

Мезомасштабная структура тропических циклонов

М.С. Пермяков, Е.Ю. Поталова

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильинчёва ДВО РАН

E-mails: gata@poi.dvo.ru, permyakov@poi.dvo.ru

В статье приведены результаты исследования мезомасштабной структуры восьми тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана 2002–2007 гг. по данным измерений скорости и направления приводного ветра скаттерометром SeaWinds со спутника QuikSCAT (SeaWinds/QuikSCAT) и метеорологических данных реанализа JRA-25. Рассматривались разные стадии эволюции ТЦ – от зарождения и начала развития до редко изучаемых стадий трансформации во внутротропический циклон и заполнения. Мезовихри связывались с областями локальных максимумов вихря приводного ветра. Во всех случаях первому сообщению о ТЦ предшествовало скопление мезомасштабных вихрей, наблюдаемое в разных случаях за период от 12 часов до 3,5 суток до первого сообщения. В процессе формирования циклона интенсивность мезовихрей в целом возрастала, их количество уменьшалось за счет слияния, а область, занимаемая ими, сужалась. В период заполнения ТЦ наблюдалось разбегание мезомасштабных вихрей и уменьшение их интенсивности.

Ключевые слова: мезомасштабные атмосферные вихри, тропические циклоны, скаттерометры.

Введение

Мезомасштабные вихри представляют собою неотъемлемый элемент крупномасштабных атмосферных систем, таких как тропические возмущения и циклоны. Такие вихри, образующиеся при дроблении тропических облачных систем синоптического масштаба, в некоторых ситуациях способны объединяться в единый вихрь, из которого затем формируется ТЦ (Риль, 1984). В (Ritchie, Holland, 1997; Simpson et al., 1997) отмечается взаимодействие мезовихрей с фоновым потоком и между собой при усилении тропической депрессии и формировании циклона. Поэтому изучение характеристик мезовихрей и их связей с крупномасштабными структурами представляет важную самостоятельную задачу, имеющую и практическое значение с точки зрения прогноза эволюции интенсивных циклонов.

Мезомасштабные вихри просматриваются в полях облачности на спутниковых изображениях в широком диапазоне волн (Jirak et al., 2003; Mapes et al., 2009; Venkatesh, Mathew, 2004). Но как структуры динамические они наиболее четко могут быть выделены в полях относительной завихренности поля ветра (далее – вихря). Источником для получения полей вихря в настоящее время являются данные спутниковых скаттерометров из-за глобального покрытия ими морской поверхности и достаточно высокого пространственного разрешения.

Представленная работа посвящена исследованию мезомасштабной структуры тропических циклонов северо-западной части Тихого океана на различных стадиях эволюции на основе данных по приводному ветру скаттерометра QuikSCAT и полученных по ним полям вихря скорости. Рассматривалась эволюция 8 ТЦ за период от зарождения до максимальной интенсивности и 2 из них – до поздних стадий жизненного цикла. Поскольку

и сами ТЦ в некоторых классификациях атмосферных процессов отнесены к системам мезомасштаба, в настоящей работе мезовихрями считались все структурные элементы в области ТЦ, масштаб которых составлял первые десятые доли от масштаба ТЦ.

