

## СНОС РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ ПРИ ОПРЫСКИВАНИИ: БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР

О. В. ГОРДЕЕНКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент  
И. С. КРУК<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент

<sup>1</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Прогресс в борьбе вредителями, болезнями и сорняками сельскохозяйственных культур был достигнут с появлением синтетических пестицидов, что привело к значительному усовершенствованию сельскохозяйственных технологий и повышению эффективности растениеводства.

Внесение рабочих растворов пестицидов в полевых условиях неизбежно сопровождается потерями, полностью исключить которые на данном этапе не представляется возможным [1]. Этим обусловлена озабоченность общества во всем мире, в частности загрязнением пестицидами воздуха, воды и других природных ресурсов.

В статье обобщен материал исследований применения рабочих растворов пестицидов под воздействием различных факторов, влияющих на процессы сноса во время опрыскивания, а также рассматриваются методы измерения и моделирования дрейфа пестицидов.

**Основная часть.** Наибольший урон окружающей среде наносит снос препаратов за пределы обрабатываемого объекта при обработках в ветреную погоду. Во время опрыскивания до 30–50 % внесенного количества пестицидов может быть снесено и потеряно в атмосфере [2]. Впервые о присутствии пестицидов в атмосфере было сообщено в конце 1950-х годов, когда широко использовались хлорсодержащие пестициды, такие как ДДТ, линдан и дильдрин. Пестициды находятся в воздухе в трех формах: твердой, газообразной и жидкой [3], и они попадают в атмосферу во время опрыскивания сельскохозяйственных культур путем сноса (влияние ветра) и испарения.

Процесс сноса капель рабочего раствора с учетом воздействия на них факторов окружающей среды до конца не изучен, вследствие чего результаты практических экспериментов носят различный, иногда противоречивый характер. Было предпринято множество попыток ко-

личественно оценить потери пестицидов в результате сноса, а затем определить их причины [4–8].

Внесение пестицидов сопровождается множеством факторов. В 2001 г. Hofman и Solseng сгруппировали их в следующие категории [9]:

- характеристики рабочего раствора, такие как летучесть и вязкость пестицидной формулы;
- оборудование и техника (техническое состояние и настройка агрегата);
- природно-климатические условия в момент опрыскивания (скорость и направление ветра, температура, относительная влажность и стабильность воздуха);
- квалификация оператора, его отношение и мастерство в работе.

В большинстве опытов исследователи фокусировались на определении сноса капель пестицидов за пределы обрабатываемой территории (изучая влияние погодных условий и типов гидравлических форсунок), а не на количестве загрязняющих веществ в воздухе (ни в виде паров, ни в виде мелких капель). Снос препарата определялся как количество рабочего раствора пестицида, которое не достигло целевого объекта под воздействием климатических условий в процессе опрыскивания. Пестициды, которые попадают в атмосферу путем улетучивания (из культур, почвы и т. д.), деградации (гидролиз в воде и почве, фотолиз и реакция с радикалами ОН в атмосфере) и ветровой эрозии не считаются сносом [10].

В более ранних исследованиях 1975 г. Threadgill и Smith [8] предположили, что наиболее важными факторами в процессах капельного осаждения являются размер капель, стабильность атмосферы и скорость ветра (вертикальная и горизонтальная составляющие), влияющие на снос и осаждение капель в секторах, прилегающих к зоне опрыскивания. В параллельных исследованиях 1975 года Goering и Butler [11] также обнаружили, что температура, турбулентность воздуха и горизонтальная скорость ветра являются переменными, которые влияют на снос капель. В 1982 г. Smith и др. в своих исследованиях добавили к перечисленным ранее факторам, влияющим на снос и высоту установки распылителей.

В исследованиях, проводимых научным сообществом, учитывается все больше и больше факторов влияющих на снос пестицидов в атмосферу. Несколько авторов (Holterman и др., 1997 [13]; Mokeba и др., 1997 [14]; Phillips и Miller, 1999 [15]; Asman и др., 2003 [16]) использо-

вали логарифмический закон для оценки профиля ветра над пологом растений. Однако модели дрейфа не учитывают влияние атмосферной стабильности на снос. Поэтому они недооценивают снос мелкого аэрозоля.

Некоторые авторы в своих работах исследовали различные конструкции распылителей и влияние их эксплуатационных характеристик на спектр размера капель и потенциальный снос [4, 5].

Авторы работы [16] исследуют испарение и диффузию водяного пара в окружающий воздух из самой капли, что приводит к уменьшению их диаметра на траектории их движения.

Хотя физические принципы испарения капель при применении пестицидов хорошо описаны в библиографических источниках [18, 19] в течение нескольких десятилетий, скорость испарения в технологии сельскохозяйственного опрыскивания остается сложной проблемой, которая включает физические и химические свойства рабочего раствора, диаметры генерируемых распылителем капель и условия окружающей среды.

Моделирование сноса аэрозолей было важным моментом в предыдущих исследованиях, в основном для упрощения полевых испытаний, которые являются очень сложными и дорогостоящими. Использование компьютерных моделей и математического моделирования может стать важным дополнением к тяжелым испытаниям, где многие переменные окружающей среды и технические условия постоянно меняются как во времени, так и в пространстве.

Наиболее часто встречающиеся модели для прогнозирования движения капель в воздухе во время распыления делятся на модели шлейфа и модели траектории движения отдельных капель.

Модели траекторий движения капель оценивают перемещение и положение отдельных капель под действием внешних физических сил [20].

