

Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Березняк И.В., Мишина А.Л., Вещемова Т.Е.,
Артемova О.В.

Методические подходы к гигиенической оценке безопасных расстояний при выполнении сельскохозяйственных работ с помощью беспилотных авиационных систем

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Методы и технологии оценки и управления риском становятся базовыми механизмами обеспечения защищенности здоровья граждан и окружающей среды от вредного воздействия факторов среды обитания. Это объясняется наличием постоянных угроз, связанных с влиянием данных факторов, в том числе при использовании современных способов внесения средств химизации при выполнении сельскохозяйственных работ. Сельскохозяйственные беспилотные авиационные системы (СБАС), предназначенные для распыления пестицидов, всё чаще используются во всём мире. Основой безопасного применения пестицидов для населения является минимизация возможности их распространения по воздуху и оседания на почву за пределами обрабатываемого участка, что обеспечивается соблюдением гигиенических требований, предъявляемых к оборудованию, используемому в сельском хозяйстве, регламентам применения, метеоусловиям во время обработки и размерам санитарного разрыва между обрабатываемым участком и населёнными пунктами, водными объектами и т. д.

Цель исследования состояла в обосновании безопасных расстояний от участков сельскохозяйственного применения пестицидов с помощью СБАС до нормируемых в соответствии с санитарным законодательством объектов (населённых пунктов, источников хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и т. д.).

Материалы и методы. Изучен снос, формирующийся при применении пестицидов различного назначения с использованием СБАС. Проведён контроль содержания препаратов, унесённых воздушными потоками, путём измерения концентраций действующих веществ в атмосферном воздухе и осевших на фильтры «синяя лента», помещённые в чашки Петри за границей полосы обработки.

Результаты. Максимальные концентрации веществ в атмосферном воздухе на всех расстояниях от участка обработки были ниже их гигиенических нормативов для атмосферного воздуха. В пробах воздуха по мере удаления от обработанного участка прослеживается чёткое снижение концентраций и нелинейное убывание с наличием слабых локальных максимумов концентраций в седиментационных пробах.

Ограничения исследования. Небольшая выборка изученных веществ, обусловленная ограниченным временем исследования, не позволяет однозначно выявить закономерности формирования сносов в зависимости от их физико-химических свойств, в частности летучести, молекулярной массы и т. д.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о необходимости продолжения исследований для аргументированной корректировки или подтверждения предлагаемого по результатам проведённых испытаний безопасного расстояния (700 м) от обрабатываемых пестицидами участков до нормируемых в соответствии с санитарным законодательством объектов.

Ключевые слова: пестициды; беспилотные авиационные системы; атмосферный воздух; сносы

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Ракитский В.Н., Кузьмин С.В., Березняк И.В., Мишина А.Л., Вещемова Т.Е., Артемova О.В. Методические подходы к гигиенической оценке безопасных расстояний при выполнении сельскохозяйственных работ с помощью беспилотных авиационных систем. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1405–1411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1405-1411> <https://elibrary.ru/svjwqh>

Для корреспонденции: Березняк Ирина Владиславовна, e-mail: bereznyak.iv@fncg.ru; Мишина Анна Леонидовна, e-mail: mishina.al@fncg.ru

Участие авторов: Ракитский В.Н. — концепция и дизайн исследования, научное руководство; Кузьмин С.В. — научное руководство; Березняк И.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, анализ и интерпретация результатов, статистическая обработка, написание текста; Мишина А.Л. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, обработка и визуализация данных, анализ и интерпретация результатов, написание текста; Вещемова Т.Е. — сбор данных литературы, обработка данных, написание текста; Артемova О.В. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» (2021–2025 гг.).

Поступила: 28.10.2024 / Принята к печати: 19.11.2024 / Опубликовано: 17.12.2024

Valerii N. Rakitskii, Sergey V. Kuzmin, Irina V. Bereznyak, Anna L. Mishina,
Tatiana E. Veshchemova, Olga V. Artemova

Methodological approaches to hygienic assessment of safe distances when performing agricultural work using unmanned aircraft systems

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Methods and technologies for assessing and managing risk are becoming the basic mechanisms for ensuring the protection of the health in citizens and the environment from the harmful effects of environmental factors. This is explained by the presence of constant threats associated with the influence of these factors, including the use of modern methods of introducing chemicals during agricultural work. Agricultural unmanned aircraft systems (AUAS) designed to spray pesticides are increasingly being used around the world. The basis for the safe use of pesticides for the population is to minimize the possibility of their spread through the air and settling on the soil outside the treated area, which is ensured by compliance with hygienic requirements for equipment used in agriculture, application regulations, weather conditions during processing, and the size of the sanitary gap between the treated area and settlements, water bodies, etc.

