

УДК 551.515.2:551.507.362.2

Космический мониторинг тропических циклонов

В.Ю. Верятин¹, Г.М. Иоффе¹, А.А. Воронин²

¹ Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии
«Планета», г. Москва, Россия;

² НИИ обработки аэрокосмических изображений Рязанского радиотехнического
университета (НИИ «Фотон» РГРТУ), Рязань, Россия
veryatin@planet.iitp.ru, ioffe@planet.iitp.ru, foton@rsreu.ru

Рассмотрена методика космического мониторинга тропических циклонов по данным многолетних наблюдений (2005–2015 гг.) за тропическими циклонами с космических аппаратов, включающая определение географических координат тропических циклонов с привязкой по дате и времени, а также получение информационных продуктов в виде тематических карт, таблиц, гистограмм и анимационных файлов.

Методика была апробирована на полученных данных космического мониторинга тропических циклонов и позволила более точно прогнозировать эволюцию и траекторию движения тропических циклонов, возможность их выхода на дальневосточные регионы России. Полученные результаты могут быть использованы для своевременного принятия управленческих решений по снижению неблагоприятного воздействия тропических циклонов.

Ключевые слова: тропический циклон, тайфун, траектория, интенсивность, движение, прогноз, исследование, дистанционное зондирование, методы, спутники

Satellite monitoring of tropical cyclones

V.Y. Veryatin¹, G.M. Ioffe¹, A.A. Voronin²

¹ State Research Center for Space Hydrometeorology
"Planeta", Moscow, Russia;

² Research institute of processing of space images of the Ryazan State Radio Engineering
University (Scientific research institute «Photon», RSREU), Ryazan, Russia
veryatin@planet.iitp.ru, ioffe@planet.iitp.ru, foton@rsreu.ru

The paper presents a method for satellite monitoring of tropical cyclones based on multiyear satellite observations (2005-2015) including the determination of position (latitude, longitude) of tropical cyclone centers for different dates and time as well as a number of satellite-based products such as maps, tables, histograms, and animated images.

The method was tested based on satellite data on tropical cyclones and allowed a more accurate prediction of tropical cyclone tracks and evolution including the possibility of reaching Far Eastern regions of Russia. The results can be used for a timely decision-making on the mitigation of negative effects of tropical cyclones.

Keywords: tropical cyclone, typhoon, trajectory, intensity, track, forecast, research, remote sensing, methods, satellites

Введение

Тропические циклоны (ТЦ) – одно из опаснейших явлений природы. Несмотря на интенсивное развитие науки и техники, причины возникновения тропических циклонов до конца не изучены. Поэтому и точность прогнозирования возникновения тропических циклонов [1] не достаточно высокая и является предметом интенсивных исследований.

С появлением метеорологических искусственных спутников Земли появилась возможность не только определять районы зарождения тропических циклонов, но и проследить траектории их движения в течение всего периода их существования. Широко используемая во многих странах автоматизированная технология [3] позволяет по конфигурации и размеру облачного массива тропического циклона и его яркостной температуре определять интенсивность ТЦ, что особенно важно при ограниченных возможностях прямых измерений.

В ФГБУ «НИЦ «Планета» была разработана методика определения по спутниковым изображениям количественных характеристик движения тропических циклонов: построение тематических карт, гистограмм, а также анимационных продуктов (файлов), позволяющих в динамике проследить возникновение и развитие тропических циклонов.

1. Технологическая схема получения данных о тропических циклонах

Рассматриваемая методика космического мониторинга тропических циклонов рассчитана на использование файловой базы данных временных и географических координат центров тропических циклонов за определенный период времени.

На рис. 1 представлена технологическая схема сбора, обработки, анализа и распространения данных о тропических циклонах.

Технология включает в себя два этапа.

Этап 1. Определение временных и географических координат центров тропических циклонов, формирование на их основе телеграмм «VORTEX» и занесение их в файловую базу данных.

Этап 2. Анализ файловой базы данных и получение информационных продуктов в виде тематических карт, таблиц, гистограмм и анимационных файлов.