Raupach [21] и Craig [22] разработали модели шлейфа для оценки сноса в воздушных аэродинамических установках, и результаты проверки показали хорошую корреляцию с измерениями отложений на ветру для различных размеров капель и скорости ветра. Таким образом, можно предположить, что данная модель будет полезна для процедуры прогнозирования траекторий движения распыленных капель различного диаметра.

Авторы работы [23] разработали модель «случайной ходьбы», рассматривающую движение капель в турбулентной атмосфере с гауссо-

вым распределением скорости воздуха. Эта модель подходит для капель с начальной скоростью менее 2 м/с и максимальным диаметром капли 450 мкм.

На основе этого подхода ряд авторов (Miller, Hadfield, Hobson, Smith, Mokeba, Cox), разработали или адаптировали под свои исследования математические уравнения и вычислительные программы для прогнозирования движения капель аэрозоля в полевых условиях. Они подтвердили, что процедуры моделирования могут быть использованы для расчета расстояния сноса аэрозоля для широкого диапазона размеров капель и скоростей ветра.

**Заключение.** В представленном материале рассматриваются усилия научного сообщества по изучению сноса рабочего раствора пестицидов с целью обеспечения более безопасного применения средств защиты растений.

Использование математических и вычислительных моделей для определения сноса пестицидов упрощает проведение испытаний и полевых оценок. Тем не менее, данные модели нельзя рассматривать как замену исследований в полевых условиях, а скорее, как очень мощное дополнение, помогающее понять явление, а также адаптированное практическое применение для снижения рисков загрязнения окружающей среды.

Актуальным остается вопрос соблюдения технологических рекомендаций и использования технических устройств, снижающих или предотвращающих снос капель рабочих растворов при опрыскивании сельскохозяйственных культур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И. С. Крук [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2022. – Т. 60, № 3. – С. 320–331.
2. Van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G., 1999. Emission of pesticides into the air. *Water, Air, and Soil Pollution* 115, 195–218.
3. Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., Barriuso, E., 2002. Occurrence of pesticides in the atmosphere in France. *Agronomie* 22, 35–49.
4. Клочков, А. В. Снижение потерь пестицидов при опрыскивании: монография / А. В. Клочков, П. М. Новицкий, А. Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2017. – 230 с.
5. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
6. Courshee, R., 1959. Investigations on spray drift. Part II: the occurrence of drift. *Journal of Agricultural Engineering Research* 4, 229–241.

7. Frost, K., Ware, G. W., 1970. Pesticide drift from aerial and ground applications. ASAE Paper No. 1577.
8. Threadgill, E., Smith, D., 1975. Effects of physical and meteorological parameters on the drift of controlled-size droplets. Transactions of the ASAE 18, 51–56.
9. Hofman, V., Solseng, E., 2001. Reducing Spray Drift. North Dakota State University. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ageng/machine/ae1210w.htm>. Дата доступа ноябрь 2023.
10. Kumar, Y., 2001. Pesticides in Ambient Air in Alberta. Science and Standard Division. Alberta Environment, Canada (30 pp).
11. Goering, C. E., Butler, B., 1975. Paired field studies of herbicide drift. Transactions of the ASAE 18, 27–34.
12. Smith, D. B., Harris, F. D., Butler, B. J., 1982. Variables affecting drift from ground boom sprayer. Transactions of the ASAE 25, 1499–1503.
13. Holterman, H. J., Van de Zande, J. C., Porskamp, H.A.J., Huijsmans, J.F.M., 1997. Modelling spray drift from boom sprayer. Computers and Electronics in Agriculture 19, 1–22.
14. Mokeba, M. L., Salt, D. W., Lee, B. E., Ford, M. G., 1997. Simulating the dynamics of spray droplets in the atmosphere using ballistic and random-walk models combined. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 67–68, 923–933.
15. Phillips, J., Miller, P. C. H., 1999. Field and wind tunnel measurements of the airborne spray volume downwind of single flat-fan nozzle. Journal of Agricultural Engineering Research 72, 161–170.
16. Asman, W., Jorgensen, A., Jensen, P. K., 2003. Dry deposition and spray drift of pesticides to nearby water bodies. Danish Environmental Protection Agency, Pesticide Research No. 66 (171 pp).
17. Ranz, W. E., Marshall, W. R., 1952. Evaporation from drops. Part I. Chemical Engineering Progress 48.
18. Goering, C. E., Bode, L. E., Gebhardt, M. R., 1972. Mathematical model of spray droplet deceleration and evaporation. Transactions of the ASAE 15, 220–225.
19. Williamson, R. E., Threadgill, E. D., 1974. A simulation for dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying. Transactions of the ASAE 17, 254–261.
20. Гордеенко, О. В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / О. В. Гордеенко / БГСХА. – Горки, 2004. – 218 с.
21. Raupach, M. R., Briggs, P. R., Ahmad, N., Edge, V. E., 2001. Endosulfan transport: II. Modelling airborne dispersal and deposition by spray and vapour. Journal of Environmental Quality 30, 729–740.
22. Craig, I. P., 2004. The GDS model a rapid computational technique for the calculation of aircraft spray drift buffer distances. Computers and Electronics in Agriculture 43, 235–250.
23. Thompson, N., Ley, A., 1983. Estimating spray drift using a random-walk model of evaporating drops. Journal of Agricultural Engineering Research 28, 419–435.

*Аннотация.* Обобщен материал исследований по движению капель пестицидов под воздействием различных факторов, влияющих на снос капель за пределы обработки.

*Ключевые слова:* опрыскивание, пестициды, капли, снос, окружающая среда, модель.