

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.13>

УДК: 528.8; 528.83; 528.85; 528.88

## ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАВОДНЕНИЙ

Е.В. Савченко, С.М. Маклаков

Институт радиотехники и электроники РАН, 141190, г. Фрязино, пл. Введенского 1

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2022 г.

**Аннотация.** Изучена возможность заблаговременного обнаружения условий возникновения наводнений по данным спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Проверена доступность этих данных на выбранный временной период и территорию – полуостров Крым и прилегающие акватории Азовского и Чёрного морей. Произведен анализ доступной обработанной информации со спутников дистанционного зондирования Земли, относящейся к наводнению в Крыму в июне 2021 года. При помощи приложений, работающих на языке программирования Java, выполнено выделение для выявления условий возникновения наводнений и перспективности составления оперативной карты происходящих процессов. Результат обработки и визуализации продуктов показал возможность их использования для мониторинга условий формирования метеорологических явлений, которые могут привести к возникновению наводнений.

**Ключевые слова:** наводнения, изучение климата, спутники Meteosat, визуализация данных, дистанционное зондирование, спутниковое зондирование.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

**Автор для переписки:** Маклаков Сергей Михайлович, [ser2110@mail.ru](mailto:ser2110@mail.ru)

## Введение

В наши дни, в связи с увеличением количества стихийных бедствий, возможность их оперативного наблюдения и оценки возникающих последствий представляет актуальную научную и прикладную задачу. В комплексе решаемых при этом вопросов приоритетом является исследование условий возникновения паводков и наводнений, причиняющих значительный урон жизнедеятельности человека.

В данной работе модельным объектом исследования является наводнение, произошедшее в Крыму летом 2021 года, причинившее ущерб в восточных и центральных районах полуострова. Оно стало одним из эпизодов серии наводнений, произошедших в этот период на черноморском побережье России [1,2]. Черноморский регион является местом частых стихийных явлений, число которых с годами только растёт, что вызывает необходимость их изучения с целью их своевременного обнаружения.

С помощью современных информационных средств возможно оперативное получение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что позволяет отслеживать процессы чрезвычайных природных явлений и влияние их на окружающую среду практически в режиме реального времени. При этом территориальный охват наблюдений, достаточно большой диапазон спектральных каналов, наличие на орбите группы одновременно функционирующих приборов дают широкие возможности для выполнения качественных исследований при решении рассматриваемой проблемы. Получаемая информация ДЗЗ позволяет оценить площадь затоплений, распределение осадков и состояние растительных покровов, влажность почвы, следить за изменением стока рек, площадью озер, а также служит основой для прогнозирования хода наводнений, улучшения гидрологических моделей и принятия оперативных мер по снижению ущерба от наводнений [3].

В настоящей работе была использована информация, полученная от Европейской организации спутниковой метеорологии (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT), доступная для загрузки

через специальный сервис на их официальном сайте. Информация произведена на основе обработанных данных спутников Meteosat второго поколения (Meteosat Second Generation, MSG), а её доступность, объём и качество полученных данных делает этот спутник подходящим для проведения целого ряда исследований [4,5].

В работе изучена возможность выявления условий возникновения наводнений с использованием спутниковых данных MSG. Проверена доступность данных, в т.ч. на конкретный временной период и территорию (полуостров Крым и прилегающие акватории Азовского и Чёрного морей), отработан процесс их обработки при помощи различных программных средств на языке программирования Java, для изучения и возможного последующего составления оперативной картины возникновения наводнений. При этом был произведен анализ обработанной информации, относящейся к наводнению в Крыму в июне 2021 года на их содержание и совместимость с другими типами данных. Приведен также процесс получения данных ДЗЗ и их обработки программными средствами.