The purpose of this study was to substantiate the safe distances from areas of agricultural application of pesticides using AUAS to objects regulated in accordance with sanitary legislation (settlements, sources of household, drinking and cultural water use, etc.).

Materials and methods. The demolition formed during the application of pesticides of various purposes using AUAS has been studied. The content of drugs carried away by air currents was monitored by measuring the concentration of the substance in the atmospheric air and deposited on the “blue ribbon” filters placed in Petri dishes outside the processing band.

Results. The maximum concentrations of substances in the atmospheric air at all distances from the treatment site were below their hygienic standards for atmospheric air. There is a clear decrease in concentrations in air samples as they move away from the treated area and a nonlinear decrease in concentrations in sedimentation samples with the presence of weak local maxima.

Limitations. A small sample of the studied substances, due to the limited time of the study, does not allow unambiguously identifying the patterns of drift formation depending on their physical-chemical properties, in particular volatility, molecular weight, etc.

Conclusion. The data obtained indicate to the need to continue research for a reasoned correction or confirmation, proposed based on the results of the tests, of the safe distance (700 m) from the sites treated with pesticides to the facilities normalized in accordance with sanitary legislation.

Keywords: pesticides; unmanned aircraft systems; atmospheric air; demolitions

Compliance with ethical standards. This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Rakitskii V.N., Kuzmin S.V., Bereznyak I.V., Mishina A.L., Veshchemova T.E., Artyomova O.V. Methodological approaches to hygienic assessment of safe distances when performing agricultural work using unmanned aircraft systems. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(11): 1405–1411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1405-1411> <https://elibrary.ru/svjwqh> (In Russ.)

For correspondence: Irina V. Bereznyak, e-mail: bereznyak.iv@fncg.ru; Anna L. Mishina, e-mail: mishina.al@fncg.ru

Contribution: *Rakitskii V.N.* — concept and design of research, scientific guidance; *Kuzmin S.V.* — scientific guidance; *Bereznyak I.V.* — concept and design of research, material collection and data processing, analysis and interpretation of results, statistical processing, writing text; *Mishina A.L.* — concept and design of research, collection of material, data processing and visualization, analysis and interpretation of results, writing text; *Veshchemova T.E.* — literature data collection, data processing, writing text; *Artemova O.V.* — material collection and data processing. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study was carried out within the framework of the of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing (Rosпотребнадзор) industry program “Scientific substantiation of the national system for ensuring sanitary and epidemiological well-being, health risk management and improving the quality of life of the Russian population” (2021–2025).

Received: October 28, 2024 / Accepted: November 19, 2024 / Published: December 17, 2024

Введение

В последние десятилетия методы и технологии оценки и управления риском становятся базовыми механизмами обеспечения защищённости здоровья граждан и окружающей среды, что объясняется наличием постоянных угроз, связанных с влиянием факторов среды обитания, формирующих вредное воздействие [1]. Пестициды, являясь биологически высокоактивными соединениями, преднамеренно вносимыми в окружающую среду и циркулирующими в ней, могут представлять реальную опасность для здоровья населения и среды обитания [2, 3]. Масштабы их применения непрерывно растут, в том числе за счёт внедрения современных машин и оборудования для внесения средств химизации, включая беспилотные авиационные системы.

Сельскохозяйственные беспилотные авиационные системы (СБАС), предназначенные для распыления пестицидов, всё чаще используются во всём мире [4, 5] и, в частности, в Восточной Азии [6]. В Японии обработка пестицидами с использованием беспилотных летательных аппаратов позволила увеличить общую площадь распыляемой поверхности с 684 га (2016 г.) до 119 500 га в 2021 г., то есть примерно в 175 раз, при этом рабочее время, затрачиваемое на борьбу с вредителями, было сокращено на одну треть по сравнению с использованием стандартных опрыскивателей [7–9]. По статистике Министерства сельского хозяйства Китая

за 2020 г., для обработки 66 млн гектаров было использовано почти 100 000 единиц СБАС [10].

Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) отметила в недавнем отчёте, что применение СБАС может обеспечить преимущества по сравнению с традиционными наземными методами, такими как снижение нагрузки на оператора, возможность точного зонального или точечного нанесения, улучшение условий использования на местности, труднодоступной для другого оборудования. Отмечается, что потенциальные преимущества этих систем не могут быть реализованы без улучшения имеющихся данных, особенно в отношении сносов, эффективности и воздействия [11].

Снос представляет собой физическое перемещение капель или частиц пестицида по воздуху во время применения пестицидов или вскоре после этого с целевого участка на любой другой участок, не являющийся областью применения [12]. Неконтролируемый снос пестицидов может представлять опасность в том числе для животных, растений и поверхностных вод [13, 14]. Также существует реальная опасность попадания пестицидов на выращиваемые поблизости сельскохозяйственные культуры, употребляемые в пищу без тепловой обработки, такие как лук-перо, петрушка, сельдерей, шавель, горох, укроп, томаты, огурцы, плодово-ягодные культуры.

Кроме того, снос может привести к прямой и косвенной экспозиции лиц, которые живут и (или) работают в непо-

В испытаниях использовались СБАС вертолётного типа с объёмами баков 40 л (роторные форсунки) и 20 л (шелковые форсунки).

При проведении оценки полученные результаты сопоставлялись со значениями гигиенических нормативов содержания действующих веществ в атмосферном воздухе и в почве согласно СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Результаты

Результаты определения действующих веществ в пробах атмосферного воздуха и воздушных сносов, отобранных при опрыскивании полей с использованием беспилотных авиационных систем на высоте 2–5 м, представлены в таблице.

Как видно из таблицы, концентрации веществ в атмосферном воздухе на всех расстояниях от участка обработки были ниже гигиенических нормативов для атмосферного

Результаты определения действующих веществ препаратов, применяемых с использованием СБАС, в атмосферном воздухе и воздушных сносах при полёте на высоте 2–5 м над землёй

Results of determination of active substances of preparations applied using AUAS, in atmospheric air and air drifts during flight at a height of 2–5 m above the ground

Высота полёта, м Flight altitude, meters	Скорость полёта Flight speed	Вещество Substance name	Норма расхода по д. в., мг/м² Consumption rate by active ingredient, mg/m²	Расстояние от участка обработки, м Distance from the processing area, m	Атмосферный воздух Atmospheric air	Седиментационные пробы Sedimentation samples	
					доля от величины гигиенического норматива share of the hygienic standard value	процент сноса (%) demolition percentage (%)	доля от величины гигиенического норматива share of the hygienic standard value
2	5	Цигалофоп-бутил Cyhalofop-butyl	90	50	0.0034	0.00003	0.00007
				100	—	0.00006	0.004
				300	—	0.00004	—
				500	—	0.000008	—
				700	—	0.000023	—
				1000	—	—	—
2	5	Биспирибак натрия Bispyribac-sodium	5.4	50	н/о	0.0003	0.0001
				100	—	0.0002	0.0001
				300	—	—	—
				500	—	—	—
				700	—	0.0001	0.0001
				1000	—	—	—
2.5	3.05	Тифенсульфурон-метил Thifensulfuron-methyl	2.7	50	0.001	0.04	0.004
				100	0.002	0.014	0.0013
				300	0.0006	0.014	0.0013
				500	0.003	0.025	0.002
				700	—	0.001	0.0007
				1000	—	—	—
2.5	3.05	Флуметсулам Flumetsulam	0.72	2000	—	—	—
				50	0.003	0.08	0.05
				100	0.01	0.02	0.02
				300	0.0002	0.009	0.2
				500	—	0.13	0.03
				700	—	0.001	0.01
2.5	3.05	Флорасулам Florasulam	0.54	1000	—	—	—
				2000	—	—	—
				50	0.00025	0.11	0.019
				100	0.0005	0.02	0.004
				300	0.0001	0.011	0.0019
				500	0.0009	0.17	0.031
				700	—	0.0001	0.00002
				1000	—	—	—
				2000	—	—	—

Продолжение Таблицы. Начало на стр. 1408. / Continuation of the Table. The beginning is on page 1408.