Данные и методы

Данные по скорости и направлению приводного ветра, полученные с помощью скаттерометра QuikSCAT, доступны на сайте Remote Sensing Systems (REMSS, <http://www.remss.com>) – утренние и вечерние витки спутника. Векторы ветра приведены к уровню 10 м над поверхностью в предположении нейтральной стратификации приводного слоя и интерполированы в узлы географической сетки с разрешением $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. Погрешность оценок скорости ветра составляет $\sim 1,7$ м/с, его направления $\sim 14^{\circ}$ (Chelton, Freilich, 2005). Для получения сглаженных фоновых полей привлекались данные реанализа Японского метеорологического агентства (JMA, www.jma.go.jp) Japanese 25-year ReAnalysis (JRA-25) с разрешением $1,25^{\circ} \times 1,25^{\circ}$ и дискретностью 6 часов по приземному давлению, скорости и направлению ветра на уровнях 10 м над морской поверхностью и на уровне 850 гПа (Onogi et al., 2007). Выборка данных проводилась в районах зарождения и эволюции 8 тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана в 2002–2007 гг. – Mitag (TY0202), Kujira (TY0302), Parma (TY0318), Haitang (TY0505), Shanshan (TY0613), Kong-Rey (TY0701), Usagi (TY0705) и Fitow (TY0709) (*рис. 1*). Поскольку интересовали, прежде всего, начальные стадии эволюции, выбирались только те циклоны, период формирования и развития которых проходил над открытыми районами океана вдали от крупных участков суши. При этом ТЦ должны были покрываться полосой сканирования скаттерометра. Из них полный жизненный цикл удалось проследить у 2 ТЦ – Mitag и Parma. Характеристики ТЦ – дата/время и координаты расположения центра, минимальное приземное давление и максимальная скорость ветра были получены из архива JMA – The RSMC Tropical Cyclone Best Track. Все выбранные циклоны в своей эволюции достигали интенсивности тайфунов, а половина из них – Mitag, Kujira, Parma, Haitang – супертайфунов. Период выборки для каждого циклона составил от нескольких суток до первого сообщения до максимального развития ТЦ. Выделение мезомасштабных вихрей, оценка их координат и интенсивности проводились по полу вихря приводного ветра. Вихрь скорости ветра вычислялся по составляющим ветра на сетке в сферических координатах с использованием центральных разностей для производных (5-точечный шаблон). Для восполнения пробелов данных, связанных с наличием островов, использовалась линейная интерполяция по значениям в окружающих узлах. Поля вихря сглаживались с помощью функции сглаживания с гауссовым ядром с масштабом 75 км. Мезомасштабные структуры выделялись в полях вихря значительными отклонениями от фоновых или сглаженных на масштабе ТЦ значений. Координаты и интенсивность отдельных мезовихрей определялись положением и амплитудой экстремумов в полях завихрённости, которые оценивались с использованием локальной (на шаблоне 3×3) аппроксимации поля вихря поверхностью второго порядка (параболоидом). Для дальнейшего анализа брались только циклонические вихри, интенсивность которых превышала погрешность

оценок вихря, принятую равной $5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ (это несколько ниже шумового порога оценки вихря, получаемого по соотношению погрешности ветра $\sim 1 \text{ м/с}$ и расстояния между узлами сетки данных $\sim 25 \text{ км}$). Отдельные вихри отделялись от линейных структур по отношению осей эллипса (менее 10), получающегося пересечением аппроксимирующего параболоида и горизонтальной плоскости на уровне половины амплитуды экстремума. Естественно предполагать, что основные параметры мезоструктуры ТЦ определяются его стадией развития и интенсивностью. Чтобы проследить такую изменчивость мезоструктуры, выбирались данные в характерные моменты эволюции ТЦ, соответствовавшие той или иной стадии развития, которые определялись по данным JMA. В архивах JMA информация о каждом ТЦ дается с определенного момента, когда ТЦ, как правило, уже имеет интенсивность тропической депрессии. Но к этому моменту циклон уже может существовать как слабое тропическое возмущение (или облачный кластер), и этот период можно назвать *периодом зарождения*, а его началом – появление значимых возмущений в поле вихря (или скоплений мезовихрей). В период зарождения данные выбирались в области $\sim 10 \times 10^\circ$ широты с центром, который определялся обратной во времени (от первого сообщения) экстраполяцией координат ТЦ по значениям скорости его перемещения, оцениваемой скоростью ведущего потока – ветра реанализа на уровне 850 гПа. Центр предшествующего возмущения определялся как центр тяжести области положительной завихренности, превышающей указанное выше пороговое значение. Период зарождения ТЦ сменяется *периодом формирования*, началом которого считалось время первого сообщения о ТЦ. Этот период заканчивается в момент *начала развития* ТЦ, за который принималось время максимальной скорости падения давления в центре ТЦ. В стадии развития ТЦ достигает момента *максимального развития*, когда давление в центре ТЦ минимально. Продолжительность стадии *заполнения* определялась таким же принципом, как и стадия зарождения: ТЦ прослеживался до тех пор, пока в поле вихря скорости и приземного давления выделялось возмущение и замкнутая область пониженного давления.

