



Научная статья

УДК 632.95.003+613.632:613.62
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.24>

Экологический мониторинг миграции пирафлуметофена в системе «почва – растение»

Л. Г. Бондарева, Н. Е. Федорова*

Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, г. Мытищи,
Россия

E-mail: lydiabondareva@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований миграционной способности широко применяемого фунгицида пирафлуметофена в системе «почва – растение». Проанализировано содержание пирафлуметофена в различных типах почвы, почвенной воде и тканях культивируемых растений в разные кинетические фазы его адсорбции. Оценена способность пестицида к вымыванию. Определены миграционные свойства пирафлуметофена в почвах, обогащенных органическим углеродом. Обсуждается вероятность переноса пестицида в грунтовые воды и растения.

Ключевые слова: пирафлуметофен, адсорбция почвенными частицами, миграция, биоаккумуляция.

Благодарности. Авторы признательны сотрудникам Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) за помощь при проведении исследований.

Для цитирования: Бондарева Л. Г., Федорова Н. Е. Экологический мониторинг миграции пирафлуметофена в системе «почва – растение» // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2025. Т. 52. С. 24–33.
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.24>

Research article

Environmental Monitoring of Pydiflumetofen Migration in the Soil-Plants System

L. G. Bondareva, N. E. Fedorova*

Federal Scientific Centre of Hygiene named after F. F. Erisman by Rospotrebnadzor, Mytishchi, Russian Federation

Abstract. Pydiflumetofen is primarily used to control fungal disease. The potential risks posed by pydiflumetofen to the aquatic and terrestrial ecosystems are currently unclear. Metrological characteristics for determining pydiflumetofen in the studied environments were obtained, with the detection limit: for water 0.0005 mg/l, soil and grain – 0.01 mg/kg, straw – 0.02 mg/kg. We studied the adsorption of pydiflumetofen in six different arable soils. The adsorption and properties of pydiflumetofen by soils corresponded to the pseudo-first-order model. It was found that the adsorption of pydiflumetofen in soil is not just a one-time process, but is influenced by several factors, including the physicochemical characteristics of the soil and the nature of the pesticide. When growing wheat on soil samples treated with pydiflumetofen, the active substance was detected only in the root part

of plants (~ 5%). Probably, due to the fact that soil particles containing pydiflumetofen remained on the roots. The addition of humic acid to soils greatly improved pydiflumetofen adsorption capacity of the soil. Besides, there was no significant hysteresis in pydiflumetofen desorption in most soils. Due to the fact that pydiflumetofen is poorly soluble in water and accumulates well in soil particles, the threats of the active substance transfer to groundwater are unlikely. The addition of humic acid to soils greatly improved pydiflumetofen adsorption capacity of the soil. Pydiflumetofen is weakly mobile and does not contaminate groundwater. This study provides a new perspective for evaluating the ecological and human health risks of chiral pesticides, like pydiflumetofen.

Keywords: pydiflumetofen, adsorption by soil particles, migration, bioaccumulation.

For citation: Bondareva L.G., Fedorova N.E. Environmental Monitoring of Pydiflumetofen Migration in the Soil-Plants System. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2025, vol. 52, pp. 24-33. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.52.24>(in Russian)

Введение

С середины XX в. по мере увеличения масштабов и значимости грибковых заболеваний сельскохозяйственных культур, производство продуктов питания и их безопасность оказались под серьёзной угрозой, особенно это касается основных зерновых культур (пшеница, рис, соя и кукуруза) [Monitoring ... , 2020]. Для уменьшения потерь, вызванных грибковыми заболеваниями, широко используются фунгициды. Фунгициды – ингибиторы сукцинатдегидрогеназы (SDHI) стали селективными фунгицидами с третьей по величине долей рынка после ингибиторов биосинтеза эргостерола и внешних ингибиторов хинонов¹ [Hui, Gifford, Rhodes, 2024; Phylogenetic ... , 2005; Parry, Jenkinson, McLeod, 1995]. Фунгициды SDHI влияют на рост патогенных грибов, подавляя митохондриальное дыхание, тем самым достигая фунгицидного эффекта, который имеет широкий спектр бактериостаза и стерилизации, и могут взаимодействовать с другими фунгицидами² [Phylogenetic ... , 2005]. Они обладают высокой активностью против фитопатогенов при низких концентрациях, например, *Colletotrichum*, *Sclerotinia sclerotiorum* и *Zymoseptoria tritici*³ [Sensitivity ... , 2017]. На сегодняшний день фунгициды SDHI играют важнейшую роль в борьбе с фитопатогенами и занимают ключевую позицию на рынке фунгицидов.