## **1. Исходные спутниковые данные для обнаружения наводнений**

Запрашиваемые данные представлены на портале с большой периодичностью, что позволяет проводить качественные наблюдения за атмосферными процессами. Для проведения исследования были отобраны следующие два типа данных:

1). Multi-Sensor Precipitation Estimate (MPE) – включают значения интенсивности дождя в мм/час в реальном времени для каждого изображения Meteosat в исходном разрешении пикселей. Алгоритм генерации этих значений основан на сочетании микроволновых измерений полярно-орбитального аппарата и изображений в ИК-канале Meteosat с помощью метода смешивания [6]. Значения получены в формате GRIB GRIdded Binary (GRIB) – для обработки и исследования и формате Joint Photographic Experts Group (JPEG), растровый формат данных – для проверки обработанных данных и как вариант их

наглядного отображения. Количество осадков является одним из ключевых параметров 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) [6] – это вспомогательный параметр, выбранный с целью выявления корреляции для проверки информативности первого параметра.

Выбранные данные были произведены на основе информационного потока спутника с зоной покрытия, охватывающей регион Индийского океана (MSG Indian Ocean 41.5 degrees E [6]), так как зона его охвата также включает и причерноморский регион. Геостационарная орбита спутника Meteosat позволяет вести наблюдение за выбранной зоной круглосуточно, под одним и тем же углом обзора и значительно упрощает работу автоматизированных систем данных, что повышает их точность и оперативность.

Веб-интерфейс сайта EUMETSAT (его подраздел с собственным адресом <https://archive.eumetsat.int/>) даёт возможность осуществлять выбор и заказ обработанных спутниковых данных в виде готовых продуктов из архива организации. При этом можно осуществить выбор конкретной необходимой информации, задав точный диапазон дат, регион поиска на интерактивной карте, а также формат файла из доступных вариантов и способ его загрузки – FTP-ссылка на архив с заказом или физический носитель. Пример интерфейса выбора данных представлен на рис. 1.

Был осуществлён заказ данных и их последующая загрузка через File Transfer Protocol (FTP). Полученные данные были представлены в формате GRIB – математическом формате сжатых данных, используемом в метеорологии для хранения исторических и прогнозируемых данных о погоде.

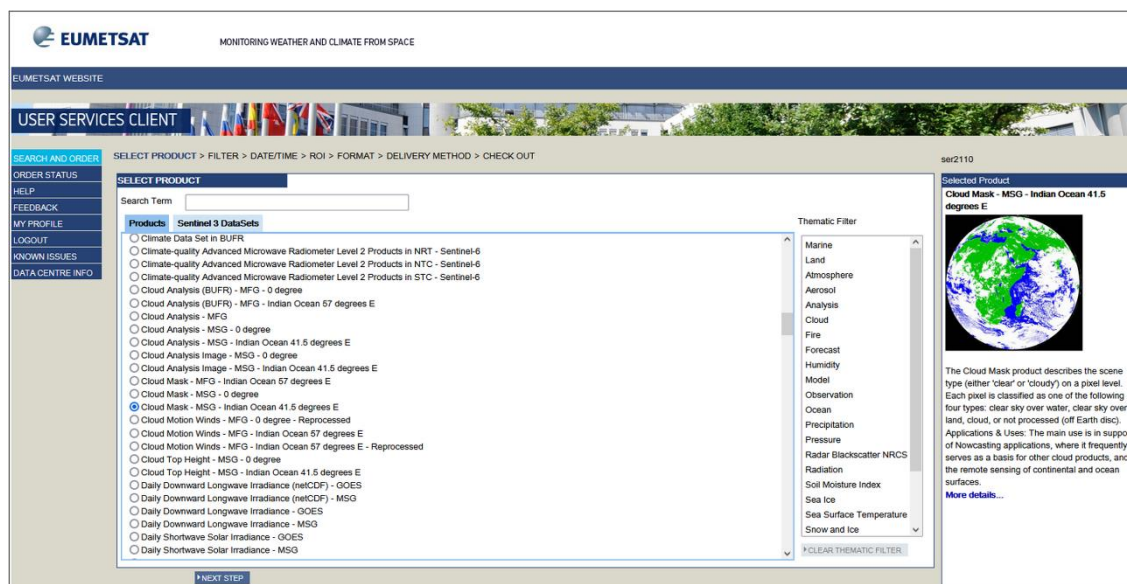


Рис. 1. Интерфейс заказа спутниковой информации на портале EUMETSAT

## 2. 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 Raporly. Эти приложения разработаны для визуализации, анализа и обработки спутниковых данных и были предложены как программные средства для обработки данных на сайте Европейского космического агентства. Приложения распространяются бесплатно и доступны для свободной загрузки.