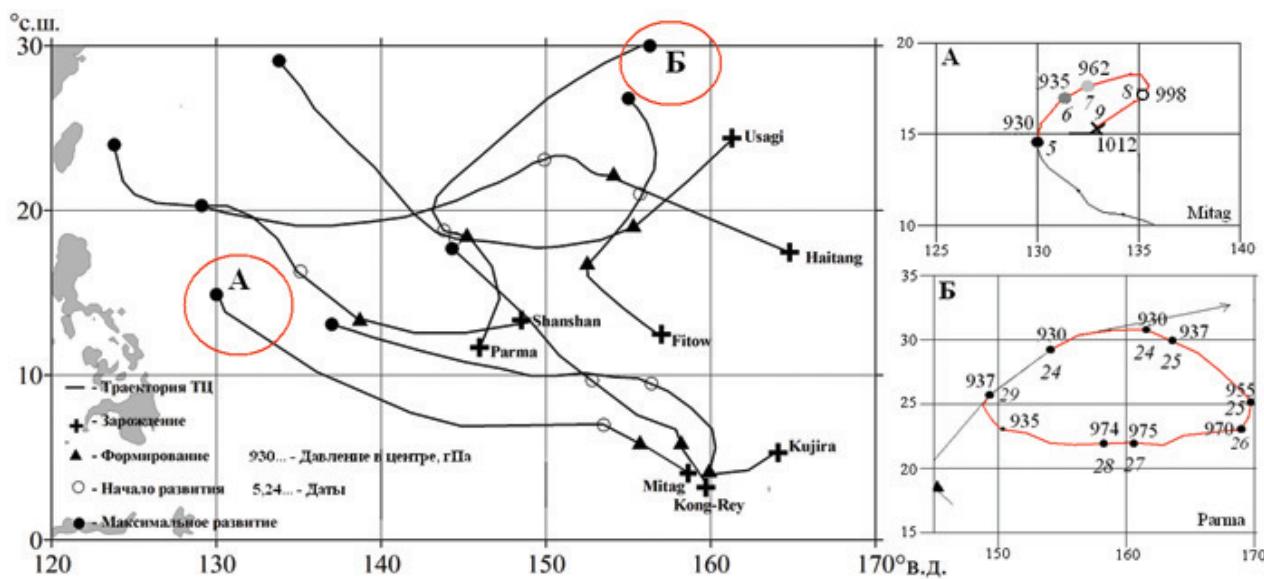


Рис. 1. Участки траекторий тропических циклонов.
Красным выделены периоды заполнения

Участки траекторий соответствующие им точки (точка зарождения, точка формирования, точка начала развития, точка максимального развития, а также периоды заполнения представлены) на *рис. 1*.

Результаты и обсуждение

Как показал анализ, на ранних стадиях эволюции в структуре всех циклонов проявлялись некоторые общие черты, проиллюстрированные на *рис. 2* на примере сборных карт полей приземного давления и положений экстремумов циклонической (положительной) завихренности двух *T – Mitag* и *Haitang*. Так во всех случаях до первого сообщения о тропическом циклоне в полях вихря наблюдались возмущения, проявляющиеся скоплением мезомасштабных вихрей. Как видно из рисунка, скопления эти занимают районы примерно 8° по широте и 10° по долготе. При этом в поле приземного давления в это время могут существовать заметные различия. Так, в ТЦ *Mitag* в стадии зарождения в области пониженного давления (выше 1000 гПа) можно выделить замкнутые изобары, в то время как ТЦ *Haitang* иллюстрирует случай приземного волнового циклона. В начале эволюции ТЦ *Haitang* перемещался быстрее, чем ТЦ *Mitag*, при этом у ТЦ *Haitang* период зарождения составил 12 часов, в то время как у ТЦ *Mitag* этот период продолжался более 2 суток. Значительные различия объясняются фоновыми атмосферными условиями во время зарождения ТЦ. В частности, как показано в (Пермяков и др., 2005), для формирования ТЦ предпочтительнее районы небольших фоновых скоростей ветра, что и наблюдалось в случае ТЦ *Haitang*. ТЦ *Haitang* зародился и формировался на фоне крупномасштабных потоков невысокой скорости ~ 4 м/с. ТЦ *Mitag*, напротив, образовался при большем фоновом ветре ~ 7 м/с, что в некоторой степени объясняет его более медленное формирование. По мере углубления циклонов (*рис. 2*) область, покрываемая мезовихрями, сжимается, концентрируясь в центральной области циклонов примерно на радиусах максимальных ветров, а количество значимых крупных вихрей уменьшается. В полях вихря ТЦ прослеживались за 12–87 часов до первого сообщения, что почти на сутки больше, чем в Атлантическом океане по результатам анализа полей вихря в ураганах 1999 и 2000 гг. (Sharp et al., 2002). Продолжительность стадий эволюции в циклонах различалась в 2,5 и более раз. В момент зарождения тропическое возмущение объединяло в себе 8–15 мезомасштабных вихрей интенсивностью до $\sim 31,5 \times 10^{-5}$ с⁻¹ (*табл. 1*). В процессе формирования число их уменьшалось до 2–6, а средняя интенсивность в целом возрастала, достигая в некоторых случаях более 60×10^{-5} с⁻¹ на максимальной стадии развития. Тенденция уменьшения числа мезовихрей по мере углубления ТЦ была нарушена в одном случае – в ТЦ *Shanshan*, в котором появились четыре новых мезовихря (*табл. 1*), а средняя интенсивность их уменьшилась. Возможной причиной этого могли быть острова – Тайвань и архипелаг Рюкю на пути тайфуна. Даже небольшие участки суши способны значительно изменять конфигурацию и структуру тропических циклонов (Похил, Глебова, 2011).

