



## ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33> EDN: NSEMP

## МИГРАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ТИАМЕТОКСАМА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

Савина А.Д.<sup>1,\*</sup>, Касимов А.С.<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (alya.savina.1323[at]inbox.ru)

**Аннотация**

Данная статья посвящена анализу современных данных о миграции и трансформации вещества тиаметоксама в окружающей среде. Тиаметоксам относится к классу неоникотиноидов и широко используется в сельскохозяйственной деятельности как действующее вещество определенных пестицидов. Ввиду его активного использования и доказанной токсичности для некоторых нецелевых видов живых организмов, понимание механизмов его поведения и распространения носит исключительно важный характер для экологического прогнозирования. В статье отражены основные механизмы миграционных процессов тиаметоксама и его основных метаболитов в почвенной, воздушной и водной средах. А также рассматривается метаболизм данного вещества в растениях. На примере таких культур, как: кукуруза, рис, груша, огурцы.

**Ключевые слова:** тиаметоксам, деградация, метаболит CGA 322704, вещество, поведение и распределение, объекты окружающей среды.

## THE MIGRATION AND TRANSFORMATION OF THIAMETHOXAM IN NATURAL ENVIRONMENTS

Research article

Savina A.D.<sup>1,\*</sup>, Kasimov A.S.<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

\* Corresponding author (alya.savina.1323[at]inbox.ru)

**Abstract**

This article analyses current data on the migration and transformation of Thiamethoxam in the environment. Thiamethoxam belongs to the neonicotinoid class and is widely used in agriculture as the active ingredient in certain pesticides. Given its widespread use and proven toxicity to some non-target species, understanding the mechanisms of its behaviour and distribution is of paramount importance for environmental forecasting. The paper outlines the main mechanisms of the migration processes of Thiamethoxam and its primary metabolites in soil, air and water environments. The metabolism of this substance in plants is also examined, using crops such as maize, rice, pears and cucumbers as examples.

**Keywords:** Thiamethoxam, degradation, metabolite CGA 322704, substance, behaviour and distribution, natural environments.

**Введение**

Тиаметоксам (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>ClN<sub>5</sub>O<sub>3</sub>S) применяется в качестве действующего вещества (технического продукта) для ряда инсектицидов. Он отличается эффективным контактно-кишечным воздействием для широкого спектра насекомых-вредителей. Пестициды на основе тиаметоксама занимают особое место как одни из наиболее востребованных системных инсектицидов, применяемых для обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений широкого спектра культур. Несмотря на их высокую результативность в борьбе с вредителями, судьба тиаметоксама в окружающей среде вызывает растущую озабоченность научного сообщества. Попадая в почву и водные ресурсы, тиаметоксам подвергается сложным процессам миграции и трансформации. Ключевой особенностью вещества является его метаболическая лабильность: в растениях и объектах окружающей среды он преобразуется в ряд метаболитов, главным из которых считается ЦГА 322704, обладающий большей устойчивостью и скоростью воздействия на вредные организмы [2, С. 51], [9].

Целью данной работы является комплексный анализ закономерностей миграции тиаметоксама в компонентах окружающей среды (почва, вода, воздух, растения) и изучение механизмов его трансформации для оценки экологических рисков, связанных с применением пестицидов на основе тиаметоксама.

Актуальность исследования обусловлена противоречием между высокой агрономической эффективностью тиаметоксама и его потенциальной опасностью для нецелевых организмов и экосистем в целом. Несмотря на введение ограничений на использование ряда неоникотиноидов в странах Европейского Союза, тиаметоксам продолжает активно применяться в различных регионах мира, включая Российскую Федерацию. Современные исследования выявляют наличие данного вещества и его метаболитов в поверхностных и грунтовых водах в концентрациях, превышающих пороговые значения для водных беспозвоночных [4, С. 90].

Теоретическая значимость работы состоит в углублении понимания фундаментальных механизмов поведения тиаметоксама в агроэкосистемах, включая сорбционные процессы в почвах разного гранулометрического состава, роль растений-аккумуляторов в вертикальной миграции вещества и ферментативные пути его микробной деструкции.