**Программное приложение McIDAS-V** (The Man computer Interactive Data Access System) [7] является проектом, разрабатываемым с начала 1970х годов в University of Wisconsin-Madison для анализа и визуализации данных для геостационарных погодных спутников начиная с их первого поколения. Современные версии McIDAS обеспечивают широкие возможности анализа и визуализации данных для существующих спутников по наблюдению за окружающей средой. Пятое поколение McIDAS является бесплатным программным пакетом с открытым исходным кодом на основе Java для исследователей мультиспектральных и гиперспектральных данных и

разработчиков алгоритмов, предоставляющая инструменты обработки и визуализации данных для работы в среде с большим количеством данных.

Программное приложение McIDAS-V отображает метеорологические спутниковые (включая гиперспектральные) и другие геофизические данные в 2-х и 3-х измерениях. McIDAS-V также может анализировать данные и управлять ими с помощью встроенных математических функций. Пример программного интерфейса показан на Рис. 2.

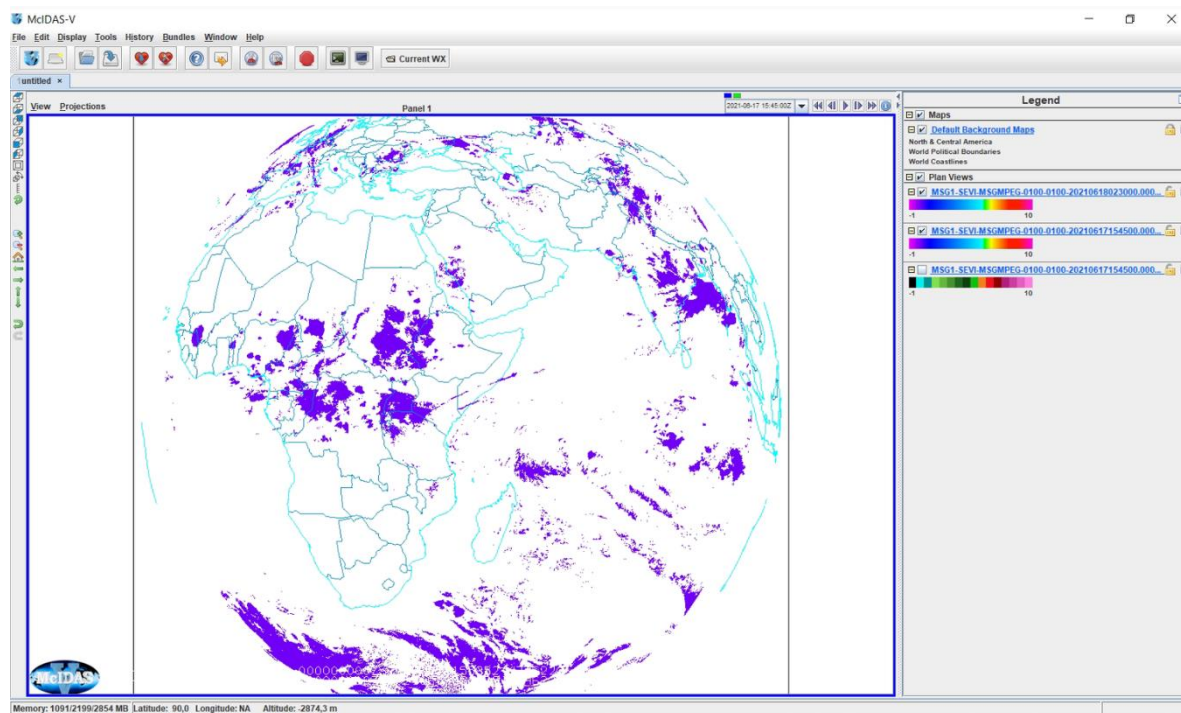


Рис. 2. Программный интерфейс McIDAS-V

**Интегрированное средство просмотра данных (Integrated Data Viewer, IDV)** [8] является одним из приложений в линейке McIDAS-V и также представляет собой программную среду с открытым исходным кодом на основе Java, разработанную в Unidata и основанную на библиотеке VisAD для обеспечения универсального набора инструментов для анализа и визуализации геолого-геофизических данных. Средство просмотра IDV объединяет также возможности отображения и работы со спутниковыми наблюдениями, приземными и аэральными (радиозондовыми) наблюдениями, данными с привязкой к координатной сетке, а также данными радара и профилографа, в рамках единого интерфейса. Для отображения в IDV данные должны иметь



