

Обработка спутниковых данных для обнаружения природных явлений формирующих наводнения

Савченко Е.В., Маклаков С.М.

ФИРЭ им В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино

2024 год

Цель и задачи работы

Целью настоящей работы является проверить возможность определения условий возникновения наводнений с использованием доступных спутниковых данных (продуктов Meteosat Second Generation, MSG).

Для этого необходимо:

- проверить доступность данных, в т.ч. доступность на конкретный временной период и территорию (полуостров Крым и прилегающие акватории Азовского и Чёрного морей);
- наладить процесс их обработки при помощи программных средств на языке программирования Java для изучения и возможного последующего составления оперативной картины возникновения наводнений;
- при этом требуется провести анализ доступных обработанных продуктов, относящиеся к наводнению в Крыму в июне 2021 года на их информативность и совместимость между собой и с другими типами данных.

Источники данных для работы

В данной работе использовались продукты, полученные от Европейской организации спутниковой метеорологии (EUMETSAT), доступные на их официальном сайте для заказа через специальный сервис. Продукты были созданы на основе обработанных данных спутников Meteosat второго поколения (Meteosat Second Generation, MSG), которые позволяют получить доступ к различным данным о состоянии земной атмосферы за необходимый период времени с большой периодичностью (от получаса до суток в зависимости от продукта). Также данные спутники используются для метеорологического мониторинга и исследования климата.

Спутники MSG стабилизированы по вращению, что позволяет значительно улучшить наблюдение Земли. 12-канальный спутниковый тепловизор, известный как вращающийся улучшенный видимый и инфракрасный тепловизор (spinning enhanced visible and infrared imager, SEVIRI), наблюдает полный диск Земли с циклом повторения 12 минут в 12 спектральных каналах и улучшенным пространственным разрешением. Meteosat-8 был запущен в 2002 году и Meteosat-9 в декабре 2005 года. Программа MSG включает серию из четырех идентичных спутников, со сроком службы более 15 лет.

