

Разработка и апробация методики анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы

Г.А. Ким

*Научный центр аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»
105064 Москва, Гроховский пер., 4
E-mail: kimursul@gmail.com*

В работе представлена методика анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов, таких как тропические циклоны, по данным прибора AMSR-E на примере нескольких тропических возмущений, а также проведены расчеты на ее основе, что позволило более точно отработать механизмы расчета, а также понять определяющие факторы, влияющие на данный анализ. Методика позволяет оценить энергию тропического циклона, а также оптимизировать этот процесс, и включает в себя три ветви: исследование отдельного образования на различных стадиях его эволюции, исследование взаимодействия двух и более циклонов, и расчет энергетических параметров отдельной зоны тропического циклогенеза и/или всей внутритропической зоны конвергенции. Таким образом, исследуется зона внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) и процессы в ней, что является промежуточным подходом к изучению тропического циклогенеза, объединяющим в себе элементы как глобального, так и локального подходов.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Ключевые слова: тропический циклон, атмосфера, методика, мезомасштабный процесс, энергия тропического циклона.

Обоснование, цели и суть методики

Поскольку тропическая зона Земли играет особую роль в развитии глобальной термодинамической системы поверхность-атмосфера и является эффективным механизмом сброса избыточного тепла, то одним из важнейших направлений в исследованиях тропического циклогенеза является оценка величины скрытой теплоты, явной и кинетической энергии тропического циклона для разных стадий его образования (Hoffman et al., 2006; Gray, 1975; Бондур и др., 2008; Шарков и др., 2008).

Как было установлено в работах (Шарков и др., 2008, 2009), основным источником разрушительной силы тропического циклона является область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной циклоном из тропической зоны с муссонной циркуляцией атмосферы и сохраненной им на протяжении всего этапа его эволюции. Поэтому для оценки энергии тропического циклона будем производить расчет количества скрытой теплоты водяного пара, содержащегося во ВЗК, поскольку она наиболее полно отражает процессы энергетического преобразования, проходящие в тропической зоне.

Одним из важных аспектов дистанционного исследования тропической зоны системы океан-атмосфера является изучение термогидродинамической структуры интенсивных вихревых возмущений и поиск малоинерционных и мощных энергетических источников, при поддержке которых происходит формирование и интенсификация зрелых форм тропических циклонов. Эта проблема тесно связана с задачей

изучения возможных вариаций климата планеты (Шарков и др., 2008; Бондур и др., 2009; Бондур, 2000).

В соответствии с комплексной методикой проведения исследований можно выделить следующие этапы:

- Занесение информации в базу данных.
- Проведение расчета энергии.
- Визуализация полученных результатов.
- Анализ полученных результатов.

Таким образом, целью исследования была разработка эффективной методики количественной оценки энергии тропического циклона по собранным и систематизированным спутниковым данным.

Исходные данные и первичная обработка

Для разработки данной методики были использованы:

- траекторные данные тропических циклонов (БД «Глобал-ТЦ»);
- траекторные и метеорологические параметры базы данных «Аэрокосмос»;
- снимки видимого и ИК-диапазонов геостационарного спутника METEOSAT-7 (www.eumetsat.int) на акватории Индийского океана;
- данные о содержании водяного пара и облачной влаги прибора микроволновых комплексов AMSR-E спутника AQUA (www.remss.com), обновляющиеся в реальном режиме времени.

Исходные данные о содержании водяного пара в атмосфере были представлены в виде архивов бинарных файлов. На начальном этапе выполнялись следующие действия:

- скачивание архива бинарного файла;
- считывания данных в массивы среды программирования MATLAB;
- слияние нисходящих и восходящих витков, интерполяция недостающих данных для восстановления полной картины, а также выделение зон ливневых осадков, в которых отсутствовали данные о водяном паре;
- выравнивание интерполированных данных по координатам и времени.

Более подробное описание этой методики представлено в работах (Шарков и др., 2008, 2011).

Таким образом, был получен массив данных содержания водяного пара для всей акватории Мирового океана, где один пиксель соответствовал площади на водной поверхности от 10 до 28 км. В таком виде данные поступали в базу данных, и уже оттуда попадали на дальнейшую обработку.

Разработка методики

Для того чтобы посчитать энергию тропического циклона и оценить его вклад в общую энергетику ВЗК, нужно выделить область тропического циклона. То есть решить задачу выбора оптимального критерия распознавание тропического циклона, а, следовательно, области интегрирования водяного пара.