Практическая значимость заключается в возможности использования полученных выводов для совершенствования системы экологического нормирования и регулирования применения тиаметоксама. Результаты исследования могут



служить научной основой для разработки эффективных стратегий биоремедиации загрязненных почв с использованием микробных сообществ, способных к деградации неоникотиноидов, а также для уточнения регламентов безопасного применения препаратов на основе тиаметоксама, вблизи водоемов и в зонах обитания полезных насекомых и почвенной мезофауны.

### Методы и принципы исследования

Суть данного исследования заключается в комплексном анализе поведения и распространения тиаметоксама в объектах окружающей среды. Основным объектом исследования являются тиаметоксам как загрязняющее вещество объектов окружающей среды. Предметом исследования являются закономерности распределения, физико-химические параметры трансформации тиаметоксама и его метаболитов в водной, воздушной, и почвенной средах, а также его метаболизм в растениях.

В рамках данной работы использовались следующие методы исследования:

- метод лабораторного моделирования: исследования проводились в контролируемых условиях (температура 20°C, влажность 60%), чтобы исключить влияние случайных природных факторов на процесс деградации;
- метод хроматографии: использовался для идентификации и количественного определения действующего вещества (тиаметоксама) и его метаболитов (ЦГА 322704 и др.), а также для определения их концентраций;
- полевые методы (натурные наблюдения): проводился для определения реальной скорости разложения в естественных условиях, где на вещество влияют совокупность факторов (осадки, перепады температур, ветер и т.д.);
- радиозотопный метод: принцип данного метода строится на том, что один или несколько атомов стабильного изотопа замещают их радиоактивным аналогом. Применение радиоактивной метки для тиаметоксама позволило точно отследить судьбу тиаметоксама и долю мигрировавшего вещества;
- гидролиз: проводилось изучение стабильности вещества в водных растворах с различными значениями pH (от 1 до 9) для определения скорости гидролитической деградации;
- фотолиз: изучалось воздействие света на вещество в почве и воде. Сравнение скорости разложения в темноте и на свету позволило сделать вывод, что данная химическая реакция способствует ускорению процесса разложения;
- определение давления пара: использовалось для оценки летучести вещества и прогноза его поведения в системе «почва-воздух»;
- вегетационные методы (фитосанитарный скрининг): исследования проводились на культурах (кукуруза, рис, груши, огурцы) для изучения метаболизма вещества внутри растений и определения природы остаточных количеств (сумма исходного вещества и метаболита).

### Основные результаты

При разложении в аэробных условиях тиаметоксама в почвенной среде наблюдается образование ряда метаболитов в экологически значимых количествах (> 10%). Первостепенным, обладающим высокой устойчивостью, считается клотианидин (CGA 322704), поэтому приведенные ниже данные по распространению и трансформации в почвенных условиях представлены как для самого тиаметоксама, так и для его метаболита [5].

В таблице 1 представлена скорость разложения тиаметоксама и его основного метаболита в почвенной среде.

Таблица 1 - Скорость разложения тиаметоксама и его основного метаболита в почвенной среде

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33.1>

Условия и методы	Показатели (сутки)
Лабораторные исследования От 2 до 12 типов почв, t = 20 °C Руководство ОЭСР № 307 (аналог ГОСТ 32633-2014 «Определение аэробной и анаэробной трансформации в почве»)	Тиаметоксам: DT <sub>50</sub> = 34-233 (среднее 121) (n=12) DT <sub>90</sub> = 114-907 (среднее 459) CGA 322704: DT <sub>50</sub> = 178-284 (среднее 215) (n=2)
Полевые исследования 8 типов почв Германии, Франции, Швейцарии, Дании и Швеции (супесь, опесчаненный суглинок, иловатый суглинок, тяжелый суглинок, опесчаненная глина); pH 4,67–8,5	Тиаметоксам: DT <sub>50</sub> = 7-72 (среднее 39) (n=14) DT <sub>90</sub> = 23-570 (среднее 296,5) CGA 322704: DT <sub>50</sub> = 13-305 (среднее 121) DT <sub>90</sub> = 188-1000 (среднее 387)

Опыты по деградации тиаметоксама и метаболита CGA 322704 проведены в стандартных лабораторных условиях. Диапазон свойств почв соответствует большинству сельскохозяйственных почв Российской Федерации. В контролируемых условиях тиаметоксам и CGA 322704 проявили себя как очень стойкие вещества. В полевых условиях северной и южной Европы скорость разложения тиаметоксама выше, и он может быть отнесен к среднестойким веществам [7, С. 1321].

