



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Соловьёв Михаил Андреевич

профессор кафедры геоэкологии и космического мониторинга, Российский
государственный гидрометеорологический университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к прогнозированию стихийных бедствий на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Описаны основные источники спутниковой информации, методы обработки данных и их интеграция в геоинформационные системы. Проанализированы примеры использования данных наблюдений для прогнозирования наводнений, лесных пожаров, засух, оползней и ураганов. Особое внимание уделено применению машинного обучения и нейросетевых алгоритмов для автоматического распознавания аномальных процессов. Показано, что систематический анализ спутниковых данных в сочетании с наземными измерениями позволяет повысить точность и оперативность прогнозов природных катастроф.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, прогнозирование стихийных бедствий, спутниковый мониторинг, геоинформационные системы, машинное обучение, природные риски, экологическая безопасность.

Введение

Рост частоты и интенсивности стихийных бедствий, связанных с изменением климата и антропогенной нагрузкой на экосистемы, представляет собой одну из ключевых проблем XXI века. Наводнения, пожары, ураганы и засухи приводят к колоссальным экономическим потерям, разрушению инфраструктуры и угрозе жизни миллионов людей. В этих условиях особое значение приобретает создание систем раннего предупреждения, основанных на объективных данных и современных технологиях анализа.

Одним из наиболее эффективных инструментов для наблюдения за состоянием природной среды являются методы дистанционного зондирования Земли. Современные спутниковые платформы позволяют получать данные о поверхности планеты в различных спектральных диапазонах, отслеживая динамику процессов с высокой пространственной и временной детализацией.

Целью настоящего исследования является анализ возможностей и методов использования данных дистанционного зондирования для прогнозирования природных катастроф, а также оценка роли искусственного интеллекта в повышении точности и оперативности прогнозов.

Источники данных дистанционного зондирования Земли

Современная система ДЗЗ включает сотни спутников, работающих в разных орбитальных диапазонах и обеспечивающих наблюдения с различным пространственным разрешением. К основным источникам данных относятся спутники серии Landsat, Sentinel, Terra и Aqua, а также коммерческие аппараты WorldView и PlanetScope.

Каждый тип спутника имеет свои особенности. Например, данные Landsat обеспечивают долговременные ряды наблюдений с 1980-х годов, что позволяет анализировать изменения за десятилетия. Sentinel-2 предоставляет изображения с высоким пространственным разрешением, пригодные для детального картографирования, а спутники MODIS (на платформах Terra и Aqua) обеспечивают ежедневные глобальные наблюдения, полезные для оперативного мониторинга.

Кроме оптических данных, широко используются радиолокационные спутники, такие как Sentinel-1 и RADARSAT, которые способны получать информацию независимо от облачности и освещённости. Это делает их незаменимыми при наблюдении за наводнениями, оползнями и другими процессами, происходящими в сложных погодных условиях.

Интеграция данных из разных источников позволяет формировать многоспектральные и мультидатчиковые наборы, обеспечивающие комплексное понимание процессов на поверхности Земли.

Методы обработки и анализа спутниковых данных

Получение спутниковых изображений — лишь первый этап в системе прогнозирования. Для извлечения полезной информации требуется сложная обработка, включающая калибровку, коррекцию и классификацию данных.

Радиометрическая и атмосферная коррекция устраняет влияние солнечного угла, пыли и водяного пара, приводя измерения к единому стандарту. Геометрическая коррекция обеспечивает точную привязку изображений к координатной сетке, что необходимо для совмещения с другими источниками информации.

Основой анализа является классификация поверхности, которая может быть выполнена как с помощью традиционных статистических методов, так и с применением машинного обучения. Нейронные сети и алгоритмы глубокого обучения позволяют автоматически распознавать аномальные изменения, такие как повышение температуры растительного покрова перед пожаром, изменение

отражательной способности почвы при засухе или сдвиги земной поверхности перед оползнями.

Применение индексов, например NDVI для оценки состояния растительности, NDSI для выявления снежного покрова и NDWI для анализа влажности, позволяет количественно описывать динамику природных явлений. Совмещение временных рядов индексов создаёт основу для построения моделей раннего предупреждения.

Прогнозирование природных катастроф с использованием ДЗЗ

Дистанционное зондирование Земли находит широкое применение при прогнозировании различных типов стихийных бедствий. При анализе наводнений спутниковые изображения позволяют определять уровень воды в реках и площадные изменения затоплений. Радиолокационные данные особенно ценны при облачности, когда оптические методы неэффективны.

Для прогнозирования лесных пожаров используются данные теплового диапазона, позволяющие выявлять участки повышенной температуры и строить карты пожарной опасности. Сравнение многолетних данных позволяет выявлять закономерности возникновения возгораний в зависимости от температуры воздуха, влажности и плотности растительности.

