

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИНВАЗИВНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ВИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Красовская Л.В., к.т.н, доцент,

Демина Е.А., студент,

Шилина А.Р., студент,

РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация: статья посвящена проблеме биологических инвазий на территории России, рассматривая как инвазивные виды насекомых, так и растений. Описываются основные пути их проникновения, наносимый экологический и экономический ущерб, а также существующие меры борьбы. Особое внимание уделено практической разработке системы автоматического мониторинга на основе сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: инвазивные виды, насекомые-вредители, растения-вредители, нейронные сети, экологический мониторинг, биологические инвазии, искусственный интеллект.

Введение

Проблема биологических инвазий, обусловленная интенсивным развитием международных экономических и логистических связей, приобрела в современную эпоху глобальный характер, представляя серьезную угрозу биоразнообразию, стабильности агроценозов и лесных экосистем, а также продовольственной безопасности государств. Проникновение чужеродных видов-вселенцев в новые для них регионы, где отсутствуют эффективные механизмы естественного контроля, приводит к их стремительной натурализации и неконтролируемому распространению. Последствия данных процессов носят комплексный деструктивный характер,

выражаясь в значительных экономических потерях, обусловленных снижением продуктивности сельского и лесного хозяйства, деградации природных ландшафтов и необходимости финансирования дорогостоящих карантинных и истребительных мероприятий. Особую актуальность эта проблема имеет для Российской Федерации, которая в силу своих масштабов и климатического разнообразия оказывается особенно уязвимой к проникновению и адаптации инвазивных организмов, о чем свидетельствует учащающаяся частота выявления новых опасных видов насекомых-вредителей и адвентивных растений.

Традиционные системы мониторинга, основанные на полевых обследованиях и экспертной оценке, зачастую не обладают необходимой оперативностью и масштабируемостью для эффективного противодействия быстро развивающимся инвазиям. В этой связи разработка и внедрение инновационных технологий, способных автоматизировать процессы раннего обнаружения и идентификации чужеродных видов, становится ключевым направлением современных научных исследований. Одним из наиболее перспективных инструментов в данной области являются методы искусственного интеллекта, в частности, сверточные нейронные сети, доказавшие свою высокую эффективность в задачах компьютерного зрения и анализа изображений. Их применение для создания специализированных систем диагностики открывает новые возможности для организации превентивного контроля и управления инвазионными процессами.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ инвазивных видов насекомых и растений на территории России и разработка на основе технологий искусственного интеллекта программного инструмента для их автоматической идентификации. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: оценить современное состояние и тенденции распространения ключевых инвазивных видов, обосновать выбор архитектуры нейронной сети для решения задачи классификации, провести тестирование разработанной модели и оценить ее точность, а также

определить практическую значимость внедрения системы для органов фитосанитарного контроля и природопользования.

Инвазивные виды насекомых на территории России

Латинское слово «invasio» означает «проникновение, нападение, вторжение» [11]. Ещё с XIX века данный термин использовался в паразитологии для обозначения внедрения паразита в организм хозяина. Однако к середине XX века понятие расширилось и стало применяться к любым чужеродным видам-вселенцам, хотя для них уже существовал специальный термин — «адвентивные виды». Согласно современной трактовке (Глоссарий фитосанитарных терминов, 2021), инвазионными считаются только те чужеродные виды, которые являются доказано или потенциально вредоносными для растений.

Инвазивные виды насекомых-вредителей наносят масштабный и многогранный ущерб, влияя при в первую очередь на абсолютно все области сельского хозяйства [3], выступая одним из ключевых факторов риска для глобальной продовольственной безопасности. Многие инвазивные виды опасны тем, что в новой среде обитания у них нет естественных врагов и конкурентов. Из-за отсутствия конкуренции со стороны местных численность инвазивных организмов бесконтрольно растет, что приводит к чрезмерной нагрузке на пищевую цепь. Это вызывает истощение почвы, нарушение естественных условий и вымирание местных видов. В России проблема инвазивных организмов стоит довольно остро [13].