1.1. Методика определения координат центров тропических циклонов и формирование файловой базы данных (этап 1)

Исходной информацией для определения временных и географических координат центров тропических циклонов являются спутниковые изображения, полученные с отечественных и зарубежных геостационар-

ных ИСЗ в видимом и инфракрасном участках спектра. Созданные в НИЦ «Планета» программные комплексы «PlanetaMeteo» и «PlanetaGS2» [2] позволяют в интерактивном режиме «скалывать» со спутниковых изображений координаты центров тропических циклонов, составлять телеграммы в международной кодовой форме «VORTEX» и на их основе формировать файловую базу данных (БД). Применение указанных выше программных комплексов обеспечивает в автоматизированном режиме «скалывание» координат ТЦ, формирование телеграмм. Но определение центров тропических циклонов производится визуально метеорологом-дешифровщиком. Это самый ответственный и сложный момент данной технологии, требующий от специалиста определенного навыка и опыта работы со спутниковой информацией. Это связано с тем, что центр ТЦ хорошо просматривается, как правило, в максимальной стадии развития, когда в центральной части облачного массива ТЦ образуется так называемый «глаз бури», который и является центром ТЦ.

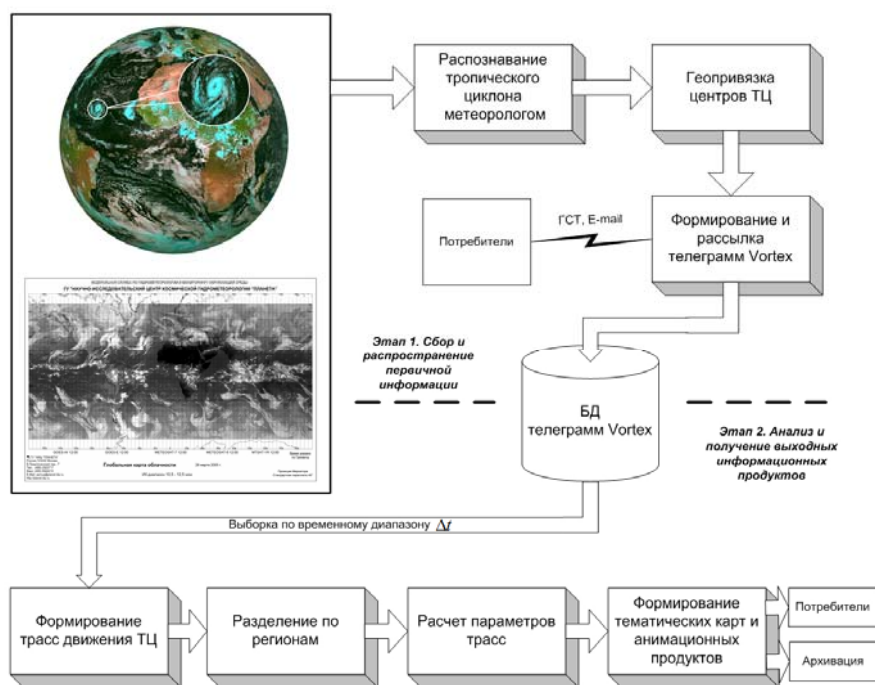


Рис. 1. Технологическая схема получения данных о тропических циклонах.

Fig. 1. Technology system to get tropical cyclones data.

На всех же других стадиях развития ТЦ точность определения координат его центра, как правило, связана с определенными трудностями.

Особенно это проявляется на начальной и конечной стадиях развития ТЦ, когда сходящиеся облачные спирали еще недостаточно развиты (начальная стадия) или уже практически разрушились (конечная стадия) и на спутниковых изображениях прослеживаются с трудом. Другой причиной, усложняющей работу дешифровщика, является наличие над центральным облачным массивом ТЦ мощной шапки перистообразных облаков, под покровом которых маскируется центр ТЦ.

