

УДК 632.954:631.461

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОФЛОРУ<sup>1</sup>

© 2021 г. Н. Ю. Заргарян<sup>1,\*</sup>, А. Ю. Кекало<sup>1</sup>, В. В. Немченко<sup>1</sup><sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН  
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, Россия

\*E-mail: natashazarg@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.05.2021 г.

После доработки 10.06.2021 г.

Принята к публикации 12.07.2021 г.

В полевых опытах на базе Курганского НИИСХ – филиала УрФАНИЦ УрО РАН в 2019–2020 гг. проведено исследование влияния предпосевного применения гербицидов с разными действующими веществами на микробиологическую активность чернозема выщелоченного. Установлено негативное последствие остаточных количеств гербицидов на почвенную микрофлору по истечении 15 сут после их применения, снижение биогенности составило от 62 до 74% относительно контроля. Через 35 сут эффективное действие гербицидов в борьбе с сорной растительностью способствовало увеличению численности агрономически важных групп микроорганизмов за счет поступления в почву растительных остатков. Менее токсичным в отношении микробиоты оказался глифосат, более агрессивным – метсульфурон-метил.

**Ключевые слова:** гербициды, бактерии, микромицеты, почвенная микрофлора, предпосевное применение.

DOI: 10.31857/S0002188121100173

### ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата и отказ от классической обработки почвы привели к повышению численности сорных растений и особенно зимующих видов сорняков в посевах сельскохозяйственных культур. В условиях недостаточного увлажнения отрицательное действие этих сорняков приводит к ухудшению влагообеспеченности и минерального питания культуры. Многолетними исследованиями доказано, что при засоренности посевов пшеницы зимующими видами сорняков от 100 шт./м<sup>2</sup> и больше урожай зерна может снижаться на 25% и более [1–4]. К этому следует добавить, что нередко своевременно не удается побороть зимующие сорняки в осенний период из-за часто складывающихся неблагоприятных по-

годных условий, а также вследствие загруженности механизаторов и сельхозтехники полевыми работами, связанными с уборкой. В связи с этим возникает необходимость проведения защитных мероприятий весной перед посевом [5, 6].

В комплексе мер по очищению посевов от сорной растительности и повышению продуктивности сельскохозяйственных культур активно применяют гербициды [7]. К применению в РФ разрешены гербициды, относящиеся к различным химическим группам, которые могут оказывать определенное влияние на микробиоту почвы [8].

Глифосаты применяют достаточно долгий срок как высокоэффективные малотоксичные гербициды общеистребительного действия. Однако в последние годы возникает много вопросов об их безопасности, достаточно много существует противоречивых данных о влиянии данного препарата на компоненты других соединений, а также о его негативном последствии [9].

2.4-Д – системный гербицид, подавляющий развитие многих двудольных широколистных сорных растений в посевах зерновых культур. Применяется в виде солей и эфиров. Эфиры лучше проникают в ткани растений и более интен-

<sup>1</sup> Работа проведена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по направлению “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

сивно и глубоко продвигаются по корневой системе, в результате чего остаточные частицы действующего вещества могут аккумулироваться в почве.

Гербициды класса сульфонилмочевин обладают селективными свойствами в отношении сорняков и занимают ведущее положение среди распространенных пестицидов в зерновом производстве. В последнее десятилетие масштаб их использования в растениеводческой отрасли постоянно увеличивается. Их применяют в посевах многих культур в чистом виде или в смеси с другими типами гербицидов. Однако некоторые из них, попадая в почву, длительный период времени сохраняют высокую фитотоксичность для чувствительных культур севооборота [3].

При обработке поля гербицидами часть их проявляет целевое токсическое действие в отношении сорняков. Другая же часть попадает в почву с экссудатом из корней растений или с пожнивными остатками [10, 11]. Однако часть бактерий способна к активной деградации гербицидов и связыванию их токсических соединений [12, 13]. Вклад микроорганизмов в процессы разложения токсических веществ различные авторы оценивают в 10–70% [14]. Эффективность работы микроорганизмов зависит от количества остаточных вредных веществ, аккумулирующихся в почве: чем их больше, тем заметнее становится снижение числа всех агрономически важных групп микробиоты [15].

