

## **ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ АНОМАЛИЙ ОБЛАЧНОГО СЛОЯ НА СНИМКАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫМИ ИСЗ**

**Соболь А.А. (ИТМО)**

**Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Графеева Н.Г. (ИТМО)**

**Введение.** Прогнозирование землетрясений — сложная задача в сейсмологии, направленная на спасение жизней и уменьшение ущерба. Надежные методы прогнозирования до сих пор не разработаны из-за нелинейной реакции земной коры на выделение энергии, зависящей от сложных геологических процессов. Большая глубина места возникновения затрудняет сбор данных, а предвестники, такие как радон или изменение грунтовых вод не всегда точно предсказывают землетрясения.

Использование алгоритмов машинного обучения в сейсмологии помогает анализировать большие объемы данных и выявлять закономерности, однако точные прогнозы возможны только там, где система наблюдения за предвестниками покрывает большую территорию.

Ещё одним предвестником землетрясений могут быть линейные облачные аномалии. Это предположение опубликовано достаточно давно [1], однако лишь недавно появилась возможность его проверить: в открытом доступе публикуются снимки Земли, получаемые космическими аппаратами корпорации Роскосмос каждые полчаса начиная с 2021 года [2]. Преимущество такого способа в том, что зона радиовидимости этих космических аппаратов - почти вся поверхность Земли.

Таким образом, есть реальные основания для проверки гипотезы, которая может иметь весьма значимые последствия для решения критически важной задачи прогнозирования землетрясений.

**Основная часть.** В последние годы машинное обучение активно применяется для прогнозирования землетрясений. Например, в работе [3] используется метод главных компонент и классификация на основе случайного леса для предсказания местоположения и магнитуды землетрясений на основе данных сейсмического мониторинга. Точность тестирования составила 70%, а средняя абсолютная ошибка - 381 км. Тем не менее, возможность предсказания с помощью линейных облачных аномалий (ЛОА) ещё не была исследована.

Рассматриваемые в работе снимки получены с космического комплекса "Электро-Л", включающего спутники на геостационарной орбите: "Электро-Л №2" (14° западной долготы), "Электро-Л №3" (76° восточной долготы), "Электро-Л №4" (168° восточной долготы) с разрешением 1 км на пиксель.

Выявить аномалии можно и на картах, отражающих глобальное распределение количества озона в столбе атмосферы Земли, измеренное спутниковым инструментом OMPS [5]. Разные цвета на карте соответствуют разным концентрациям озона в добсоновых единицах (DU). За несколько дней до землетрясения можно наблюдать области с повышенным или пониженным содержанием. Как и ЛОА, такие области остаются "висеть" над разломом земной коры, в котором происходит геодинамическая активность.

На данном этапе работы исследована возможность создания набора данных для обучения и детекции ЛОА. Собраны снимки с обнаруженными аномалиями над Индонезией, Аргентиной, Иркутской областью, морем Банда, Перу, Северо-Курильском, Турцией и Чили.

Рассмотрена возможность обнаружения поиска аномалий на картах с общим содержанием озона с помощью библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Для этого создается маска для выделения определенного диапазона цветов и преобразования соответствующих пикселей в черные, остальные - в белые. Затем сравниваются изображения

за несколько дней, находя области, где все изображения черные (нулевые значения пикселей). Применяется операция дилатации и алгоритм нахождения контуров на бинаризованном изображении, найденные контуры фильтруются по размерам и сравниваются с площадью ближайшего контура на каждом изображении за определенный день, чтобы исключить те, которые являются частью более большой площади уровня содержания озона.

Алгоритм поиска протестирован на картах с глобальным содержанием с обнаруженными аномалиями над Аргентиной в январе, марте и августе 2023 года, а также Чили в марте 2023.

**Выводы.** Подводя итоги, можно сказать, что прогнозирование землетрясений с помощью поиска линейных облачных аномалий и изменений в уровне содержания озона определенно имеет потенциал для дальнейшего развития. Собрано множество образцов для реализации распознавания с помощью машинного обучения, опробован поиск аномалий на картах с озоном с помощью методов компьютерного зрения.

#### **Список использованных источников:**

1. Морозова Л. И. Проявление геодинамической активности земной коры в облачных полях // Геология и геофизика. — 2012. — Vol. 53, no. 4. — P. 541–550.
2. Роскосмос. Космический комплекс «Электро-Л». — URL: <https://www.roscosmos.ru/24987/>.
3. Earthquake Forecasting Using Big Data and Artificial Intelligence: A 30-Week Real-Time Case Study in China / Omar M. Saad, Yunfeng Chen, Alexandros Savvaidis et al. // Bulletin of the Seismological Society of America. — 2023. — 09. — Vol. 113, no. 6. — P. 2461–2478.
4. Science NASA. OMPS: Ozone Mapping and Profiler Suite. — URL: <https://science.nasa.gov/mission/omps/>.