Одним из представителей этого класса является пиdiflumetofen. Соединение представляет собой белый порошок с низкой летучестью, имеет очень низкую растворимость в воде, слабо растворим в алифатических углеводородных растворителях и очень хорошо растворим в полярных органических растворителях. Он не взрывоопасен, не воспламеняется и не окисляется, стабилен при хранении. Имеет низкую или очень низкую острую пероральную ($LD_{50} > 5000$ мг/кг), дермальную ($LD_{50} > 5000$ мг/кг) и ингаляционную токсичность ($LC_{50} > 5110$ мг/м³) у крыс. Он не раздражает кожу у кроликов, но вызывает лёгкое раздражение глаз. Не является сенсибилизатором у мышей при анализе локальных лимфатических узлов⁴ [Negussie, 2017].

¹ World Mycotoxin Survey. The Global Threat. January – June // dsm-firmenich Animal Nutrition & Health. 2024. https://www.dsm.com/content/dam/dsm/anh/en/documents/REP_MTXsurvey_Q2_2024_EN_0724_62415.pdf

² Ibid.

³ Ibid.

⁴ Pydiflumetofen. PPDB. Pesticide Properties Date Base, 2024. URL: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/3086.htm>

Пидифлуметофен обладает характеристиками современной молекулярной структуры с высокой бактерицидной активностью и широким спектром действия. Он был зарегистрирован для борьбы с фузариозом колоса пшеницы [Updated ..., 2024]. Также имеются сообщения о том, что пидифлуметофен оказывает хорошее действие на распространённый грибной патоген *Rhizoctonia solani* Kühn, его применение не влияет на рост пшеницы и риса и может в определённой степени улучшить урожайность и качество зерна [Updated ..., 2024].

Рис и пшеница являются основными зерновыми культурами, на которых базируется питание более чем половины населения мира, площади для их производства продолжают расти [The state ..., 2024]. Исследования загрязнения пестицидами систем земледелия имеют важное значение для управления рисками и обеспечения безопасности пищевых продуктов⁵, особенно в системе выращивания зерна, когда пестициды могут попадать в почву и воду через диффузное загрязнение и наносить серьёзный вред почвенным и водным организмам.

Цель настоящей работы – изучение миграции пидифлуметофена в системе «почва – растение» для оценки потенциального ущерба, наносимого окружающей среде при его применении.

Материалы и методы

Для исследований использовались образцы почв, отобранные на сельскохозяйственных угодьях в климатических зонах европейской части России, в модельном эксперименте использовали предварительно прокалённый речной песок (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-химические свойства образцов почв, использованных в экспериментах

Номер образца	Состав				рН	ЕКО*, м.-экв на 100 г почвы	С _{опр} **, %
	Песок, %	Глина, %	Прочее, %	Тип			
S1	35,8	46,8	17,4	Глинистая	5,4	30,4	2,4
S2	38,5	42,2	19,3	Суглинистая	6,1	13,8	3,1
S3	23,9	51,3	24,8	Чернозём обыкновенный	6,9	26,2	2,6
S4	31,4	47,4	21,2	Чернозём выщелоченный сверхмощный	6,7	16,5	3,8
S5	17,8	77,6	4,6	Дерново-карбонатная	7,4	12,4	2,7
S6	20,3	62,4	17,3	Каштановая	7,2	25,4	3,4
Модельный эксперимент							
S0	85,6	12,4	2,1	Песок	6,7	9,4	1,2

Примечание: *ЕКО – ёмкость катионного обмена; **С_{опр} – содержание органического углерода.

⁵ Occupational Pesticide Handler Exposure Data // US Environmental Protection Agency. 2024. URL: <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/occupational-pesticide-handler-exposure-data>

Кинетика адсорбции пидифлуметофена различными типами почв определялась с использованием процесса равновесного колебания, рекомендованного Агентством по охране окружающей среды США (USEPA) [Fate …, 2008]. Для приготовления стандартного раствора (5,0 мг/л) исходный раствор пидифлуметофена был разбавлен хлоридом кальция 0,01 М для стабилизации ионной силы. Для определения времени равновесной адсорбции пидифлуметофена образец почвы (2,0 г) смешивали с 10 мл стандартного рабочего раствора пидифлуметофена в полипропиленовой центрифужной пробирке объёмом 50 мл с притёртой пробкой при оптимальном соотношении почвы и воды 1:5. Образец центрифугировали при 8000 об/мин в течение 5 мин, супернатант пропускали через мембранный фильтр 0,22 мкм. В качестве контрольных образцов использовали раствор пидифлуметофена в хлориде кальция без почвы и раствор хлорида кальция (0,01 моль/л) с почвой без добавления пидифлуметофена. Каждая обработка проводилась в трёх повторностях.