Высота полёта, м Flight altitude, meters	Скорость полёта Flight speed	Вещество Substance name	Норма расхода по д. в., мг/м² Consumption rate by active ingredient, mg/m²	Расстояние от участка обработки, м Distance from the processing area, m	Атмосферный воздух Atmospheric air	Седиментационные пробы Sedimentation samples	
					доля от величины гигиенического норматива share of the hygienic standard value	процент сноса (%) demolition percentage (%)	доля от величины гигиенического норматива share of the hygienic standard value
2.5	5	Эпоксиконазол Epoxiconazole	9.6	50	0.046	0.13	4.1
				100	0.007	0.07	2.0
				300	0.002	0.016	0.19
				500	0.0015	0.0042	0.13
				700	0.00015	0.0004	0.014
				1000	—	—	—
2.5	5	Ципроконазол Cyproconazole	6.4	50	0.17	0.09	0.09
				100	0.029	0.06	0.062
				300	0.0058	0.015	0.016
				500	0.0047	0.003	0.003
				700	0.00049	0.0005	0.00018
				1000	—	—	—
3.5	5	Имидаклоприд Imidacloprid	2	50	0.011	0.16	0.03
				100	0.0011	0.029	0.004
				300	0.001	0.00415	0.0005
				500	0.0003	0.00125	0.0002
				700	0.0001	0.0022	0.0003
				1000	—	—	—
3.5	5	Клотианидин Clothianidin	1	50	0.009	0.15	0.049
				100	0.0007	0.028	0.0089
				300	0.0004	0.004	0.0014
				500	0.00011	0.0011	0.00035
				700	0.0003	0.0017	0.0001
				1000	—	—	—
3.5	5	Альфа-циперметрин Alpha-cypermethrin	2.5	50	0.019	0.077	0.3
				100	—	0.014	0.05
				300	—	—	—
				500	—	—	—
				700	—	—	—
				1000	—	—	—
5	5	Дикват Diquat	30	50	0.83	0.23	1.13
				100	0.11	0.07	0.3
				300	0.2	0.02	0.1
				500	—	1.07	5.1
				700	—	0.023	0.11
				1000	—	—	—
5	5	Цигалофоп-бутил Cyhalofop-butyl	90	50	52.8	0.14	10.0
				100	5.6	0.049	3.5
				300	0.5	0.001	0.05
				500	0.02	0.0003	0.025
				700	0.005	0.001	0.05
				1000	0.009	—	—
5	5	Биспирибак натрия Bispyribac-sodium	5.4	50	0.7	1.28	1.1
				100	0.05	0.31	0.27
				300	0.004	0.013	0.01
				500	—	0.006	0.005
				700	0.00002	0.013	0.001
				1000	0.00002	—	—

воздуха. Прослеживается чёткое снижение концентраций в пробах воздуха по мере удаления от обработанного участка.

В седиментационных пробах, которые являются накопительными (на фильтры оседали вещества во время и после обработки), также прослеживается снижение количества веществ по мере удаления от участка обработки. Но следует отметить, что процент сноса вещества от его количества, попавшего на обрабатываемый участок, на расстоянии 500 м увеличивается до 0,17% по сравнению с 0,02% на расстоянии 100 м (д. в. флорасулам). Это явление отмечается и в сносах флуметсулама и тифенсульфуронметила.

Для оценки содержания вещества на фильтрах с установленными нормативами для почвы проведён пересчёт количества действующего вещества на фильтрах, выраженного в мг/м², в размерность мг/кг. Установлено, что на расстоянии 50 м от обработанной территории содержание в почве флорасулама превышает норматив в 4,1 раза, на расстоянии 100 м — в 2 раза.

При применении СБАС для обработки пестицидами высоких культур, например, при десикации подсолнечника, высота полёта может увеличиться до 5 м и более. Для установления особенностей распространения сносов по сравнению с ранее проведёнными полётами на высоте 2,5–3 м были проведены испытания для гербицидов В и С при полёте СБАС на высоте 5 м, данные также представлены в таблице.

При обработке поля гербицидом В на основе диквата дибромид, который часто применяется для десикации подсолнечника, содержание вещества в атмосферном воздухе снижается по мере удаления от обработанной территории и на расстоянии 500 м практически гербицид не идентифицируется. Но в накопительных пробах (на фильтрах в чашках Петри) дикват дибромид обнаружен на расстоянии 500 м в значительных количествах (0,3209 мг/м²), что составляет более 1% сносов за пределы обработанного участка.

При проведении испытаний гербицида С на двух высотах полёта СБАС (2 и 5 м) установлено, что при увеличении в два раза высоты полёта СБАС над поверхностью земли увеличивается содержание в атмосферном воздухе действующих веществ в 150 раз и более, в воздушных сносах на фильтрах в чашках Петри — в 15–1000 раз.