Во всех сложных ситуациях дешифровщику приходится использовать определенные приемы, которые позволяют с определенной степенью точности определять координаты центров тропических циклонов.

Одним из таких приемов является использование так называемых анимационных файлов, которые позволяют в динамике проследить весь жизненный путь ТЦ от момента возникновения до полного исчезновения. По изменениям в конфигурации облачного поля ТЦ в интересующий нас период времени и определяется центр ТЦ. Анимационные файлы создаются ежедневно с нарастающим итогом для соответствующего геостационарного спутника, который выбирается в зависимости от района возникновения ТЦ.

Другим важным приемом является использование «метода контрастирования» изображения, который позволяет «убирать» с экрана маскирующую перистообразную облачность и выявлять расположенные под ней конвективные облака, закрученные в спираль, и центр ТЦ.

Рассматриваемая методика предполагает регистрацию координат центров ТЦ один раз в сутки в 06 ч 00 мин по среднему Гринвичскому времени (СГВ). Если информация за этот срок по каким-либо причинам отсутствует, то используются изображения за ближайший синоптический срок.

Определение координат центров ТЦ осуществляется с точностью 0,1 градус.

После снятия координат центров всех выявленных за данные сутки ТЦ, независимо от стадии их развития, формируется телеграмма в международной кодовой форме «VORTEX».

Телеграмма «VORTEX» поступает в сформированную на одном из оперативных серверов НИЦ «Планета» файловую БД.

В БД заносятся координаты центров только ТЦ. Координаты многочисленных депрессий, не получивших дальнейшего развития и существующих, как правило, не более 1–3 суток, в БД не заносятся.

Существует три варианта телеграмм «VORTEX»:

1. Телеграммы с координатами центров тропических циклонов.
2. Телеграммы со стандартным текстом «VORTEX NIL» – когда тропические циклоны отсутствуют.
3. Телеграммы со стандартным текстом «LACK OF DATA» – когда по каким-либо причинам отсутствует исходная спутниковая информация (выход из строя бортовой или наземной аппаратуры, нарушение линий связи и т. п.).

1.2. Методика расчета и построения тематических карт, таблиц, гистограмм и анимационных продуктов (этап 2)

На втором этапе используются данные файловой БД.

Предметом анализа и рассмотрения на втором этапе являются траектории движения ТЦ от начала его зарождения до заполнения.

Эта задача реализуется по следующему алгоритму. Для заданного временного диапазона происходит последовательный просмотр всех занесенных в БД координат центров ТЦ. Для каждой текущей точки от начала заданного периода устанавливается связь ее с координатами одной из точек из последующих суток, удовлетворяющей трем критериям:

- обе точки должны находиться в одном полушарии;
- скорость смещения циклона между двумя потенциально связанными точками не должна превышать заданного порога. По умолчанию установлен порог в 50 км/ч, но при необходимости его можно менять;
- не существует другой точки-претендента из текущих суток, для которой анализируемая точка из последующих суток была бы наиболее оптимальным продолжением траектории движения ТЦ.

Найденная точка добавляется в траекторию движения ТЦ. После этого она начинает считаться текущей и уже для нее из следующих суток подыскиваются по тем же критериям координаты следующей точки. Эта процедура повторяется для каждого выявленного ТЦ.

Может возникнуть ситуация, когда по каким-либо причинам в один из дней рассматриваемого периода данные о координатах центров ТЦ могут отсутствовать. В этом случае, как исключение, точка-претендент на продолжение траектории определяется не в следующих сутках, а через сутки. Но если и в этих сутках информация о центрах ТЦ отсутствует, построение траектории ТЦ прекращается.

Из всех построенных траекторий ТЦ удаляются те, которые содержат менее трех точек (как правило, это тропические возмущения или депрессии).

Поскольку траектория движения ТЦ охватывает период от нескольких суток до двух-трех недель, то для того, чтобы в дальнейшем учесть все траектории ТЦ, попадающие в рассматриваемый период, диапазон анализируемых данных о центрах ТЦ расширен на 28 суток в обе стороны от рассматриваемого периода.

