

Ситников М.А. АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ И МЕТОДОВ В ОБЛАСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ И КОНТРОЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИОННЫХ ОРГАНИЗМОВ / Sitnikov M.A. ANALYSIS OF SOLUTIONS AND METHODS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION OF FORECASTING AND DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE PREVENTION AND CONTROL OF THE SPREAD OF INVASIVE ORGANISMS

Аннотация

Контроль и предупреждение распространения инвазивных организмов является ключевой задачей агропромышленной отрасли, так как данные виды организмов оказывают прямое негативное влияние на данную отрасль. Среди методов и программных инструментов по контролю распространения инвазивных видов высокую популярность имеют программные системы прогнозирования распространения. В данной статье рассматривается современная методология построения систем прогнозирования вариантов и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распространения инвазивных организмов. Исследование, проведенное в данной статье, заключается в анализе существующих решений с целью выявления ключевых положительных и отрицательных сторон. Полученная в результате данного исследования информация позволит составить характеристику, на основе которой возможно проведение модернизации существующих решений, а также формирование главных критериев к проектированию и разработке новых решений в данной области.

Annotation

The control and prevention of the spread of invasive organisms is a key task for the agro-industrial sector, since these types of organisms have a direct negative impact on this industry. Among the methods and software tools for controlling the spread of invasive species, software systems for predicting the spread are very

popular. This article discusses the modern methodology for constructing systems for predicting options and supporting decision-making in the prevention and control of the distribution of invasive organisms. The study carried out in this article is to analyze existing solutions in order to identify key positive and negative aspects. The information obtained as a result of this study will make it possible to draw up a characteristic, on the basis of which it is possible to modernize existing solutions, as well as to form the main criteria for the design and development of new solutions in this area.

Ключевые слова: инвазивные виды, контроль распространения инвазионных видов, система поддержки принятия решений, система прогнозирования.

Распространение инвазионных видов растений является одной из ключевых проблем в современной аграрной отрасли России. Инвазивные виды – чужеродные биологические виды, распространение которых угрожает биологическому разнообразию представленной среды обитания. [1] Критичностью данной проблемы является ущерб, наносимый экономической и биологической сферам страны. Инвазионные виды, после занесения в новое местообитания, провоцируют распространение болезней и вредителей, не характерных для карантинного региона, что может повлечь за собой вымирание исходных биологических видов. Также чужеродные виды по мере своего распространения проводят искажение экосистемы подверженного инвазии региона, что ведет за собой снижение урожайности, угнетение аборигенных видов и снижение биологического разнообразия. Все данные факторы указывают на высокую актуальность данной проблемы.

При борьбе с инвазивными видами наиболее эффективным решением выступает предупреждение и устранение карантинных инвазивных видов на ранних этапах их развития. Данное следствие обусловлена тем фактом, что устранение последствий разрушительного воздействия инвазионных видов является очень сложным и дорогостоящим процессом. Помимо своевременного устранения чужеродных видов также существует потребность

в прогнозировании их распространения для ускорения процесса реагирования на их появления и подготовки защитных мер. Оптимальным решением для данных проблем выступает применение программных систем с спроектированными аналитическими и прогностическими моделями, который будут применяться как для контроля распространения чужеродных видов, так и для прогнозирования.

Главной проблемой при проектировании и разработке подобных систем выступает недостаток исходных данных. Данная проблема связана с высокой стоимостью процесса сбора информации, включающего в себя анализ спутниковых изображений и экспедиции в природные местообитания, с последующим фиксированием и анализом данных. [2] Вследствие этого большинство существующих моделей обнаружения и предсказания распространения инвазивных видов основывают свои методики на эмпирических данных – изображениях со спутников, параметрах природно-климатических факторов и исторических данных, полученных в результате исследования того или иного вида. Полученные в результате работы данных моделей прогнозы не являются достаточно информативными, так как не учитывают множество других факторов, влияющих на распространение инвазионных видов. Примерами подобных факторов могут послужит техногенные, экономические и социальные факторы. [3]

Современные методы машинного обучения и глубокого обучения позволяют проектировать модели, учитывающие несколько различных информационных признаков, а также проводить анализ и оценивать степень влияния данных признаков для составления наиболее точных моделей. Однако при этом возникает ряд необходимых для решения проблем. Какие архитектуры моделей наилучшим образом подходят для прогнозирования распространения инвазивных видов? Как оценить степень взаимного влияния на распространение между несколькими инвазивными видами? Как объединить работу нескольких моделей прогнозирования в единую систему?