только географическую привязку. Пример программного интерфейса показан на Рис. 3.

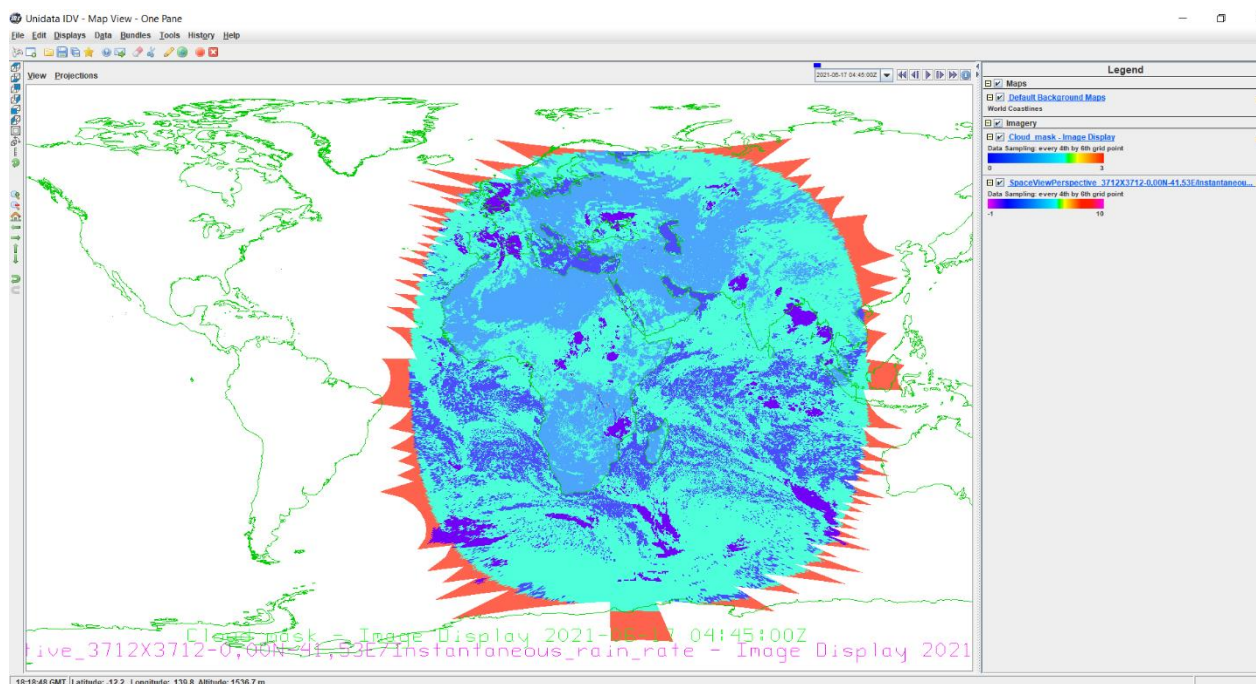


Рис. 3. Программный интерфейс IDV 6.0u1

**Приложение Panoply** представляет кроссплатформенную программу, разработанную Goddard Institute for Space Studies на основе McIDAS-V, предназначенную для просмотра данных в форматах netCDF, HDF и GRIB. Также программа позволяет создавать цветные контурные и линейные графики на основе массивов данных из одномерных или более крупных многомерных переменных, с возможностью их географической привязки, наносить данные о долготе и широте на глобальную или региональную карту, используя любую из более чем 200 картографических проекций, и сохранять полученные изображения в удобных растровых форматах. Пример программного интерфейса приложения Panoply показан на Рис. 4.