Рассмотрим следующие варианты решения задачи выделения области интегрирования.

В продуктах AMSR-E помимо данных об интегральном содержании водяного пара содержатся данные по облачности, которые могут быть использованы для определения области интегрирования. Как известно, тропический циклон хорошо виден из-за его характерной облачной структуры. Представим облачные образования в виде маски облачности и будем изменять пороговое значения этой маски. Попробуем по ней найти оптимальное значение порога, при котором выделяется область, приуроченная к тропического циклону.

Очевидно, что область водяного пара часто приурочена, но не совпадает с тем, что мы видим на маске облачности. Это естественно, поскольку облачная влага является уже результатом конденсации, а нас в данном исследовании интересует именно водяной пар. Тем не менее, в дальнейшем необходимо учесть и ту энергии, которая выделяется и поглощается в ходе агрегатных преобразований воды, а также и значение осадков, выпадающих в зоне жизнедеятельности тропического циклона и ВЗК.

Оценим пороговое значение для маски облачности, при котором облачное образование можно считать циклоном. Для этого был построен ряд изображений с различными пороговыми значениями облачности. Визуально оценивая полученный ряд изображений можно сделать вывод о том, что наилучшим пороговым значением является значение 6. Это минимальное значение, при котором начинает вырисовываться глаз тайфуна.

На ранних этапах генезиса тропического циклона идентификация области водяного пара, сопровождающая его, трудно распознаваема от зоны водяного пара внутритропической зоны конвергенции, то есть от области своего энергетического «питания». Для того чтобы разрешить эту задачу, использовались изображения ИК диапазона, полученные с геостационарного спутника METEOSAT-7, поскольку в ИК области спектра циклон распознается по структурным особенностям облачных масс.

Метод порогового значения для водяного пара

Вторым критерием выделения циклона послужило пороговое значение водяного пара, ниже которого интересующее нас образование циклоном не являлось. Таким образом, на основании вышеперечисленных критериев выбиралась область интегрирования, по которой производился расчет интегрального содержания водяного пара с получением общего содержания пара (в миллиметрах) в зоне водяного пара, сопровождающего тропический циклон.

В данном методе в качестве критерия обнаружимости циклона берется пороговое значение.

Перевод полученных значений количества влаги в величину скрытой энергии проводится исходя из следующих предположений: осажденный водяной пар толщиной в 1 мм (по исходным данным) соответствует с учетом плотности воды в 1 г/см³ массе воды в 1 кг на площади в 1 м² или 106 кг на площади в 1 км². С другой стороны, известно, что удельная теплота фазового перехода воды составляет 2,5 × 10⁶ Дж/кг. Таким образом, при толщине осажденного пара в 1 мм величина скрытой теплоты конденсации составит 2,5 × 10¹² Дж на площади в 1 км² (Шарков и др., 2008).

Площадь зоны счета из пикселей, в которых она была представлена в исходном массиве данных, была переведена в км. кв., для чего был рассчитан массив перевода площади.

В результате всех этих шагов были получены значения энергии (Дж) тропического циклона для всех стадий его эволюции.

