



Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255

EDN JMELOB

УДК 633.491:632.95

Научная статья / Research article

Деградация и распространение имидаклоприда в картофеле

Е.Ю. Алексеев¹  , В.И. Долженко² ¹ООО Инновационный центр защиты растений, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²Санкт-Петербургское отделение Российской академии наук, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация anscreation@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема транслокации системного пестицида — имидаклоприда — в картофеле. Цель — изучить пути движения, динамику накопления и деградации исследуемого действующего вещества в различных частях растения. Эксперимент проводился в полевых условиях Ленинградской области на сорте Удача с отбором проб ботвы из разных частей целого растения и клубней после обработки. Анализ выполнялся по авторской методике на основе методологии QuEChERS с использованием ВЭЖХ-УФ детектирования. Результаты подтвердили преобладающий ксилемный транспорт имидаклоприда с максимальными концентрациями в верхней ботве. Обнаружено ретроградное перераспределение действующего вещества вниз по ботве через 24 часа, что возможно объясняется обратными потоками в ксилеме, связанными с ночным корневым давлением и гуттацией. Установлено накопление остатков имидаклоприда в клубнях с пиковой концентрацией (0,074 мг/кг) на 7-е сутки, превысившей установленный максимально допустимый уровень (МДУ) 0,05 мг/кг. Это указывает на возможный нисходящий транспорт, не характерный для классической ксилемной мобильности. Уникальность исследования заключается в комплексном экспериментальном выявлении возможных путей движения имидаклоприда и оценке его перераспределения и деградации в растении. Практическая значимость заключается в доказанной необходимости строгого соблюдения сроков ожидания для данного препарата на картофеле, поскольку временное, но значимое превышение МДУ создает возможный токсикологический риск.

© Алексеев Е.Ю., Долженко В.И., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: пестициды, деградация пестицидов, QuEChERS, транслокация пестицидов

Вклад авторов: Алексеев Е.Ю. — методология, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование; Долженко В.И. — концептуализация, руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 12 марта 2026 г.; принята к публикации 14 апреля 2026 г.

Для цитирования: Алексеев Е.Ю., Долженко В.И. Деградация и распространение имидаклоприда в картофеле // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21, № 2. С. 249–255. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255 EDN: JMELOB

Degradation and distribution of imidacloprid in potatoes

Elisey Y. Alekseev¹  , Viktor I. Dolzhenko² 

¹Innovative Center for Plant Protection, Saint Petersburg, Russian Federation

²St. Petersburg Branch of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

 anscreation@yandex.ru

Abstract. The problem of translocation of the systemic pesticide imidacloprid in potato plants is addressed. The aim of the study was to investigate the pathways of movement, the dynamics of accumulation, and the degradation of the active substance in different plant parts. The field experiment was conducted in the Leningrad Region on the potato variety *Udacha*, with sampling of aboveground biomass from different parts of whole plants and tubers after treatment. Chemical analysis was performed using an in-house method based on the QuEChERS methodology with HPLC-UV detection. The results confirmed the predominantly xylem-mediated transport of imidacloprid, with maximum concentrations found in the upper foliage. A retrograde redistribution of the active substance downward along the foliage was observed 24 hours after treatment, which may be attributed to reverse flow in the xylem associated with nocturnal root pressure and guttation. Accumulation of imidacloprid residues in tubers was detected, with a peak concentration of 0.074 mg/kg on day 7, exceeding the established maximum residue limit (MRL) of 0.05 mg/kg. This finding suggests a possible downward (basipetal) transport, which is atypical for classic xylem-mobile compounds. The novelty of this study lies in the comprehensive experimental identification of the possible translocation pathways of imidacloprid and the assessment of its redistribution and degradation within the plant. The practical significance is demonstrated by the proven need for strict adherence to the pre-harvest interval for this pesticide on potatoes, as a temporary but significant exceedance of the MRL poses a potential toxicological risk.

Keywords: pesticides, pesticide degradation, QuEChERS, pesticide translocation

Author contributions: Alekseev E.Y. — methodology, study implementation, manuscript drafting and editing; Dolzhenko V.I. — study conceptualization and supervision. All authors read and approved the final manuscript. All authors contributed equally to this manuscript.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Article history: received 12 March 2026; accepted 14 April 2026.

