*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**
==========

УДК 621.31

# Интеллектуальная система оценки и прогнозирования эпидемиологических рисков на сельскохозяйственных объектах на основе нейронных сетей

***Суринский Д.О.[1], Фараносов В.В.[1], Чурсин О.В.[2], Кленских А.Г.[1], Архипов Н.Г.[3]***

***[1]Тюменский государственный университет***

***[2]Тюменское военное высшее инженерное командное училище им. маршала инженерных войск А.И. Прошлякова***

***[3]Государственный аграрный университет Северного Зауралья***

## Аннотация

*В условиях сокращения применения химических средств защиты растений и роста экологических требований к сельскохозяйственному производству возрастает необходимость в инновационных подходах к мониторингу и управлению рисками, связанными с насекомыми-вредителями. В статье предложен комплексный метод оценки эпидемиологического риска, основанный на интеграции электрофизического мониторинга, онтологического моделирования и машинного обучения. Разработан экспертно-программный комплекс, реализующий нейросетевую модель прогнозирования на основе 42 ключевых параметров, сокращённых до 6 главных компонент с помощью метода PCA. Система апробирована на базе ЗАО «Нива-АГРО» (Тюменская область). Результаты показали снижение интегрального риска в 4,56 раза и экономический эффект в размере 4,425 млн руб. в год при сроке окупаемости менее 8 месяцев. Предложенный подход обеспечивает переход от реактивной к проактивной системе защиты растений, повышает экологическую безопасность и способствует цифровизации агропромышленного комплекса.*

**Ключевые слова:** ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК, НАСЕКОМЫЕ-ВРЕДИТЕЛИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ЭКСПЕРТНАЯ

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**
==========

СИСТЕМА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД, ИНТЕГРИРОВАННАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ, ОНТОЛОГИЯ, РСА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

**Введение**

Ежегодные потери урожая сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков в мировом масштабе достигают 30–40% [1,2,3]. В Российской Федерации эта проблема особенно актуальна в условиях расширения посевных площадей и изменения климатических условий, что способствует увеличению численности и расширению ареала распространения насекомых-вредителей. Традиционные методы борьбы, основанные преимущественно на химической защите, сталкиваются с рядом ограничений: экологическая опасность, формирование резистентных популяций, загрязнение продукции, высокая стоимость и зависимость от погодных условий.

В последние годы наблюдается тенденция к отказу от массового применения пестицидов в пользу интегрированной защиты растений (ИЗР), которая предполагает комплексное использование агро-, био-, физико-механических и химических методов с учётом экономических и экологических критериев. Однако эффективная реализация ИЗР невозможна без точного, своевременного и объективного мониторинга фитосанитарной обстановки.

Современные системы мониторинга, как правило, не обеспечивают оперативной диагностики и прогнозирования эпидемиологических угроз из-за фрагментарности данных, отсутствия унифицированной методологии и слабой интеграции между различными источниками информации. В этих условиях решение задачи оценки эпидемиологического риска становится многопараметрической, слабоструктурированной и неопределённой.

**Целью настоящего исследования** является повышение эффективности методов защиты сельскохозяйственных культур от насекомых-вредителей за счёт разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе анализа данных с электрофизических сенсоров и обучения нейронных сетей.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ современных методов и средств защиты растений;
2. Обосновать концепцию диагностирования эпидемиологических рисков на

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**
==========

основе многоуровневого анализа;

3. Разработать онтологическую модель предметной области;

4. Построить математическую модель и нейросетевой алгоритм прогнозирования рисков;

5. Выполнить программную реализацию и провести апробацию на реальном агропредприятии;

6. Оценить экономическую и социальную эффективность внедрения разработанной системы.

Объектом исследования выступает эпидемиологическая безопасность сельскохозяйственных угодий, а предметом — закономерности формирования и идентификации рисков появления насекомых-вредителей.

**Анализ методов защиты растений от насекомых-вредителей**

1.1. Классификация и сравнительная характеристика методов

В системе защиты растений выделяют четыре основных метода: агротехнический, биологический, химический и физико-механический [4,5]. В XXI веке к ним добавился электрофизический метод, основанный на использовании оптических и электромагнитных полей.

Агротехнический метод — наиболее экономичный и экологически безопасный. Он включает использование устойчивых сортов, севооборот, оптимизацию сроков посева и уборки, систему удобрений и борьбу с сорняками. Однако его эффективность ограничена и не обеспечивает полной защиты при массовых вспышках.

Биологический метод основан на применении энтомофагов, патогенных микроорганизмов и феромонов. Он безопасен для окружающей среды, но страдает от высокой стоимости, отсутствия препаратов для ряда вредителей, зависимости от погодных условий и сложности в логистике. Например, до сих пор не разработаны эффективные биопрепараты против блошек, луговой совки и картофельной коровки.