Для определения времени установления равновесия пидифлуметофена между почвой и раствором контроль за содержанием пидифлуметофена проводили сразу после смешивания и отстаивания системы, а затем через определённые промежутки перемешивания смеси в течение 0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 и 24 ч, каждый отбор проб выполняли троекратно. После завершения теста на адсорбцию определяли количество пидифлуметофена, адсорбированного в почве, а также в растворе.

Для изучения миграции вещества использовали колонны, заполненные прокалённым песком. На первую часть колонн сразу вносили раствор пидифлуметофена с концентрацией 0,16 мг/кг, который для стабилизации ионной силы был разбавлен хлоридом кальция 0,01 М непосредственно на исходный песок. На вторую часть колонн предварительно вносился раствор гуминовой кислоты (0,5 г/л) в объёме 3 л, после полного протекания которой через колонны вносили раствор пидифлуметофена. Колонны промывали нисходящим потоком воды, которую собирали ежедневно для контроля содержания пидифлуметофена. Эксперимент был завершён по истечению 61 сут.

Потенциальную биоаккумуляцию пидифлуметофена растениями изучали в экспериментах с выращиванием зерновых культур (ржь и пшеница) на образцах почвы, в которые заранее был внесён разбавленный хлоридом кальция раствор пидифлуметофена с концентрацией 0,16 мг/кг. Эксперимент продолжался в течение 35 сут. до наступления периода кущения зерновых. В качестве контроля использовалась почва без внесения пидифлуметофена.

Подготовка образцов почвы, воды и растений проводилась по методическим указаниям, разработанным в ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана⁶.

Пидифлуметофорен идентифицировался и количественно определялся с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ)

⁶ МУК 4.1.3643-20. Определение остаточных количеств пидифлуметофена в воде и почве методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М. : Роспотребнадзор, 2021. 16 с. ; МУК 4.1.3938-23.4.1. Методы контроля. Химические факторы. Определение остаточных количеств пидифлуметофена в зерне зерновых колосовых культур, плодовых косточковых (персик), луке, капусте и моркови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Методические указания. М. : Роспотребнадзор, 2023.

на хроматографе 1260 Infinity II с автосamplerом и колонкой Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6×250 мм, 5 мкм) (Agilent Technologies, США). Параметры анализа: объём вводимой пробы 20 мкл; подвижная фаза, включающая ацетонитрил и деионизированную воду (75:25, об./об.); температура левой и правой сторон колонки 25 °С; скорость потока 1 мл/мин.

Уровень адсорбции пирафундифлуметофена образцами почвы рассчитывали по формуле (1):

$$A_{ti} = [(C_0 - C_e - C_d)/C_0] \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где A_{ti} – доля адсорбции в момент времени t (%); C_0 – исходная концентрация пирафундифлуметофена; C_e – концентрация пирафундифлуметофена (мг/л) в растворе после взаимодействия с почвой; C_d – концентрация пирафундифлуметофена (мг/л) в почве.

Три кинетические модели (модели псевдопервого и второго порядка и модель внутренней диффузии) были применены для описания концентрации адсорбированного пирафундифлуметофена в почве с учётом времени адсорбционного равновесия [Olu-Owolabi, Diagboya, Adebowale, 2015].

Влияние матричного эффекта (МЕ) при определении пирафундифлуметофена рассчитывалось по уравнению (2), аналогично подходу, описанному в работе Н. Е. Федоровой и Н. И. Добревой [2024]:

$$ME = [(B - A) / A] \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где A – угол наклона градиуровочного графика для пирафундифлуметофена при подготовке градиуровочных растворов на растворе матрицы; B – угол наклона градиуровочного графика для пирафундифлуметофена при подготовке градиуровочных растворов в растворителе.

Математико-статистическая обработка данных выполнена с применением методов вариационной статистики и корреляционно-регрессионного анализа по прикладным программам с помощью процессора Excel из пакета MS Office 2013.