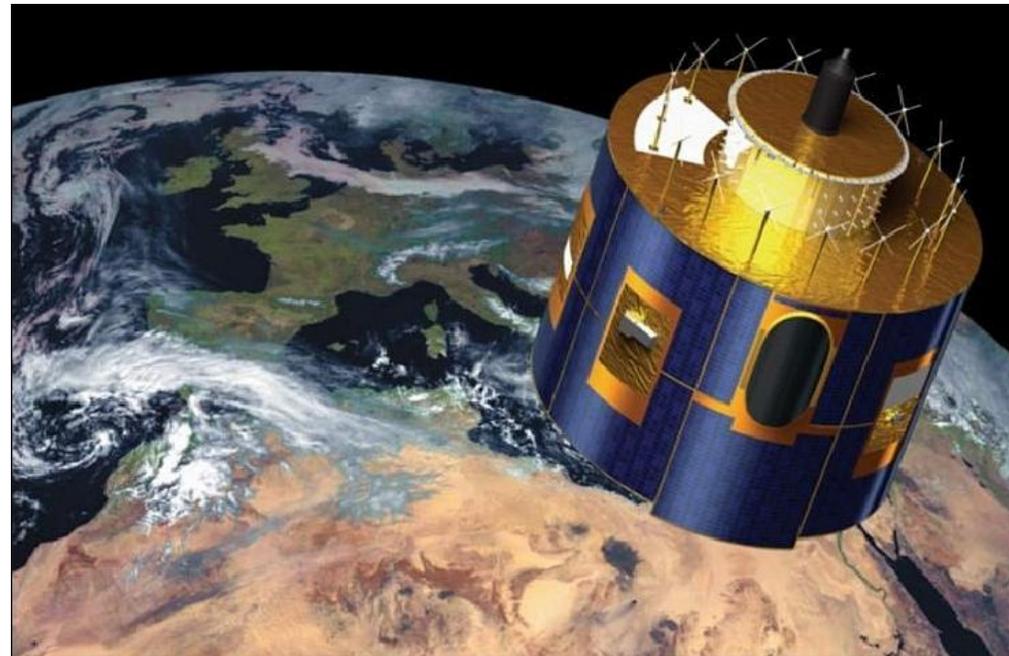


Рис. 1 а. Модель спутника MSG над поверхностью Земли

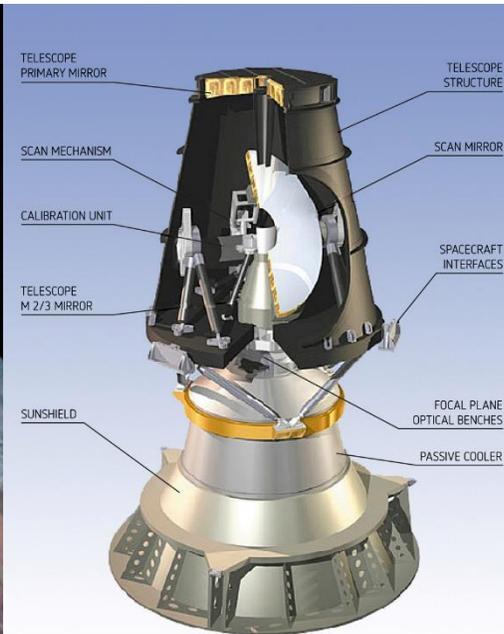


Рис. 1 б. Схема прибора SEVIRI

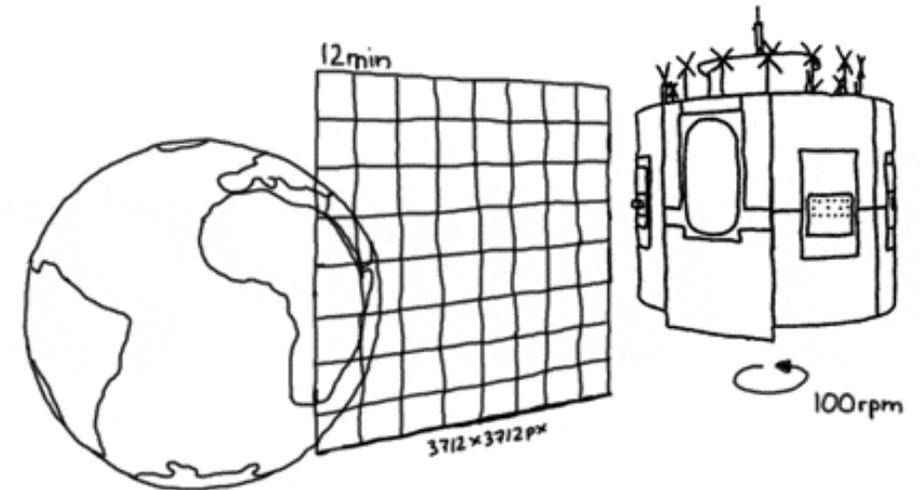


Рис. 1 в. Схема сканирования Земли с помощью SEVIRI

Выбранные данные

1). **Multi-Sensor Precipitation Estimate (MPE)** — состоит из значений интенсивности дождя в мм/час в реальном времени для каждого изображения Meteosat в исходном разрешении пикселей. Алгоритм основан на сочетании микроволновых измерений полярного орбитального аппарата и изображений в ИК-канале Meteosat с помощью так называемого метода смешивания. Был получен в двух форматах: GRIB (GRIdded Binary) — для обработки и исследования, и JPEG (Joint Photographic Experts Group, растровый формат данных) — для проверки обработанных данных и как ещё один вариант их наглядного отображения. Количество осадков является основным параметром для выявления возможных наводнений.

2). **Cloud Mask** — описывает тип сцены («ясная» или «облачная») на пиксельном уровне. Каждый пиксель классифицируется как один из следующих четырех типов: чистое небо над водой, чистое небо над сушей, облака или необработанный (за пределами земного диска). В настоящей работе это вспомогательный параметр, выбранный с целью выявления корреляции для проверки информативности первого параметра.

Выбранные продукты были произведены из данных, полученных со спутника, покрывающего регион Индийского океана (Indian Ocean 41.5 degrees E), так как зона их охвата также включает полностью и причерноморский регион.

The screenshot displays the EUMETSAT User Services Client interface. At the top, the EUMETSAT logo and the tagline "MONITORING WEATHER AND CLIMATE FROM SPACE" are visible. The main navigation bar includes "SEARCH AND ORDER", "ORDER STATUS", "HELP", "FEEDBACK", "MY PROFILE", "LOGOUT", "KNOWN ISSUES", and "DATA CENTRE INFO". The "SEARCH AND ORDER" section is active, showing a breadcrumb trail: "SELECT PRODUCT > FILTER > DATE/TIME > ROI > FORMAT > DELIVERY METHOD > CHECK OUT".

The "SELECT PRODUCT" section features a search term input field and a list of products under the "Sentinel 3 DataSets" category. The selected product is "Cloud Mask - MSG - Indian Ocean 41.5 degrees E". A "Thematic Filter" sidebar on the right lists various categories such as Marine, Land, Atmosphere, Aerosol, Analysis, Cloud, Fire, Forecast, Humidity, Model, Observation, Ocean, Precipitation, Pressure, Radar Blackscatter NRCS, Radiation, Soil Moisture Index, Sea Ice, Sea Surface Temperature, and Snow and Ice.

The "PRODUCT ROI" section shows a map of the Indian Ocean region with a red rectangular area of interest. Below the map, the "Upper left corner" coordinates are 48.18 Lat (deg) and 26.5 Lon, and the "Lower right corner" coordinates are 40.05 Lat (deg) and 43.5 Lon. A "Region" dropdown menu is also present, along with a "CLEAR REGION OF INTEREST" button.