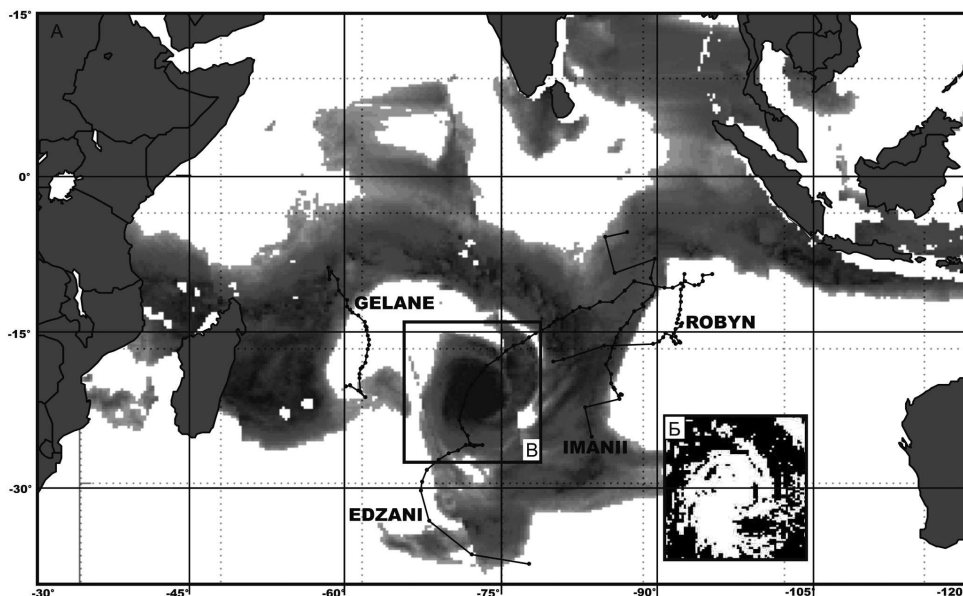


Рис. 1. Траектории исследуемых тропических циклонов. А – на фоне представлены данные о водяном паре для ТЦ EDZANI за 9 января 2010 г.; Б – маска облачности; В – приблизительная расчетная область для водяного пара

Блок-схема методики

Наглядное полное отображение методики в виде блок-схемы представлено на рис. 2. Методика анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы разрабатывалась в расчете на обработку большого числа данных. По полученным в результате исследования графикам и схемам визуализации можно сделать вывод о том, как развивался и откуда брал энергию конкретный циклон, то есть можно сказать, что это частный случай локального подхода к исследованию тропических возмущений. Но, поскольку, одной из целей разрабатываемого подхода было объединение данных на различных уровнях пространственной и иной дифференциации, то по данной методике можно пройти на другой уровень – от частного к общему. Для этого необходимо провести исследования потока событий (глобальный подход), то есть нужно исследовать в соответствии с этой методикой достаточно большое число циклонов, которое будет пригод- но для дальнейшей статистической обработки.

Апробация методики оценки энергии ТЦ

На примере отдельного циклона

Проведем апробацию методики исследования энергетических особенностей тропического циклона, и теперь возможно на различных уровнях пространственной дифференциации. Как и в общем изучении тропического циклогенеза, в изучении энергетических особенностей можно выделить локальный, региональный и глобальный подходы, что продемонстрировано на нижней части на рис. 2, на котором представлена схема разделения исследований.