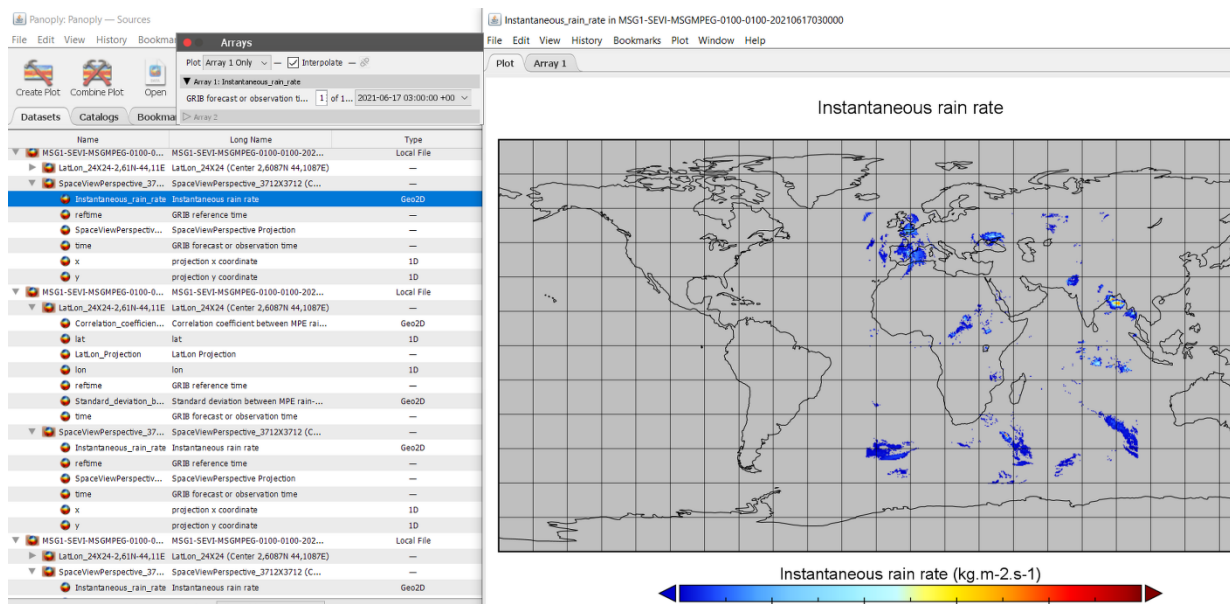


Рис. 4. Программный интерфейс приложения Panoply

### 3. Критерии и процесс отбора данных

Среди полученных данных, визуализированных с помощью указанных программных средств, был произведён отбор для проведения исследования.

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 (МРЕ), которые были наложены на маску облачности. Из полученных



изображений были отобраны облака с площадью осадков более 15 км, т.е. 5 пикселей.

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,  $y_i$  – 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.  $\|x_j - y_i\|$  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 Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС) [2], Крымского управления по гидрометеорологии и мониторингу (Крымское УГМС) [1]. По этим данным были сверены и уточнены временные отрезки ливневых дождей в регионе, которые стали причиной наводнений, для первоначального выбора периода заказа спутниковых данных и

проверки полученной в ходе работы информации. Интенсивные осадки были отмечены 16, 17 июня [9], а также 21, 22 июня [10], в этот период выпало основное количество осадков, приведших к сильному наводнению. Было принято решение расширить исследуемый период и взять для исследования данные с 0 часов 15 июня до 0 часов 23 июня 2021 года по всемирному времени (UTC).

#### **4. Анализ полученных результатов**

Отобранные спутниковые изображения были загружены в программы (IDV, McIDAS-V, Panoply, см. раздел 2), с помощью которых была построена анимированная динамическая карта изменения обоих указанных параметров – осадков и облачности в пределах указанных временных рамок. Для наглядности была выбрана проекция Меркатора. 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.

Полученные изображения представляют собой пиксельную карту, на которую нанесены береговые линии материков, море и суша выделены разными оттенками синего, облачность светло-голубым, а наличие значительных осадков фиолетовым.