Рис 2. Интерфейс заказа спутниковых продуктов на портале EUMETSAT.

Программные инструменты анализа данных спутниковых наблюдений

Для работы с полученными спутниковыми данными были выбраны три действующие программные приложения, написанные на языке программирования Java для операционной системы Windows — McIDAS-V версии 1.8, IDV версии 6.0u1 и Panoply.

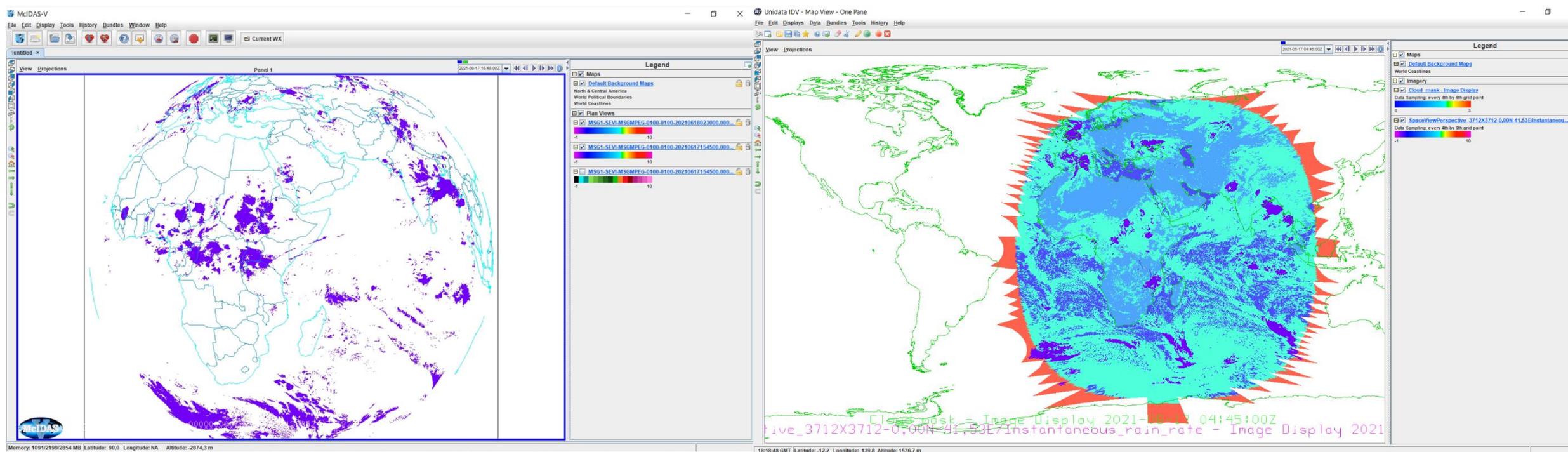


Рис 3. Программный интерфейс McIDAS-V.

