

**Е. А. Мышкевич, С. А. Арашкович, М. П. Лосева, В. Л. Поплевко,
А. А. Кузмицкая**

РУП «Институт защиты растений», аг. Прилуки, Минский р-н

ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ФУНГИЦИДОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дата поступления статьи в редакцию: 10.06.2025

Рецензент: канд. с.-х. наук Васеха Е. В.

Аннотация. Изучено поведение действующих веществ новых многокомпонентных фунгицидов. Протиоконазол, пираклостробин, ципроконазол не обнаруживались в зерне пшеницы озимой на 30-е сутки, а спироксамин, тебуконазол и триадименол – на 73-и сутки после обработки в период уборки урожая. В семенах и масле рапса озимого не обнаружено азоксистробина и дифеноконазола на 39-е сутки после обработки. Ципродинил и флудиоксонил определялись в плодах яблок на 3 и 13-е сутки после двукратной обработки в количестве 0,0518 и 0,0484 мг/кг соответственно, что ниже максимально допустимого уровня – 1,0 мг/кг. При соблюдении норм внесения и сроков ожидания сельскохозяйственная продукция не загрязняется остаточными количествами действующих веществ фунгицидов.

Ключевые слова: остаточные количества, действующие вещества фунгицидов.

Введение. Современное растениеводство, несмотря на общемировую тенденцию экологизации сельскохозяйственного производства, предполагает широкое применение средств защиты растений (далее СЗР), что важно не только для повышения продуктивности растений, но и для получения высококачественного урожая [10, 12, 19, 20]. Активно в сельскохозяйственное производство внедряются фунгициды, так как грибковые патогены быстро адаптируются к действующим веществам и формируют резистентность к ним. Для решения данной проблемы создан международный Комитет по вопросу фунгицидной резистентности (Fungicide Resistance Action Committee – FRAC), который ежегодно публикует рекомендации по применению действующих веществ и новых фунгицидов на их основе с учетом риска возникновения резистентности [3].

В мировой практике сельского хозяйства используется 150 ДВ фунгицидов с различными механизмами действия, которые делятся на 46 классов [14].

Применение многокомпонентных СЗР, состоящих из нескольких действующих веществ (далее ДВ) с различным механизмом действия и гарантированной их совместимостью, позволяет контролировать сразу несколько видов вредных объектов, порой кардинально различающихся между собой и снижает риск развития резистентности. Важным аспектом также является соблюдение регламентов применения пестицидов, которые устанавливают рекомендуемую норму, сроки и способы их использования, что обеспечивает максимальную эффективность и снижает пестицидную нагрузку на агроэкосистему [18].

С. Л. Тютерев считает, что антирезистентная стратегия применения фунгицидов должна разрабатываться до выхода нового препарата на рынок. Последнее требование уже реализуется в других странах [18].

Объемы применения фунгицидов в республике в период с 2001–2012 гг. достигали 7–16 % от общего объема применения СЗР [16]. В Государственном Реестре СЗР, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, 2013 г. фунгициды по количеству препаратов занимали второе место (15,2 % от общего количества СЗР), после гербицидов (41,6 %). В 2020 г. фунгициды – 22,7 % [21], в 2025 г. (по состоянию на 26 марта) – 21,6 % [8].

Коллектив авторов РУП «Институт защиты растений» отмечает (данные 2015 г.), что на основе действующего вещества пропиконазол зарегистрировано 18 фунгицидов для защиты зерновых культур, из них 12 – в композиции с другими действующими веществами, тебуконазол – 19, из них 14 – в композиции, эпоксиконазол – 13 препаратов и все в композиции с другими действующими веществами, ципроконазол – 12 препаратов – все в композиции, флутриафол – 8 препаратов, из них 5 – однокомпонентных. Из группы стробилуринов – 9 препаратов в композиции с другими действующими веществами [20]. Появляются новые комбинации ДВ с учетом риска возникновения резистентности, которые ранее не применялись в республике и не проводилось исследований по их поведению в растениях с новыми сочетаниями ДВ.

Таким образом, использование новых многокомпонентных фунгицидов является востребованным, а изучение их поведения в растениях и оценка безопасности применения является актуальным.

