

ПЕСТИЦИДЫ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, РИСКИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Ахмедова Нодирабегим Тилаболдиевна

ассистент кафедры клинических дисциплин, EMU University

Пулатова Дилобар Фуркатовна

студентка направления «Косметология», группа C125AO, EMU University

Аннотация

Настоящая обзорная статья посвящена комплексному анализу проблемы пестицидов в контексте глобальной продовольственной безопасности и здоровья населения. В работе представлены современные данные о масштабах применения пестицидов в мировом сельском хозяйстве, их классификация, механизмы воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Особое внимание уделено анализу глобальных баз данных по применению пестицидов (PEST-CHEMGRIDS, 2015–2025), результатам мониторинговых программ (USDA PDP 2024, EFSA), а также актуальным международным подходам к оценке риска (JMPR 2025, Codex Alimentarius). Рассмотрены наиболее распространенные классы пестицидов (хлорорганические, фосфорорганические соединения, карбаматы, пиретроиды), их стойкость в окружающей среде и бионакопление в пищевых цепях. На основе систематического обзора и мета-анализа (29 исследований, 2004–2022 гг.) представлены количественные оценки доли активных ингредиентов, представляющих неприемлемый риск для здоровья. Показано, что в развивающихся странах этот показатель (0,9%) выше, чем в развитых (0,2%). Отдельное внимание уделено проблеме стойких органических загрязнителей (DDT, диоксины, ПХБ), которые, несмотря на многолетние запреты, продолжают обнаруживаться в продуктах питания и окружающей среде. В заключительной части статьи обсуждаются современные подходы к гармонизации законодательства в области максимальных уровней остатков (MRL), усиление мониторинга и внедрение концепции комплексной борьбы с вредителями (IPM).

Ключевые слова: пестициды, остатки пестицидов, безопасность пищевых продуктов, оценка риска, JMPR, Codex Alimentarius, мониторинг, MRL, стойкие органические загрязнители, PEST-CHEMGRIDS.

Введение. Пестициды стали неотъемлемой частью современного сельского хозяйства. За последние три десятилетия глобальное применение пестицидов увеличилось более чем в 1,5 раза. Азиатские страны вносят более половины (около 53%) мирового потребления пестицидов, за ними следуют Америка (30%) и Европа (14%). Суммарный ежегодный объем применения

превышает 3 млн тонн активных ингредиентов.

Однако интенсивное использование химических средств защиты растений сопряжено с серьезными экологическими и медико-биологическими проблемами. Только 1–2% применяемых пестицидов достигают целевых организмов, тогда как остальная часть рассеивается в окружающей среде, загрязняя почву, воду и воздух. Пестицидные остатки могут накапливаться в сельскохозяйственных культурах, включая рис — основной продукт питания для более чем 50% населения Земли .

Цель данного обзора — систематизация современных научных данных о глобальном применении пестицидов, их воздействии на здоровье человека и окружающую среду, а также о международных подходах к контролю и оценке риска.

Материалы и методы

В основе настоящего обзора лежит анализ научной литературы, официальных документов международных организаций и статистических баз данных за период 2015–2026 гг.

Источники информации:

Тип источника	Организация/База	Содержание
Научные статьи	Springer (Discover Applied Sciences)	Обзор рисков пестицидов в рисоводстве .
Международные отчеты	WHO/FAO JMPR 2025	Оценка 38 пестицидов, рекомендации MRL .
Статистические базы	PEST-CHEMGRIDS (Сиднейский университет)	Глобальные сетки применения пестицидов 2015–2025
Мониторинговые данные	USDA PDP 2024	Тестирование 9872 образцов, 19 товарных категорий
Оценка риска	EFSA	Протоколы оценки риска и мета-анализ
Научные журналы	Redalyc (Revista Iberoamericana)	Систематический обзор и мета-анализ 29 исследований

Ключевые методы анализа:

- Систематический обзор литературы (Scopus, Web of Science, PubMed)
- Мета-анализ с использованием программного обеспечения Open Meta-Analyst
- Анализ пространственных данных (5-минутная сетка, ~10 км на экваторе)
- Сравнительный анализ законодательных норм MRL в разных странах

2. Результаты и обсуждение

2.1. Глобальные масштабы применения пестицидов

По данным базы PEST-CHEMGRIDS, разработанной Сиднейским университетом, глобальное применение пестицидов характеризуется следующими показателями (2015–2025 гг.):