Обсуждение

Полученные в результате экспериментальных исследований данные свидетельствуют о неоднозначности формирования сносов для разных видов препаратов, условий и технологий их применения.

Следует отметить, что во всех испытанных препаратах содержание действующих веществ небольшое (18–300 г/л), и при увеличении содержания д. в. в препарате сносы также могут резко возрастать, например, содержание флорасулама в других зарегистрированных препаратах в 10 раз больше, а флуметсулама в 5 раз больше, чем в гербициде А. Данный факт подтверждает необходимость изучения применения каждого препарата в рамках регистрационных испытаний.

При обработке препаратом на основе диквата дибромид в накопительных пробах (на фильтрах в чашках Петри) дикват дибромид обнаружен на расстоянии 500 м в значительных количествах, что составляет более 1% сносов за пределы обработанного участка и является для гербицидов недопустимым с позиции агрономии [27], что также подтверждает

необходимость первоочередной отработки технологии применения пестицидов с помощью СБАС с позиций биологической эффективности. На том же расстоянии (500 м) при пересчёте и сравнении с гигиеническим нормативом отмечается превышение ОДУ диквата дибромид в почве в 5 раз. Установленный факт подтверждает, что не для всех пестицидов соблюдение разрыва между обработанным участком и нормируемым объектом (жильём и т. д.) в 500 м гарантирует безопасность пестицидов для населения при использовании СБАС. Следует отметить, что значимая величина сносов при применении препарата на основе диквата дибромид в определённой мере может быть связана с препаративной формой, так как данный препарат является водным раствором.

На рисунке (см. на вклейке) приведена волна сноса (в % от количества препарата, попавшего на обработанный участок с учётом заданной нормы расхода) действующих веществ испытанных препаратов по мере удаления от обрабатываемого участка. Наблюдается нелинейное убывание концентраций с наличием слабых локальных максимумов.

Тем не менее можно с достаточной уверенностью сказать, что на расстоянии 700 м для всех испытанных действующих веществ формируемые концентрации снижаются практически до нуля. Таким образом, несмотря на низкие концентрации действующих веществ, полученные в испытаниях, при определении безопасных расстояний от мест применения пестицидов с использованием БАС по принципу предосторожности в обеспечении санитарно-гигиенической безопасности мы ориентировались на следовые количества действующих веществ, приближающиеся к нулю (на расстоянии 700 м). Также учитывали отсутствие в настоящее время единой отработанной технологии применения БАС в сельском хозяйстве и нормируемые («защищаемые») в соответствии с санитарным законодательством объекты, включая предусмотренные пунктом 282 СанПиН 2.1.3684–21 участки под посевы сельскохозяйственных культур, употребляемых в пищу без тепловой обработки (лук-перо, петрушка, сельдерей, шавель, горох, укроп, томаты, огурцы, плодово-ягодные культуры), в которых не должны содержаться пестициды, не предназначенные к использованию непосредственно для обработки в процессе выращивания данных культур.

Ограничения исследования. Небольшая выборка изученных веществ, обусловленная ограниченным временем исследования, не позволяет однозначно выявить закономерности формирования сносов в зависимости от их физико-химических свойств, в частности летучести, молекулярной массы и т. д.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о необходимости продолжения исследований для аргументированной корректировки или подтверждения предлагаемого по результатам проведённых испытаний безопасного расстояния (700 м) от обрабатываемых пестицидами участков до нормируемых в соответствии с санитарным законодательством объектов.

При этом для каждого конкретного препарата в соответствии с текущей практикой должны разрабатываться отдельные регламенты их применения с учётом максимальных норм расхода препарата и выбранного способа применения (в том числе использование СБАС) с последующим подтверждением их безопасности и эффективности в рамках регистрационных испытаний.