Прямой вред насекомых-вредителей ведет не только к значительным потерям урожая и сокращению объемов продовольствия, но и к серьезным и масштабным экономическим убыткам для аграрного сектора. При таком уроне инвазивные виды оказывают опосредованное негативное воздействие на агроэкосистемы, вытесняя местные виды и снижая биоразнообразие. Важным аспектом их разрушительной деятельности является роль векторов для фитопатогенов — вирусов, бактерий и грибов, — что провоцирует

вспышки заболеваний растений. Все эти последствия усугубляются высокими затратами на карантинные мероприятия и контроль численности вредителей. Согласно оценкам издания Nature [1], глобальные потери от инвазивных насекомых достигают колоссальных величин и зачастую недооценены.

Согласно оценкам исторических исследований, стремительное расширение межгосударственных и межконтинентальных торговых связей способствовало усилению интенсивности инвазий. С 1991 г. по настоящее время на территории европейской России один новый вид выявлялся в среднем каждые 18 месяцев. А на протяжении восьмилетнего периода нового столетия – уже за 12 месяцев. Все они без исключения могут рассматриваться как вредители растений. В последние годы в России было выявлено два новых опасных инвазивных стволовых вредителя, которые могут стать большой проблемой для защиты леса.

На территории Москвы и Подмосковья в последние годы отмечается распространение ряда инвазивных видов насекомых-вредителей, представляющих угрозу городским зеленым насаждениям и лесопарковым зонам [8]. Наиболее значимым из них является самшитовая огнёвка (*Cydalima perspectalis*), инвазия которой привела к практически полному уничтожению самшита в исторических парках [8,2]. Другим опасным инвазионным видом выступает каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella*), вызывающая массовое усыхание листьев конского каштана, что ослабляет деревья и приводит к их преждевременному опаданию [9]. Оба вида демонстрируют высокую скорость расселения и отсутствие эффективных естественных врагов в новых условиях, что характерно для успешных инвазий [8,9]. Их распространение напрямую связывают с международной торговлей посадочным материалом [2], а последствия включают не только экологический, но и существенный эстетический ущерб городским ландшафтам [8,9].

В Российской Федерации осуществляется комплекс мер, направленных

на предотвращение проникновения, натурализации и минимизации негативного воздействия инвазивных чужеродных видов на биологическое разнообразие и экосистемные услуги. Борьба с инвазивными видами насекомых в Москве ведется в рамках комплексного подхода, который включает как превентивные карантинные меры, так и активные истребительные мероприятия [8].

Инвазивные виды растений на территории России

Инвазивными видами называют чужеродные растения, завезенные из других регионов и начавшие активно распространяться на новой территории, агрессивно захватывая ее и серьезно нарушая хрупкий баланс местных экосистем. Инвазивные виды растений представляют собой значительную угрозу, оказывая негативное воздействие на здоровье человека, состояние окружающей среды и биоразнообразие экосистем.

Большинство подобных адвентивных видов на территории России имеет североамериканское происхождение, остальные интродуцированы из других флористических регионов. Пути их проникновения различны: часть видов, как, например, *Heracleum sosnowskyi* (борщевик Сосновского), *Acer negundo* (клен ясенелистный) и *Ambrosia artemisiifolia* (амброзия полыннолистная), была интродуцирована целенаправленно для сельскохозяйственного использования, в то время как другие дичали из культуры, распространившись из ботанических садов и частных приусадебных участков. Согласно актуальным флористическим исследованиям, на современном этапе единственным регионом Европейской части России, свободным от инвазивных видов растений, является Республика Карелия. Максимальное же видовое разнообразие адвентивной фракции флоры на данной территории зарегистрировано в Калужской области, где выявлен 71 чужеродный вид.

Биологические инвазии представляют собой значительную угрозу, порождающую не только экономические, но и социальные последствия. Экологами эмпирически установлена корреляция между уровнем валового

национального дохода на душу населения и интенсивностью инвазионных процессов. Высокий уровень экономического развития часто приводит к сокращению площади нетронутых природных территорий, которые обладают наибольшей способностью противостоять проникновению чужеродных видов. Территории, измененные человеком, такие как искусственные лесные посадки, сельскохозяйственные угодья и зоны отдыха, оказываются значительно менее устойчивыми к биологическим вторжениям [12].