Методика проведения исследований. В условиях лаборатории динамики пестицидов проводились исследования по определению остаточных количеств действующих веществ новых многокомпонентных фунгицидов, представленных в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, фунгициды комбинированы по принципу различного механизма действия, а также с учетом риска возникновения резистентности.

Таблица 1 – Классификация изучаемых действующих веществ фунгицидов (дополнение к Государственному реестру от 14.03.2025 г.)

Торговое название, препаративная форма (заявитель)	ДВ, г/л	Химическая группа ^{1,2}	Механизм действия	Код группы (риск) ¹
ИНСИГНИЯ, МД (АО «Щелково Агрохим», Россия)	ципродинил, 150	анилино-пиримидины, аминопиримидины	подавляет синтез белка	9 (средний)
	флудиоксонил, 140	фенилпирролы, пирролы	ингибирует фосфорилирование глюкозы, снижая рост мицелия	12 (низкий или средний)
КВИНТА, КЭ (ООО Франдеса», Беларусь)	пираклостробин, 200	метокси-карбаматы, стробилурины, карбанилаты, фенилпиразолы	ингибирует дыхание (QoL)	11 (высокий)
	ципроконазол, 100	триазолы, коназолы	ингибирует биосинтез эргостерола в мембранах	3 (средний)
ПРОФЕССОР МИКС, КЭ (Шандонг Вейфанг Рейнбоу Кемикал Ко., Лтд., Китай)	спироксамин, 250	спирокетал-амины, морфолины	ингибирует биосинтез стеролов в мембранах	5 (от низкого до среднего)
	триадименол, 43	триазолы, коназолы		3 (средний)
	тебуконазол, 167			
РОНИЛАН, КС (ООО «Агро Эксперт Групп», Россия)	азоксистробин, 150	метокси-акрилаты, стробилурины	ингибирует дыхание	11 (высокий)
	дифеноконазол, 125	триазолы, коназолы	нарушает функцию мембран, ингибирует деметилирование в процессе синтеза эргостерола	3 (средний)
СИНТРОН, КЭ (ООО «Агро Эксперт Групп», Россия)	протиоконазол, 120	триазолинтионы, коназолы	ингибирует биосинтез стеролов	3 (средний)
	пираклостробин, 90	метокси-карбаматы, стробилурины, карбанилаты, фенилпиразолы	ингибирует дыхание (QoL)	11 (высокий)

Примечание: 1 – согласно FRAC; 2 – согласно PPDB.

Триазолы – большая химическая группа, ингибируют в грибной клетке только один специфический фермент, поэтому могут вызывать устойчивость у патогенов. Оказывают влияние на метаболизм стероинов,

вызывая изменения структуры и свойств клеточных мембран [5, 9]. Передвигаются преимущественно по ксилеме растений акропетально [6]. Действующие вещества триазольной группы влияют не только на патоген, но и на растение. Например, тебуконазол приводит к биохимическим и физиологическим изменениям, которые способствуют повышению устойчивости к пониженным температурам [7]. Протиокназол обладает системным действием. В растении метаболизируется до более устойчивого соединения – протиокназол-дестиио. Риск возникновения резистентности – средний [2].

Стробилурины – обширная химическая группа, нарушают дыхание в клетке гриба за счет блокировки третьего комплекса переноса электронов в месте окисления хинона от цитохрома b к цитохрому c_1 во внешней мембране митохондрии [17]. После обработки накапливаются в восковом слое кутикулы листа растения. Действующие вещества азоксистробин и в меньшей степени – пираклостробин перемещаются трансламинарно. В связи с естественным происхождением оказывают положительное влияние на биологические и физиологические реакции растений. Азоксистробин часто используется в комплексе с действующими веществами триазольной группы. Стробилурины обладают высокой дождестойкостью, которая обеспечивается липофильными частицами, удерживающими препарат на поверхности листа в форме затвердевшего осадка [17]. Риск возникновения резистентности – высокий [2].

Фенилпирролы – стойкие химические вещества широкого спектра действия, влияющие на процессы, связанные с мембранным переносом веществ в клетке, что снижает вероятность появления резистентности патогенов к этим соединениям. Флудиоксонил является аналогом природных антимикотических веществ, обладает широким контактным действием, ингибирует рост мицелия. Риск возникновения резистентности – низкий или средний [2].