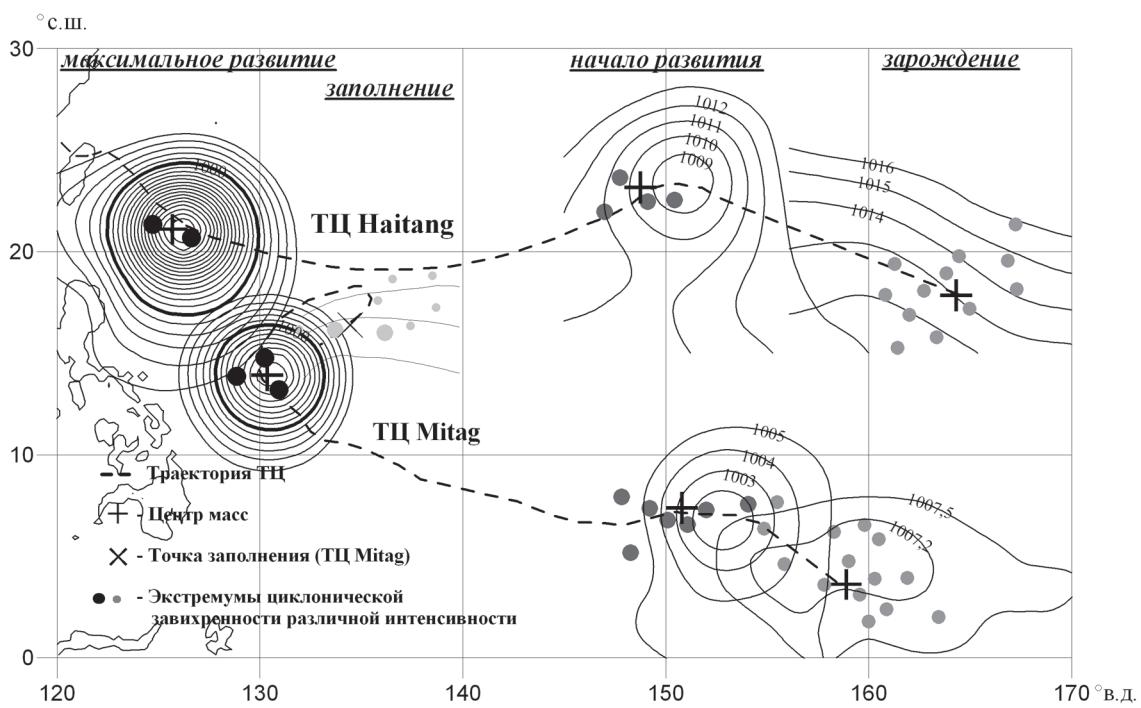


Рис. 2. Мезомасштабная структура тропических циклонов на различных стадиях их эволюции в полях вихря приводного ветра

Таблица 1. Количество и интенсивность (средняя/максимальная, $\times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$) мезовихрей в ТЦ

