидов, предложена коррекция мероприятий по сохранению продуктивности сельхозкультур в условиях дерново-подзолистой и черноземной почвы.

Ключевые слова: инструментальный метод, биоиндикация, гербицид, почва.

The comparison of the possibilities of analytical and biological method for the indication of the ecological state of the soil of agricultural practice is carried out in the article. Forecast of phytotoxicity level of soil is proposed after the application of the sulfonylurea and imidazolinone herbicides and the correction of measures for the retention of the productivity of agricultural crops under the conditions of soddy-podzolic and chernozem soil are given.

Key words: instrument method, bioindication, herbicide, soil.

Пересмотр современных требований оценки состояния окружающей среды связан с ужесточением гигиенических нормативов и качеством методов идентификации и контроля. В связи с этим важно уметь дать объективную оценку токсикологии пестицидов для окружающей среды на примере индикации и прогноза негативного последствия на уровень плодородия почвы после применения гербицидов в конкретных условиях возделывания сельхозкультур.

В качестве объектов исследования изучали дерново-подзолистую почву ($C_{\text{орг}}$ 2,5%; $pH_{\text{сop}}$ 4,0) и чернозем выщелоченный ($C_{\text{орг}}$ 5,1%; $pH_{\text{сop}}$ 6,6). Образцы почвы отбирали из пахотного горизонта экспериментальных участков (0—20 см) на 90 сут. после однократной обработки гербицидами: Ларен, СП, 75% (д.в. метсульфурон-метил) (15 г/га), Кортес, СП, 75% (д.в. хлорсульфурон) (8 г/га), Пульсар, ВР, 4% (д.в. имазамокс) (1,0 л/га) и Пивот, ВК, 10% (д.в. имазетапир) (1,0 л/га).

Уровень фитотоксичности почвы оценивали методом биоиндикации с помощью тест-растений, различающихся чувствительностью [3, 5]. В качестве индикаторов использовали подсолнечник, горчицу белую — сорт Рязанская, рапс яровой — сорт Салют, пшеницу яровую — сорт Московская 35. По снижению биомассы культуры строили логарифмическую зависимость доза-эффект, в дальнейшем по калибровочному графику определяли содержание остатков гербицида в почве.

Экологические исследования по детектированию остатков гербицидов в почве проводили стандартными инструментальными методами — высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ) на хроматографе Gold Beackman и газожидкостной хроматографии (ГЖХ) на хроматографах марок Цвет и Кристалл.

Цели исследования:

- сравнение аналитического и биологического методов для индикации экологического состояния почвы;
- прогноз уровня фитотоксичности почвы и коррекция мероприятий по сохранению продуктивности сельхозкультур.

Инструментальный мониторинг состояния агроценозов, и в частности почвенного плодородия, основан на биоиндикации и физико-химических методах. Сравнительная характеристика методов индикации остатков гербицидов в условиях дерново-подзолистой почвы приведена в табл. 1.

Аналитические методы полезны при проведении массовых анализов содержания остатков гербицидов в объектах

Таблица 1. Характеристика аналитического и биологического методов индикации остатков гербицидов в условиях дерново-подзолистой почвы

Гербицид, д.в.	Аналитический метод; предел обнаружения мг/кг (мг/л)	Биологический метод; индикаторное растение	Биологический метод; концентрации (дозы) шкалы, г/га	Биологический метод; регрессионное уравнение вида: $Y = aX + b$		
				a	b	r^2
Кортес, хлорсульфурон	0,002	Горчица белая	0,1—5,0	20,72	29,63	0,83
		Подсолнечник	1—32	2,75	-6,01	0,94
Ларен, метсульфурон-метил	0,004	Горчица белая	0,2—2,0	94,31	2,69	0,96
		Подсолнечник	1—16	1,00	39,50	0,82
Пивот, имазетапир	0,002	Горчица белая	0,5—4,5	14,11	-11,92	0,74
		Пшеница озимая	10,0—80,0	0,073	85,66	0,88
Пульсар, имазамокс	0,001	Горчица белая	0,1—2,5	37,03	-19,62	0,98
		Пшеница озимая	2,5—40,0	4,10	1,52	0,98

Примечание: $Y = \ln C_t / C_0$ — снижение биомассы надземных органов растения при почвенном применении препарата, %; X — доза, г/га