For citation: Alekseev EY, Dolzhenko VI. Degradation and distribution of imidacloprid in potatoes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):249–255. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-249-255 EDN: JMELOB

Введение

Передвижение действующих веществ пестицидов — важное и малоизученное направление. Морфология и физиология растений, а также химические свойства отдельных действующих веществ пестицидов крайне изменчивы, а механизмы, лежащие в основе процессов транслокации, зачастую изучены недостаточно [1]. Полевые эксперименты показывают, что неоникотиноиды, как правило, обладают хорошими системными свойствами [2, 3]. Имидаклоприд, один из самых популярных неоникотиноидов, проявляет явную ксилемную транслокацию, что означает, что он обнаруживается в основном в побегах и листьях [3, 4]. Движение имидаклоприда по восходящему потоку обусловлено его химическими свойствами. Ожидается, что имидаклоприд будет обнаружен именно в ксилеме, а не во флоэме. Это объясняется тем, что он является слабой кислотой (находится в недиссоциированной форме) и имеет низкий коэффициент переноса (TSCF) — 0,6 (отношение концентрации в ксилемном соке к концентрации в исходном растворе). [3]. Однако, на практике, при изучении динамик деградации имидаклоприда, остаточные количества в клубнях обнаруживаются, что предполагает возможность ограниченного флоэмного транспорта или механизм, отличный от классической флоэмной мобильности [3, 5, 6]. Максимально допустимый уровень (МДУ) в России для картофеля составляет 0,05 мг/кг¹.

Цель исследования — оценка деградации и распространения системного инсектицида имидаклоприда на основе количественного определения его остаточных количеств в ботве и клубнях картофеля.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили в 2020 г. в Ленинградской области при обработке препаратом (концентратом суспензии (КС)), содержащим имидаклоприд, с нормой расхода 0,28 л/га, по действующему веществу — 8,4 г/га имидаклоприда. Расход рабочей жидкости — 300 л/га. Сорт картофеля — Удача. Отбор проб производится каждый день в течение двух недель (кроме выходных дней), далее каждый 3-й день до созревания урожая. Изучение проводили комплексно, отбирая ботву на разных уровнях и корнеплоды. Первая проба отбиралась через 2 часа после обработки. Отобранные образцы картофеля замораживали при температуре –18 °С и хранили при этой же температуре до анализа. Определение имидаклоприда проводили по авторскому методу, основанному на экстракционном извлечении определяемого компонента из проб органическим растворителем, очистке экстракта с помощью

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 (ред. от 24.12.2025) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/ (дата обращения: 27.05.2026).

модифицированного метода QuEChERS Original и последующем анализе экстракта методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием ультрафиолетового детектора (УФ) [7]. Идентификацию имидаклоприда проводили по времени удерживания, количественное определение — методом абсолютной калибровки.

Результаты исследования и обсуждение

Накопление и деградация имидаклоприда в различных частях ботвы (рис. 1). Отмечено, что концентрация имидаклоприда на протяжении всего эксперимента всегда была выше в верхней части растения, несмотря на прирост новой ботвы. Это еще раз подтверждает ксилемный характер транспорта системного имидаклоприда. Однако, через 24 часа после обработки видно явное распределение имидаклоприда от верхней части к средней и нижней. Это может объясняться ретроградным транспортом.

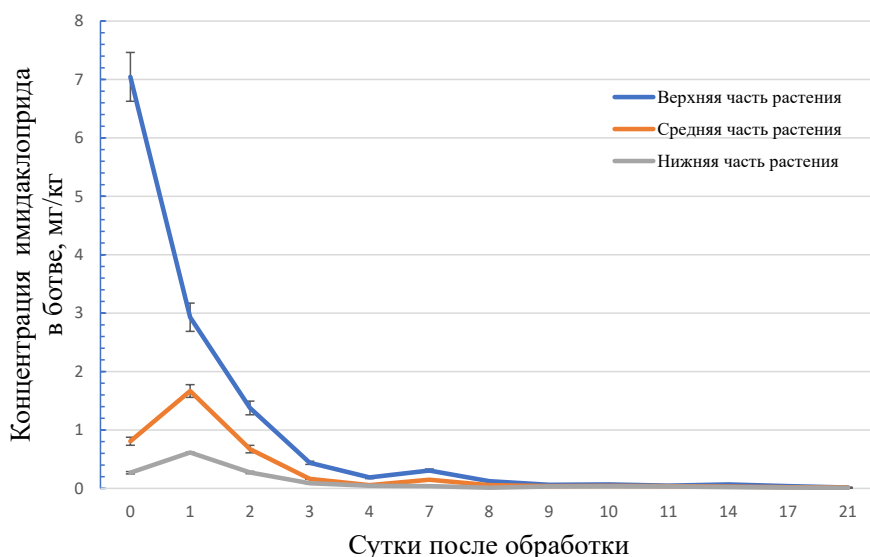


Рис. 1. Динамики накопления и деградации имидаклоприда в различных частях ботвы

Источник: выполнено Е.Ю. Алексеевым.

