

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИЙ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТАЙФУНОВ ТИХОГО ОКЕАНА 2012 г.

А.Э. Похил

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
AEPokhil@yandex.ru*

Введение

В Гидрометцентре России в течение многих лет проводятся исследования и расчеты на разных моделях [8, 10, 11], наиболее интересных по траекториям и динамике тропических циклонов (ТЦ). Исследуются случаи необычного поведения ТЦ и взаимодействия их с ближайшей областью атмосферы и определенными течениями в ней. В частности, исследовались процессы, происходящие при взаимодействии вихрей с субтропическим струйным течением и полярным фронтом [2–4].

Кроме того, в предыдущих работах авторов [5, 9] был исследован механизм взаимодействия пары ТЦ, имеющих различные интенсивности; рассматривались случаи взаимодействия пары ТЦ и полярного фронта; трансформации и регенерации ТЦ вследствие вхождения в область холодного фронта; сопоставлялась динамика групп реальных тропических циклонов с поведением идеальных циклонических вихрей в численной модели. Были предложены варианты объяснения исчезновения и появления вихрей, а также петель, зигзагов и крутых поворотов при их перемещении.

Описание сезона тайфунов 2012 г. в Тихом океане

В настоящей работе исследуется поведение нескольких ТЦ, имевших влияние на Дальний Восток России. По данным Гидрометцентра России [7], в 2012 г. на данный регион оказало влияние рекордное число тропических циклонов (6 ТЦ). За весь период наблюдений в 1970–2011 гг. наибольшее количество выходов тропических циклонов (5 ТЦ) отмечалось в 1981 и 2011 гг. Статистика этого периода показала, что выход тропических (и превратившихся во внетропические) циклонов на Дальний Восток России происходит не ежегодно, и не все районы Дальнего Востока одинаково подвержены их влиянию. Наибольшая повторяемость отмечается в августе в Приморье и на Курилах, циклоны выходят сюда примерно один раз в 3–4 года.

В сезон тайфунов 2012 г. один циклон вышел на Приморье в июле, два – в августе (на юг Курильских о-вов, на Приморье, Хабаровский край и Сахалин) и два – в сентябре (на

Приморье и Курильские о-ва). Августовские тайфуны Тембин и Болавин, существовавшие одновременно, принесли в Приморье и на юг Хабаровского края сильные дожди и ветры до 30 м/с.

Самым мощным тропическим циклоном сезона стал тайфун Санба, имевший давление в центре 900 гПа и скорости ветра до 55 м/с (в порывах – до 75 м/с). Санба, пройдя по южным японским островам, вышел на Корейский полуостров и затем, имея интенсивность сильного тропического шторма, на российское Приморье. При этом во многих районах Приморья суммы осадков были близки к месячным нормам, в том числе и во Владивостоке, где за сутки выпало 108 мм осадков.

Последним в сезоне стал не менее мощный тайфун Джелават, вышедший 1 октября на Курильские о-ва в стадии сильного тропического шторма. На о. Шикотан при этом выпала половина месячной нормы осадков – 82 мм [7].

Вообще, сезон 2012 года в северо-западной части Тихого океана был активным. С марта по ноябрь здесь образовалось 25 тропических циклонов. Причём часто одновременно существовали два ТЦ – это были: Гучол и Талим, Тембин и Болавин, Дамрей и Саола, Джелават и Эвиньяр, Маликси и Гаеми, Прапирун и Мария. 14 ТЦ стали тайфунами, из которых 5 имели интенсивность третьей категории по шкале Саффира-Симпсона. Интересно отметить, что большинство ТЦ 2012 г. в Тихом океане сформировались в ограниченной акватории 7–20° с.ш., 130–150° в.д.