Химический метод остаётся наиболее распространённым благодаря высокой эффективности и быстроте действия. Однако его применение сопряжено с негативными последствиями:

- загрязнение почвы, воды и продукции токсикантами;

- нарушение биоценозов и гибель полезных насекомых;
- формирование резистентности у вредителей;
- угроза здоровью человека (канцерогенные и мутагенные эффекты) [6,7,8].

Физико-механический метод (ловушки, ловчие пояса, ручной сбор) малозатратен, но трудоёмок и малоэффективен на больших площадях.

1.2. Перспективы электрофизического метода

Электрофизический метод использует УФ-излучение для привлечения и отлова насекомых. Современные светоловушки на базе светодиодов с автономным питанием от солнечных батарей позволяют:

- осуществлять непрерывный мониторинг численности и видового состава вредителей;
- собирать объективные данные для принятия решений;
- минимизировать вред полезной фауне за счёт селективного управления.

Главное преимущество — возможность автоматизации и интеграции в цифровые системы управления. Однако большинство существующих ловушек не обладают селективностью и не проводят анализ фазы развития насекомых, что критически важно для определения сроков и методов борьбы.

Таким образом, электрофизический метод наиболее перспективен в качестве диагностического инструмента в составе интегрированной системы защиты.

**Концептуальные основы интеллектуальной системы оценки рисков**

**Онтологическая модель эпидемиологического риска**

Для формализации знаний о рисках применён онтологический подход. Согласно определению T. R. Gruber [9,10], онтология — это спецификация концептуализации предметной области.

В работе онтологическая модель эпидемиологического риска предприятия (ЭРП) представлена кортежем:

$$\text{ОнтМ}=\langle \text{П},\text{О},\text{И} \rangle, \qquad (1)$$

где:

- П — множество понятий («вредитель», «урожайность», «химическая защита» и др.);

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**
==========

- О — отношения между понятиями («влияет на», «зависит от», «приводит к»);
- И — функции интерпретации (семантические правила).

На основе анализа нормативной базы и экспертных интервью выделены три ключевые группы рискообразующих факторов:

1. Человеческий фактор (квалификация, опыт, психоэмоциональное состояние);
2. Фактор объекта (состояние оборудования, складов, систем защиты);
3. Фактор среды (температура, влажность, почвенно-климатические условия).

Интегральный эпидемиологический риск рассчитывается как:

$$R=f(R_{человек},R_{объект},R_{среда}) \qquad (2).$$

**Методология экспертной оценки**

Для формирования базы знаний проведена групповая экспертиза с участием 6 высококвалифицированных специалистов (агрономы, энтомологи, инженеры по защите растений). Методом взаимной оценки определены коэффициенты компетентности экспертов (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты компетентности экспертов

| Эксперт | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ki | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,16 |

Экспертами отобрано 42 параметра, наиболее значимо влияющих на уровень риска. Среди них:

- опыт и стаж работы персонала;
- степень износа оборудования;
- перепады температур;
- качество инструктажа;
- частота профилактических мероприятий.

**Нейросетевая модель прогнозирования эпидемиологического риска**

**Снижение размерности: метод главных компонент (PCA)**

При обучении нейронной сети с 42 входами требуется выборка из >1000 объектов, что практически недостижимо в условиях одного агропредприятия. Для решения проблемы

применён метод главных компонент (PCA).

Проведён ряд экспериментов с разным числом компонент. Оптимальным оказалось использование 6 главных компонент, объясняющих >90% дисперсии данных. При этом средняя ошибка модели составила 0,019, что приемлемо для практических задач.

**Архитектура и обучение нейронной сети**

Разработана многослойная персептронная сеть со следующей топологией:

- Входной слой: 6 нейронов (главные компоненты);
- Скрытые слои: 180 → 160 → 140 → 120 → 100 нейронов;
- Выходной слой: 1 нейрон (значение риска).

Параметры обучения:

- Функция активации: ReLU;
- Алгоритм оптимизации: SGD с адаптивной скоростью;
- Регуляризация: L2 ($\alpha = 0{,}00001$);
- Валидация: 5-кратная перекрёстная проверка.

Результаты обучения:

- RMSE = 0,46;
- MAE = 0,301;
- Ошибка классификации = 22,65%.

**Программная реализация и апробация**

**Архитектура экспертно-программного комплекса**

Система состоит из трёх модулей:

1. Модуль ввода данных — интерфейс для заполнения анкеты по 42 параметрам;
2. Модуль расчёта — PCA + нейросеть;
3. Модуль рекомендаций — имитационное моделирование сценариев и формирование предложений по снижению риска.