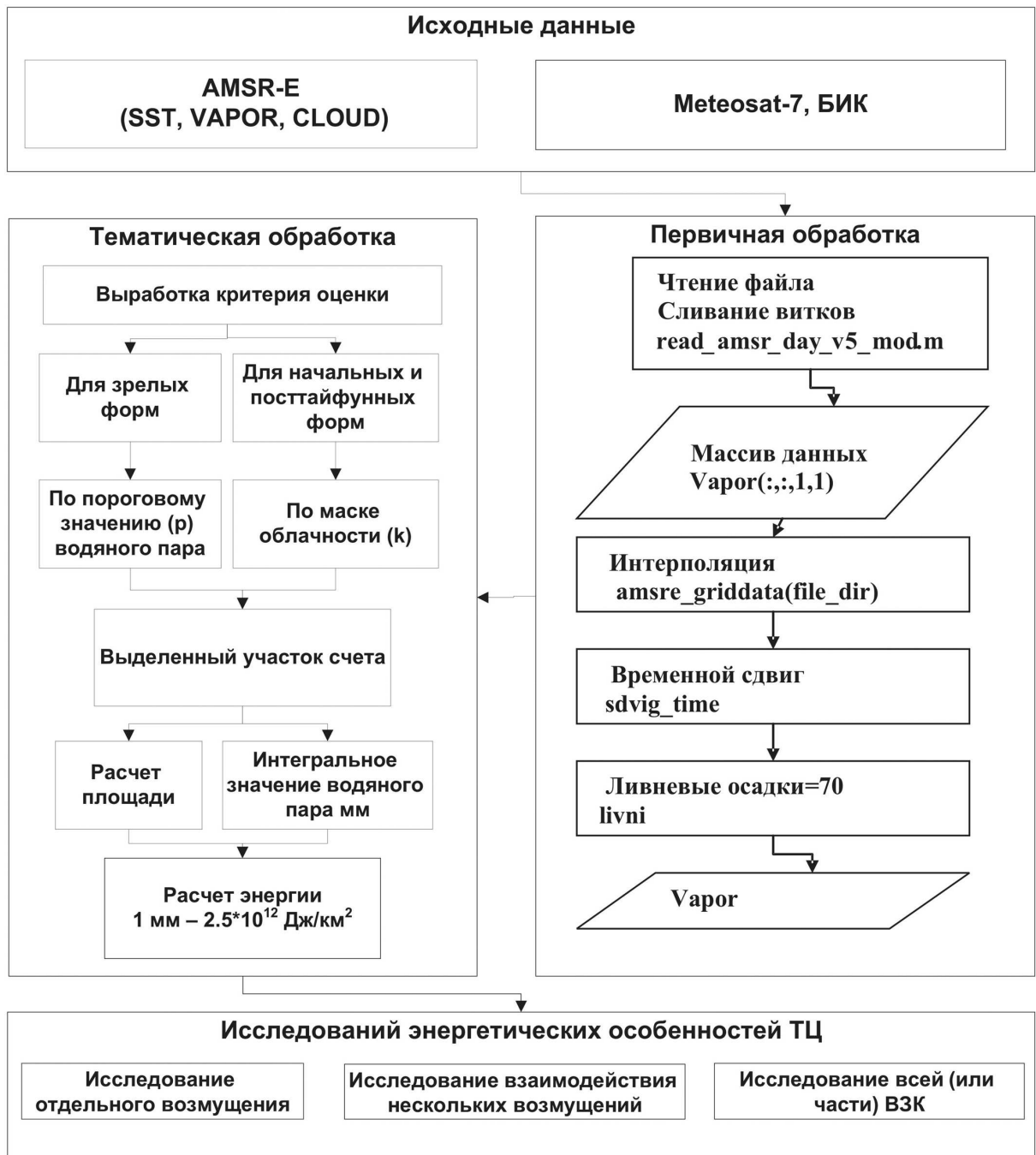


Рис. 2. Блок-схема методики анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы

Так в первом блоке изучается отдельное циклоническое образование, ниже будут приведены в качестве примера результаты расчета энергии для отдельных возмущений. Во втором блоке изучаются особенности взаимодействия двух тропических возмущений (см. работы Шаркова и др. (2008, 2009)). И, наконец, в последнем блоке глобального изучения энергетических особенностей рассматривается взаимодействия всей внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) и/или ее части.

Для апробации методики был выбран ураганный сезон в южной части Индийского океана за 2010 год.

Исследуемые тропические циклоны сформировались в тропической зоне экватории Южного Индийского океана из уровня ТЛ, затем быстро интенсифицировались до уровней

T и STS в зоне среднего значения интегрального водяного пара акватории Индийского океана и с небольшой задержкой по времени вышли в предантарктическую зону Индийского океана.

На рис. 1 приведены траекторные данные исследуемых тропических циклонов, а в таблице 1 данные о каждом из них.

Таблица 1. Краткие сведения об исследуемых объектах

Имя циклона	Дата начала	Дата окончания	Время жизни (дней)	Min давление (мбар)
EDZANI	1.01.2010	15.01.2010	14	922
GELANE	14.02.2010	22.02.2010	8	937
IMANI	10.03.2010	29.03.2010	19	974
ROBYN	01.04.2010	12.04.2010	11	978

На рис. 3 представлены результаты расчетов энергии для каждого из рассматриваемых тропических возмущений, а также приуроченные к ним области водяного пара, прошедшие пороговую обработку.