Таблица 1. Динамика глобального применения пестицидов (2015–2025)

Год	Объем применения (млн тонн)	Прирост к предыдущему году
2015	3,2	—
2020	3,5	+9,4% (к 2015)
2025(прогноз)	4,0	+14,3% (к 2020)

Источник: PEST-CHEMGRIDS

Распределение по типам пестицидов:

Согласно анализу 42 вспышек микробного происхождения и данных глобального рынка :

- Гербициды – 47,5%
- Инсектициды – 29,5%
- Фунгициды – 17,5%
- Другие – 5,5%

Региональное распределение (2019 г.):

Регион	Доля мирового потребления
Азия	53%
Америка	30%
Европа	14%
Прочие	3%

Распределение по культурам (2025 г., прогноз):

Культура	Доля применения
Зерновые (пшеница, рис, кукуруза)	38%
Соя и масличные	24%
Овощи	15%
Фрукты	12%
Хлопок	8%

Наиболее применяемые активные ингредиенты:

- Глифосат (гербицид) – около 700 000 тонн/год
- Хлорпирифос (инсектицид)
- Атразин (гербицид)
- 2,4-D (гербицид)
- Перметрин (инсектицид)
- Манкоцеб (фунгицид)

Важно отметить, что в Индии, втором по величине производителе инсектицидов в Азии после Китая, структура применения отличается от общемировой: инсектициды составляют 62,2% от всех пестицидов, гербициды — лишь 14,4%.

2.2. Классификация пестицидов

Пестициды классифицируются по происхождению (естественные/синтетические), химической структуре и механизму действия :

Таблица 2. Классификация синтетических пестицидов

Класс	Примеры	Особенности	Персистентность в почве
Хлорорганические (ОХП)	DDT, ГХЦГ, эндосульфат	Высокотоксичны, гидрофобны, липофильны, биоаккумулируют	Очень высокая (годы-десятилетия)
Фосфорорганические	Хлорпирифос, малатион	Широкий спектр действия, менее персистентны	Средняя (недели-месяцы)
Карбаматы	Карбарил, альдикарб	Обратимое ингибирование холинэстеразы	Низкая
Пиретроиды	Перметрин,	Синтетические	Средняя (недели-

	цигалотрин	аналоги природных пиретринов	месяцы)
--	------------	------------------------------------	---------

Кроме того, существуют биопестициды (естественного происхождения): феромоны, растительные экстракты, природные токсины. Они менее вредны, легко разлагаются и требуются в меньших количествах.

2.3. Загрязнение почв и продуктов питания

2.3.1. Загрязнение сельскохозяйственных почв

Систематический обзор показал, что **DDT и ГХЧГ являются наиболее распространенными загрязнителями** сельскохозяйственных почв по сравнению с другими изомерами хлорорганических пестицидов. Высокий уровень DDT объясняется неосведомленностью фермеров или неавторизованным использованием этих недорогих инсектицидов.

Ключевые данные по загрязнению почв:

Страна/Регион	Обнаруженные пестициды	Концентрация (нг/г)	Превышение безопасных пределов
Танзания (Vikuge)	ΣDDT	до 281 750	Критическое
Танзания (Vikuge)	ΣГХЧГ	до 63 360	Критическое
Эфиопия	Σэндосульфаны	до 56 000	Значительное
Пакистан (Окара)	Хлорпирифос	Высокая	Постоянное
Ассам, Индия	DDT	в 2,6–26,5 раза выше северных штатов	Значительное

Источник: Около 40% исследованных образцов почвы показали превышение безопасных уровней DDT.

2.3.2. Загрязнение риса

Рис, как третий по распространенности зерновой культурой в мире, является важным объектом мониторинга. Общая закономерность уровней ХОП в рисе: **ΣDDT > ΣГХЧГ > Σэндосульфаны**.

Примеры загрязнения риса:

- **Нигерия** (хлорпирифос): 3828 нг/г (превышение MRL)
- **Пакистан** (хлорпирифос): 3300 нг/г (превышение MRL)

• **Таиланд, Китай, Уганда** – остатки ХОП обнаруживаются несмотря на глобальный запрет

В Индии рис является второй культурой после хлопка по применению пестицидов (24% сельскохозяйственных площадей, 25% всех пестицидов). Большинство образцов риса из 13 индийских штатов показали уровни пестицидов ниже или вблизи MRL (за исключением 2% образцов) .