Литература (п.п. 4–25 см. References)

- Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Орлов М.С., Ярушин С.В., Мишина А.Л. Научная концепция развития нормативно-методической основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(12): 1226–30. <https://elibrary.ru/yqxmiiu>
- Ракитский В.Н., Терешкова Л.П., Чхвиркия Е.Г., Епишина Т.М. Основы обеспечения безопасного применения пестицидов. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2020; 64(1): 45–50. <https://elibrary.ru/uqbpis>
- Попова А.Ю., Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Трухина Г.М., Громова И.П. Актуальность гигиенического нормирования пестицидов в почве. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 485–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-6-485-489>
- Самсонов Ю.Н., Макаров В.И. Санитарно-гигиенические риски от первичного и вторичного ветрового сноса пестицидных веществ при разных методах их применения. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2013; 4(2): 139–44. <https://elibrary.ru/qiuaae>
- Березняк И.В., Фёдорова Н.Е., Михеева Е.Н. Гигиеническая значимость определения пестицидов в седиментационных пробах. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2019; (3): 152–8. <https://elibrary.ru/bigile>

References

- Popova A.Yu., Gurchich V.B., Kuzmin S.V., Orlov M.S., Yarushin S.V., Mishina A.L. The paradigm of the development of the regulatory and methodological framework aimed to maintain sanitary and epidemiological welfare of the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(12): 1226–30. <https://elibrary.ru/yqxmuv> (in Russian)
- Rakitskii V.N., Tereshkova L.P., Chkhvirkia E.G., Epishina T.M. Fundamentals of ensuring the safe application of pesticides. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2020; 64(1): 45–50. <https://elibrary.ru/uqbpis> (in Russian)
- Popova A.Yu., Rakitskii V.N., Sinitskaya T.A., Trukhina G.M., Gromova I.P. Urgency of hygienic rating of pesticides in the soil. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(6): 485–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-6-485-489> (in Russian)
- Dubuis P.H., Jaquerot A. Evaluation of the performance of drone treatments to control downy and powdery mildew in grapevines. *BIO Web Conf.* 2022; 50: 01006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225001006>
- Rodriguez R. Agricultural aerial application with unmanned aircraft systems: current regulatory framework and analysis of operators in the United States. *Trans. ASABE*. 2021; 64(5): 1475–81. <https://doi.org/10.13031/trans.14331>
- He X.K., Bonds J., Herbst A., Langenakens J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2017; 10(3): 18–30. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.3248>
- FAO, ITU. E-agriculture in Action: Drones for Agriculture; 2018.
- Iost Filho F.H., Heldens W.B., Kong Z., de Lange E.S. Drones: innovative technology for use in precision pest management. *J. Econ. Entomol.* 2020; 113(1): 1–25. <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>
- Umeda S., Yoshikawa N., Seo Y. Cost and workload assessment of agricultural drone sprayer: a case study of rice production in Japan. *Sustainability*. 2022; 14(17): 10850. <https://doi.org/10.3390/su141710850>
- Yan X., Zhou Y., Liu X., Yang D. Minimizing occupational exposure to pesticide and increasing control efficacy of pests by unmanned aerial vehicle application on cowpea. *Appl. Sci.* 2021; 11(20): 9579. <https://doi.org/10.3390/app11209579>
- OECD. Report on the State of the Knowledge – Literature Review on Unmanned Aerial Spray Systems in Agriculture; 2021.
- US EPA. Pesticide Registration (PR) Notice 2001-X Draft: Spray and Dust Drift Label Statement for Pesticide Products; 2001.
- Al Heidary M., Douzals J.P., Sinfert C., Vallet A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: a literature review. *Crop. Prot.* 2014; 63: 120–30. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>
- Hilz E., Vermeer A.W.P. Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift. *Crop. Prot.* 2013; 44: 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.020>
- Charistou A., Coja T., Craig P., Hamey P., Martin S., Sanvido O., et al. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. *EFSA Journal*. 2022; 20(1): 7032. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7032>
- Ellis M.C.B., Harris D., Lane A.G., Tuck C.R. Novel spray adjuvants to decrease spray drift. *Asp. Appl. Biol.* 2016; 132: 257–63.
- Ellis M.C.B., Lane A., O'Sullivan C., Alanis R., Harris A., Stallinga H., et al. Bystander and resident exposure to spray drift from orchard applications: field measurements, including a comparison of spray drift collectors. *Asp. Appl. Biol.* 2014; 122: 187–94.
- Fritz B.K. Meteorological effects on deposition and drift of aerially applied sprays. *Trans. ASABE*. 2006; 49(5): 1295–301. <https://doi.org/10.13031/2013.22038>
- Fritz B.K., Hoffmann C., Bagley W.E. Effects of spray mixtures on droplet size under aerial application conditions and implications on drift. *Appl. Eng. Agricul.* 2009; 26(1): 21–9. <https://doi.org/10.13031/2013.22038>
- Huang Z., Wang C., Li Y., Zhang H., Zeng A., He X. Field evaluation of spray drift and nontargeted soybean injury from unmanned aerial spraying system herbicide application under acceptable operation conditions. *Pest. Manag. Sci.* 2023; 79(3): 1140–53. <https://doi.org/10.1002/ps.7285>
- Wang C., Herbst A., Zeng A., Wongsuk S., Qiao B., Qi P., et al. Assessment of spray deposition, drift and mass balance from unmanned aerial vehicle sprayer using an artificial vineyard. *Sci. Total. Environ.* 2021; 777: 146181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146181>
- Wang C., Wongsuk S., Huang Z., Yu C., Han L., Zhang J., et al. Comparison between drift test bench and other techniques in spray drift evaluation of an eight-rotor unmanned aerial spraying system: the influence of meteorological parameters and nozzle types. *Agronomy*. 2023; 13(1): 270. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010270>
- Wang G., Han Y., Li X., Andaloro J., Chen P., Hoffmann W.C., et al. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Sci. Total. Environ.* 2020; 737: 139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>
- Wang J., Lan Y.B., Zhang H., Zhang Y.L., Wen S., Yao W., et al. Drift and deposition of pesticide applied by UAV on pineapple plants under different meteorological conditions. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2018; 1(6): 5–12. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181106.4038>
- Herbst A., Bonds J., Wang Z., Zeng A., He X., Goff P., et al. The influence of unmanned agricultural aircraft system design on spray drift. *J. Kult.* 2020; 72(1): 1–11. <https://doi.org/10.5073/JfK.2020.01.01>
- Samsonov Yu.N., Makarov V.I. Sanitary-and-hygienic risks of primary and secondary wind drifts of pesticide chemicals after different methods of pesticide application. *Interekspo Geo-Sibir*. 2013; 4(2): 139–44. <https://elibrary.ru/qiuaap> (in Russian)
- Bereznyak I.V., Fedorova N.E., Mikheeva E.N. Hygienic significance of the determination of pesticides in sedimentation tests. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2019; (3): 152–8. <https://elibrary.ru/bigjle> (in Russian)