При анализе поведения тиаметоксама в почвенной среде определено, что DT<sub>50</sub> (период полураспада вещества) тиаметоксама при температуре 20°C и влажности 60% колебался в зависимости от типа почвы от 30 дней до 2,5

месяцев ( $DT_{90}$  от 7 месяцев до 8,8 месяцев), а его основного метаболита ЦГА 322704 (N-(2-хлор-тиазол-5-илметил)-N-метил-N'-нитро-гуанидин)  $DT_{50}$  — от 2,1 до 2,6 месяцев ( $DT_{90}$  — 7,1–8,8 месяцев). В полевых условиях период полураспада ( $DT_{50}$ ) тиаметоксама в среднем составлял 7 дней ( $DT_{90}$  28 дней — 2 месяца);  $DT_{90}$  метаболита ЦГА 322704 — 2,0–4,0 месяца [8].

Фотодиссоциация способствует ускорению процесса деградаци тиаметоксама в почве. При фотоллизе количество летучих компонентов составляло 10,8% от общей дозы тиаметоксама, среди которых преобладал  $CO_2$ . Не было выявлено различий в качественном составе метаболитов тиаметоксама, количество каждого из которых было менее 1%, за исключением основного метаболита ЦГА 322704, составившего 2,07% от общей дозы. Величина коэффициента адсорбции тиаметоксама была близка к величине коэффициента десорбции (0,66–0,84 для суглинка и 6,94–7,74 для гумусовой почвы, соответственно), что указывает на низкую сорбционную способность вещества. Из чего можно сделать вывод, что тиаметоксам и его метаболиты слабо удерживаются почвой, что приводит к его высокой подвижности в окружающей среде [6, С. 909].

Максимальная глубина миграции в почвенном горизонте в лабораторных условиях не превышала в суглинистом песке 22 см, в суглинистом песке с гумусом — 28 см, а его основного метаболита — ЦГА 322704 соответственно 14 см и 20 см. При этом на сам тиаметоксам приходилось 55–66%, на метаболит — 16–25% от общей мигрировавшей радиоактивности, составляющей 1,7%–3,4% от общей внесенной в почву дозы.

Тиаметоксам обладает довольно высокой гидролитической стабильностью, в кислых (рН 1), слабо кислых (рН 5) и нейтральных условиях (рН 7). Период полураспада в воде с низким содержанием щелочи происходил около 4–15 дней. Максимальная прогнозируемая с помощью математической модели STEP 2 концентрация тиаметоксама в поверхностных водах достигает 5,7 мкг/л. Максимальное содержание тиаметоксама в донных осадках не превышает 3,21 мкг/кг. Основными метаболитами, образовавшимися при рН 9, были ЦГА 355190, ЦГА 309335 и одно неидентифицированное соединение. На свету тиаметоксам быстро деградировал с периодом полураспада 2-3 дня. Среди продуктов деградаци только ЦГА 322704 превысил 10% внесенного количества. Тиаметоксам не подвергается разрушению в результате деятельности живых организмов, то есть не поддается биодеградаци [3, С. 1022].

В таблице 2 представлена скорость разложения тиаметоксама и его основного метаболита в водной среде.

Таблица 2 - Скорость разложения тиаметоксама и его основного метаболита в водной среде

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33.2>

Условия	Показатели (сутки)
Гидролитическое разложение рН 5-7-9 Руководство ОЭСР № 111 (аналог ГОСТ 32382-2013 «Гидролиз»)	Тиаметоксам: Устойчив (при рН<5) $DT_{50} = 572-644$ (рН 7) $DT_{50} = 4,2-8,4$ (рН 9) CGA 322704: Устойчив (рН 4-9)
Фотохимическое разложение Руководство ОЭСР № 316 (аналог ГОСТ 32434-2013 «Фотопревращение химических веществ в воде. Прямой фотоллиз»)	Тиаметоксам: $DT_{50} = 2,3$ CGA 322704: $DT_{50} = 0,1$
Биологическое разложение	Нет данных
Система вода/донный осадок рН 7,2-7,8 Руководство ОЭСР № 308 (аналог ГОСТ 32432-2013 «Аэробная и анаэробная трансформация в донных отложениях»)	Тиаметоксам: Система в целом: $DT_{50} = 33,7-46,4$ $DT_{90} = 112-154$ Вода: $DT_{50} = 22,9-38,2$ $DT_{90} = 76-127$