Необходимо отметить, что в различных национальных гидрометеослужбах созданы и используются расчетные модели и компьютерные технологии, которые позволяют в автоматическом режиме получать прогноз эволюции и траекторий перемещения тропических циклонов.

Например, в США это глобальные модели GFS (Global Forecast System, NCEP/NCAR) и ECMWF (Integrateg Forecast System); оперативные региональные модели Франции – ALADIN Reunion и Англии – UM (the Unified Model), а также прогностические модели Японского Метеорологического Агентства. Сравнительный анализ результатов применения

описываемой методики и зарубежных автоматизированных систем показывает, что в последнем случае ошибки в расчете прогноза траекторий перемещения тропических циклонов случаются гораздо чаще и бывают довольно значительны.

2. Виды информационной продукции

Полученные выше данные являются основой для формирования последующих информационных продуктов для мониторинга ТЦ. К ним относятся:

1. Глобальная карта траекторий движения тропических циклонов.
2. Таблица количественных характеристик движения тропических циклонов.
3. Карта траекторий движения тропических циклонов по Тихому океану.
4. Карта траекторий движения тропических циклонов по Индийскому океану.
5. Карта траекторий движения тропических циклонов по Атлантическому океану.
6. Глобальная карта повторяемости тропических циклонов.
7. Глобальная карта очагов возникновения тропических циклонов.
8. Гистограммы годового хода среднемесячных характеристик движения тропических циклонов.
9. Гистограммы межгодовой изменчивости характеристик движения тропических циклонов.
10. Гистограммы многолетних среднемесячных характеристик движения тропических циклонов.
11. Анимационные файлы с изображением вращающегося вокруг своей оси ТЦ одновременно в трех спектральных каналах (ТВ, ИК, ВП) с фиксированным центром циклона в центре кадра (смещение координатной сетки относительно центра тропического циклона указывает на его движение).
12. Анимационные файлы с изображением в одном из спектральных каналов движущегося тропического циклона в заданном регионе (на период жизненного цикла ТЦ).
13. Монтаж космических изображений тропического циклона на всех стадиях развития (демонстрационная карта).

Первые десять видов продукции реализуются программным комплексом «PlanetaMeteo». Информационные продукты, перечисленные в пунктах 11–13, – программным комплексом «PlanetaGS2».

Отличие методики мониторинга тропических циклонов, используемой НИЦ «Планета», от зарубежных состоит в том, что она позволяет получать более обширный перечень выходной продукции, так как некоторые виды этой продукции отсутствуют в зарубежных НГМС и готовятся только в

НИЦ «Планета», например глобальная карта повторяемости тропических циклонов, анимационные файлы тропического циклона в трех спектральных каналах: ТВ, ИК и ВП (водяного пара), построение таблицы с количественными характеристиками движения тропических циклонов.

На рис. 2–6 представлены некоторые из перечисленных видов информационной продукции по результатам космического мониторинга тропических циклонов.