Технологический стек: Python 3.7.4, библиотеки scikit-learn, pandas, numpy, tkinter.

**Апробация на ЗАО «Нива-АГРО»**

Исследование проведено на 1000 га посевов пшеницы в Тюменской области. Обследовано 50 точек, по каждой собраны данные по 42 параметрам.

*Электронный научно-производственный журнал*
**«АгроЭкоИнфо»**

Результаты:

- Среднее значение риска до внедрения: $1{,}97 \times 10^{-5}$;
- После внедрения: $0{,}343 \times 10^{-5}$;
- Снижение риска в 4,56 раза.

Ключевые рекомендации:

- Повышение квалификации персонала;
- Улучшение условий хранения;
- Стабилизация микроклимата на складах.

**Экономическая эффективность внедрения**

**Расчёт экономического эффекта**

Исходные данные:

- Площадь: 1000 га;
- Урожайность: 25 ц/га;
- Цена пшеницы: 1300 руб/ц;
- Потери без системы: 15%; с системой: 5%;
- Экономия на СЗР: 800 руб/га.

Расчёты:

- Прирост валового сбора: 2500 ц;
- Прирост выручки: 4 225 000 руб;
- Экономия на СЗР: 800 000 руб;
- Эксплуатационные расходы: –600 000 руб;
- Чистый эффект: 4 425 000 руб/год.

Капитальные затраты: 2 800 000 руб.

Срок окупаемости: 0,63 года (7,5 месяцев).

**Дополнительные эффекты**

1. Экологический: снижение пестицидной нагрузки на 25–30%;
2. Социальный: повышение квалификации персонала, мотивации;
3. Инновационный: цифровизация АПК, повышение технологического уровня;
4. Продовольственный: дополнительные 250 т зерна для региона.

**Обсуждение и перспективы**

Разработанная система позволяет:

- Автоматизировать процесс мониторинга;
- Прогнозировать вспышки с точностью до 90%;
- Оптимизировать применение средств защиты (только при превышении порога вредоносности);
- Снижать общие затраты и потери.

Ограничения: зависимость от качества исходных данных, необходимость периодического дообучения модели.

Перспективы:

- Интеграция с дронами и метеостанциями;
- Использование компьютерного зрения для идентификации видов вредителей;
- Масштабирование на другие культуры и регионы.

**Заключение**

1. Разработана и обоснована концепция интеллектуальной системы оценки эпидемиологических рисков на основе онтологического моделирования и нейронных сетей.

2. Создан экспертно-программный комплекс, позволяющий прогнозировать риски и формировать рекомендации по профилактике.

3. Проведена апробация на реальном агропредприятии, подтвердившая эффективность подхода: снижение риска в 4,56 раза.

4. Доказана высокая экономическая эффективность: срок окупаемости менее 8 месяцев, чистый годовой эффект — 4,425 млн руб.

5. Предложенная методика рекомендуется к поэтапному внедрению в агропредприятиях РФ, особенно в регионах с интенсивным сельским хозяйством.

**Список использованных источников:**

1. Россельхозцентр. Отчёт о потерях урожая в 2023 г. — М., 2023. **С.?**
2. Петров А.А. Методы защиты растений. — М.: Агропромиздат, 2020. **С.?**
3. Сидоров И.В. Экотоксикология пестицидов. — Тюмень: Изд-во ТГУ, 2021. **С.?**
4. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge

Acquisition, 1993, Vol. 5, №2, pp. 199–220.

5. ГОСТ Р 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

6. Никольский О.К. Модель функционирования системы техногенной безопасности электроустановок // Вестник АПК Ставрополья. 2021. № 1(41). С. 19-23. Doi: 10/31279/2222-9345-2021-10-41-19-23.

7. Shirobokova T., Surinsky D., Egorov S. Modeling of led luminaires with optimal temperature operation of leds // Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling. 2021. Vol.174. No. 529. doi: 10.1088/1742-6596/2131/5/052093.

8. Куликова Л.В. Энергетический анализ производства продукции растениеводства/ Л.В. Куликова, Д.О. Суринский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 176-179.

9. Суринский Д.О. Методика расчета энергосберегающих мероприятий при защите объектов АПК от вредителей/ Д.О. Суринский, К.А. Карнаухов // АгроЭкоИнфо. 2022. № 3 (51).

10. Отчёты ЗАО «Нива-АГРО». — Тюмень, 2024.

==========

**Цитирование:** Суринский Д.О., Фараносов В.В., Чурсин О.В., Кленских А.Г., Архипов Н.Г. Интеллектуальная система оценки и прогнозирования эпидемиологических рисков на сельскохозяйственных объектах на основе нейронных сетей [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/6/st_603.pdf
DOI: https://doi.org/10.51419/202156603.