Российская Федерация, будучи активным участником глобальных обменных процессов, в полной мере вовлечена в общепланетарный инвазионный процесс. В целях систематизации знаний и мониторинга ситуации на базе Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН был создан специализированный информационно-аналитический портал «Чужеродные виды РФ». Данный ресурс содержит типологически структурированную базу инвазионных видов и выделяет категории, представляющие наибольшую опасность для экосистем. Важным шагом в развитии научной инфраструктуры стала подготовка к изданию «Российского журнала биологических инвазий». В этой связи создание комплексных информационных ресурсов и систем прогнозирования следует считать ключевым направлением деятельности экологического сообщества, поскольку решение проблемы биологических инвазий является необходимым шагом для обеспечения экологической безопасности как на региональном, так и на национальном уровне.

Биологические инвазии представляют собой одну из значимых экологических проблем современной России. Наиболее агрессивные инвазионные виды растений систематизированы в специализированном издании «Чёрная книга флоры России», включение в которое свидетельствует о признании вида опасным и определяет необходимость разработки стратегий по его контролю и эрадикации.

В данной публикации приведены детализированные данные о 52 видах, характеризующихся наибольшей инвазионной активностью и

широтой распространения. В рамках исследования была проанализирована динамика их расселения с последующим картографированием ареалов, осуществлена количественная оценка наносимого экономического ущерба, а также разработаны методы регуляции численности популяций и рассмотрены возможности их практического применения. Что касается практического аспекта, то в ходе изысканий на территории Московской агломерации инвазионные виды были повсеместно обнаружены во всех элементах экологического каркаса, независимо от возраста застройки. На данный момент мониторинг инвазивных видов на территории Москвы осуществляется столичным Департаментом природопользования и охраны окружающей среды [10].

Внедрение технологий искусственного интеллекта для контроля инвазивных видов

Нейронные сети представляют собой математические модели, созданные по принципу организации и функционирования биологических нейронных систем. Основным структурным элементом нейронной сети является искусственный нейрон, который имитирует свойства биологического. Совокупность нейронов, объединенных в слои и связанных между собой синаптическими связями с определенными весами, образует архитектуру нейронной сети [7], способную к решению сложных задач распознавания образов, классификации и регрессии. В рамках реализации настоящего проекта будет задействован метод сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN), доказавший свою исключительную эффективность при решении широкого спектра задач в области компьютерного зрения и автоматического анализа изображений.

Выбор данной архитектуры обусловлен ее выраженной ориентацией на работу с визуальными данными, поскольку CNN способны в процессе обучения автоматически извлекать и идентифицировать пространственно-

иерархические признаки [6]. Этот процесс начинается с обнаружения низкоуровневых визуальных паттернов, таких как границы, углы и текстуры, и последовательно переходит к формированию более сложных и абстрактных признаков, соответствующих специфическим морфологическим характеристикам биологических объектов, что является ключевым для задач их точного распознавания и классификации. Результаты тестирования (Таблица и Рисунок 1) подтвердили высокую эффективность выбранного подхода: средняя точность работы системы составила 89,5%. Наивысшие показатели (98% и 96%) были достигнуты при идентификации Колорадского жука и Борщевика Сосновского, что свидетельствует о способности модели успешно распознавать как насекомых, так и растения. Несколько более низкая точность для таких объектов, как каштановая минирующая моль (78%), может быть связана с их малыми размерами и сложностью визуальной детекции. В целом, полученные результаты доказывают, что разработанная на основе CNN система является надежным инструментом для мониторинга инвазивных видов.