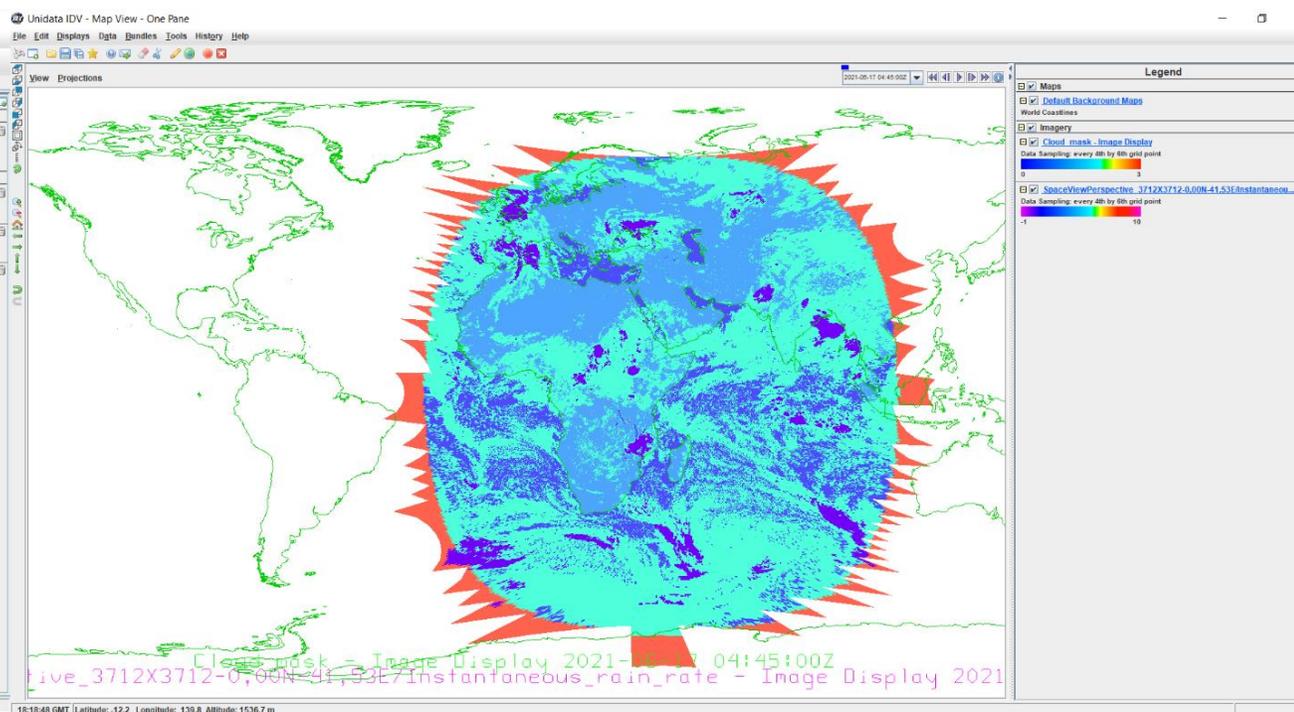


Рис 4. Программный интерфейс IDV 6.0u1.

Программные инструменты анализа данных спутниковых наблюдений

Для работы с полученными спутниковыми данными были выбраны три действующие программные приложения, написанные на языке программирования Java для операционной системы Windows — McIDAS-V версии 1.8, IDV версии 6.0u1 и Panoply.