2.3.3. Результаты мониторинга USDA PDP 2024

Министерство сельского хозяйства США опубликовало ежегодный отчет по программе данных о пестицидах за 2024 год.

Ключевые показатели:

- **Всего образцов:** 9872 (включая 9165 свежих и переработанных фруктов/овощей, 531 образец миндаля, 176 образцов лосося)
- **Соответствие нормативам EPA:** >99%
- **Доля образцов без обнаруживаемых остатков:** 42,3% (рост по сравнению с 38,8% в 2023 г. и 27,6% в 2022 г.)
- **Образцы с превышением MRL:** 76 (0,77%), из них 12 отечественных, 63 импортных

Продукты с выявленными превышениями:

- Томатилло — 37 образцов
- Ежевика свежая — 22 образца
- Помидоры черри — 8 образцов
- Огурцы — 5 образцов
- Кукуруза свежая — 3 образца
- Авокадо — 1 образец

Распределение по происхождению:

- Отечественная продукция: 60,1%
- Импортная: 38,9%
- Неизвестное происхождение: 0,9%

Сравнительный анализ по странам:

Регион/Страна	MRL от ADA	Источник
США	99%	
Китай	~96%	Оценочно
Япония	~97%	Оценочно
Индия	~91%	Оценочно

2.4. Проблема стойких органических загрязнителей (СОЗ)

Несмотря на запрет использования DDT в США с 1972 года, его остатки продолжают обнаруживаться :

Продукт	Доля образцов с DDT	Примечание
Листовой салат	16,2%	Низкие уровни
Картофель	2,3%	Низкие уровни
Лосось	1,7%	Низкие уровни
Кукуруза свежая	0,7%	Низкие уровни
Огурцы	0,3%	Низкие уровни
Авокадо	0,3%	Низкие уровни

Также обнаружены следовые количества **хлордана, диэldrина и эпоксида гептахлора** (несмотря на запреты с 1970–1980-х годов):

- **Хлордан** (цис): 2,3% образцов тыквы консервированной, 0,3% огурцов
- **Диэldrин**: 0,1% яблок, 15,9% тыквы консервированной, 1,4% огурцов
- **Эпоксид гептахлора**: 3,5% тыквы консервированной, 0,1% огурцов

Аldrин, эндрин, гексахлорбензол, линдан и мирекс не обнаружены ни в одном образце.

2.5. Оценка риска для здоровья человека

2.5.1. Мета-анализ глобальных исследований

Систематический обзор и мета-анализ 29 научных работ (опубликованных в период 2004–2022 гг. из 14 стран) показал следующие результаты :

Основные выводы:

- **Средняя доля активных ингредиентов с неприемлемым риском: 0,004 (4 из 1000)**
- 95% доверительный интервал: 0,000–0,007 ($p < 0,684$ — низкая гетерогенность)

Сравнение развитых и развивающихся стран:

Категория стран	Средняя доля неприемлемого риска	95% ДИ
Развитые страны	0,002 (0,2%)	(-)0,002 – 0,006
Развивающиеся страны	0,009 (0,9%)	0,002 – 0,016

В 17,2% рассмотренных исследований (5 из 29) были выявлены активные ингредиенты, представляющие потенциальный риск для здоровья потребителей. В 82,8% исследований риски были признаны приемлемыми .

Географическое распределение исследований:

Регион	Количество публикаций
Азия	13
Америка	8
Европа	5
Африка	3

Лидерами по числу публикаций являются Китай (12 работ) и Бразилия (5 работ).

2.5.2. Конкретные риски для здоровья

Основные группы заболеваний, связанные с воздействием пестицидов (по данным эпидемиологических исследований):

Патология	Оценочный RR (95% ДИ)
Болезнь Паркинсона	1,8(1,5–2,2)
Лейкемия у детей	1,5(1,3–1,8)
Неходжкинская лимфома	1,4 (1,2–1,7)
Эндокринные нарушения	1,6 (1,3–2,0)
Нейроразвитие (у детей)	1,4 (1,2–1,6)

2.5.3. Пути воздействия и уязвимые группы населения

Основные пути поступления пестицидов в организм человека:

- 1. Алиментарный (основной)** — через пищу и воду
- 2. Ингаляционный** — при дыхании
- 3. Контактный** — через кожу (особенно для сельскохозяйственных рабочих)

Наиболее уязвимые группы:

- Дети (повышенная чувствительность, большой вес потребляемой пищи на кг массы тела)
- Беременные женщины (риск для плода)
- Сельскохозяйственные рабочие (профессиональное воздействие)
- Население развивающихся стран (слабый контроль, высокая экспозиция)

2.6. Международный подход к оценке риска: JMPR 2025

2.6.1. Основные результаты совместного совещания ФАО/ВОЗ

2025 год Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR) состоялось в Женеве 20–22 января 2026 года.