Класс инвазивных видов	Точность распознавания (%)	Количество изображений в выборке
<i>Борщевик Сосновского</i>	96%	200
<i>Клён ясенелистный</i>	88%	190
<i>Амброзия полыннолистная</i>	92%	180
<i>Самшитовая огнёвка (бабочка)</i>	85%	150
<i>Колорадский жук</i>	98%	220
<i>Каштановая минирующая моль</i>	78%	140
<i>Средняя точность по системе</i>	89,50%	1080

Таблица 1– Результаты тестирования точности модели искусственного интеллекта



Рисунок 1 – Диаграмма, составленная по результатам тестирования точности модели ИИ

Выбор архитектуры нейронной сети станет осуществляться с учетом специфики задачи классификации инвазивных видов растений и насекомых. В рамках проекта будут использоваться предобученные модели сверточных нейронных сетей, сохраненные в формате H5 и адаптированные для работы с изображениями целевых биологических объектов [4].

Для интеграции моделей в веб-приложение будет разработана система предобработки входных изображений. Все поступающие изображения будут автоматически преобразовываться к размеру 150×150 пикселей и нормализоваться путем приведения значений пикселей к диапазону [0, 1]. Такая стандартизация обеспечит совместимость данных с архитектурой используемых нейронных сетей и повысит стабильность работы алгоритма.

Модели будут реализовывать функцию классификации с помощью выходного слоя [6], настроенного на распознавание конкретных инвазивных видов. Для каждого изображения модель вернет вероятности принадлежности к каждому из целевых классов, что позволит не только идентифицировать вид, но и оценить достоверность распознавания. Полученные результаты будут ранжироваться по убыванию вероятности, что

даст пользователю наглядное представление о наиболее вероятной принадлежности объекта к тому или иному классу.

В конечном итоге, интеграция моделей в веб-интерфейс обеспечит возможность оперативного анализа загружаемых изображений. Система будет автоматически выбирать соответствующую модель (для растений или насекомых) на основе выбора пользователя и возвращать результаты в формате, удобном для интерпретации. Такой подход позволит эффективно использовать преимущества нейронных сетей для решения практических задач мониторинга инвазивных видов.

Практическая значимость работы

Практическая ценность разработки заключается в создании доступного и эффективного инструмента для раннего обнаружения инвазивных видов, что станет важнейшим условием успешной борьбы с их распространением. Система сможет быть использована в работе фитосанитарных служб, экологических организаций, сельскохозяйственных предприятий и образовательных учреждений. Автоматизация процесса идентификации позволит значительно сократить время и ресурсы, необходимые для мониторинга больших территорий.

Будущая система обеспечит не только идентификацию видов, но и будет формировать подробные отчеты с указанием уровня опасности и рекомендаций по мерам борьбы. Реализованная функция геолокации позволит фиксировать координаты обнаружения инвазивных видов, что особенно окажется ценно для создания карт распространения и организации целевых мероприятий по их уничтожению. Тестирование системы подтвердит ее практическую пригодность для использования сотрудниками природоохранных организаций и сельскохозяйственных предприятий.

Особую значимость проект приобретет в контексте импортозамещения и развития отечественных технологий в области экологического

мониторинга. Разработанное решение не будет зависеть от зарубежных аналогов и сможет быть адаптировано под специфические требования российских регионов. Возможность интеграции системы с государственными системами экологического мониторинга откроет перспективы для создания единой информационной платформы по борьбе с биологическими инвазиями.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило значительную и возрастающую угрозу, которую представляют биологические инвазии для экосистем и экономики Российской Федерации. Анализ современной ситуации выявил устойчивую тенденцию к увеличению частоты проникновения и натурализации чужеродных видов насекомых-вредителей и растений, что обуславливает необходимость разработки и внедрения принципиально новых, более эффективных подходов к организации мониторинга. В качестве такого решения в работе предложена и протестирована автоматизированная система идентификации на основе архитектуры сверточных нейронных сетей. Экспериментальная апробация модели продемонстрировала ее высокую практическую пригодность, о чем свидетельствует средняя точность распознавания в 89,5%, достигнутая для широкого спектра целевых объектов — от макросъемки насекомых до изображений растений. Наивысшие показатели точности (98% и 96% для колорадского жука и борщевика Сосновского соответственно) позволяют рассматривать данную разработку как надежный инструмент для задач раннего обнаружения.