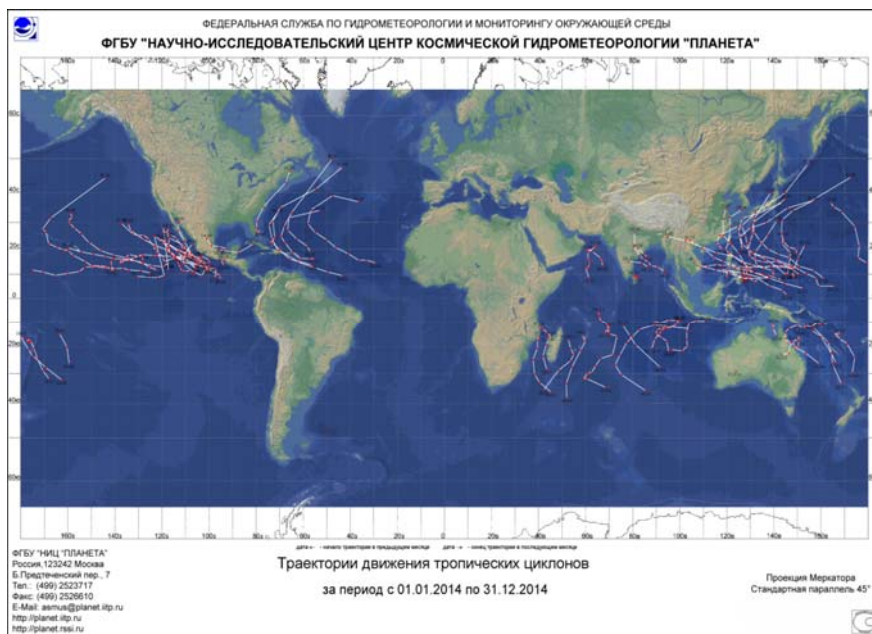


Рис. 2. Глобальная карта траекторий движения тропических циклонов.
Fig. 2. Global map of tropical cyclone tracks.

Заключение

Рассмотренная методика основана на многолетних данных наблюдений с космических спутников за тропическими циклонами с использованием программных комплексов «PlanetaMeteo» и «PlanetaGS2» [2]. Она предназначена для специалистов, осуществляющих ежедневный контроль тропической зоны земного шара с целью обнаружения тропических циклонов, а также занимающихся прогнозированием эволюции и траекторий движения тропических циклонов, возможности их выхода на дальневосточные регионы России.

Полученные данные космического мониторинга тропических циклонов и их своевременное доведение до органов власти различных уровней позволят своевременно принимать управленческие решения по снижению неблагоприятного воздействия тропических циклонов.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФГБУ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ "ПЛАНЕТА"

Океаны	Тихий океан (северо-запад)	Тихий океан (северо-восток)	Тихий океан (южное полушарие)	Индийский океан (северное полушарие)	Индийский океан (южное полушарие)	Атлантический океан (северное полушарие)	Атлантический океан (южное полушарие)	По трем океанам (северное полушарие)	По трем океанам (южное полушарие)	
Общее количество наземных циклонов	20	22	10	6	12	8	-	56	22	
Скорость движения циклонов (км/час)	Средняя	21.0	15.4	17.6	11.0	16.8	23.3	-	18.2	17.1
	Max	49.9	45.9	46.6	28.3	47.6	49.8	-	49.9	47.6
	Min	3.0	1.3	0.6	2.8	3.3	3.7	-	1.3	0.6
Продолжительность существования циклонов (сутки)	Средняя	7.4	7.6	4.7	4.5	6.2	5.8	-	6.9	5.5
	Max	13.9	21.0	12.0	8.0	11.0	9.5	-	21.0	12.0
	Min	3.7	1.5	1.6	2.0	2.9	2.3	-	1.5	1.6
Путь тропический циклонов (тысячи км)	Средняя	3.7	2.8	1.9	1.2	2.5	3.3	-	3.0	2.2
	Max	8.8	9.5	3.9	2.5	5.8	6.0	-	9.5	5.8
	Min	0.6	0.4	0.6	0.2	0.9	1.1	-	0.2	0.6
Широта зарождения циклонов (градусы)	Средняя	10.5	12.9	-14.5	11.8	-11.9	17.4	-	12.6	-13.1
	Max	20.0	17.2	-18.4	16.9	-16.1	26.6	-	26.6	-18.4
	Min	1.4	8.0	-10.7	8.4	-8.8	9.2	-	1.4	-8.8
Широта разрушения циклонов (градусы)	Средняя	26.3	23.4	-26.3	18.7	-25.9	33.1	-	25.3	-26.0
	Max	48.3	36.9	-33.6	26.4	-38.2	46.5	-	48.3	-38.2
	Min	6.8	9.0	-15.6	9.4	-9.7	21.7	-	6.8	-9.7
Широта точки возврата циклонов (градусы)	Средняя	21.6	21.0	-15.1	16.9	-20.2	26.8	-	22.2	-17.6
	Max	30.0	27.4	-17.8	21.2	-33.5	30.4	-	30.4	-33.5
	Min	9.4	13.9	-12.2	12.6	-11.5	19.6	-	9.4	-11.5