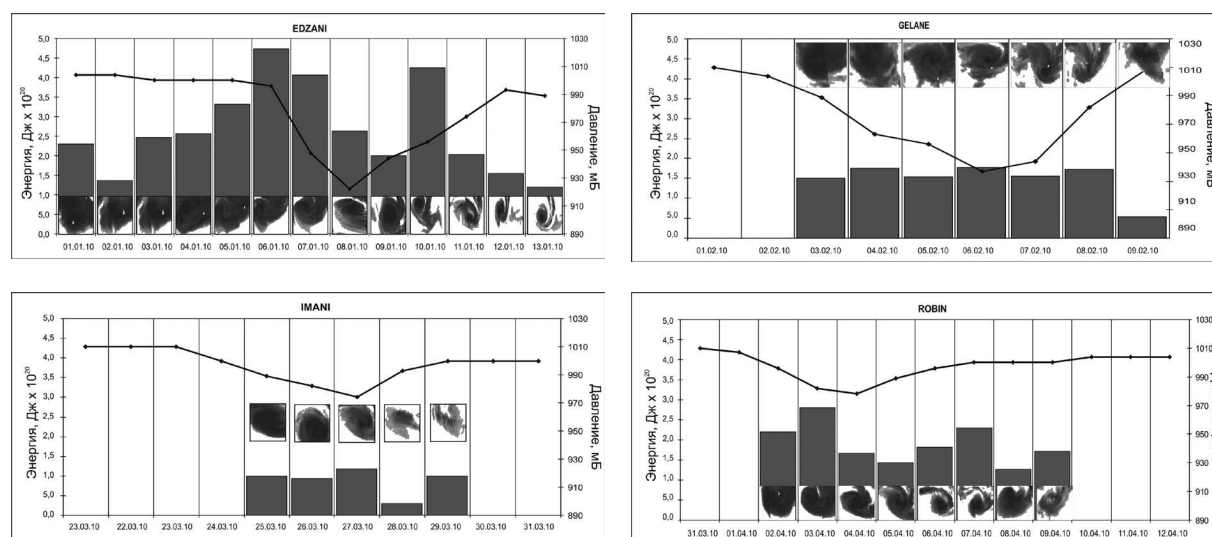


Рис. 3. Результаты расчета энергии для отдельных тропических циклонов

Расчет всей зоны ВЗК в Индийском океане

Следующим этапом апробации разработанной методики было ее тестирование на части ВЗК Индийского океана в период генерации тропических циклонов. Область А на рисунке 1 иллюстрирует ту часть зоны, по которой производился расчет. Были просчитаны данные за период с 1 января по 30 апреля 2010 года. Данные за этот период представлены на рисунке 4, где представлены также энергетические вклады тропических циклонов, рассчитанных на предыдущем этапе апробации методики.

Соотнеся площадь рассчитываемой области, которая составляет порядка 10 млн. км. кв. и площадь одного циклона – порядка 5 млн. км. кв, в то время как энергия всей зоны около 2,8 ЗДж, а циклона 0,3-0,5 ЗДж получим, что энергия ТЦ в меньше энергии ВЗК в 6 раз, в то время как площадь меньше в примерно 20 раз.

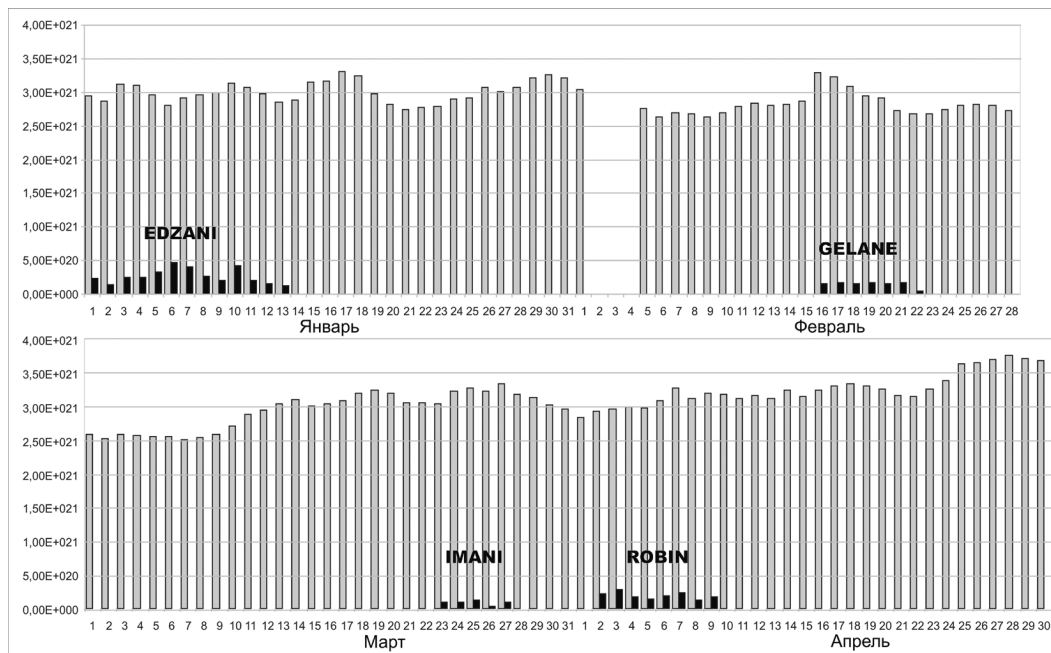


Рис. 4. Результаты расчет энергии части ВЗК в период с 1 января по 30 апреля 2010 г. и вклад отдельных циклонов за этот период

Из этого можно сделать вывод о том, что потенциальная энергия в тропиках огромна, но лишь упорядоченная структура типа тропического циклона способна аккумулировать ее на себя, перетягивая и неся с собой (модель «верблюда» (Шарков и др., 2008), переводя скрытую энергию водяного пара в разрушительную энергию тропического циклона.