Решением данных вопросов является применение систем прогнозирования вариантов и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распределения инвазионных организмов.

Данные системы должны включать в себя следующие компоненты:

- Система баз данных, включающая информацию об исследуемых инвазионных видах, исторических данных о распространении вида, местоположения регионов распространения и характерные признаки данных регионов, а также модуль поддержки баз данных;
- Модели прогнозирования и контроля распространения инвазивных видов;
- Модуль обработки результатов работы моделей;
- Геоинформационная система отображения результатов прогнозирования и влияния различных факторов на распространение чужеродных видов;
- Программные модули, обеспечивающие доступность результатов работы системы;

Функциями данных систем являются:

- Обработка результатов работы моделей классификации и прогнозирования распространения инвазивных видов;
- Прогноз вариантов изменений распределения чужеродных организмов после предполагаемых изменений и манипуляций;
- Формирование карты распространения инвазивных видов с масками, оказывающих влияние, дополнительных факторов;

На данный момент можно выделить сравнительно небольшое число систем поддержки принятия решений и прогнозирования. Подавляющая часть из существующих решений является автоматизированными системами и при прогнозировании распространения инвазионных видов полагаются на

применение относительно простых данных, таких как среда обитания и климатические факторы.

Одним из примеров подобных решений может послужить автоматизированная система поддержки принятия решений и прогнозирования инвазионных видов растений INHABIT. [4] Принцип ее работы заключается в реализации многомодульной системы, состоящей из набора моделей прогнозирования, обработчиков данных моделей и ГИС, отображающей результаты прогнозов моделей отобранных селективных видов растений на территории США. Положительной чертой данного решения является то, что подобная архитектура позволяет с легкостью составлять прогнозы для нескольких инвазивных видов.

Также в качестве примера можно привести систему поддержки принятия решений по выявлению инвазивных видов пресноводной рыбы, представленной в статье *A decision support system for identifying potentially invasive and injurious freshwater fishes*. В данной системе проектируется и применяется система по обнаружению опасных видов пресноводных рыб, в качестве обучающих признаков модели применяются следующие характеристики: исторические данные об опасности, распространенности и выживаемости рассматриваемого вида, климатические условия регионов распространения. Данная система не использует широкого спектра признаков, что сказывается на точности результатов ее работы. Таким образом, негативной чертой этого решения выступает отсутствие полноты данных. [5]

Помимо готовых решений существуют также разрабатываемые методологии проектирования систем поддержки принятия решений. Так учеными Йоркского университета был предложен фреймворк для проектирования систем принятия решений для инвазионных видов растений. Описание методологии было представлено в статье *A Framework for Decision-Making in Cases of Invasive Species* [6] Данный способ подразумевает разбиение функционала системы на три составляющие: окружающая среда, лесная экосистема и операции. Модуль «Окружающая среда» содержит

информацию о факторах окружающей среды, а также информацию о изменениях среды обитания инвазивных видов до и после их интродукции. Модуль «Лесная экосистема» содержит подробное описание подверженной инвазии экосистемы: ее биоклиматические условия и особенности, включая выработанные в результате инвазии чужеродного вида. Модуль «Операции» представляет собой алгоритм действий, предназначенных для предоставления исчерпывающих данных о влиянии инвазивного вида, среди данных операций можно выделить: сбор различных алгоритмов действий при работе с инвазивным видом, прогнозирование результатов работы данных алгоритмов, оценка результатов, принятие решения. Положительной чертой методологии выступает возможность объединения результатов работы нескольких модулей в единую систему, в нашем случае для объединения функционала системы прогнозирования и модуля поддержки принятия решений. Данная методология хорошо комбинируется с архитектурным решением, представленным в INHABIT.