Возможность испарения тиаметоксама из почвы в воздух не предполагается, так как соединение имеет низкое давление пара —  $6,6 \times 10^{-9}$  Па при температуре 25°C. В случае попадания в атмосферу, например в результате сноса — распыленного соединения быстро подвергается деградаци [10].

В таблице 3 представлена скорость разложения тиаметоксама в воздушной среде.

Таблица 3 - Скорость разложения тиаметоксама в воздушной среде

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33.3>

Условия и методы	Показатели (час)
Фотохимическая окислительная деградация	Тиаметоксам: DT <sub>50</sub> = 0,5-2,5 (по уравнению Аткинсона)
Прямая фототрансформация	Нет данных
Испарение из почвы	Менее 2,1% за 24

Тиаметоксам при протравливании семян зерновых культур не обнаружен в пробах воздуха рабочей зоны работающих (оператора, помощника), в воздухе в пределах помещения для протравливания и в воздушных сносах (оседание на чашки Петри). При высеве протравленного зерна в атмосферном воздухе в пределах санитарного разрыва и в сносах (50–300 м от участка посева) вещество не идентифицировано.

В растениях метаболизм тиаметоксама изучался в опытах на кукурузе, рисе, грушах и огурцах. Установлено, что фактические остаточные количества в растениях представляют собой сумму исходного соединения ЦГА 293343 и метаболита ЦГА 322704 [1, С. 112].

### Обсуждение

Полученные результаты позволяют провести сравнительный анализ поведения тиаметоксама в различных средах и выявить ключевые факторы, влияющие на его миграцию и трансформацию.

Почвенная среда. Данные таблицы 1 показывают существенное различие между лабораторными и полевыми условиями: период полураспада тиаметоксама в полевых опытах в среднем в 3 раза ниже (39 сут. против 121 сут. в лаборатории). Это объясняется комплексным воздействием ультрафиолетового излучения, перепадов температур, увлажнения и микробной активности, которые в стандартных лабораторных тестах частично нивелируются. Метаболит CGA 322704, напротив, демонстрирует более высокую устойчивость в обоих типах условий, что согласуется с данными [8], [10].

Низкая сорбционная способность тиаметоксама (коэффициенты адсорбции близки к коэффициентам десорбции) указывает на его высокую миграционную способность, что подтверждается глубиной проникновения до 28 см. Однако в реальных агроэкосистемах вынос за пределы пахотного горизонта оценивается в 3–24% от первоначального количества, что требует учёта при нормировании.

Водная среда. Тиаметоксам гидролитически стабилен при pH < 5 и в нейтральной среде (DT<sub>50</sub> > 500 сут.), но быстро разлагается при pH 9 (DT<sub>50</sub> 4–8 сут.). Фотолит ускоряет деградацию в десятки раз (DT<sub>50</sub> 2,3 сут.), причём метаболит CGA 322704 разлагается ещё быстрее (DT<sub>50</sub> 0,1 сут.). Прогнозируемая концентрация в поверхностных водах (5,7 мкг/л) ниже порогов токсичности для большинства водных организмов, однако для чувствительных видов беспозвоночных может представлять риск [4, С. 91]. Отсутствие биodeградации (таблица 2) означает, что в природных водоёмах основными механизмами очищения будут гидролиз и фотолит, что делает водоёмы с высокой мутностью или низкой инсоляцией более уязвимыми.

Воздушная среда. Очень низкое давление пара ( $6,6 \times 10^{-9}$  Па) и быстрая фотохимическая окислительная деградация (DT<sub>50</sub> 0,5–2,5 часа) практически исключают значимый атмосферный перенос. Это подтверждается отсутствием обнаружения вещества в воздухе рабочей зоны и в сносах при протравливании семян.

Растения. Метаболизм в растениях приводит к образованию суммы исходного соединения и CGA 322704, что важно для фитосанитарного контроля. В рекомендуемых нормах расхода фитотоксичность не проявляется.