Результаты и обсуждение

Для оценки эффекта матрицы использовался приём сопоставления градиуровочных характеристик, построенных на основе анализа градиуровочных растворов на растворителе и соответствующей матрице. Для приготовления градиуровочных растворов на матрице в экстракты холостых (неконтаминированных) образцов соответствующего материала (зерно, солома, почва) вносили необходимые аликвоты раствора аналитического стандарта пирафундифлуметофена с концентрацией 10 мкг/см³, получая ряд градиуровочных растворов на матрице. Калибровочные характеристики были построены методом корреляционного анализа в диапазоне концентраций 0,05–1,0 мкг/см³ и имели следующий вид: по оси абсцисс – концентрация вещества (Х, мкг/см³), по оси ординат – площадь пика, соответствующая концентрации (Y, единицы абсорбции). Оценивался коэффициент корреляции линейной регрессии, который во всех вариантах калибровки был выше 0,99. Матрич-

ный эффект рассчитывался на основе разницы в наклоне калибровочных кривых, построенных на матрице и растворителе. Результаты обработки данных показали, что эффект матрицы незначим (от 3,9 до 7,7 %), что позволило использовать для количественных расчётов абсолютную калибровку на растворителе.

Полнота определения пидифлуметофена в модельных образцах с внесением действующего вещества находилась в диапазонах 90,5–96,2 % (вода), 89,7–93,0 % (зерно), 78,1–86,5 % (солома), 90,6–95,6 % (почва). Среднее квадратичное отклонение на отдельных уровнях обогащения образцов варьировало в диапазонах 1,8–6,0 % (вода), 1,3–4,4 % (зерно), 3,4–6,9 % (солома), 2,1–7,3 % (почва). Полученные результаты подтверждают, что используемый метод соответствует критериям точности и воспроизводимости. Сравнение хроматограмм холостых образцов почвы с различным составом и механическими свойствами, зерна пшеницы, ячменя, а также соломы с хроматограммами матричных калибровочных растворов пидифлуметофена показало, что в холостых образцах отсутствуют пики при времени выхода, близком к пидифлуметофену, что свидетельствует о достаточной специфичности метода.

Концентрация пидифлуметофена в приготовленных матричных растворах, соответствующая сигналу, дающему отношение сигнал-шум, близкое к 10, рассматривалась как нижний предел количественного определения метода. Этот предел был скорректирован на основе данных по валидации метода и принят на уровне нижнего валидированного уровня.

Кинетика адсорбции рассматривается в двух разных фазах: 1) начальная фаза (в течение 4 ч), когда адсорбция пидифлуметофена в почве значительно увеличивается – быстрая фаза адсорбции, когда процесс происходит в первую очередь на поверхности почвы и является поверхностной адсорбцией; 2) вторая стадия – медленная адсорбция (4–24 ч), когда все центры адсорбции частиц почвы уже заняты, а пидифлуметофорен входит в промежутки между слоями почвы. В это время скорость адсорбции имеет тенденцию к стабилизации, а количество адсорбированного вещества стремится к равновесию – т. е. более медленная стадия адсорбции, когда концентрация пидифлуметофена в растворе остаётся неизменной после 24 ч перемешивания. Это указывает на то, что адсорбция пидифлуметофена достигла равновесия.

В табл. 2 приведены кинетические параметры адсорбции, установленные для исследуемых типов почв.

Адсорбционная способность исследуемых почв для пидифлуметофена установлена в следующем порядке: S1 > S3 > S2 > S5 > S6. Представленные результаты показывают, что процессы адсорбции пидифлуметофена изученными почвами, а также модельной песчаной почвосмесью, протекают в соответствии с кинетической моделью псевдопервого порядка. То есть адсорбция пидифлуметофена в почве – не просто одномоментный процесс, на него влияют несколько факторов, включая физико-химические характеристики почвы и природу пестицида.