Аминопиримидины – системные действующие вещества защитного действия, ингибируют биосинтез метионина и останавливают проникновение и рост мицелия в растительных тканях [10]. Риск возникновения резистентности – средний [2].

Морфолины – фунгициды профилактического и искореняющего действия, эффективны даже при низких положительных температурах и устойчивы к осадкам. Действующие вещества из данной группы, также как и триазолы, подавляют синтез эргостерола, который включает ряд этапов, при этом морфолины в отличие от азолов действуют на двух других этапах этого процесса: между 14 и 15 углеродными атомами [17]. Риск возникновения резистентности – от низкого до среднего [2].

Определение остаточных количеств пестицидов в сельскохозяйственной продукции проводили по официальным методическим указаниям методом жидкостной хроматографии. Пробы растительных образцов отбирали в соответствии с ГОСТ 34668-2020 [15] в сроки согласно инструкции о порядке проведения испытаний средств защиты растений, подлежащих государственной регистрации в Республике Беларусь [11].

Для проведения количественных исследований были использованы образцы аналитических стандартов ДВ с содержанием основного вещества более 97 %.

Результаты и их обсуждение. В 2023 г. проводились исследования по определению остаточных количеств ДВ фунгицида СИНТРОН, КЭ в максимальной норме расхода 1,2 л/га в пшенице озимой. Остаточных количеств протиоконазола-дестио и пираклостробина в урожае зерна на 30-е сутки после обработки не обнаружено, в соломе обнаружено 0,4637 и 0,0287 мг/кг соответственно. Максимально допустимый уровень (далее МДУ), установленный гигиеническими нормативами Республики Беларусь, протиоконазола-дестио и пираклостробина в зерне колосовых культур составляет 0,5 мг/кг, в соломе не нормируется. В Кодексе Алиментариуса [1] установлен МДУ для соломы и составляет для протиоконазола-дестио 4,0 мг/кг, для пираклостробина – 30,0 мг/кг. Как видно из полученных данных, обнаруженные остатки в соломе крайне малы, по сравнению с МДУ.

Исследования по поведению ДВ фунгицида ПРОФЕССОР МИКС, КЭ в норме расхода 0,6 л/га показали, что спироksamин и триадименол не детектировались в зерне и соломе в период уборки урожая на 73-и сутки после обработки, а тебуконазол был обнаружен только в соломе в количестве 0,1068 мг/кг, что значительно ниже МДУ даже по отношению к зерну. МДУ для соломы в своде пищевых международных стандартов составляет 40,0 мг/кг [4] (таблица 2).

Семена, масло, солома рапса озимого анализировались на 39-е сутки после двукратной обработки фунгицидом РОНИЛАН, КС в норме расхода 1,0 л/га. В результате искомые действующие вещества не обнаруживались в семенах и масле, в соломе азоксистробин был обнаружен в количестве 0,0205 мг/кг и дифеноконазол – 0,1145 мг/кг. В международных стандартах МДУ для масла и соломы не установлен. В Беларуси МДУ для азоксистробина в семенах рапса составляет 0,4 мг/кг, в масле – 0,2 мг/кг, стоит отметить, что в Европейском Союзе (далее ЕС) нормативы менее жесткие – 0,7 мг/кг. МДУ для дифеноконазола в семенах и масле составляет 0,05 мг/кг, в то время как в ЕС – 0,5 мг/кг [4].

Таблица 2 – Результаты содержания остаточных количеств действующих веществ многокомпонентных фунгицидов в образцах растительной продукции (лабораторный опыт, лаборатория динамики пестицидов РУП «Институт защиты растений», 2023–2024 гг.)