Заключение

В ходе исследования была разработана методика анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы, которая включает в себя три ветви: исследование отдельного образования на различных стадиях его эволюции, исследование взаимодействия двух и более циклонов, и расчет энергетических параметров отдельной зоны тропического циклогенеза и/или всей внутритропической зоны конвергенции. Таким образом, были исследованы зона ВЗК и процессы в ней, что является промежуточным подходом объединяющим в себе элементы как глобального, так и локального подходов.

Также была проведена апробация и верификация разработанной методики анализа энергетических особенностей по данным прибора AMSR-E на примере нескольких тропических циклонов, что позволило более точно отработать механизмы расчета, а также понять определяющие факторы, влияющие на данный анализ. Методика позволяет оценить энергию тропического циклона, а также оптимизировать этот процесс.

На основе исследования эволюций тропических циклонов экспериментально подтверждается один из главных энергетических источников функционирования тропического циклона (Шарков и др., 2008) – область водяного пара повышенной интегральной концентрации, захваченной циклоном из тропической зоны, и сохраняемой им на протяжении всего этапа его жизни.

Литература

1. Астафьева Н.М., Покровская И.В., Шарков Е.А. (1994) Иерархическая структура глобального тропического циклогенеза // Исследование Земли из космоса. 1994. № 2. С. 14-23.
2. Бондур В.Г. (2000) Методы моделирования полей излучения на входе аэрокосмических систем дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса, 2000. № 5. С. 16-27.
3. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. (2009) Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. - М.: Научный мир, 2009. – 692 с.
4. Бондур В.Г., Пулинец С.А., Узунов Д. (2008) Воздействие крупномасштабных атмосферных вихревых процессов на ионосферу на примере урагана Катрина // Исследование Земли из космоса, 2008. № 6. С. 3-11.
5. Ким Г.А., Покровская И. В., Шарков Е. А. (2006) Глобальный тропический циклогенез: широтное распределение энергозапаса по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса, 2006. Т. 1. № 3. С. 287-295.
6. Покровская И.В., Шарков Е.А. (2001) Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 (1983-2000). Москва, Полиграф сервис, 2001. – 548 с.
7. Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. (2008) Эволюция тропического циклона GONU и его связь с полем интегрального водяного пара в экваториальной области // Исследование Земли из космоса, 2008. № 6. С. 12–16.
8. Шарков Е.А., Ким Г.А., Покровская И.В. (2011) Эволюция тропического циклона HONDO в поле экваториального водяного пара с использованием мультиспектрального подхода // Исследование Земли из космоса, 2011. № 1. С. 22-29.
9. Шарков Е. А., Покровская И. В. (2009) Особенности региональных тропических циклогенезов в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. Вып. 6. Т. 2. С. 259–265.
10. Hoffman, R.N., Henderson, J.M., Grassotti, C., Leidner, S.M., and Nehr Korn T. (2006) // J. Atmos. Sci., 2006, V. 63, P. 1924-1937.
11. Gray M. (1975) Tropical cyclone genesis // Atm. Sci. Colo. State Univ.–1975.– № 234.–119 p.

Developing and testing of the method for analyzing the energy characteristics of hazardous mesoscale processes in the atmosphere and hydrosphere

G.A. Kim

*Scientific Center of Aerospace Monitoring “Aerocosmos”, Moscow
4, Gorokhovskiy lane, 105064, Moscow
E-mail: kimursul@gmail.com*

The article presents the method for analyzing the energy characteristics of hazardous mesoscale processes, such as tropical cyclones, using microwave satellite data obtained by AMSR-E. In the work presented the calculations were carried out for several tropical disturbances. The calculation method was more accurately worked out. The factors affecting the analysis performed were determined. The method allows estimating the energy of a tropical cyclone and optimizing the calculations. It is divided into three directions: the study of the evolution of a tropical cyclone, study of the interaction of two or more cyclones, and the calculation of the energy parameters of some or all areas of intertropical convergence zone (ICZ). Thus the method includes elements of both global and local approaches to studying of tropical cyclogenesis.

Keywords: tropical cyclones, atmosphere, method, mesoscale processes, the energy of a tropical cyclone.