Метод расчета и численный эксперимент

Для расчетов подготовлен вариант последней версии модели WRF NMM (в системе LINUX). Пространственное разрешение равно 0,096°, что составляет примерно 11 км. Количество рассчитываемых узлов по широте 312, по долготе 384; вертикальных уровней 38. Заблаговременность прогнозов 2 суток. В качестве входной метеорологической информации используются GRIB (GFS) - файлы с разрешением 0,5°. На основании подготовленной версии модели в предыдущих работах исследовалось, кроме названного выше, влияние орографии на эволюцию ТЦ, влияние температуры подстилающей поверхности океана (ТПО) на изменение энергетических характеристик ТЦ, процесс взаимодействия ТЦ и полярного фронта, изменение теплового баланса в дневные и ночные часы.

Проведены расчеты перемещения и эволюции ТЦ в Тихом океане в 2012 г.: Гучол (11.06–20.06), Талим (16.06–21.06), Тембин (18.08–31.08), Болавин (20.08–29.08), Санба (10.09–18.09), Прапирун (5.10–19.10). В табл. 1 представлены характеристики ТЦ, по которым проведены расчеты. На рис. 1 приведены траектории этих и сопутствующих им ТЦ.

Характеристики тропических циклонов 2012 г.

Стадия	Номер	Имя	Период	Макс. скорость ветра, м/с	Мин. давление, гПа
TY	05W	GUCHOL	11–19 июня 2012 г.	70	930
TY	15W	TEMBIN	19–30 августа 2012 г.	65	945
TY	16W	BOLAVEN	20–28 августа 2012 г.	70	910
TY	17W	SANBA	10–17 сентября 2012 г.	75	900
TY	22W	PRAPIROON	07–19 октября 2012 г.	65	940
STS	23W	MARIA	14–20 октября 2012 г.	50	990
TY	26W	БОФА	25 ноября–09 декабря 2012 г.	70	930
TS	27W	WUKONG	24–28 декабря 2012 г.	60	998