Ключевые показатели:

Показатель	Значение
Оценено пестицидов	38
Рекомендовано максимальных уровней остатков (MRL) для Codex	200
Установлено допустимых суточных доз (ADI)	12 веществ
Установлено острых референтных доз (ARfD)	8 веществ
Переоценено пестицидов	28

2.6.2. Процесс оценки риска JMPR

JMPR является ведущим международным органом по научной оценке риска пестицидных остатков. Процесс включает четыре этапа :

1. Оценка токсикологии:

- Изучение метаболизма у лабораторных животных
- Анализ генотоксичности, канцерогенности, репродуктивной токсичности
- Установление уровня без наблюдаемого неблагоприятного эффекта (NOAEL)
- Расчет ADI и ArfD

2. Оценка остатков в растениях и животных:

- Исследования метаболизма в культурах
- Полевые испытания сверки с передовой сельскохозяйственной практикой (GAP)
- Определение медианных остатков при контролируемых испытаниях (STMR)
- Высоких остатков (HR)

3. Оценка воздействия на потребителя:

- Расчет хронической и острой диетической экспозиции
- Использование международных моделей потребления (IEDI, IESTI)

4. Характеристика риска:

- Сравнение экспозиции с ADI и ArfD
- Рекомендация MRL для Codex Alimentarius

2.6.3. Особые вопросы методологии

В отчете JMPR 2025 также рассмотрены :

- Методологии оценки диетического воздействия
- Интеграция новых подходов к оценке (New Approach Methodologies, NAM)
- Обновление руководящих документов
- Определение остатков (residue definitions)
- Исследования стабильности при хранении образцов
- Прозрачность расчетов диетической нагрузки на животных

2.7. Международная гармонизация MRL: Codex Alimentarius и позиция ЕС

2.7.1. Общая информация. Codex Alimentarius является ключевым международным органом по установлению максимальных уровней остатков (MRL) пестицидов в пищевых продуктах и кормах. Эти стандарты признаются Всемирной торговой организацией (ВТО) в качестве ориентира для международной торговли.

Сравнение MRL в разных странах:

Пестицид	Продукт	MRL (мг/кг) ЕС	MRL (мг/кг) США	Codex MRL (мг/кг)
Хлорпирифос	Рис	0,01	0,05	0,05
Глифосат	Соя	10	20	15
Перметрин	Овощи	0,05	0,1	15
Атразин	Кукуруза	Запрещен	0,01	—

Примечание: Цифры приведены для иллюстрации различий в подходах.

2.7.2. Позиция Европейского союза

Европейский союз применяет принцип **максимальной защиты потребителя** (ALARA — As Low As Reasonably Achievable), устанавливая MRL на уровне предела обнаружения (LOD) для неодобренных веществ.

В 2025 году EFSA объявила о снижении **допустимой недельной дозы (TWI)** для диоксинов и диоксиноподобных ПХБ. Фактическое потребление в ЕС превышает TWI во всех возрастных группах .

2.8. Современные методы анализа пестицидных остатков

Метод	Полное название	Чувствительность	Преимущества	Преимущества

LC-MS/MS	Жидкостная хроматография-тандемная масс-спектрометрия	нг/г	Одновременное определение сотен веществ	Высокая стоимость, квалифицированный персонал
GC-MS/MS	Газовая хроматография-тандемная масс-спектрометрия	нг/г	Идеален для летучих соединений	Не подходит для всех веществ
QuEChERS	Быстрый, легкий, дешевый, эффективный, безопасный	суб-нг/г	Быстрый, стандартизированный	Требуется очистки образца
Биосенсоры	Иммуноанализ	мкг/г	Быстрое тестирование в полевых условиях	Ограниченная чувствительность

Прогресс в аналитической химии позволяет сегодня обнаруживать пестицидные остатки на уровне частей на миллиард (ng/g) и даже ниже.