Таблица 2

Параметры уравнения кинетики адсорбции пидифлуметофена в различных почвах

Кинетиче- ская модель	Параметры	Почвенные образцы					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Псев- допервый порядок	$C_{\text{опрг}}$, мг/кг k_1 , кг/(мг·час) r^2	24,1±0,1 10,3±0,9 0,999	23,8±0,1 7,4±0,9 0,999	22,9±0,2 7,2±0,6 0,999	23,4±0,1 7,6±1,3 0,999	23,1±0,1 7,7±0,6 0,999	22,9±0,2 10,3±1,5 0,999
Псев- довторой порядок	$C_{\text{опрг}}$, мг/кг k_2 , кг/(мг·ч) r^2	25,1±0,1 1,04±0,02 0,918	24,1±0,1 0,76±0,02 0,916	23,1±0,1 0,79±0,02 0,748	23,6±0,2 0,77±0,02 0,894	23,6±0,2 0,81±0,02 0,916	23,1±0,05 1,31±0,02 0,691
Внутренняя диффузия	$C_{\text{опрг}}$, мг/кг k_i , кг/(мг·ч) r^2	24,7±0,1 0,06±0,01 0,813	23,2±0,1 0,21±0,02 0,911	22,5±0,1 0,12±0,04 0,624	22,9±0,1 0,16±0,03 0,847	22,9±0,09 0,85±0,06 0,819	22,7±0,05 0,93±0,02 0,687

Примечание: r^2 – коэффициент корреляции; k_1 – константа скорости адсорбции для псевдопервого порядка кинетической модели; k_2 – константа скорости адсорбции для псевдовторого порядка кинетической модели; k_i – константа скорости внутренней диффузии. Типы почв см. табл. 1.

Вымывание относится к вертикальному движению пестицидов вниз в почве с водой. Подвижность пестицидов является важным показателем их влияния на загрязнение подземных вод. После промывания колонн с модельными почвами большая часть пидифлуметофена была сконцентрирована в слое 0–10 см во всех колоннах почвы, а процентное содержание пестицида в этом разделе было более 50 %. На способность пестицидов вымываться и мигрировать в почве во многом влияют их собственные особенности и физико-химические свойства почвы. Чем выше содержание органического вещества в почве, тем активнее функциональные группы с адсорбционными свойствами, такие как карбонил, гидроксил и аминогруппы, адсорбируют пестициды посредством водородной связи. Между тем чем слабее растворимость пестицидов в воде, тем сильнее их адсорбционная способность в почве, что приводит к более слабой способности вымывания. Пидифлуметофорен мало-растворим в воде, следовательно, имеет слабую способность к вымыванию.

При внесении раствора гуминовой кислоты выявлены следующие особенности. Гуминовая кислота является натуральным, органическим полимерным веществом, образованным из остатков животных и растений посредством сложных химических и биологических взаимодействий, включающих высокое разложение слабых кислот и электролитов в воде, и может адсорбировать ионы тяжелых металлов и других растворимых загрязняющих веществ. При изучении влияния добавленной гуминовой кислоты (источник органического углерода) на адсорбцию пидифлуметофена почвой установлено, что содержание пестицида в верхнем слое колонны достигало более 85 %. Вероятно, это происходит из-за того, что гуминовая кислота малорасторима в воде. При добавлении в почву гуминовая кислота связывается с почвой, при этом увеличивается количество эффективных участков для

сорбции, что облегчает адсорбцию пидифлуметофена почвой из раствора и предотвращает «размазывание» пестицида между слоями. Однако чёткой зависимости уровня адсорбции пидифлуметофена от концентрации добавляемого органического углерода не установлено.

Во всех проведённых экспериментах по вымыванию пидифлуметофена из почвы (с добавлением гуминовой кислоты и без неё) в собранных образцах воды пидифлуметофорен не идентифицирован.

На рисунке представлен внешний вид опытного образца пшеницы, выращенной на почве с внесённым пидифлуметофореном.



Рис. Внешний вид проростков пшеницы, выращенной на почве с внесённым пидифлуметофореном, в конце эксперимента

Анализ выращенных зерновых показал, что незначительное количество пидифлуметофена (~5,5 % от внесённого) содержится в корневой части растений. Вероятно, пестицид определён из остатков почвы, поскольку корни не промывались от неё водой, почва только стяжалась в сухом виде, после высушивания корневой части её фрагменты также не удалось удалить полностью. В остальной наземной части растений содержание пидифлуметофорена было ниже предела обнаружения, менее 0,01 мг/кг.