Таблица 1. Полученная коллекция изображений

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

Для верификации полученных карт о зонах осадков, полученных по данным спутникового ДЗЗ, они были сопоставлены с информацией, полученной из указанных выше вспомогательных источников (информация с сервисов МЧС и Крымского УГМС, см. раздел 3). Характерные примеры представлены на рис. 5а–в.

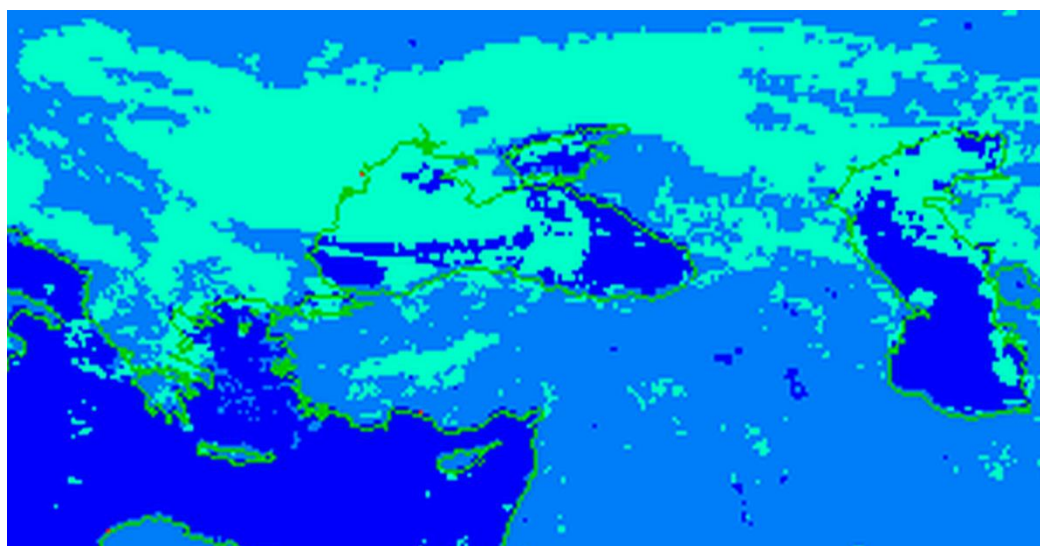


Рис. 5. а. Отображение продукта Cloud Mask – MSG – Indian Ocean 41.5 degrees E 18 июня 2021 года в 21 час 0 минут по Московскому времени

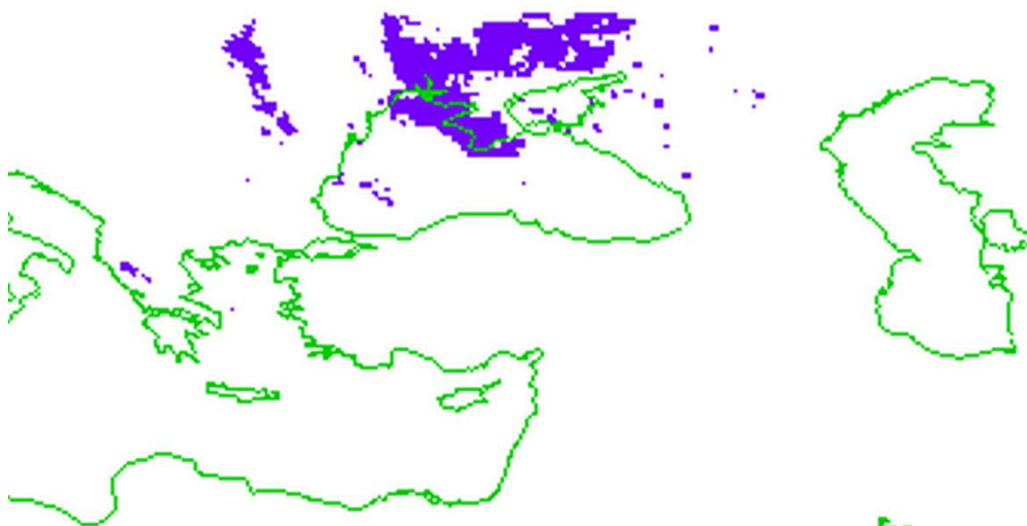


Рис. 5б. Отображение продукта Meteosat Multi-Sensor Precipitation Estimate (GRIB) 17 июня 2021 года в 9 часов 29 минут по Московскому времени