Днем растение активно теряет воду через устьица листьев (транспирация). Верхние, молодые листья обычно имеют самую высокую транспирационную активность. Концентрация имидаклоприда сразу после обработки и в первые часы днем будет выше в зонах активной транспирации (верхушка).

В ночное время устьица закрываются, транспирация резко падает или прекращается. Однако корни продолжают активное поглощение воды и минеральных солей из почвы. Это создает положительное осмотическое давление (корневое давление) в ксилеме [8].

Если почва достаточно влажная, а корневое давление сильное, избыток воды с растворенными веществами не может быть потерян через транспирацию [9, 10]. Давление выталкивает растворенные в ксилеме вещества вверх по сосудам. Но, поскольку путь вверх частично закрыт устьицами, давление находит выход через специальные структуры — гидатоды (водяные устьица), расположенные преимущественно на кончиках и краях листьев, и часто в более низких (старых) листьях [11, 12]. Жидкость выделяется наружу в виде капель (гуттация) [8, 12]. Процесс движения жидкости *под давлением* вверх и ее выделение через гидатоды может вызывать локальные обратные токи (ретроградные потоки) в ксилеме. Вещества (включая имидаклоприд), которые днем были транспортированы в верхние и средние части растения, могут быть захвачены этим восходящим, но затем «отражающимся» потоком и вынесены обратно вниз к гидатодам нижних листьев. Часть имидаклоприда может выделиться с каплей [13–15] Препарат, первоначально находившийся в верхних частях, под действием ночного корневого давления был «оттеснен» вниз ретроградными потоками.

Накопление и деградация имидаклоприда в клубнях (рис. 2). Несмотря на явное движение имидаклоприда по ксилеме, присутствовали остаточные количества в клубнях. Обнаружение имидаклоприда в клубнях может свидетельствовать о возможности движения имидаклоприда по флоэме или схожему механизму.

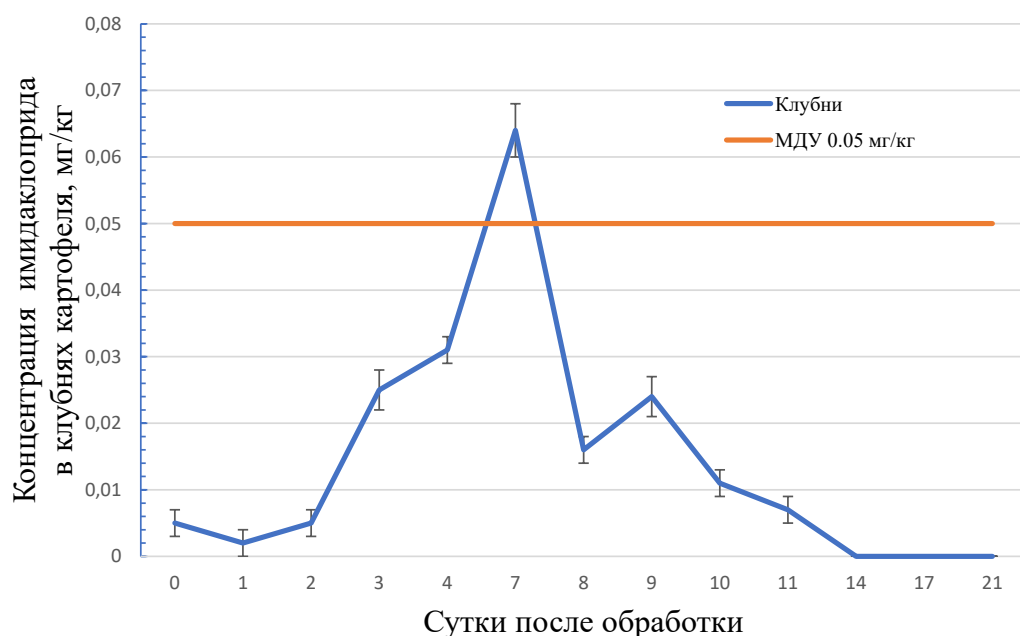


Рис. 2. Динамика накопления и деградации имидаклоприда в клубнях

Источник: выполнено Е.Ю. Алексеевым.