Заключение

Результаты экспериментов продемонстрировали, что пидифлуметофорен обладает высокими адсорбционными свойствами и максимально поглощается верхним слоем почвы в течение четырёх часов. Пестицид обладает слабой миграционной способностью в почве и, следовательно, вероятность его вымывания в грунтовые воды невысока. Не установлена чёткая связь между содержанием органического вещества и темпами вымывания пидифлуметофорена. Во всех экспериментах основное содержание пидифлуметофорена определено в верхнем слое почвы (0–10 см). Пидифлуметофорен не имеет ярко выраженной миграционной способности как в почве, так и в системе «почва – растение». Поскольку препарат не обладает биоаккумулирующими свойствами, вероятность его вымывания в грунтовые воды невысока. Вероят-

ность накопления пестицида в сельскохозяйственных культурах также практически отсутствует. Следовательно, применение препаратов на основе пи-дифлуметофена не может оказать значимого ущерба окружающей среде и угроза негативного влияния на здоровье человека при употреблении выращенной на обработанных пи-дифлуметофоном территории растительной продукции минимальна.

Список литературы

- Федорова Н. Е., Добрева Н. И. Аналитический контроль остаточных количеств пестицидов в оценке безопасности пищевой продукции // Токсикологический вестник. 2024. № 6. С. 364–370. <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-6>
- Fate, transport and transformation test guidelines: Adsorption/desorption (batch equilibrium) // US Environmental Protection Agency. 2008. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1005IVR.PDF?Dockey=P1005IVR.PDF>
- Hui S. T., Gifford H., Rhodes J. Emerging Antifungal Resistance in Fungal Pathogens // Curr. Clin. Microbiol. Rep. 2024. Vol. 11. P. 43–50. <https://doi.org/10.1007/s40588-024-00219-8>
- Monitoring and environmental risk assessment of pesticide residues and some of their degradation products in natural waters of the Spanish vineyard region included in the Denomination of Origin Jumilla / E. Herrero-Hernandez, A. B. Simon-Egea, M. J. Sanchez-Martin, M. S. Rodriguez-Cruz // Environ. Pollut. 2020. Vol. 264. 114666. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114666>
- Negussie M. Pydiflumetofen // Report of the Residues of Concern Knowledgebase Subcommittee (ROCKS). 2017. D440144.
- Olu-Owolabi B. I., Diagbaya P. N., Adebawale K. O. Sorption and desorption of fluorene on five tropical soils from different climes // Geoderma. 2015. Vol. 239–240. P. 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.012>
- Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L. *Fusarium* Ear Blight (Scab) in Small-Grain Cereals - A Review // Plant Pathol. 1995. Vol. 44, Is. 2. P. 207–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>
- Phylogenetic analysis of EF-1 alpha gene sequences from isolates of *Microdochium nivale* leads to elevation of varieties *majus* and *nivale* to species status / N. C. Glynn, M. C. Hare, D. W. Parry, S. G. Edwards // Mycol. Res. 2005. Vol. 109, Is. 8. P. 872–880. <https://doi.org/10.1017/S0953756205003370>
- Sensitivity of *Fusarium asiaticum* to a novel succinate dehydrogenase inhibitor fungicide pydiflumetofen/ Y. Hou, X. Mao, J. Wang, S. Zhan, M. Zhou // Crop Protect. 2017. Vol. 96. P. 237–244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.011>
- The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 // Food and Agriculture Organization. 2024. <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443c-a2a6-25cecc697b361>
- Updated peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pydiflumetofen / F. Álvarez, M. Arena, D. Auteri, S. B. Leite, M. Binaglia, A. F. Castoldi, A. Chiusolo, A. Colagiorgi, M. Colas, F. Crivellente, C. De Lentdecker, I. De Magistris, M. Egsmose, G. Fait, F. Ferilli, V. Gouliarmou, K. Halling, L. H. Nogareda, A. Ippolito, F. Istace, S. Jarrah, D. Kardassi, A. Kienzler, A. Lanzoni, R. Lava, R. Leuschner, A. Linguaodoca, J. Louisse, Ch. Lythgo, O. Magrans, I. Mangas, A. Mioč, I. Miron, T. Molnar, L. Padovani, V. Padricello, M. Panzarea, J. M. P. Morte, S. Rizzuto, A. Romac, A. Rortais, M. Santos, R. Serafimova, R. Sharp, C. Szentes, A. Terron, A. Theobald, M. Tiramani, G. Vianello, L. Villamar-Bouza // EFSA J. 2024. Vol. 23, Is. 1. e8559. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8559>

References

- Fedorova N.E., Dobрева N.I. Analiticheskii kontrol' ostanochnykh kolichestv pestitsidov v otsenke bezopasnosti pishchevoi produktsii [Analytical control of residual quantities of pesticides in the assessment of food safety]. *Toxicol. Bull.*, 2024, vol. 6, pp. 364-370. (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0869-7922-2024-6>