Потребность в исследованиях по взаимодействию гербицидов с почвенными микроорганизмами обусловлена важностью этого вопроса, т.к. почвенная микробиота является биологическим индикатором, по изменению которой можно судить о плодородии и “здоровье” почвы. В связи с ежегодно увеличивающимся масштабом использования гербицидов и с расширением их спектра необходимо разобраться с механизмами функционирования микробных сообществ в почвах под их влиянием. Известно, что именно они обеспечивают стабильную устойчивость и продуктивность биоценозов [16].

Цель работы – изучение влияния предпосевного применения гербицидов на биологическую активность чернозема выщелоченного.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Курганском НИИ-ИСХ – филиале УрФАНИЦ УрО РАН в лаборатории регуляторов роста и защиты растений. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный малогумусный тяжелосуглинистый со следующими показателями: содержа-

ние гумуса – 4.1–4.3% (по Тюрину), N-NO<sub>3</sub> – 9.3–9.4 мг/кг почвы, рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 5.7, содержание подвижного P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 86–92, обменного K<sub>2</sub>O – 188–202 мг/кг почвы (по Чирикову).

В качестве объектов изучения использовали следующие действующие вещества: метсульфурон-метил (препарат Ларен Про 10 г/га), 2,4-Д эфир (препарат Эстерон 0.6 л/га) и глифосат (препарат Торнадо-500 1.5 л/га), которые широко применяют в агропроизводстве региона. Пестициды применяли за 10 сут до посева, один раз за сезон. Гербициды вносили с помощью опрыскивателя “Solo-456” с расходом рабочей жидкости 250–300 л/га. Защищаемая культура – яровая мягкая пшеница *Triticum aestivum* L. сорта Зауралочка. Опыт был заложен после парового предшественника.

Исходная засоренность опытного участка была представлена в основном пастушьей сумкой (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), доля которой в составе сорняков изменялась от 87 до 98%.

Погодные условия 2019–2020 гг. отличались от среднесезонных. В годы исследования отмечено повышение температурного фона в 2019 г. на 0.7°C, в 2020 г. – на 1.9°C по сравнению со среднесезонной нормой. В среднем за 2 года наблюдали недостаток увлажнения, сумма осадков за период вегетации составила 174 и 140 мм по сравнению со среднесезонной нормой 195 мм.

Для определения численности почвенных микроорганизмов использовали метод разведений с последующим высевом на твердые питательные среды (мясо-пептонный агар (МПА), крахмал-аммиачный агар (КАА), среду Чапека, среду Эшби). Отбор почвы проводили на 2-х несмежных делянках в 5-ти точках. После подготовки среднего образца отбирали навеску массой 10 г, переносили в колбу с 90 мл стерильной воды и взбалтывали в течение 10 мин. Готовили разведения 1 : 100 для посева грибов, 1 : 10000 – для бактерий и актиномицетов. Учет бактерий проводили на 5-е сут, актиномицетов, грибов – через 7 сут [17–22].

Все исследования были проведены в трехкратной аналитической повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли по [23].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ образцов перед закладкой опыта показали, что в исследованной почве происходило небольшое увеличение минерализации и снижение микробиологического синтеза почвенного

**Таблица 1.** Общая биогенность почвы после применения гербицидов (2019–2020 гг.), тыс. КОЕ/г почвы

Вариант	Время взятия проб			Средние за вегетацию
	15 сут после обработки	35 сут после обработки	после уборки культуры	
Контроль без обработки	13 100	21 800	4930	13 300
Торнадо 500 1.5 л/га	9670	27 500	6620	14600
Эстерон 0.6 л/га	8170	22800	5550	12200
Ларен Про 10 г/га	8190	14700	4460	9120
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	3300	4500	1600	1000

**Таблица 2.** Влияние допосевого применения гербицидов на число микроорганизмов через 15 сут (2019–2020 гг.), тыс. КОЕ/г почвы

Микроорганизмы	Контроль без гербицида	Торнадо-500, 1.5 л/га	Эстерон, 0.6 л/га	Ларен Про, 10 г/га
Аммонифицирующие	3440	2760	2040	2030
актиномицеты	602	355	254	336
олигонитрофилы	2040	1410	1490	1200
олигокарбофилы	2260	1400	1350	1370
микробицеты	11	5	6	6
<i>HCP</i> <sub>05</sub> бактерии/микробицеты			620/1	

органического вещества, что присуще паровым предшественникам. Минерализацию органического вещества осуществляли в основном бактерии и актиномицеты, роль микробицетов в этом процессе была ослаблена.