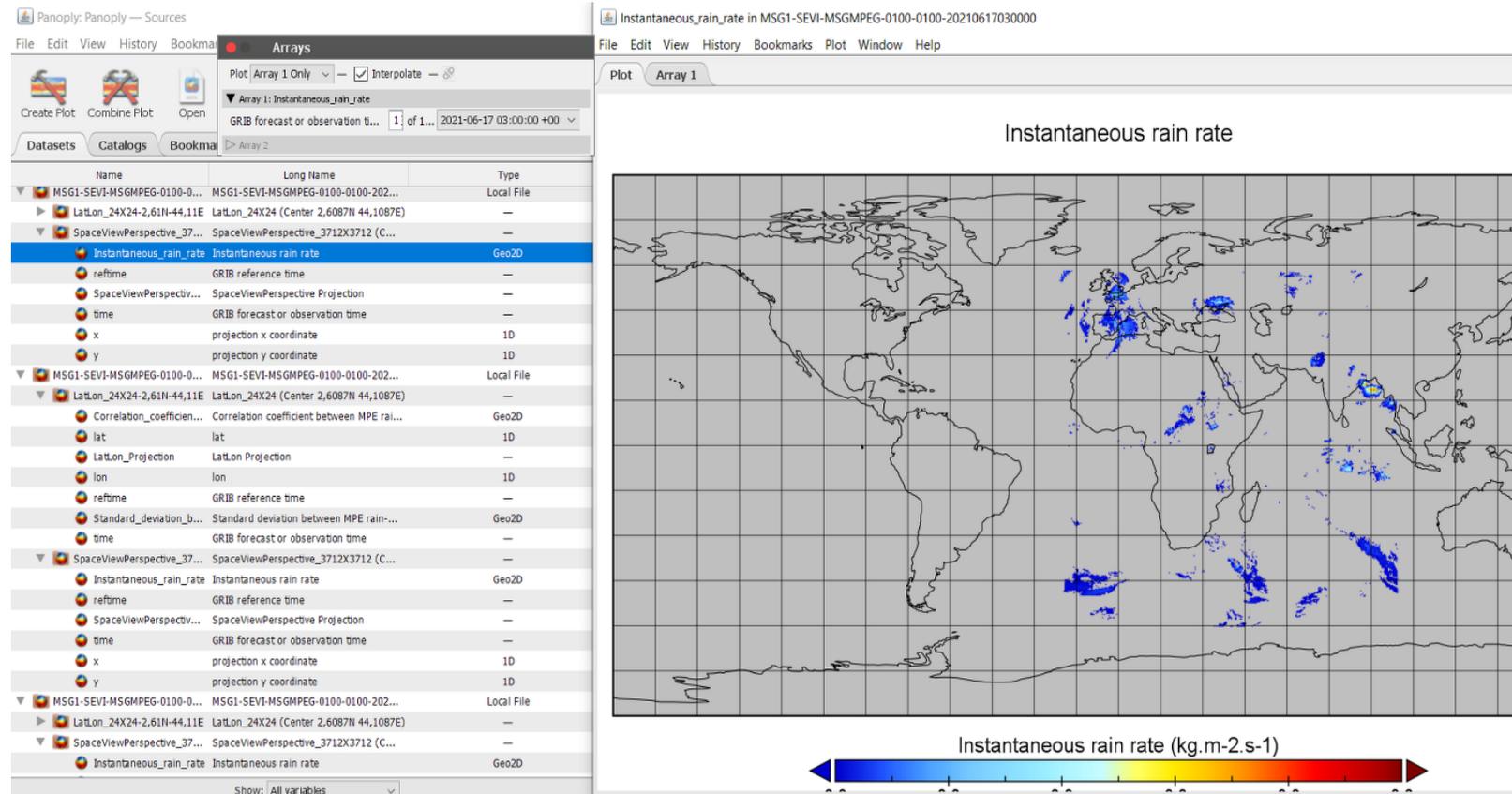


Рис 5. Программный интерфейс приложения Panoply.

Критерии отбора данных

На первом этапе были отсеяны данные за те периоды, где совсем не было облачности в данном регионе, для этого были использованы данные по маске облачности Cloud Mask.

На втором этапе был произведён отсев по размеру облаков, для этого был произведён расчёт размеров облака исходя из известного разрешения 3 км на один пиксель. Все данные, содержащие в себе облачные образования, имеющие количество пикселей более девяти по широте либо по долготе (по вертикали, либо по горизонтали в рамках выбранной системы координат), были отобраны для дальнейшего исследования, так должны относиться к суперячейковым облакам. Суперячейковые грозы, представляющие наибольшую угрозу вследствие максимальной интенсивности осадков и ураганного ветра, имеют диаметр от 30 км, что составляет десять пикселей. Облака, расстояние между которыми составляет менее половины их минимального размера (15 км или 5 пикселей), были объединены в группы потенциальных грозовых облаков (ГГО)

На третьем этапе были использованы данные об интенсивности осадков (MPE), которые были наложены на маску облачности. Из полученных изображений были отобраны облака с площадью осадков более 15 км, т.е. 5 пикселей.

Критерии отбора данных

На заключительном этапе для отобранных грозовых облаков был рассчитан геометрический центр для того, чтобы проследить их траекторию и скорость перемещения. Его расчёт произведён по алгоритму Вайсфельда, который является видом итерационного взвешенного метода наименьших квадратов с меняющимися весами. Этот итерационный алгоритм задаёт множество весов, которые обратно пропорциональны расстояниям до текущего приближения, и вычисляет новое приближение, являющееся средним взвешенным точек выборки согласно этим весам. То есть

$$y_{i+1} = \left(\sum_{j=1}^m \frac{x_j}{\|x_j - y_i\|} \right) / \left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{\|x_j - y_i\|} \right)$$

где m это множество точек, x_j – точка, принадлежащая к множеству точек, относящихся к облаку, y_j – точка, для которой сумма всех евклидовых расстояний до x_j , минимально по результатам данной итерации, y_{i+1} – более точные данные точки в новой итерации. $\|x_j - y_j\|$ является евклидовым расстоянием от точки до приближения предыдущего шага. Когда $y_{i+1} = y_i$ искомая точка найдена. Для отобранных облаков и сформированных из них ГГО была прослежена история развития на 3 часа до и 3 часа после их активного состояния, удовлетворяющего критериям выше, и был вычислен геометрический центр объекта.

Также в работе были использованы, как вспомогательные источники данных, информация с сервисов МЧС, Крымского управления по гидрометеорологии и мониторингу (рис. 6 а,б). По этим данным были сверены и уточнены временные отрезки ливневых дождей в регионе для первоначального выбора периода заказа спутниковых данных и проверки полученной в ходе работы информации. Интенсивные осадки наблюдались 16,17 июня, а также 21,22 июня, в этот период выпало основное количество осадков, приведших к сильному наводнению. Было принято решение немного расширить исследуемый период и взять для исследования данные с 0 часов 15 июня до 0 часов 23 июня 2021 года по всемирному времени (UTC).