- Fate, transport and transformation test guidelines: Adsorption/desorption (batch equilibrium). US Environmental Protection Agency, 2008. Available at: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1005IVR.PDF?Dockey=P1005IVR.PDF>

- Hui S.T., Gifford H., Rhodes J. Emerging Antifungal Resistance in Fungal Pathogens. *Curr. Clin. Microbiol. Rep.*, 2024, vol. 11, pp. 43-50. <https://doi.org/10.1007/s40588-024-00219-8>
- Herrero-Hernandez E., Simon-Egea A.B., Sanchez-Martin M.J., Rodriguez-Cruz M.S. Monitoring and environmental risk assessment of pesticide residues and some of their degradation products in natural waters of the Spanish vineyard region included in the Denomination of Origin Jumilla. *Environ. Pollut.*, 2020, vol. 264, 114666. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114666>
- Negussie M. Pydiflumetofen. *Report of the Residues of Concern Knowledgebase Subcommittee (ROCKS)*, 2017, D440144.
- Olu-Owolabi B.I., Diagboya P.N., Adebawale K.O. Sorption and desorption of fluorene on five tropical soils from different climes. *Geoderma*, 2015, vol. 239-240, pp. 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.012>
- Parry D.W., Jenkinson P., McLeod L. *Fusarium* Ear Blight (Scab) in Small-Grain Cereals – A Review. *Plant Pathol.*, 1995, vol. 44, is. 2, pp. 207-238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>
- Glynn N.C., Hare M.C., Parry D.W., Edwards S.G. Phylogenetic analysis of EF-1 alpha gene sequences from isolates of *Microdochium nivale* leads to elevation of varieties *majus* and *nivale* to species status. *Mycol. Res.*, 2005, vol. 109, is. 8, pp. 872-880. <https://doi.org/10.1017/S0953756205003370>
- Hou Y., Mao X., Wang J., Zhan S., Zhou M. Sensitivity of *Fusarium asiaticum* to a novel succinate dehydrogenase inhibitor fungicide pydiflumetofen. *Crop Protect.*, 2017, vol. 96, pp. 237-244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.011>
- The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. Rome, Food and Agriculture Organization, 2024. Available at: <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443c-a2a6-25cec697b361>
- Álvarez F., Arena M., Auteri D., Leite S.B., Binaglia M., Castoldi A.F., Chiusolo A., Colagioi A., Colas M., Crivellente F., De Lentdecker C., De Magistris I., Egsmose M., Fait G., Ferilli F., Gouliarmou V., Halling K., Nogareda L. H., Ippolito A., Istace F., Jarrah S., Kardassi D., Kienzler A., Lanzoni A., Lava R., Leuschner R., Linguaodoca A., Louisse J., Lythgo Ch., Magrans O., Mangas I., Mioč A., Miron I., Molnar T., Padovani L., Padricello V., Panzarea M., Morte J. M. P., Rizzuto S., Romac A., Rortais A., Santos M., Serafimova R., Sharp R., Szentes C., Terron A., Theobald A., Tiramani M., Vianello G., Villamar-Bouza L. Updated peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pydiflumetofen. *EFSA J.*, 2024, vol. 23, is. 1, e8559. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8559>

Сведения об авторах

Бондарева Лидия Георгиевна
кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник
Федеральный научный центр гигиены
им. Ф. Ф. Эрисмана Роспотребнадзора
Россия, 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2
e-mail: lydiabondareva@gmail.com

Федорова Наталья Евгеньевна
доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Федеральный научный центр гигиены
им. Ф. Ф. Эрисмана Роспотребнадзора
Россия, 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2
e-mail: natali53fed@yandex.ru

Information about the authors

Bondareva Lidya Georgievna
Candidate of Sciences (Chemistry),
Leading Research Scientist
Federal Scientific Centre of Hygiene named
after F. F. Erisman by Rospotrebnadzor
2, Semashko st., Mytishchi, 141014,
Russian Federation
e-mail: lydiabondareva@gmail.com

Fedorova Natalia Evgenyevna
Doctor of Sciences (Biology), Principal
Research Scientist
Federal Scientific Centre of Hygiene named
after F. F. Erisman by Rospotrebnadzor
2, Semashko st., Mytishchi, 141014,
Russian Federation
e-mail: natali53fed@yandex.ru