Исследование по изучению влияния допосевого внесения гербицидов на количественный состав микрофлоры в выщелоченном черноземе показало, что общая численность микроорганизмов исследованных групп изменялась в вариантах опыта от 4460–6620 тыс./г почвы в послепосевной период до 21 800–27 500 тыс./г почвы в период вегетации пшеницы (через 35 сут после химической обработки) (табл. 1).

В среднем за вегетацию бóльшая численность микроорганизмов выявлена в варианте при применении Торнадо (14600 тыс./г почвы), наименьшая — при использовании Ларена (9120 тыс./г почвы).

В связи с дефицитом осадков (13% в 2019 г., 5% в 2020 г. от нормы) и повышенным температурным фоном (на 3.7°C больше нормы в 2020 г.), через 15 сут после обработки гербицидами отмечено снижение общей биогенности на 73% от первоначального учета в контрольном варианте. На фоне этого последствие остаточных количеств гербицидов проявлялось сильнее, снижение биоген-

ности составило от 62 до 74% относительно контроля.

Рассматривая вопрос влияния гербицидной обработки на численность микроорганизмов различных групп, следует отметить, что применение глифосата в меньшей степени повлияло на снижение численности аммонификаторов и микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота, в отличие от вариантов применения Эстерона и Ларена при первом учете (табл. 2). Независимо от действующих веществ, все испытанные препараты приводили к снижению численности олиготрофов в среднем в 1.5 раза и микробицетов — в 2 раза относительно контроля.

Через 35 сут после применения гербицидов произошло увеличение общего числа микроорганизмов, данный учет проводили в июне — это наиболее благоприятное время в условиях Зауралья для активной жизнедеятельности микробного сообщества. В среднем в вариантах опыта общая биогенность составила от 14700 КОЕ/г почвы в варианте с Лареном до 27 500 тыс. КОЕ/г почвы — при обработке препаратом Торнадо (табл. 1).

Влияние гербицидов на почвенные микроорганизмы в исследованиях многих ученых не имеет постоянной тенденции к их росту или уменьшению. Например, в работе [24] применение Раундапа неоднозначно повлияло на численность

**Таблица 3.** Влияние допосевного применения гербицидов на микрофлору через 35 сут (2019–2020 гг.), тыс. КОЕ/г почвы

Микроорганизмы	Контроль без гербицида	Торнадо-500, 1.5 л/га	Эстерон, 0.6 л/га	Ларен Про, 10 г/га
Аммонифицирующие	3520	5500	3850	3330
Актиномицеты	225	317	242	83
олигонитрофилы	2680	3320	1470	1180
олигокарбофилы	2280	4010	4590	978
микробицеты	7	10	8	4
<i>HSP</i> <sub>05</sub> бактерии/микробицеты		440/1		

**Таблица 4.** Влияние допосевного применения гербицидов на микробоценоз после уборки яровой пшеницы (2019–2020 гг.), тыс. КОЕ/г почвы

Микроорганизмы	Контроль без гербицида	Торнадо 500 1.5 л/га	Эстерон 0.6 л/га	Ларен ПРО 10 г/га
Аммонифицирующие	1520	1670	1430	1120
Актиномицеты	290	268	268	59
олигонитрофилы	688	1210	855	1130
олигокарбофилы	682	1120	1050	601
микробицеты	10	6	6	7
<i>HSP</i> <sub>05</sub> бактерии/микробицеты		75/1		

бактерий по годам, в первый год наблюдали уменьшение количества бактерий до 50%, во второй – увеличение их численности на несколько порядков.

В наших исследованиях в вариантах с допосевным применением Торнадо стабильно по годам отмечали увеличение общей биогенности в среднем на 26% относительно контроля. Использование 2.4-Д эфира не имело такой стабильности в годы исследования, в первый год учета (2019 г.) число микроорганизмов увеличилось на 84%, во второй (2020 г.) – уменьшилось на 23%. При использовании сульфонилмочевины отмечено снижение общей биогенности на 32% относительно контроля.