При этом на 7-е сутки достигнут пик накопления, превышающий допустимые МДУ. Хотя относительно концентрации имидаклоприда в ботве найденные остатки в клубнях достаточно малы, они могут быть токсикологически значимы. Это показывает, что соблюдение сроков ожидания является очень важным для данного инсектицида.

Заключение

Проанализированы различные части картофеля. Подтвержден ксилемный характер перемещения имидаклоприда. Кроме того, обнаружено нетипичное накопление имидаклоприда в средней и нижней части ботвы через 24 часа после обработки, что может быть объяснено ретроградным транспортом, корневым давлением и гуттацией в ночное время суток. Также было показано нехарактерное для системного неоникотиноида накопление остаточных количеств в клубнях картофеля, что свидетельствует о нисходящем механизме движения имидаклоприда. При этом максимальный пик накопления имидаклоприда в клубнях превышал его МДУ, что является токсикологически значимым. Однако в конце эксперимента (истечение сроков ожидания) остаточные количества не обнаруживались.

Список литературы

1. Trapp S. Plant uptake and transport models for neutral and ionic chemicals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2004;11(1):33–39. doi: 10.1065/espr2003.08.169 EDN: NSBUYM
2. Maienfisch P, Angst M, Brandl F, Fischer W, Hofer D, Kayser H, et al. Chemistry and biology of thiamethoxam: A second generation neonicotinoid. *Pest Management Science*. 2001;57(10):906–913. doi: 10.1002/ps.365
3. Sur R, Stork A. Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. *Bulletin of Insectology*. 2003;56(1):35–40.
4. Elbert A, Haas M, Springer B, Thielert W, Nauen R. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*. 2008;64(11):1099–1105. doi: 10.1002/ps.1616
5. Bonmatin JM, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser DP, Krupke C, et al. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2015;22(1):35–67. doi: 10.1007/s11356-014-3332-7 EDN: FAEWXA
6. Yu Y, Wang S, Zhang Q, Yang Y, Chen Y, Liu X, et al. Dissipation, residues, and risk assessment of imidacloprid in *Zizania latifolia* and purple sweet potato under field conditions using LC–MS/MS. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2018;54(2):89–97. doi: 10.1080/03601234.2018.1531661
7. Алексеев Е.Ю., Черменская Т.Д. Динамика деградации имидаклоприда и абамектина на картофеле при обработке препаратом Обелиск, КС // Селекция, семеноводство и технологии возделывания сельскохозяйственных культур : доклады Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня основания ин-та. Тирасполь : Еко-TIRAS, 2020. Р. 196–198.
8. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. *Plant physiology and development*. Sinauer Associates; 2012.
9. Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Wagner HJ, Szimtenings M, Haase A, et al. What are the driving forces for water lifting in the xylem conduit? *Physiologia Plantarum*. 2002;114(3):327–335. doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1140301.x EDN: BATSPV
10. Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Haase A. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytologist*. 2004;162(3):575–615. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01083.x EDN: EBPNGD
11. Meyer CF, Esau K. Anatomy of Seed Plants. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1960;87(4):286–287. doi: 10.2307/2482879

12. Singh S. Guttation: New insights into agricultural implications. *Advances in Agronomy*. 2014;128:97–135. doi: 10.1016/B978-0-12-802139-2.00003-2 EDN: UNMJRI
13. Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Di Bernardo A, et al. Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *Journal of Economic Entomology*. 2009;102(5):1808–1815. doi: 10.1603/029.102.0511
14. Schmolke A, Kearns B, O'Neill B. Plant guttation water as a potential route for pesticide exposure in honey bees: a review of recent literature. *Apidologie*. 2018;49(5):637–646. doi: 10.1007/s13592-018-0591-1
15. Blacquièrre T, Smagghe G, Van Gestel CA, Mommaerts V. Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*. 2012;21(4):973–992. doi: 10.1007/s10646-012-0863-x

Об авторах:

Алексеев Елисей Юрьевич — старший научный сотрудник, ООО Инновационный центр защиты растений, Российская Федерация, 196607, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ул. Пушкинская, д. 20, литера А, пом. 7-Н; e-mail: anscreation@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5566-3245 SPIN-код: 1055-6762

Долженко Виктор Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель председателя регионального отделения СПБО РАН, Санкт-Петербургское отделение Российской академии наук, Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 5; e-mail: dolzhenkotv@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4700-0377 SPIN-код: 9188-7507