ФГБУ "НИЦ "ПЛАНЕТА"
Россия, 123242 Москва
Б. Прудненский пер., 7
Тел.: (499) 2523717
Факс: (499) 2529610
E-Mail: asimov@planet.itp.ru
<http://planet.itp.ru>
<http://planet.nsi.ru>

Количественные характеристики движения тропических циклонов за период с 01.01.2014 по 31.12.2014

Рис. 3. Глобальная таблица характеристик движения тропических циклонов.
Fig. 3. Global chart of tropical cyclone tracks features.

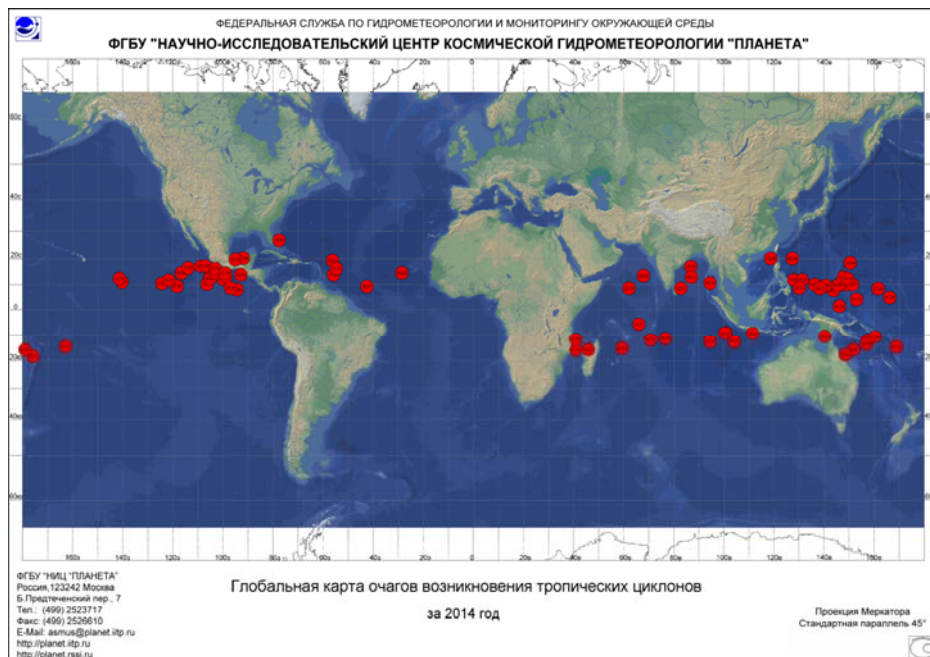


Рис. 4. Глобальная карта очагов возникновения тропических циклонов за 2014 г.
Fig. 4. Global map of tropical cyclone centers in 2014.