ТЦ	Зарождение			Формирование			Начало развития			Максимальное развитие		
	Кол-во	Интенсивность		Кол-во	Интенсивность		Кол-во	Интенсивность		Кол-во	Интенсивность	
		Средн.	Макс.		Средн.	Макс.		Средн.	Макс.		Средн.	Макс.
Mitag	14	13,5	31,5	9	14,5	27	7	19,5	34	3	24,5	38
Kujira	8	15	32	8	16	27	4	15,5	32	3	35,5	43
Parma	8	10,5	17	9	10,5	16,5	7	14	25	5	21	31
Haitang	12	13	29,5	6	13,5	27,5	4	16,5	31	2	50	60,5
Shanshan	15	10	21	6	12	23	2	27	38,5	6	21	35,5
Kong-Rey	11	12,5	22	16	12,5	25,5	13	13,5	34,5	6	14,5	25,5
Usagi	9	8,5	12,5	11	10	20,5	5	12,5	17	4	28	61,5
Fitow	9	10	16,5	9	11,5	35	6	16,5	34	3	10	19

В практике изучения ТЦ обычно выпадают из наблюдений стадии заполнения ТЦ или период их трансформации во внутротропические циклоны. Из выбранных ТЦ мезоструктуру на стадии заполнения удалось наблюдать у ТЦ Mitag и Parma. Остальные циклоны либо вышли на сушу, либо не попали в полосы сканирования. Как показали поля вихря, в обоих ТЦ после достижения максимального развития в центральной области прослеживались в целом схожие процессы: уменьшение количества мощных мезовихрей, их расхождение и уменьшение интенсивности.

ТЦ Mitag, достигнув максимального развития у берегов Филиппин, резко свернул на северо-восток и заполнился менее чем через 12 часов после последнего сообщения (*рис. 1.А*). По мере снижения скорости ветра в ТЦ Mitag к моменту заполнения осталось два относительно крупных вихря с интенсивностями $\sim 5,5 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ в сопровождении значительно меньших по размеру вихрей интенсивностью менее $\sim 5 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. В целом вихрь скорости ветра в заполняющемся ТЦ был значительно ниже, чем в тропическом возмущении (*рис. 2*).

Жизненный цикл ТЦ Parma был дольше. Перемещаясь по траектории с петлей (*рис. 1.Б*), ТЦ Parma вышел в высокие широты. Хотя циклон еще был достаточно интенсивным (давление 992 гПа) информация о нем после 1.11.2003 отсутствует. Однако в полях приводного ветра он отчетливо прослеживался как совокупность меховихрей еще 4 суток и в этот период по данным реанализа о приземном давлении циклон постепенно заполнялся. Затем в полях вихря приводного ветра QuikSCAT на периферии области пониженного давления, связанной с заполняющимся циклоном, появился новый мезовихрь, который в течение примерно суток диссирировал, приблизившись к побережью Северной Америки.

В случае ТЦ Parma представляется интересным проследить изменения в его мезоструктуре на периоде его движения по петле. За это время ТЦ достиг максимальной интенсивности, начал заполняться, но претерпел регенерацию (давление упало с 975 до 935 гПа), и, сделав петлю, пошел на северо-восток (*рис. 1.А*). Поля вихря скорости ветра в этот период показаны на *рис. 3*. Из рисунка можно видеть, что на дату наступления максимального развития на нисходящем витке спутника 24.10 (*рис. 3а*) ядро ТЦ Parma представляло систему из трех вихрей: слева от центра выделялся крупный вихрь, справа – два вихря, один из которых интенсивнее другого (соответственно $17 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и $30 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$) и крупнее. Далее от центра наблюдались вихри меньшей интенсивности. В этот же день (*рис. 3б*), на восходящем витке спутника видно, что все вихри объединились в единую многоцентровую циклоническую систему. Давление в центре ТЦ не изменилось и в это время составляло 930 гПа. Примерно через 12 часов, 25.10 началось медленное заполнение циклона (*рис. 1.Б*), продолжавшееся 3 суток. В полях вихря скорости ветра в это время происходило постепенное разделение единой системы на отдельные мезомасштабные вихри (*рис. 3в–д*), и, когда 27.10 давление в центре ТЦ Parma достигло 975 гПа, поле вихря скорости в ТЦ снова представляло собой сосредоточение отдельных крупных вихрей интенсивностью до $\sim 27,5 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ (*рис. 3е*). После этого началась регенерация ТЦ: циклон начал быстро углубляться (давление за сутки упало на 40 гПа) и уже 28.10 (*рис. 3ж*) поле вихря скорости в ТЦ представляло собой два крупных вихря. 29.10 давление понизилось до 935 гПа, после чего циклон снова начал заполняться. К сожалению, в полосу спутника этот момент не попал, но немного позже, в этот же день, когда давление в центре ТЦ составляло 937 гПа, в поле вихря скорости всё еще сохранялась система из двух мезомасштабных вихрей интенсивностью в среднем меньшей, чем на момент начала регенерации (*рис. 3з*).