Помимо указанных выше систем и методологий также проводятся исследования, нацеленные на оценку эффективности применения тех или иных моделей при решении задачи прогнозирования распространения инвазивных организмов. Так учеными южнокорейского Национального Университета Чунгнам было проведено исследование по анализу эффективности работы моделей прогнозирования распространения инвазивных видов муравьев. Результаты исследования были отражены в статье *Spatial Evaluation of Machine Learning-Based Species Distribution Models for Prediction of Invasive Ant Species Distribution*. [7] Оценка проводилась среди следующих моделей: модель метода максимальной энтропии (MaxEnt), модель метода случайного леса (RF) и модель многослойного перцептрона (MLP). Для подготовки данных моделей для каждого из видов были составлены наборы наиболее значимых характеристик, на основе значений которых будет формироваться карта прогноза распространения. Для отображения результатов прогнозирования на карте распространения

применяется утилита ArcMap, входящая в пакет ArcGis – набор инструментов для проектирования и работы с геоинформационными системами. В результате применения натренированных моделей и проведения сравнительной характеристики были получены следующие результаты: модель максимальной энтропии, за счет самых точных результатов тестовой выборки, показала себя как наиболее эффективное решение для прогнозирования на текущий момент; модель метода случайного леса показывала результаты меньшей точности, чем метода максимальной энтропии, однако, ее показатели ошибок тестовой выборки были относительно одинаковыми, что делает ее наиболее стабильным решением; модель многослойного перцептрона показала наименее точный результат, возможно, как установили исследователи, вследствие неполноты данных. Положительная черта данного исследования – итоговый сравнительный анализ, на основе которого можно без труда определить наилучший формат моделей прогнозирования.

Таким образом, проведено исследование предметной области в рамках проектирования и построения систем прогнозирования и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распределения инвазивных организмов. В ходе анализа были отмечены основные положительные и негативные стороны существующих решений. Главный недостаток на данный момент среди современных решений – это отсутствие полноты данных: как было указано в исследовании большая часть решений полагается лишь на исторические и эмпирические данные, не учитывая множество других факторов. Установлена высокая актуальность проблемы полноты данных в области построения систем прогнозирования при предупреждении и контроле распределения инвазивных организмов. Помимо анализа недостатков существующих решений установлены и преимущества, среди которых отмечено применение распределенной архитектуры системы поддержки принятия решений и применение моделей машинного обучения,

основывающихся на методе максимальной энтропии, для получения наиболее точных прогнозов распределения.

Список литературы

1. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / Ред. А. Ф. Алимов, Н. Г. Богуцкая. М.;СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2004
2. Deep learning detects invasive plant species across complex landscapes using Worldview-2 and Planetscope satellite imagery, *Remote Sensing in Ecology and Conservation* / Журнал, Thomas A. Lake, Ryan D. Briscoe Runquist, David A. Moeller published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of Zoological Society of London, 2022
3. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИОННЫХ ВИДОВ *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L., *IVAX ANTHYFOLIA* L., *XANTHIUM ALBIMUM* (WIDD.) H. SCHOLZ НА ЮГО-ЗАПАДЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ 1 / В.К. Тохтарь Ю.Е. Волобуева, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2011
4. Invasive Species Habitat Tool / Jarnevich, C.S., LaRoe, J., Engelstad, P., Hays, B., Pearse, I.S., Prevey, J.S., Sofaer, H.R, Engelstad, P., Jarnevich, C. S., Hogan, T., Sofaer, H. R., Pearse, I. S., Sieracki, J. L., Frakes, N., Sullivan, J., Young, N. E., Prevéy, J. S., Belamaric, P., & LaRoe, J., Young, N. E., Jarnevich, C. S., Sofaer, H. R., Pearse, I., Sullivan, J., Engelstad, P., & Stohlgren, T. J., 2022
5. A decision support system for identifying potentially invasive and injurious freshwater fishes / Bruce G. Marcot, Michael H. Hoff, Craig D. Martin, Susan D. Jewell and Carrie E. Givens, 2019
6. A Framework for Decision-Making in Cases of Invasive Species / Peter A. Khaitera, Marina G. Erechtkoukova, Sina Roushana aSchool of Information Technology, Faculty of Liberal Arts and Professional Studies, York University, 2016

7. Spatial Evaluation of Machine Learning-Based Species Distribution Models
for Prediction of Invasive Ant Species Distribution / Wang-Hee Lee, Jae-Woo
Song, Sun-Hee Yoon and Jae-Min Jung, 2022