Сравнивая данные 2-х учетов следует отметить, что через 35 сут после применения гербицидов число амилолитиков увеличилось, но доля актиномицетов в них значительно снизилась (табл. 3), особенно в контрольном варианте. В контроле отмечена высокая засоренность пастушьей сумкой (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.) – 59 розеток/м<sup>2</sup> с массой 483 г/м<sup>2</sup>, и поэтому в этом варианте на фоне недостаточного увлажнения в период вегетации образовался дефицит влаги и минерального питания. Была установлена высокая зависимость изменения числа микрооргани-

мов от количества и массы сорняков, коэффициент детерминации составил 0.98.

Действие гербицидов на микробиологический состав почвы имело как непосредственное влияние (фитотоксичность), так и косвенное, за счет уничтожения сорняков и поступления их остатков в почву. Например, в вариантах применения препаратов Торнадо и Эстерон отмечено увеличение числа микроскопических грибов (8–10 тыс./г почвы) относительно первого учета, что непосредственно указывало на наличие клетчатки в почвенном субстрате. В варианте применения Ларена при умеренной гибели сорняков (46–48%) наблюдали низкую биогенность и негативное влияние гербицида в отношении актиномицетов (83 тыс./г почвы), представителей олигокарбофильной группы (978 тыс./г почвы) и микробицетов (4 тыс./г почвы).

Обследование почвы после уборки пшеницы показало, что наибольшее число микроорганизмов так и осталось в вариантах применения Торнадо и Эстерона (табл. 4). В контрольном варианте отмечено снижение основных групп микроорганизмов, как было показано ранее, за счет высокой засоренности данного варианта. Однако при поступлении большого количества растительных остатков после уборки увеличилось количество микроскопических грибов на 43% отно-

сительно предыдущего учета. Численность микроорганизмов имела отрицательную зависимость с количеством сорняков ( $R^2 = -0.61$ ) и очень сильно зависела от их массы ( $R^2 = 0.99$ ).

Биогенность почвы в варианте с сульфонилмочевинной в конце вегетации оставалась невысокой, особенно уменьшилось число амилोलитиков — до 656 тыс./г почвы и олигокарбофилов — до 601 тыс./г почвы относительно предыдущих учетов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предпосевное применение гербицидов на основе различных действующих веществ оказывало как прямое, так и опосредованное влияние на биогенность почвы. Через 15 сут после применения гербицидов отмечали негативное влияние испытанных препаратов на микрофлору почвы, что проявлялось в уменьшении численности основных агрономически важных групп микроорганизмов на 62–74%. Через 35 сут после применения препаратов под действием гербицидов произошло отмирание сорняков и поступление растительных остатков в почву, что послужило источником питания для сапротрофной микрофлоры.