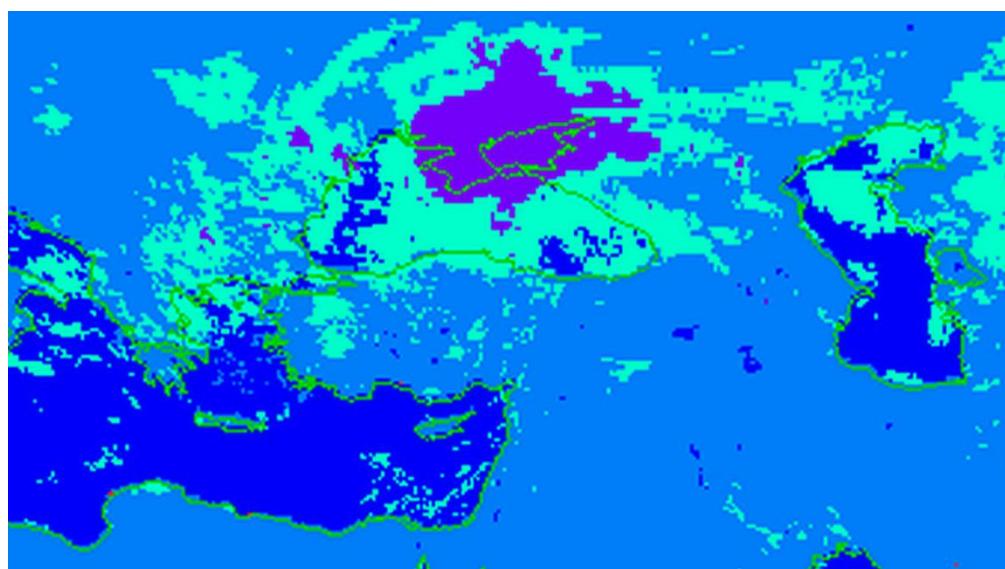


Рис. 5в. Комбинированная карта осадков и облачности в Причерноморском регионе, 2 часа 45 минут 17 июня 2021 года

Из анализа полученных результатов были сделаны выводы, что данные об осадках за указанный период, построенные с помощью указанных выше программных средств (см. раздел 2), соответствуют полученной ранее информации из дополнительных источников. Области с сильными ливнями совпали с визуализированными данными сильных осадков для анализируемого времени.

## Заключение

В ходе работы была показана возможность заблаговременного выявления условий возникновения наводнений с использованием спутниковых данных. Отработан процесс запроса и получения данных от операторов космических систем ДЗЗ. Рекомендована информация ДЗЗ, необходимая для решения рассматриваемой целевой задачи. В качестве объекта исследования использовано недавнее событие – наводнение, произошедшее на Крымском полуострове в июне 2021 года. Требуемая информация ДЗЗ относится к анализируемому району и в ней содержатся такие характеристики как количество осадков и наличие облачности. Из исходной информации произведён отбор данных ДЗЗ для исследования по предложенному авторами алгоритму. Результат обработки и визуализации спутниковых данных и их верификации из вспомогательных источников (см. раздел 3) показал, что полученные данные и программное обеспечение можно использовать для мониторинга условий формирования метеорологических явлений, которые могут привести к возникновению наводнений. Программные приложения, использованные в работе, позволяют произвести первичный анализ, необходимый 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.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

## Литература

1. Метеорологические данные [web]. ФГБУ "Крымское УГМС". Дата обращения: 20.11.21. URL: [http://meteo.crimea.ru/?page\\_id=99](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. №7. 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. №27. 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](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](https://82.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse_novosti/4493462)

**Для цитирования:**

Савченко Е.В., Маклаков С.М. Получение и обработка спутниковых данных для обнаружения условий возникновения наводнений. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.13>