Сравнение с литературными данными [8] показывает, что скорость разложения тиаметоксама сильно зависит от типа почвы и климатической зоны: в южных регионах DT<sub>50</sub> может сокращаться до 7 дней, тогда как в холодных или засушливых условиях приближаться к лабораторным значениям. Это необходимо учитывать при экологическом прогнозировании для территории Российской Федерации, где представлены различные почвенно-климатические зоны.

Таким образом, при соблюдении регламентов применения экологические риски от тиаметоксама могут быть минимизированы, однако потенциальная опасность сохраняется в случаях нарушения норм внесения, особенно вблизи водоёмов и на лёгких почвах с промывным режимом.

### Заключение

В соответствии с проведённым анализом можно сделать следующие выводы:

1. Тиаметоксам и его метаболит CGA 322704 обладают низкой сорбционной способностью в почвах, что обуславливает их высокую подвижность. Однако аккумуляция вещества в почве в значимых количествах маловероятна, а вынос за пределы пахотного горизонта составляет 3–24% от исходного количества и реализуется преимущественно в условиях промывного водного режима.

2. В водной среде тиаметоксам гидролитически стабилен при кислых и нейтральных pH, но быстро разлагается при pH 9 и под действием света. Отсутствие биodeградации делает фотолит и гидролиз основными путями очищения. Прогнозируемые концентрации в поверхностных водах (до 5,7 мкг/л) и донных осадках (до 3,21 мкг/кг) позволяют считать загрязнение водных объектов при регламентном применении маловероятным.

3. В воздушной среде из-за низкого давления пара и быстрой фотохимической деградации (период полураспада 0,5–2,5 часа) опасность загрязнения атмосферы практически отсутствует.



4. В растениях при рекомендуемых нормах расхода тиаметоксам не проявляет фитотоксичности и не оказывает отрицательного воздействия на рост и развитие защищаемых культур.

5. При соблюдении установленных регламентов применения препараты на основе тиаметоксама не представляют значительной опасности для окружающей среды. Однако при некорректном использовании (нарушение дозировок, сроков, игнорирование защитных зон) вещество способно нанести экологический ущерб объектам окружающей среды.

На основе анализа современного состояния изученности данной проблематики, можно обозначить приоритетные направления для исследований в этой области:

1. Исследование синергических эффектов при совместном присутствии тиаметоксама с другими пестицидами и поллютантами.

2. Разработка эффективных методов фотокаталитической деструкции с учетом матричного состава природных вод, существенно снижающего скорость разложения.

3. Совершенствование нормативной базы с учетом выявленных закономерностей миграции и трансформации соединения.

Решение этих задач будет способствовать минимизации экологических рисков, связанных с применением тиаметоксама, и разработке стратегий, обеспечивающих баланс между потребностями сельскохозяйственного производства и сохранением устойчивости естественных экосистем.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Атаев З.В., Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала Российская Федерация, Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала Российская Федерация, Дагестанский Государственный Университет, Махачкала Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33.4>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Ataev Z.V., Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala Russian Federation, Gamzatov Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala Russian Federation, Dagestan State University, Makhachkala Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.33.4>