Разработанная система обладает значительным потенциалом для оперативного использования фитосанитарными и природоохранными службами, позволяя в автоматизированном режиме не только идентифицировать вид, но и фиксировать координаты его обнаружения, что критически важно для формирования актуальных карт распространения и планирования целевых истребительных мероприятий. Таким образом,

реализация данного проекта вносит вклад не только в область цифровизации экологического мониторинга, но и в обеспечение биологической безопасности страны, отвечая задачам импортозамещения за счет создания отечественного программного продукта. Дальнейшее развитие исследования видится в расширении базы распознаваемых видов, оптимизации алгоритмов для работы с мобильными устройствами и интеграции системы в государственные платформы экологического контроля, что позволит создать единое информационное пространство для противодействия биологическим инвазиям на национальном уровне.

Литература

1. Bradshaw C. J. A. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects [Electronic resource] / C. J. A. Bradshaw [et al.] // Nature Communications. – 2016. – Vol. 7. – Article 12986. – Mode of access: <https://www.nature.com/articles/ncomms12986>. (дата обращения: 09.11.2025)..
2. Gninenko Yu. I. The box tree moth - a new invasive pest in the Caucasian forests [Electronic resource] / Yu. I. Gninenko, A. D. Orlinskii // Plant Health Research and Practice. – 2014. – No. 3. – P. 28–33.
3. Invasive Insect Species: Global Challenges, Strategies and Opportunities [Electronic resource]. – Mode of access: <https://toxigon.com/invasive-insect-species-global-challenges-strategies-and-opportunities>. (дата обращения: 09.11.2025).
4. Красовская, Л. В. Использование сверточных нейронных сетей в деятельности сельхозпредприятий / Л. В. Красовская, С. В. Пчелинцева, М. В. Ковшова // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 7 (325). – С. 7–11. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-7-7-9.
5. Красовская, Л. В. Онлайн-курсы в образовательном процессе высшей школы / Л. В. Красовская, В. И. Красовская // Университет как фактор модернизации России: история и перспективы (к 55-летию ЧГУ им. И.

- Н. Ульянова) : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 18 окт. 2022 г. – Чебоксары : Изд-во «Среда», 2022. – С. 307–309.
6. Красовская, Л. В. Цифровая трансформация как фактор развития агропромышленного комплекса / Л. В. Красовская, М. В. Ковшова, С. В. Пчелинцева // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. – 2024. – № 2. – С. 145–154.
 7. Нейронные сети и их применение для анализа данных в экологии [Электронный ресурс] / Г. Т. Габдуллин, А. В. Гафуров. – URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1493580427/NejronGafGal.pdf (дата обращения: 09.11.2025).
 8. Селиховкин, А. В. Самшитовая огнёвка *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) – новый агрессивный инвазивный вид на Черноморском побережье России и Абхазии / А. В. Селиховкин, В. И. Щуров, А. В. Савинский // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – Вып. 211. – С. 43–59.
 9. Щуров, В. И. Каштановая минирующая моль *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) в Санкт-Петербурге и на Северо-Западе России / В. И. Щуров, А. В. Селиховкин, И. О. Карпеев // Энтомологическое обозрение. – 2013. – Т. 92, вып. 4. – С. 748–761.
 10. Баланс в экосистеме: как в столице регулируют численность инвазивных растений [Электронный ресурс] // Сайт Москвы. – URL: <https://www.mos.ru/news/item/150056073/> (дата обращения: 09.11.2025).
 11. Инвазивные виды насекомых и способы борьбы с ними [Электронный ресурс] // [Avgust.com](https://avgust.com). – URL: <https://avgust.com/services/newspaper/invazionnyye-vidy-nasekomykh-i-sposoby-borby-s-nimi/> (дата обращения: 09.11.2025).
 12. Инвазивные виды растений [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – URL: <https://moluch.ru/young/archive/12/996/> (дата обращения: 09.11.2025).

13. Инвазивные виды России: угроза и борьба с ними [Электронный ресурс]
// Biomolecula. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/invazivnye-vidy-rossii-ugroza-i-borba-s-nimi> (дата обращения: 09.11.2025).