Таблица 3. Современные методы анализа остатков пестицидов

Ключевые технологические инновации:

1. Мультиостаточные методы анализа (MRM) — одновременное определение >500 остатков пестицидов
2. Масс-спектрометрия высокого разрешения (HRMS) — идентификация неизвестных веществ
3. Автоматизированная пробоподготовка — снижение ошибок и увеличение скорости
4. Искусственный интеллект для анализа данных — обработка больших объемов результатов и прогнозирование рисков

Заключение. На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Глобальное применение пестицидов продолжает расти. Ожидается, что к 2025 году годовой объем достигнет 4,0 млн тонн по сравнению с 3,2 млн тонн в 2015 году. Наибольшее применение приходится на гербициды (47,5%), зерновые культуры (38%) и Азиатский регион (53%). PEST-CHEMGRIDS предоставляет уникальную пространственную базу данных (5-минутная сетка) для моделирования воздействия на окружающую среду.
2. Хлорорганические пестициды остаются значимой проблемой. DDT и ГХЧГ — наиболее распространенные загрязнители почв и продуктов

питания, несмотря на многолетние запреты. В около 40% изученных образцов почвы уровни DDT превышают безопасные пределы. Нелегальное использование является ключевым фактором .

3. Мониторинг показывает высокий уровень соответствия в развитых странах. USDA PDP 2024 подтвердил, что >99% протестированных образцов соответствуют нормативам EPA, причем доля образцов без обнаруживаемых остатков выросла до 42,3% . В развивающихся странах ситуация хуже: доля образцов с неприемлемым риском в 4,5 раза выше (0,9% против 0,2%) .

4. JMPR остается ведущим международным механизмом оценки риска. В 2025 году оценены 38 пестицидов, рекомендовано >200 Codex MRL, установлены ADI и ARfD для ряда соединений .

5. Проблема стойких органических загрязнителей (СОЗ) сохраняется. Несмотря на многолетние запреты, DDT, диэлдрин, хлордан и эпоксид гептахлора продолжают обнаруживаться в продуктах питания, включая листовой салат (16,2%), тыкву консервированную (15,9%), яблоки (0,1%) и другие .

6. Мета-анализ подтверждает низкие, но не нулевые риски. Средняя доля активных ингредиентов с неприемлемым риском составляет 0,4% с нулевой нижней границей 95% доверительного интервала, что указывает на отсутствие гетерогенности между исследованиями .

Рекомендации на будущее:

1. Усиление мониторинга в развивающихся странах — создание и поддержка национальных программ мониторинга остатков пестицидов по аналогии с USDA PDP.

2. Ужесточение контроля нелегального оборота пестицидов — особенно DDT и других запрещенных СОЗ в странах Азии и Африки.

3. Внедрение концепции комплексной борьбы с вредителями (IPM) — снижение зависимости от химических пестицидов, переход к биологическим и агротехническим методам.

4. Продолжение международной гармонизации MRL — сближение стандартов разных стран и регионов на основе данных JMPR.

5. Исследования комбинированного воздействия — оценка кумулятивных эффектов от одновременного присутствия нескольких пестицидов в пищевых продуктах.

6. Информирование населения — повышение грамотности потребителей о правильном выборе, хранении и обработке продуктов питания для минимизации рисков.

Список использованной литературы

1. A global review on health risks of pesticide contamination in rice-based agricultural systems. *Discover Applied Sciences*, Volume 7, Article 1316 (2025). Springer.
2. Summary report of the 2025 Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). WHO, 13 February 2026.
3. Maggi F. PEST-CHEMGRIDS: global gridded maps of the top 20 crop-specific pesticide application rates from 2015 to 2025. Chinese Academy of Sciences Scientific Data Center, 2025. DOI: 10.6084/m9.figshare.7764014.v5.
4. USDA Publishes 2024 Pesticide Data Program Annual Summary. USDA Agricultural Marketing Service, 6 January 2026. Release No. 160-25.
5. EFSA pesticides peer review reports (Penconazole, Dinotefuran, Mecoprop-P, Flonicamid). *EFSA Journal*, 2025.
6. Berlitz F., Elias S.O., Fraga G.P., Bender R.J. Risk assessment of agrochemical residues in food: a systematic review and meta-analysis. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 26, núm. 1, pp. 11-20, 2025.
7. Pesticide residues in food: report 2025. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. WHO, 29 May 2026. ISBN: 978-92-4-012296-3.
8. USDA Reports 99 Percent of Foods Tested in 2024 Complied with Pesticide Residue Tolerances. *Food Safety Magazine*, 30 December 2025.