Примечание: TY – тайфун; STS – сильный тропический шторм; TS – тропический шторм

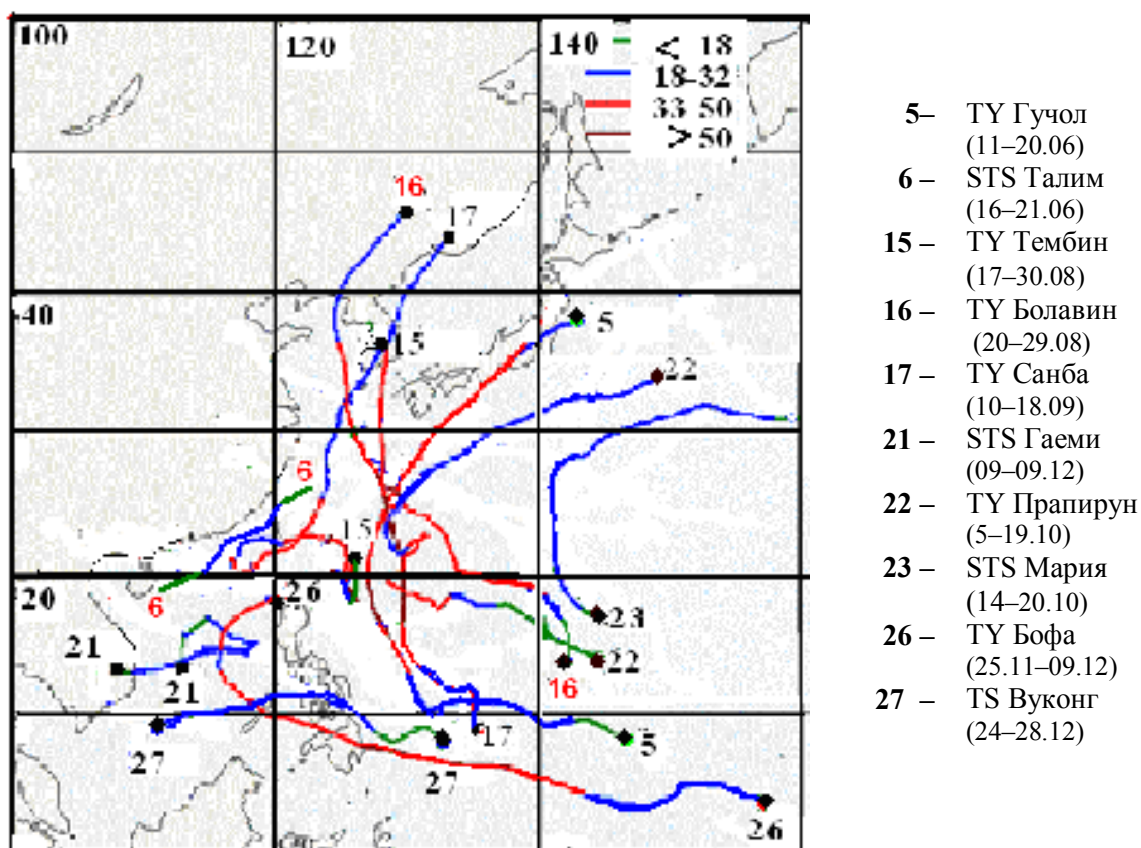


Рис. 1. Траектории одновременных и взаимодействующих тропических циклонов северо-западной части Тихого океана в 2012 г

Анализ результатов расчетов траекторий и эволюции взаимодействующих тропических циклонов Тембин и Болавин

Рассмотрим поведение двух августовских ТЦ Тембин и Болавин, существовавших одновременно с 22 по 29 августа 2012 года. Динамика ТЦ Тембин интересна тем, что он имел три максимума скорости: 65 м/с (20–21.08), 53 м/с (23.08) и 52 м/с (26–27.08), которые соответствовали резким понижениям давления (Р) до 945, 955, 960 гПа соответственно. Резкое повышение давления (22.08) после первого минимума до 965 гПа наблюдалось при попадании центра ТЦ на область холодной воды восточнее Филиппин, образовавшейся после прохождения ТЦ Саола. Второе резкое повышение давления до 980 гПа произошло 25.08; оно соответствовало прохождению ТЦ над Филиппинами.

Тайфун Болавин имел довольно плавную кривую понижения давления с минимумом до 910 гПа 26.08.

По полям приземного давления (рис. 2), полученным в результате расчетов, хорошо видно перемещение и вращение относительно друг друга (с 24.08 по 28.08) пары взаимодействующих вихрей. Скорость вращения относительно друг друга (поворот оси, соединяющей центры вихрей) составляет более 180° за 4 суток. На этом рисунке хорошо видно, как усиливается Болавин и ослабевает Тембин. Это является результатом их взаимодействия и перекачки энергии от одного вихря к другому.

На рис. 3 представлена динамика метеорологических полей при перемещении ТЦ: поля вихря и изобарической поверхности 500гПа, поля температуры и ветра на уровне 850 гПа, поля влажности (RH) на 850 гПа, осадки и давление на уровне моря.

По расчету на 20–21.08 видно, что атмосфера на уровне 500гПа довольно хорошо и равномерно прогрета, что соответствует фактическому анализу. В это время скорость ветра в ТЦ Тембин достигает первого максимума (около 65 м/с). При подходе ТЦ температура атмосферы на данном уровне увеличивается на $5\text{--}10^\circ$. Области самой высокой влажности занимают пространство вокруг радиуса максимальных ветров. Осадки достигают 25–30 мм/ч. Слабое взаимодействие вихрей начинается 22.08, когда они находятся на расстоянии около полутора тысяч километров. 22–24.08 наблюдается активное сближение вихрей и образуется общая изобара 1000 гПа. В это время Тембин продвигается на запад к континентальному Китаю. Болавин приближается к нему, обходя по часовой стрелке большой восточный антициклон. За двое расчетных суток расстояние между центрами вихрей уменьшается от 1500 до 600 км.

Затем начинается активное взаимодействие этих вихрей в виде относительного вращения по закону Фудзивара. ТЦ Тембин, сделав петлю, 25–27.08 изменяет направление

движения на северо-восточное (поворот более чем на 180°). Эта петля на траектории (южнее о. Тайвань) (рис. 1) является результатом взаимодействия Тембина с более мощным тайфуном Болавин. Далее (27.08) Болавин «садится» на фронт, опустившийся довольно далеко на юг, и начинает перемещение вдоль него. Тембин пристраивается в "хвост" Болавину и следует за ним.