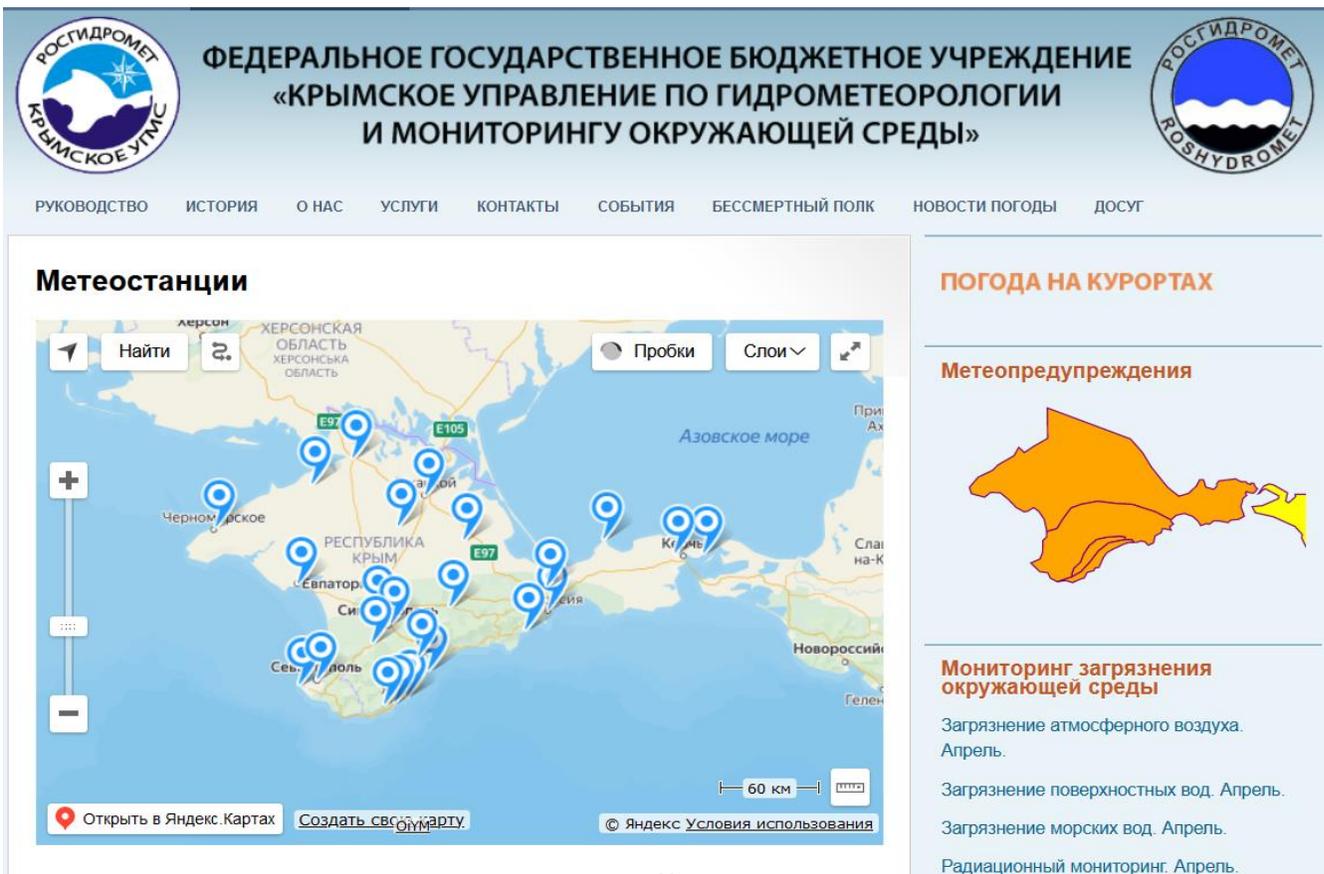


Рис. 6 а. Главная страница сайта Крымского управления по гидрометеорологии и мониторингу.