о окружающей среды (и биологических объектах в том числе), т.к. характеризуются хорошей селективностью и высокой производительностью. Биологическим методом идентифицируют суммарное содержание фитотоксиканта в почве — препарат и совокупность всех продуктов его трансформации. Физико-химические методы позволяют проводить раздельное определение концентрации основного соединения, не изменяя его химической природы, и его метаболитов в объектах агрофитоценоза — почва, вода, растение (урожай сельскохозяйственных культур и продукты их переработки). При всем разнообразии вариантов аналитические исследования складываются из нескольких этапов: отбор и подготовка проб; извлечение определяемого д.в.; концентрирование экстрактов и их очистка от сопутствующих компонентов с использованием сорбентов двух- и трехфазных систем органических растворителей; идентификация и количественное определение д.в. в пробе. Отметим, что универсальной методики извлечения остатков гербицидов для различных объектов, унифицированной схемы очистки экстрактов и набора условий количественного определения идентифицируемого д.в. не существует — в каждом конкретном случае требуется индивидуальное решение, подбираемое экспериментально.

Сравнивая результаты, получаемые разными методами на примере индикации остатков имзамокса в почве, было установлено, что биологическим методом определяется количество препарата на 7—15% больше, чем аналитическим. Этот факт свидетельствует о получении методом биоиндикации суммарной оценки фитотоксичности исходного соединения и его метаболитов. Значения коэффициента корреляции (r) между числовыми данными, полученными аналитическим и биологическим методом, равны 0,85—0,91, что указывает на тесную связь между этими величинами. Однако индикаторные культуры, рекомендуемые к применению в биотестировании, отличаются по ботаническим характеристикам, их разной реакцией на уровень плодородия почвы и пр. В итоге рассчитанные значения содержания остатков гербицидов в почве биологическим методом не являются абсолютными и демонстрируют вероятный уровень фитотоксичности препарата в почве.

Химический анализ почвенных образцов продемонстрировал, что на 90 сут. после применения гербицидов в условиях дерново-подзолистой почвы и чернозема выщелоченного содержание остаточных количеств имзамокса, имазетапира, хлорсульфурона и метсульфурон-метила не превысило 1—9% от исходной дозы (табл. 2). На участках с применением сульфонилмочевинных гербицидов уровень фитотоксичности в условиях чернозема выщелоченного был выше, чем с дерново-подзолистой почвой. Это связано с более прочной сорбцией и пролонгированным периодом сохранения производных сульфонилмочевины в условиях высокой гумусированности и нейтральной/слабощелочной реакции почвы [4]. Имидазолиноны менее зависимы от уровня кислотности почвы, их отличает более высокий уровень персистентности в дерново-подзолистой почве по сравнению с сульфонилмочевинами [3]. Период полураспада в изучаемых типах почв для сульфонилмочевинных гербицидов (хлорсульфурон, метсульфурон-метил) равнялся 11—42 сут., имидазолинонов (имазетапир, имзамокс) — 24—47 сут.

Таблица 2. Индикация гербицидов в пахотном слое почвы

Метод определения	Гербицид	Доза, г/га (мкг д.в./кг)	Содержание гербицида (мкг/кг) на на 90-е сут. экспозиции	
			Дерново-подзолистая почва	Чернозем выщелоченный
Аналитический	Кортес	8 (5)	0,71	1,70
	Ларен	15 (5)	0,14	0,42
	Пивот	1000 (83)	0,92	7,41
	Пульсар	1000 (33)	0,14	—
Биоиндикация*	Кортес	8 (5)	0,92	3,00
	Ларен	15 (5)	0,73	0,61
	Пивот	1000 (83)	4,20	8,90
	Пульсар	1000 (33)	0,40	—

* Пересчитывали согласно индикационным шкалам для каждого гербицида, «—» — нет данных

Способность почвы агроценозов к самоочищению после применения гербицидов можно оценить по временному периоду (или периода самоочищения — ПС), необходимому для снижения содержания остаточных количеств гербицида в почве до уровня не превышающего предельно допустимые концентрации — ПДК_{почва}. Для практиков важно знать, безопасен ли уровень фитотоксичности пахотного слоя почвы перед посевом соответствующей культуры севооборота. На этот вопрос можно ответить, зная временной период, в течение которого уровень фитотоксичности почвы (или период фитотоксичности — ПФ) не будет приводить к снижению продуктивности

чувствительной культуры севооборота на 10% и более по сравнению с контрольным вариантом без применения гербицида [1, 2].