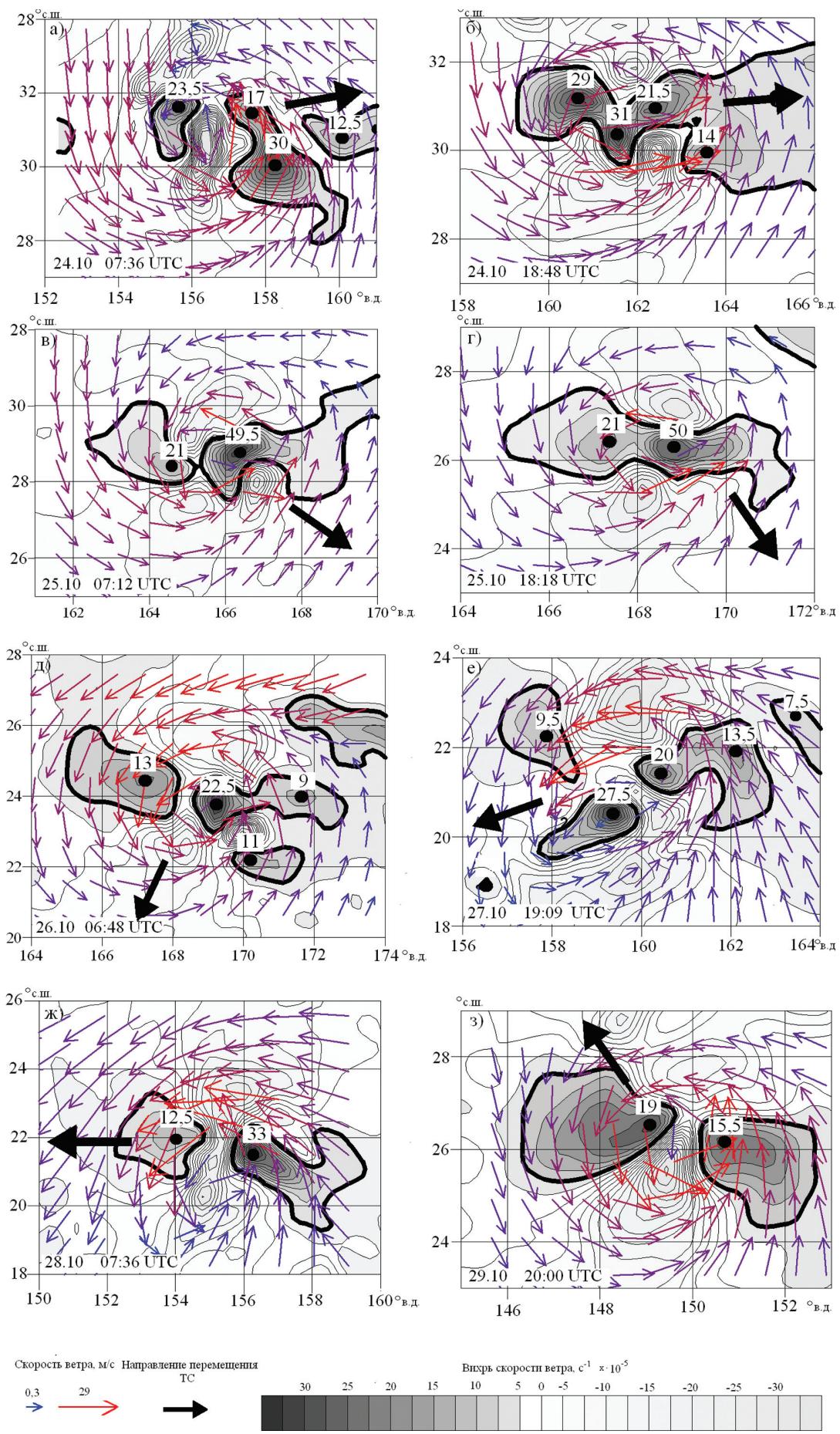


Рис. 3. Мезомасштабная структура ТЦ Parma в период от наступления максимального развития до начала заполнения