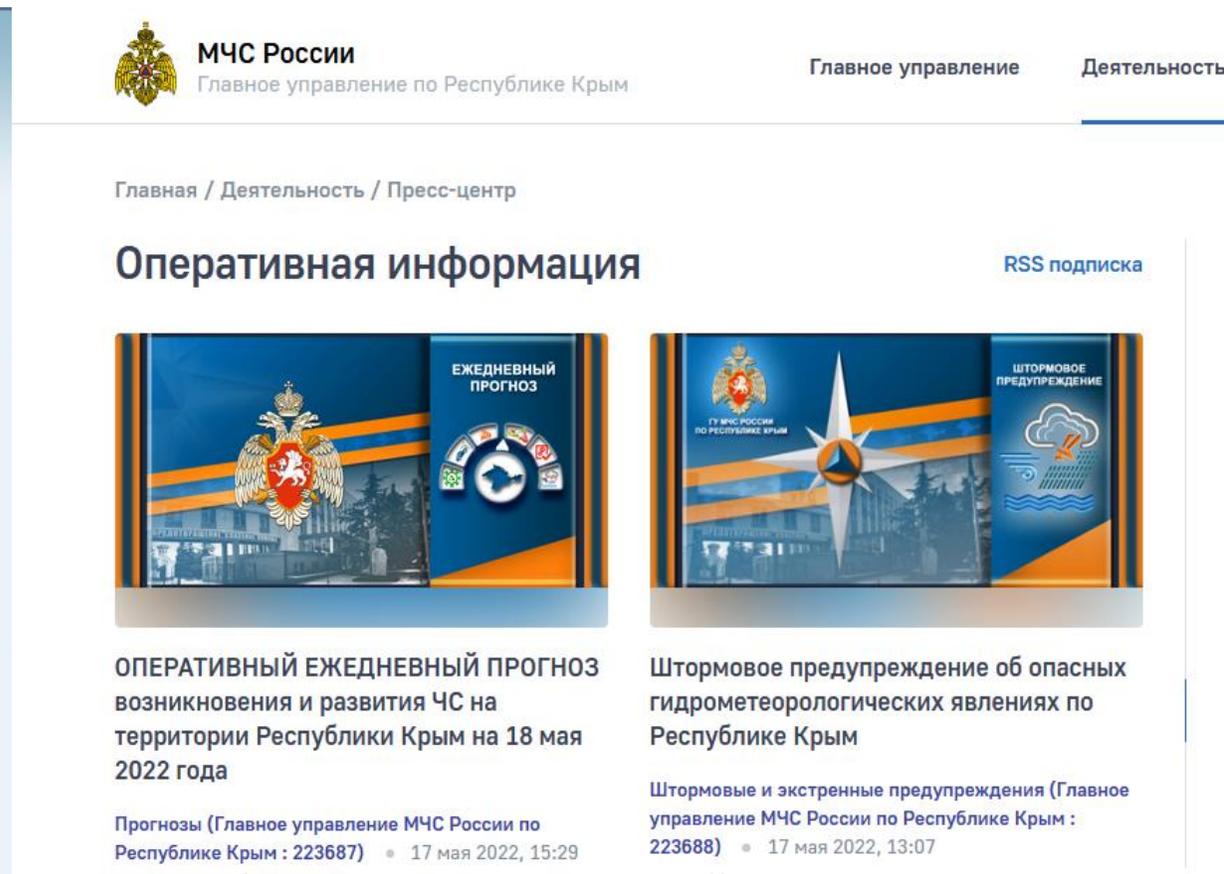


Рис 6. б. Главная страница сайта МЧС России по Республике Крым.

Результаты обработки

На всех изображениях были выделены участки, географические границы которого включают регионы Крыма, Азовского и Чёрного морей, что примерно соответствует значениям от 30 до 50 градусов северной широты и от 20 до 50 градусов восточной долготы.

Так же в результате обработки и визуализации данных в формате GRIB из декодированных продуктов была получена и сохранена в растровом формате PNG коллекция изображений, представленная в таблице 1. Помимо этого, была составлена коллекция комбинированных изображений, на которых отображались одновременно и облачность, и осадки. Для этого отобраны пары изображений, время получения которых отличалось менее, чем на 5 минут, в основном для пар погрешность была значительно меньше. Всего было получено 426 подобных комбинированных изображений и сформирована необходимая выборка для проведения анализа.

Тип изображений	Формат данных	Количество изображений
Cloud Mask – MSG – Indian Ocean 41.5 degrees E	GRIB/PNG	533
Multi-Sensor Precipitation Estimate	GRIB/PNG	576
Комбинированные изображения	PNG	426

Полученная коллекция изображений.

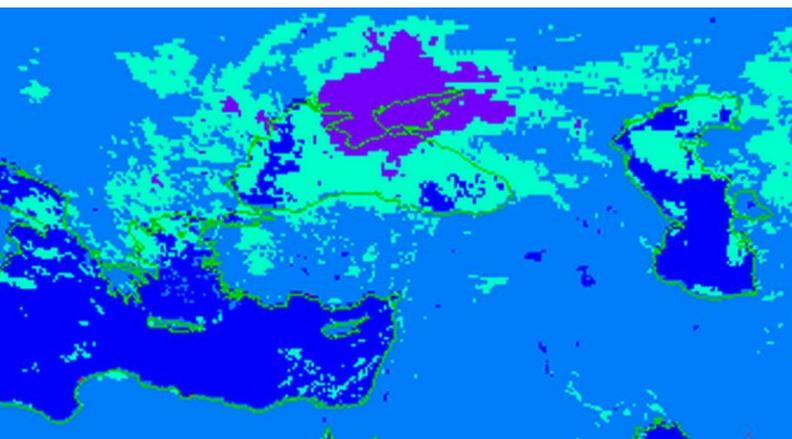


Рис. 7 а. Комбинированная карта осадков и облачности в Причерноморском регионе, 2 часа 45 минут 17 июня 2021 года.



Рис. 7. б. Отображение продукта Meteosat Multi-Sensor Precipitation Estimate (GRIB) 17 июня 2021 года в 9 часов 29 минут по Московскому времени.