Согласно результатам прогноза величины ПС (табл. 3), во всех вариантах после применения изучаемых гербицидов ситуация благополучна, т.е. в течение вегетационного сезона уровень содержания остаточных количеств гербицидов хлорсульфурона, метсульфурон-метила, имазетапира и имзамокса снизился до величины разрешенного значения гигиенического норматива ПДК_{почва}. Результаты расчетов ПФ продемонстрировали отсутствие негативного проявления для высокочувствительной культуры — рапса масличного в условиях дерново-подзолистой почвы и чернозема выщелоченного, т.е. каких-либо ограничений в севообороте на следующий год нет.

Гербицид (д.в.)	Доза, г/га (мкг д.в./кг)	ПДК _{почва} мг/кг	ЭД ₁₀ (рапс) мкг/кг	Экспозиция, сут.	
				ПФ	ПС
Кортес	8 (5)	нд	0,2	80 122	48 60
Ларен	15 (5)	0,5	0,08	17 65	9 36
Пивот	1000 (83)	1,0	0,5	124 135	58 77
Пульсар, ВР	1000 (33)	1,5	0,5	81 —	42 —

Примечание: ЭД₁₀ — эффективная доза гербицида, снижающая продуктивность (биомассу) индикаторного растения свыше 10% по сравнению с контрольным вариантом (без применения гербицида); нд — не допустимо обнаружение остатков гербицида (использовали в расчетах значения предела обнаружения соответствующим методом); ПС — период самоочищения почвы до уровня содержания остаточных количеств гербицида в почве, не превышающего гигиенический норматив ПДК_{почва}; сут.; ПФ — период, в течение которого уровень фитотоксичности почвы по отношению к чувствительной культуре севооборота снизился до уровня ЭД₁₀

Однако, в случае с гербицидом Кортес СП, применяемым в условиях чернозема выщелоченного, и Пивот, ВК в условиях дерново-подзолистой почвы наблюдались граничные значения ПФ = 122—135 сут. Для корректного принятия решения требуются уточняющие эксперименты оценки уровня фитотоксичности почвы весной перед проведением сева культуры. В литературе приведены случаи негативного последствия на культуру севооборота после применения Пивота в дозе 1,0 л/га в засушливый год [5] или Кортеса в дозе 8 г/га в холодный год [4]. В качестве мероприятий, исключающих потери продуктивности сельскохозяйственных культур, можно рекомендовать выращивание на этих участках зернобобовых, пшеницы, ячменя, кукурузы и воздержаться от посева чувствительных — подсолнечник, гречиха, рапс, свекла.

Итак, метод биоиндикации — процесс трудоемкий, но общедоступный при условии сохранения схемы опыта, типа почвы, сорта растения и др. — отличается достаточно высокой точностью и воспроизводимостью. Данные, полученные разными методами, сопоставимы: инструментальный метод детектирует собственно активное начало гербицида (или д.в.), а биоиндикация — суммарную фитотоксичность препаративной формы (д.в. и его метаболитов, смачиватели, прилипатели, растворители и др.). Данный факт важно учитывать при прогнозе и интерпретации результатов, полученных разными методами индикации. Согласно гигиеническим показателям (например, ПДК) содержание остаточных количеств современных гербицидов (сульфонилмочевины и имидазолиноны) к концу вегетации безопасно для

окружающей среды, но уровень фитотоксичности почвы для последующих культур севооборота может негативно сказаться на качестве и количестве урожая. Сочетание инструментальных и биологических методов дает комплекс-

ную экологическую оценку состояния агроценозов и позволяет в дальнейшем с учетом величины ПС и ПФ принимать оптимальные экологические решения по рекультивации земель, корректировке севооборотов и пр. ■

Литература

1. Ларина Г.Е. Комплексная оценка действия гербицидов на компоненты агроценоза // *Агрехимия*, 2002. — № 4. — С.64—74.
2. Ларина Г.Е. Методология эколого-токсикологического мониторинга гербицидов в агроэкосистеме (на примере производных сульфонилмочевины и имидазолинона). Автор. дисс. доктора биол. наук. — М.: МСХА, 2007. — 38 с.
3. Ларина Г.Е., Спиридонов Ю.Я., Захаров С.А., Захарова Т.В. Индикация остатков гербицидного препарата «Пульсар» в объектах агроценоза // *Агрехимия*, 2001. — № 4. — С.67—75.
4. Поддымкина Л.М., Захаренко А.В., Ларина Г.Е., Спиридонов Ю.Я. Фитотоксичность почвы и персистентность гербицида Ленок после его применения в посевах льна // *Плодородие*, 2003. — №4 (13). — С.35—37.
5. Рекомендации по применению имидазолиновых гербицидов в посевах зернобобовых культур в России / Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е. и др. — М.: БАСФ-ВНИИФ, 2003. — 94 с.