Заключение

Поля приводного вихря скорости ветра, полученного на основе данных скаттерометра QuikSCAT позволили проанализировать мезомасштабную структуру тропических циклонов на разных стадиях их эволюции – от зарождения до полного заполнения или трансформации во внутротропические циклоны. Показано, что в поле вихря скорости ветра тропическое возмущение может быть обнаружено более чем за двое суток до того, как оно перейдет в тропический циклон. В процессе эволюции циклона его мезомасштабная структура меняется: мезомасштабные вихри, смещающиеся к центру, сливаются, что приводит к уменьшению их количества и увеличению интенсивности, а область, занимаемая ими, сжимается, концентрируясь у центра к стадии максимального развития. В течение эволюции ТЦ интенсивность мезовихрей в целом возрастает, от $10 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ в точке зарождения до $60 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ в момент максимального развития. Когда ТЦ начинает заполняться, расстояние между мезомасштабными вихрями увеличивается, а их число и интенсивности уменьшаются.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11-01-12107-офи-м-2011) и ДВО РАН (проект 12-III-A-07-127).

Литература

1. *Пермяков М.С., Маликова Н.П., Поталова Е.Ю., Тархова Т.И.* Связь термодинамических параметров атмосферы с циклогенезом в тропических широтах северо-западной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2005. № 2. С. 61–67.
2. *Похил А.Э., Глебова Е.С.* Об изменении структуры тропического циклона при прохождении над островами // Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С. 5–15.
3. *Риль Г.* Климат и погода в тропиках. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. С. 344–335.
4. *Chelton D.B., Freilich M.H.* Scatterometer-Based Assessment of 10-m Wind Analyses from the Operational ECMWF and NCEP Numerical Weather Prediction Models // Mon. Wea. Rev. 2005. Vol. 133. No. 2. P. 409–429.
5. *Jirak I.K., Cotton W.R., McAnelly R.L.* Satellite and radar survey of mesoscale convective system development // Mon. Weather Rew. 2003. Vol. 131. No. 10. P. 2428–2449.
6. *Mapes D., Milliff R., Morzel J.* Composite life cycle of maritime tropical mesoscale convective systems in scatterometer and microwave satellite observations // J. Atmos. Sci. 2009. Vol. 66. No. 1. P. 199–208.
7. *Onogi K., Tsutsui Ju., Koide H., et al.* The JRA-25 Reanalysis // Journal of the Meteorological Society of Japan, 2007. Vol. 85. No. 3. P. 369–432.
8. *Ritchie E.A., Holland G.J.* Scale interactions during the formation of typhoon Irving // Mon. Weather Rev. 1997. Vol. 125. No. 7. No. 10. P. 1377–1396.
9. *Sharp R.J., Bourassa M.A., O'Brien J.J.* Early detection of tropical cyclones using seawinds derived vorticity // Bull. Am. Meteo. Soc. 2002. Vol. 93. No. 6. P. 879–889.
10. *Simpson J., Ritchie E., Holland G.J., Halverson J., Stewart S.* Mesoscale interactions in tropical cyclones genesis // Mon. Weather Rev. 1997. Vol. 125. P. 2643–2661.

11. Venkatesh T.N., Mathew J. Prediction of tropical cyclone genesis using a vortex merger index // Geophys. Res. Lett. 2004. Vol. 31. I.04105.

Mesoscale structure of tropical cyclones

M.S. Permyakov, E.Y. Patalova

*POI FEB RAS, Vladivostok, Russia
E-mail: permyakov@poi.dvo.ru*

The results of study of mesoscale structure of eight North-West Pacific tropical cyclones (TC) 2002–2007 y. are presented in the paper. The basic data was the surface wind velocity measurements of satellite QuikSCAT scatterometer (SeaWinds/QuikSCAT) and meteorological archive of Reanalysis JRA-25. Different stages of TC evolution – from initialization and development till rarely research transformation into extratropical cyclone and dissipation was under consideration. Mesoeddies associated with local maxims in surface wind vortexes fields. In all cases the appearance of the mesoscale eddies accumulation at the period 12–84 hours preceded of TC occurrence. It is shown that during TC formation intensity of mesoscale eddies generally increased, their amount decreased due merger and area, occupied by them, narrowed. The mesoeddies recession with their intensity reduction was observed during the TC dissipation stage.

Keywords: mesoscale atmospheric vortexes, tropical cyclones, scatterometers.