Сведения об авторах

Ракитский Валерий Николаевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: rakitskii.vn@fncg.ru

Кузьмин Сергей Владимирович, доктор мед. наук, профессор, директор ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: kuzmin.sv@fncg.ru

Березняк Ирина Владиславовна, доктор мед. наук, профессор, зав. отд. гигиены труда Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: bereznyak.iv@fncg.ru

Милина Анна Леонидовна, канд. мед. наук, гл. специалист отд. анализа риска здоровью населения, вед. науч. сотр. отд. токсикологии Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: mishina.al@fncg.ru

Вещемова Татьяна Евгеньевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. гигиены труда Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: veshchemova.te@fncg.ru

Артемова Ольга Валерьевна, мл. науч. сотр. отд. гигиены труда Института гигиены, токсикологии пестицидов и химической безопасности ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, Россия. E-mail: artemova.ov@fncg.ru

Information about the authors

Valerii N. Rakitskii, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, Scientific Director of the Institute of Hygiene, Toxicology of Pesticides and Chemical Safety of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9959-6507> E-mail: rakitskii.vn@fncg.ru

Sergey V. Kuzmin, DSc (Medicine), professor, Director of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0209-9732> E-mail: kuzmin.sv@fncg.ru

Irina V. Bereznyak, DSc (Medicine), Professor, head of the Occupational Health Dept. of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9501-092X> E-mail: bereznyak.iv@fncg.ru

Anna L. Mishina, PhD (Medicine), chief specialist of the Dept. of Public Health Risk Analysis, leading researcher of the Dept. of Toxicology of the Institute of Hygiene, Toxicology of Pesticides and Chemical Safety of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0009-8853-5416> E-mail: mishina.al@fncg.ru

Tatiana E. Veshchemova, PhD (Medicine), senior researcher at the Occupational Hygiene Dept. of the Institute of Hygiene, Toxicology of Pesticides and Chemical Safety of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0444-1095> E-mail: veshchemova.te@fncg.ru

Olga V. Artemova, junior researcher at the Occupational Hygiene Dept. of the Institute of Hygiene, Toxicology of Pesticides and Chemical Safety of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6686-2450> E-mail: artemova.ov@fncg.ru

<https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1405-1411>

К статье В.Н. Ракитского и соавт.
To the article by Valery N. Rakitskii et al.