В послеуборочный период действие препаратов на почвенные микроорганизмы нивелировалось, за исключением варианта с применением сульфонилмочевины, где проявился токсический эффект в отношении почвенных микроорганизмов в течение всего периода вегетации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасова Л.Д., Ларина Г.Е. Погодные условия и ценоз сорняков озимой пшеницы // *Агро XXI*. 2004. № 12. С. 6–7.
2. Спиридонов Ю.Я. Методические основы изучения вредоносности сорных растений // *Агрохимия*. 2007. № 3. С. 68–77.
3. Спиридонов Ю.Я., Будынков Н.И., Стрижков Н.И., Суминова Н.Б., Сайфуллина Л.Б., Ленович Д.Р., Султанов А.С. Последствие гербицидов и динамика их разложения в различных агроландшафтах // *Аграр. научн. журн.* 2019. № 2. С. 27–31.
4. Спиридонов Ю.Я. Оптимизированная технология производства озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье РФ // *Адаптивно-интегрированная система защиты растений*. М.: Печатный город, 2019. С. 235–262.
5. Филиппов А.С., Немченко В.В., Кекало А.Ю., Заргарян Н.Ю. Эффективность химического метода борьбы с зимующими сорняками в допосевной период при возделывании яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2020. № 11. С. 28–34. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090045>
6. Филиппов А.С., Немченко В.В. Технологии применения гербицидов на зерновых культурах в условиях минимализации обработки почвы. Куртамыш: ООО “Куртамышская типография”, 2016. 100 с.
7. Пакуль А.Л., Лапишинов Н.А., Пакуль В.Н., Божанова Г.В. Засоренность посевов яровой мягкой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы // *Сибир. вестн. сел.-хоз. науки*. 2020. № 3. С. 16–27. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-3-2>
8. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Изд-во Листерра, 2020. 920 с.
9. Пименова Е.В., Козлова Г.А., Буркова М.В. Оценка микробной детоксикации гербицида Торнадо на основе глифосата методом фитотестирования // *Вестн. Перм. ГТУ. Хим. технол. и биотехнол.* 2011. № 12. С. 160–164.
10. Дегтярева И.А., Давлетшина А.Я., Яппаров И.А., Мотина Т.Ю., Зарипова С.К., Вафина З.М. Оценка влияния пестицидов различного назначения по отношению к консорциуму микроорганизмов-деструкторов // *Владимир. земледелец*. 2019. № 1. С. 31–34. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2019-10051>
11. Демиденко Г.А., Фомина Н.В. Оценка влияния гербицидов на почвенную микрофлору // *Вестн. КрасГАУ*. 2013. № 8. С. 49–53.
12. Ким Т.В., Фомина Н.В., Злотникова О.В., Козлова Е.В. Воздействие гербицидов на микробоценоз и ферментативную активность почвы // *Вестн. КрасГАУ*. 2012. № 10. С. 85–90.
13. Заргарян Н.Ю., Филиппов А.С., Кекало А.Ю., Немченко В.В., Козлова Г.А. Эффективность допосевного применения гербицидов и их фитотоксичность на выщелоченном черноземе в Курганской области // *Вестн. Курган. ГСХА*. 2020. № 2 (34). С. 16–19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4139230>
14. Головлева Л.А., Ганбаров Х.Г., Скрябин Г.К. Разложение лигнина грибами культурами // *Микробиология*. 1982. Т. 51. № 4. С. 543–547.
15. Колесникова М.В., Черепухина И.В., Безлер Н.В. Влияние целлюлозолитического микромицета *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 на некоторые показатели плодородия почвы в посевах сахарной свеклы // *Агрохимия*, 2018. № 4. С. 18–26. <https://doi.org/10.7868/S0002188118040026>
16. Мамедов Г.М. Влияние систем удобрений на численность микроорганизмов в аллювиальной лугово-лесной и лугово-коричневой почвах под агроценозами // *Агрохимия*. 2020. № 4. С. 30–37.
17. Титова В.И., Козлова А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научн.-метод. пособ. Н.Новгород, 2012. 64 с.
18. Постовалов А.А., Степановских А.С. Биологические основы защиты ярового ячменя от корневой гнили в Зауралье / Под ред. Степановских А.С. Курган: Курган. ГСХА, 2009. 128 с.

19. *Наплекова Н.Н.* Почвенная микробиология: Задачи к лабораторным занятиям. Новосибирск, 2004. 48 с.
20. *Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* Практикум по микробиологии. М.: Агрпромиздат, 2004. 238 с.
21. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Звягинцева Д.Г. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
22. *Мишустин Е.Н.* Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 175 с.
23. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
24. *Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Протасова Л.Д., Абубикеров В.А., Жариков М.Г.* Многолетнее применение общеистребительного гербицида Раундап в центральном регионе Нечерноземья // *Агрохимия*. 2010. № 2. С. 29–36.

## Influence of Pre-Sowing Herbicide Application on Soil Microflora

N. Yu. Zargaryan<sup>a, #</sup>, A. Yu. Kekalo<sup>a</sup>, and V. V. Nemchenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
ul. Belinskogo 112a, 620142 Ekaterinburg, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: natashazarg@yandex.ru*

In field experiments on the basis of the Kurgan Research Institute of Agricultural Research – branch of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in 2019–2020, the influence of pre-sowing use of herbicides with different active substances on the microbiological activity of leached chernozem was studied. The negative aftereffect of residual amounts of herbicides on the soil microflora was established after 15 days after their application, the decrease in biogenicity was from 62 to 74% relative to the control. After 35 days, the effective action of herbicides in the fight against weed vegetation contributed to an increase in the number of agronomically important groups of microorganisms due to the entry of plant residues into the soil. Glyphosate was less toxic to the microbiota, and metsulfuron-methyl was more aggressive.

*Key words:* herbicides, bacteria, micromycetes, soil microflora, pre-sowing application.