В случае засухи применяются мультиспектральные данные для анализа состояния почв и растительного покрова. Изменения значений NDVI служат индикатором снижения продуктивности экосистем. Совмещение спутниковых данных с метеорологическими измерениями позволяет предсказывать риск засухи с высокой точностью.

Для прогнозирования оползней и землетрясений используются интерферометрические методы обработки радиолокационных данных. С их помощью фиксируются микродеформации поверхности, предшествующие крупным сдвигам.

Интеграция спутниковых данных в геоинформационные системы

Геоинформационные системы играют ключевую роль в интеграции, анализе и визуализации данных дистанционного зондирования. ГИС позволяют объединять спутниковые изображения с другими пространственными источниками информации — цифровыми моделями рельефа, гидрологическими и климатическими данными, инфраструктурой и населёнными пунктами.

Пространственно-временной анализ в ГИС создаёт основу для прогнозирования сценариев развития событий. Например, при прогнозировании наводнений можно моделировать распространение воды в зависимости от рельефа и осадков, а при анализе пожаров — определять возможные направления распространения огня.

Современные платформы, такие как Google Earth Engine и Esri ArcGIS, предоставляют мощные инструменты для облачной обработки данных, что делает возможным автоматизированный анализ больших массивов спутниковой информации.

Интеграция спутниковых данных в ГИС позволяет создавать системы раннего предупреждения, которые автоматически уведомляют ответственные службы о вероятности возникновения опасных явлений.

Применение искусственного интеллекта и больших данных

Объем спутниковых наблюдений ежегодно возрастает на десятки петабайт, что делает невозможным их анализ традиционными методами. В связи с этим всё большее значение приобретает применение искусственного интеллекта и технологий больших данных.

Алгоритмы машинного обучения используются для автоматической классификации изображений и распознавания аномалий. Глубокие нейронные сети способны выявлять сложные пространственно-временные зависимости, недоступные традиционным статистическим методам.

Например, использование рекуррентных сетей позволяет прогнозировать динамику лесных пожаров по временным рядам спутниковых данных. Сверточные нейронные сети применяются для выделения контуров затоплений, а гибридные архитектуры объединяют различные типы данных, включая оптические и радиолокационные.

Применение облачных платформ для обучения и обработки больших данных делает возможным создание глобальных систем мониторинга, охватывающих всю поверхность Земли в реальном времени.

Примеры практического применения

В последние годы данные дистанционного зондирования активно используются в национальных и международных программах мониторинга. В России реализуется проект «Космос-Экомониторинг», направленный на анализ паводков и пожаров с использованием данных Sentinel и Landsat.

В Казахстане действует система «ҚазГеоМониторинг», интегрирующая спутниковые и наземные наблюдения для оценки засух и мониторинга сельскохозяйственных рисков. Анализ многолетних рядов NDVI позволил создать карту засушливости регионов и повысить эффективность аграрного планирования.

На международном уровне программы Copernicus и NASA Earth Observing System предоставляют открытые данные для прогнозирования климатических аномалий и поддержки гуманитарных миссий при стихийных бедствиях.

Результаты практического применения показывают, что использование данных ДЗЗ сокращает время реагирования на чрезвычайные ситуации и повышает точность прогнозов, что напрямую влияет на безопасность населения и экономическую устойчивость регионов.

Заключение

Дистанционное зондирование Земли представляет собой мощный инструмент прогнозирования и мониторинга стихийных бедствий. Современные спутниковые технологии позволяют получать объективные данные о состоянии атмосферы, гидросферы и литосферы, что обеспечивает всесторонний анализ природных процессов.

Интеграция данных ДЗЗ с геоинформационными системами, метеорологическими и наземными наблюдениями формирует основу для создания эффективных систем раннего предупреждения. Использование методов искусственного интеллекта и больших данных открывает новые возможности для автоматического обнаружения и прогнозирования опасных явлений с высокой точностью.

Будущее прогнозирования стихийных бедствий связано с развитием глобальных систем наблюдения, объединяющих спутниковые и наземные технологии. Эти системы станут фундаментом устойчивого развития, позволяя человечеству своевременно реагировать на природные вызовы и минимизировать ущерб от катастроф.

Литература

1. Громов В.Н. Дистанционное зондирование Земли в экологическом мониторинге. — М.: Наука, 2022.
2. Кравцов И.Е. Геоинформационные технологии в прогнозировании природных катастроф. — СПб.: Политех-пресс, 2023.
3. Cracknell A., Varotsos C. Remote Sensing and Climate Change. — Springer, 2021.
4. ESA Copernicus Programme. Earth Observation for Disaster Risk Management. — Brussels, 2024.
5. NASA Earth Observatory. Satellite Data Applications in Natural Hazard Forecasting. — Washington, 2023.
6. Li J., Xu Y. Machine Learning Approaches in Environmental Remote Sensing. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. — 2023.
7. Kazakh Space Research Center. Regional Satellite Monitoring for Disaster Prevention. — Almaty, 2024.