### Список литературы / References

1. Белан С.Р. Новые пестициды. Справочник / С.Р. Белан, А.Ф. Грапов, Г.М. Мельникова. — Москва: Грааль, 2001. — 195 с.
2. Бойко Т.В. Токсикологическая характеристика неоникотиноидов / Т.В. Бойко, Л.К. Герунова, В.И. Герунов [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. — 2015. — С. 49–54.
3. Berens M.J. Neonicotinoid insecticides in surface water, groundwater, and wastewater across land-use gradients and potential effects / M.J. Berens, P.D. Capel, W.A. Arnold // *Environmental Toxicology and Chemistry* — 2021. — № 40 (4). — P. 1017–1033.
4. Еремина О.Ю. Перспективы применения неоникотиноидов в сельском хозяйстве России и сопредельных стран / О.Ю. Еремина, Ю.В. Лопатина // *Агрохимия*. — 2005. — №6. — С. 87–93.
5. Zhao Y.H. Biodegradation of Neonicotinoid Insecticides Thiacloprid and Thiamethoxam by Microorganisms: Metabolic Process, Metabolic Enzymes, and Toxicity Assessment of Their Metabolites / Y.H. Zhao [et al.] // *Modern microbiology*. — 2025. — № 82 (8). — P. 347.
6. Mayenfisch P. Chemistry and Biology of Thiamethoxam: A Second-Generation Neonicotinoid / P. Mayenfisch [et al.] // *Pest Science*. — 2001. — № 57 (10). — P. 906–913.
7. Thompson D.A. A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: Current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health / D.A. Thompson [et al.] // *Environmental Science: Processes & Impacts*. — 2020. — № 22 (6). — P. 1315–1346.
8. Скорость разложения тиаметоксама в ходе полевых исследований в Европе // *National Library of Medicine* — 2016. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25884469/> (дата обращения: 27.02.2026).
9. Тиаметоксам: основная информация о пестициде // *RuPest.ru*. — 2011. — URL: <https://rupest.ru/ppdb/thiamethoxam.html#4> (дата обращения: 26.02.2026).
10. Характер воздействия на природные среды и экологическая безопасность химического средства агрозащиты на основе тиаметоксама — 2023. — URL: <https://ntj-oil.ru/article/view/12121> (дата обращения: 25.02.2026).

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Belan S.R. *Novy`e pesticidy`. Spravochnik [New pesticides. Reference book]* / S.R. Belan, A.F. Grapov, G.M. Melnikova. — Moscow: Graal, 2001. — 195 p. [in Russian]
2. Bojko T.V. *Toksikologicheskaya karakteristika neonikotinoidov [Toxicological characteristics of neonicotinoids]* / T.V. Bojko, L.K. Gerunova, V.I. Gerunov [et al.] // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Omsk State Agrarian University]*. — 2015. — P. 49–54. [in Russian]



3. Berens M.J. Neonicotinoid insecticides in surface water, groundwater, and wastewater across land-use gradients and potential effects / M.J. Berens, P.D. Capel, W.A. Arnold // *Environmental Toxicology and Chemistry* — 2021. — № 40 (4). — P. 1017–1033.
4. Eremina O.Yu. Perspektivy` primeneniya neonikotinoidov v sel`skom xozyajstve Rossii i sopredel`ny`x stran [Prospects for the use of neonicotinoids in agriculture in Russia and neighbouring countries] / O.Yu. Eremina, Yu.V. Lopatina // *Agroximiya [Agrochemistry]*. — 2005. — №6. — P. 87–93. [in Russian]
5. Zhao Y.H. Biodegradation of Neonicotinoid Insecticides Thiacloprid and Thiamethoxam by Microorganisms: Metabolic Process, Metabolic Enzymes, and Toxicity Assessment of Their Metabolites / Y.H. Zhao [et al.] // *Modern microbiology*. — 2025. — № 82 (8). — P. 347.
6. Mayenfisch P. Chemistry and Biology of Thiamethoxam: A Second-Generation Neonicotinoid / P. Mayenfisch [et al.] // *Pest Science*. — 2001. — № 57 (10). — P. 906–913.
7. Thompson D.A. A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: Current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health / D.A. Thompson [et al.] // *Environmental Science: Processes & Impacts*. — 2020. — № 22 (6). — P. 1315–1346.
8. Skorost` razlozheniya tiametoksama v xode polevy`x issledovanij v Evrope [The rate of degradation of Thiamethoxam in field trials in Europe] // *National Library of Medicine* — 2016. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25884469/> (accessed: 27.02.2026). [in Russian]
9. Tiametoksam: osnovnaya informaciya o pesticide [Thiamethoxam: key information about the pesticide] // *RuPest.ru*. — 2011. — URL: <https://rupest.ru/ppdb/thiamethoxam.html#4> (accessed: 26.02.2026). [in Russian]
10. Xarakter vozdejstviya na prirodny`e sredy` i e`kologicheskaya bezopasnost` ximicheskogo sredstva agrozashhity` na osnove tiametoksama [The nature of the impact on natural environments and the environmental safety of a Thiamethoxam-based plant protection product] — 2023. — URL: <https://ntj-oil.ru/article/view/12121> (accessed: 25.02.2026). [in Russian]