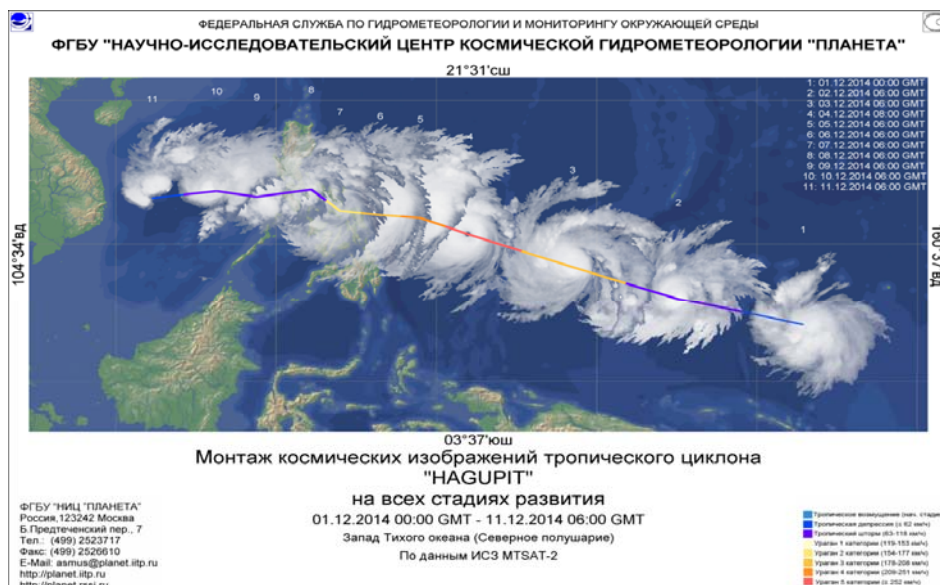


Рис. 5. Монтаж космических изображений тропического циклона «HAGUPIT» с нанесенной траекторией движения.
Fig. 5. Satellite images mosaics of tropical cyclone «HAGUPIT» with its tracks.

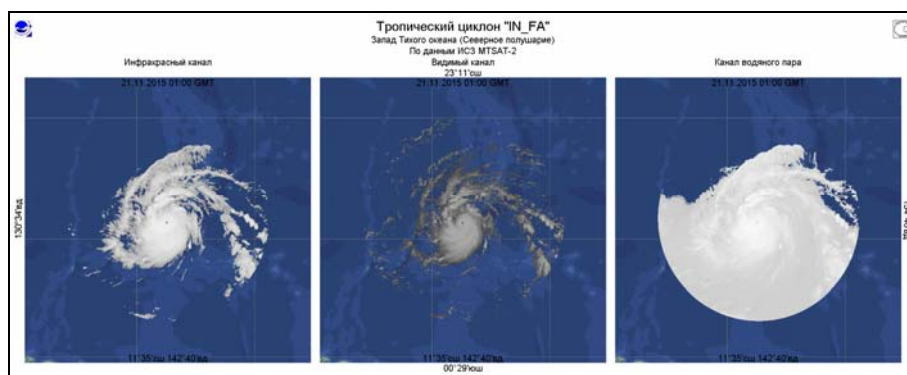


Рис. 6. Анимационные файлы с изображением тропических циклонов одновременно в трех спектральных каналах (ТВ, ИК, ВП).
Fig. 6. Animated images of tropical cyclone in three spectral channels (VIS, IR, WV).

Список литературы

1. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды // Под ред. И.П. Ветлова и Н.Ф. Вельтищева. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 300 с.

2. Воронин А.А., Еремеев В.В., Иоффе Г.М., Кровотынцев В.А., Кузнецов А.Е., Милехин О.Е., Соловьев В.И. Компьютерные технологии формирования гидрометеорологических карт по спутниковым изображениям // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 24-35.

3. Olander T.L., Velden C.S. The Advanced Dvorak Technique (ADT) – continued development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity using geostationary infrared satellite imagery // J. Atm. Ocean. Tech. 2007. P. 287-298.

References

1. *Rukovodstvo po ispol'zovaniyu sputnikovykh dannykh v analize i prognoze pogody* (Guide to using satellite data in weather analysis and forecasting), Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1982, 300 p.

2. Voronin A.A., Eremeev V.V., Ioffe G.M., Krovotyntsev V.A., Kuznetsov A.E., Milekhin O. E., Solov'ev V. I. Komp'yuternye tekhnologii formirovaniya gidrometeorologicheskikh kart po sputnikovym izobrazheniyam [Computer technologies of creating hydrometeorological maps from satellite images]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth Observation and Remote Sensing], 2009, no. 4, pp. 24-35.

3. Olander T.L., Velden C.S. The Advanced Dvorak Technique (ADT) – Continued Development of an Objective Scheme to Estimate Tropical Cyclone Intensity Using Geostationary Infrared Satellite Imagery. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2007, pp. 287-298.

*Поступила в редакцию 06.08.2018 г.
Received by the editor 06.08.2018.*