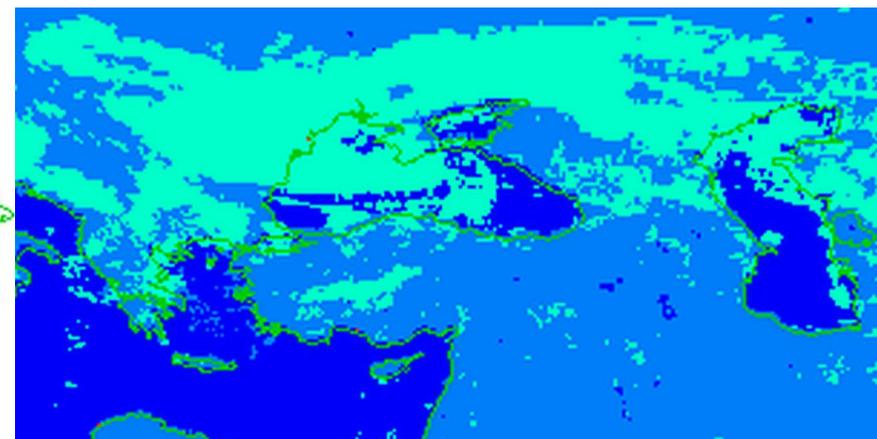


Рис. 7. в. Отображение продукта Cloud Mask – MSG – Indian Ocean 41.5 degrees E 18 июня 2021 года в 21 час 0 минут по Московскому времени.

Подведение итогов

В процессе исследования была продемонстрирована возможность предварительного обнаружения факторов, способствующих возникновению наводнений, с использованием спутниковых данных. Был отработан процесс запроса и получения данных от операторов космических систем ДЗЗ. Рекомендована информация ДЗЗ, необходимая для решения поставленной задачи. В качестве объекта исследования было выбрано недавнее наводнение, произошедшее на полуострове Крым в июне 2021 года. Требуемая информация ДЗЗ относится к анализируемому району и включает такие параметры, как количество осадков и наличие облачности. Из базы исходных данных ДЗЗ была проведена фильтрация объектов для последующего исследования с использованием предложенного авторами алгоритма. Результат обработки и визуализации спутниковых данных и их верификации из вспомогательных источников показал, что полученные данные и программное обеспечение можно использовать для мониторинга условий формирования метеорологических явлений, которые могут привести к возникновению наводнений. Программные приложения, примененные в данной работе, позволяют провести первичный анализ для решения этой задачи. Вместе с тем, для более комплексных и информативных результатов при решении рассматриваемой задачи по выявлению и изучению природных катаклизмов необходимо создание мощных автоматизированных систем обработки данных ДЗЗ и систем загрузки анализируемых потоков больших объемов, что составляет предмет перспективных исследований.

Благодарим за внимание!

Список использованной литературы и источников

1. Метеорологические данные [web]. ФГБУ "Крымское УГМС". Дата обращения: 20.11.21. URL: http://meteo.crimea.ru/?page_id=99
2. Оперативная информация [web]. Главное управление МЧС России по Республике Крым. Дата обращения: 14.11.21. URL: <https://82.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya>
3. Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л., Пичугин М.К., Хазанова Е.С. Спутниковый мониторинг наводнения в Приморье в 2017 г. Пятнадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 2017. Москва. <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6234>
4. Schmetz J., Pili P., Tjemkes S., Just D., Kerkmann J., Rota S., Ratier A. An Introduction to Meteosat Second Generation (MSG). Bulletin of the American Meteorological Society. 2002. V.83. No7. P.977-992. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2002\)083<0977:AITMSG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2002)083<0977:AITMSG>2.3.CO;2)
5. Schmetz D., Klaes M., König and Holmlund K. Monitoring Weather and Climate with the Meteosat and Metop. Satellites Revista de Teledetección. 2007. No27. P.5-16. <http://www.aet.org.es/revistas/revista27/AET27-01.pdf>
6. MSG Meteorological Products Extraction Facility Algorithm Specification Document [web]. EUMETSAT. Date of access: 12.11.21. URL: <https://www.eumetsat.int/media/38993>
7. Achtor T., et al. McIDAS-V: A powerful data analysis and visualization tool for multi and hyperspectral environmental satellite data. Atmospheric and Environmental Remote Sensing Data Processing and Utilization IV: Readiness for GEOSS II. 2008. V.7085. <https://doi.org/10.1117/12.795223>
8. Don Murray, Jeff McWhirter. The integrated data viewer (IDV) – a discipline agnostic tool for geoscience exploration. Unidata Program Center, Boulder, Colorado, 29 January 2006. URL: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/104866.pdf>
9. Штормовое предупреждение об опасных гидрометеорологических явлениях по Республике Крым на 16-17 июня 2021 года [web]. Главное управление МЧС России по Республике Крым. Дата обращения: 20.11.21. URL: https://82.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse_novosti/4489285
10. Штормовое предупреждение об опасных гидрометеорологических явлениях по Республике Крым на 21-22 июня 2021 года [web].]. Главное управление МЧС России по Республике Крым. Дата обращения: 15.11.21. URL: https://82.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse_novosti/4493462