Торговое название препарата (максимальная норма расхода)	ДВ, г/л	Максимальная норма расхода ДВ, г/га	Культура (образец)	Сутки ПО	МДУ, мг/кг [13]	Результат, мг/кг
2023 г.						
СИНТРОН, КЭ (1,2 л/га)	протиоконзол-дестео, 120	144,0	пшеница озимая - зерно	30	0,5	н/о
			- солома	30	н/н	0,4634
	пираклостробин, 90	108,0	- зерно	30	0,5	н/о
			- солома	30	н/н	0,0287
ПРОФЕС-СОР МИКС, КЭ (0,6 л/га)	спироксамин, 250	150,0	пшеница озимая - зерно	73	0,2	н/о
			- солома	73	н/н	н/о
	тебуконазол, 167	100,2	- зерно	73	0,2	н/о
			- солома	73	н/н	0,1068
	триадименол, 43	25,8	- зерно	73	0,2	н/о
			- солома	73	н/н	н/о
РОНИЛАН, КС (1,0 л/га, двукратно)	азоксистробин, 150	150,0	рапс озимый - семена	39	0,4	н/о
			- масло	39	0,2	н/о
			- солома	39	н/н	0,0205
	дифеноконазол, 125	125,0	- семена	39	0,05	н/о
			- масло	39	0,05	н/о
			- солома	39	н/н	0,1145
2024 г.						
ИНСИГНИЯ, МД (1,0 л/га, двукратно)	ципродинил, 150	150,0	яблоня - плоды	3	1,0	0,0518
			- плоды	13	1,0	0,0484
	флудиоксонил, 140	140,0	- плоды	3	5,0	н/о
			- плоды	13	5,0	н/о
КВИНТА, КЭ (0,6 л/га)	пираклостробин, 200	120,0	пшеница озимая - зерно	30	0,5	н/о
			- солома	30	н/н	0,1
	ципроконазол, 100	60,0	- зерно	30	0,05	н/о
			- солома	30	н/н	н/о

Примечания: ДВ – действующее вещество; МДУ – максимально допустимый уровень; н/н – не нормируется; н/о – не обнаружено; ПО – после обработки.

В 2024 г. изучали содержание действующих веществ ципродинила и флудиоксонила фунгицида ИНСИГНИЯ, МД в динамике в яблоках на 3 и 13-е сутки после двукратного применения в норме расхода 1,0 л/га. Стоит отметить, что данная комбинация ДВ новая и препаратов с такой комбинацией ранее в саду не применялось.

Таким образом, флудиоксонил не обнаруживался ни в одном из образцов, а ципродинил на 3-и сутки – в количестве 0,0518 мг/кг, на 5-е сутки – 0,0484 мг/кг, что минимум в 19 раз меньше МДУ. В Беларуси МДУ для ципродинила в яблоках составляет 1,0 мг/кг [13], а в ЕС этот показатель выше – 2,0 мг/кг [4], для флудиоксонила этот показатель одинаковый и составляет 5,0 мг/кг.

Содержание остаточных количеств ДВ фунгицида КВИНТА, КЭ изучалось в зерне и соломе пшеницы озимой на 30-е сутки после обработки в норме расхода 0,6 л/га. Ципроконазол и пираклостробин не обнаружены в зерне, а пираклостробин детектировался в соломе, где, как отмечалось выше, МДУ не нормируется в Беларуси, а в сравнении с МДУ Кодекса Алиментариуса [1], его содержание в 300 раз ниже (МДУ для соломы 30,0 мг/кг).

Заключение. Установлено, что действующие вещества фунгицидов СИНТРОН, КЭ, ПРОФЕССОР МИКС, КЭ, РОНИЛАН, КС, ИНСИГНИЯ, МД, КВИНТА, КЭ полностью деградируют к уборке урожая сельскохозяйственных культур и, соответственно, не загрязняют их.

С учетом изложенного, можно утверждать, что фунгициды СИНТРОН, КЭ, ПРОФЕССОР МИКС, КЭ, КВИНТА, КЭ могут безопасно применяться на зерновых культурах, РОНИЛАН, КС – на рапсе озимом и ИНСИГНИЯ, МД на яблоне при условии строгого соблюдения регламентов.

Список литературы

1. Codex Alimentarius [website]. – URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticide-detail/en/?p_id=230 (date of access: 25.04.2025).
2. FRAC Code List 2021: Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action (including FRAC Code numbering) // FRAC Code List. – URL: <https://www.frac.info/#open-tour> (date of access: 25.04.2025).
3. Fungicide resistance action committee: [website]. – URL: <https://www.frac.info/#open-tour> (date of access: 10.04.2025).
4. PPDB: Pesticide Properties DataBase: [website]. – URL: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz_insect.htm (date of access: 25.04.2025).
5. Андреева, Е. И. Биологическая активность и механизм действия системных фунгицидов : учеб. пособие / Е. И. Андреева, В. А. Зинченко ; Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – М. : МСХА, 1995. – 59 с.
6. Андреева, Е. И. Системные фунгициды – ингибиторы биосинтеза эргостерина / Е. И. Андреева, В. А. Зинченко // Агро XXI. – 2002. – № 3. – С. 6–7.

7. Влияние тебуконазола и тебуконазол-содержащего препарата «Бункер» на функционирование митохондрий озимой пшеницы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, О. А. Боровик [и др.] // Биологические мембраны. – 2020. – Т. 37, № 3. – С. 224–234.
8. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений // ГУ «Главная Государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений». – URL: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (дата обращения: 28.03.2025).
9. Зинченко, В. А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по агроном. спец. / В. А. Зинченко. – М. : КолоС, 2005. – 232 с.
10. Илларионов, А. И. Методы защиты растений от вредных организмов : учеб. пособие / А. И. Илларионов ; М-во сел. хоз-ва РФ, Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К. Д. Глинки. – Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2007. – 252 с.
11. Инструкция о порядке проведения испытаний средств защиты растений и удобрений, подлежащих государственной регистрации : постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 5 апр. 2024 г. № 30. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/protection-ru/view/instruktsiya-o-porjadke-provedenija-ispytanij-sredstv-zashchity-rastenij-i-udobrenij-podlezhaschix-9398/> (дата обращения: 10.04.2025).
12. Крупенько, Н. А. Физико-химические свойства фунгицидов, применяемых для защиты зерновых культур от болезней в Беларуси / Н. А. Крупенько // Вестник защиты растений. – 2023. – № 2. – С. 93–99.
13. Об утверждении гигиенических нормативов : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 25 янв. 2021 г. № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037&p1=1> (дата обращения: 10.04.2025).
14. Оценка фунгицидной активности препаратов для предпосевной обработки семян озимой пшеницы / Н. М. Сидоров, Е. А. Гырнец, М. М. Астахов [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 4 (28). – С. 149–158.
15. Продукция пищевая. Методы отбора и подготовка образцов (проб) для определения показателей безопасности : ГОСТ 34668-2020. – Введ. 01.04.2021. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2021. – 42 с.
16. Сорока, С. В. Применение средств защиты растений в Белоруссии / С. В. Сорока, Е. А. Якимович // Защита и карантин растений. – 2014. – № 4. – С. 8–10.
17. Тютерев, С. Л. Механизмы действия фунгицидов на фитопатогенные грибы / С. Л. Тютерев ; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – СПб. : Нива, 2010. – 170 с.
18. Тютерев, С. Л. Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам / С. Л. Тютерев // Вестник защиты растений. – 2001. – № 1. – С. 38–53.
19. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, Н. В. Дорофеев, О. И. Грабельных // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 461–476.
20. Эффективность современного ассортимента фунгицидов в защите зерновых культур от болезней / С. Ф. Буга, А. Г. Жуковский, Н. А. Склименок [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2015. – № 2. – С. 35–42.
21. Якимович, Е. А. Анализ применения средств защиты растений в Республике Беларусь / Е. А. Якимович, С. В. Сорока // Защита растений : сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений ; редкол.: С. В. Сорока (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 47. – С. 260–269.

*E. A. Myshkevich, S. A. Arashkovich, M. P. Loseva, V. L. Poplevko,
A. A. Kuzmitskaya*

RUE «Institute of plant protection», Priluki, Minsk region

HYGIENIC JUSTIFICATION OF THE SAFE USE OF MULTICOMPONENT FUNGICIDES UNDER THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Annotation. The behavior of active ingredients of new multicomponent fungicides was studied. Prothioconazole, pyraclostrobin, and cyproconazole were not detected in winter wheat grain on the 30th day and spiroxamine, tebuconazole, and triadimenol were not detected on the 73rd day after treatment during harvest. Azoxystrobin and difenoconazole were not detected in winter rape seeds and oil on the 39th day after treatment. Cyprodinil and fludioxonil of 0,0518 and 0,0484 mg/kg respectively were detected in apples on the 3rd and 13th days after double treatment, which was below the maximum permissible level of 1,0 mg/kg. If application rates and waiting periods are observed, agricultural products are not contaminated with residues of fungicide active ingredients.

Key words: residues, fungicide active ingredients.