Известно, что при резко выраженном фронте над ним (в верхней тропосфере и нижней стратосфере) наблюдается практически параллельное фронту сильное воздушное течение шириной в несколько сотен километров со скоростями 150–300 км/ч – струйное течение (СТ). Его длина сопоставима с длиной фронта и может достигать нескольких тысяч километров. Максимальная скорость ветра наблюдается на оси струйного течения вблизи тропопаузы, где она может достигать 100 м/с. При отклонении фронта от широтного направления отклоняется и струйное течение [1, 6].

Рассматриваемая ситуация поведения пары ТЦ Тембин и Болавин идентична поведению пары взаимодействующих ТЦ Парма и Мелор в 2009 г. [4], когда наблюдался разрыв струйного течения при приближении ТЦ на расстояние около 1000 км. В случае 2012 г., когда ТЦ был на расстоянии более 1000 км от южной периферии струйного течения (до 20.08), оно было непрерывным, и его ось располагалась на высоте 9–10 км на $35\text{--}45^\circ$ с.ш. Как и в предыдущих случаях [4], наблюдался значительный прогиб оси СТ к югу. Рассчитанная скорость на оси СТ составляла 50–55 м/с. При приближении ТЦ Болавин СТ разрывается, и ветви его опускаются к югу, т.е. повторяется ситуация 2009 года, которая имела место при взаимодействии со струйным течением ТЦ Парма и Мелор.

По расчетным картам ветра и осадков августовские тайфуны Тембин и Болавин, перемещавшиеся вдоль побережья, принесли в Приморье и на юг Хабаровского края сильные дожди (до 25–30 мм/ч) и ветры до 30 м/с, что совпадает с наблюдениями.

В табл. 2 и 3 представлены фактические и расчетные координаты центров ТЦ и ошибки расчетов на 24 и 48 ч положения центра ТЦ (в км). Естественно, что наибольшие ошибки наблюдаются при резких изменениях направления перемещения ТЦ. Так как траектория ТЦ Тембин имела много «особых» точек – крутых изгибов и поворотов, то и ошибки расчета на этих участках существенно возрастали, по сравнению с гладкими отрезками траектории. Расчеты на вторые сутки от 21 и 24.08 имеют довольно большие ошибки (248 и 383 км). Именно в эти моменты происходили «сломы» траектории. До и после этих моментов ошибки существенно меньше, так как эти отрезки траекторий более гладкие. То же самое наблюдается при резком повороте ТЦ Болавин 23.08: ошибки при расчете положения центра вихря существенно возрастают до 408 км на вторые сутки. А самая большая ошибка (538

км) была на вторые сутки расчета от 24.08. Именно тогда траектория ТЦ Болавин сделала зигзаг. Средние ошибки расчета положения центра ТЦ Тембин (табл. 2) за 12 суток и ТЦ Болавин (табл. 3) за 9 суток вполне укладываются в международные стандарты.

Таблица 2

Ошибки в положении центра ТЦ Тембин (19–30 августа 2012 г.)

Дата (дд.мм)	Факт. координ.	Расчет на 24 ч (координ.)	Расчет на 48 ч (координ.)	Расстояние (км) между факт. и расчет на 24 ч	Расстояние (км) между факт. и расчет на 48 ч
19.08	124.5 17.49	125.9 17.67	127.33 18.99		
20.08	124.6 17.96	125.61 20.62	125.52 22.24	141,46	
21.08	125.31 20.15	125.21 22.33	124.69 22.05	60,88	248,49
22.08	124.38 22.33	124.79 22.14	126.03 21.57	85,37	117,76
23.08	123.65 22.42	120.71 23.51	118.26 22.09	121,47	114,81
24.08	120.44 22.27	118.66 22.49	117.81 20.84	140,61	383,28
25.08	118.24 22.47	117.16 21.38	118.37 20.01	43,21	42,31
26.08	116.98 20.99	117.83 20.46	120.97 21.61	47,21	87,85
27.08	118.24 20.48	122.09 22.49	124.04 26.22	42,77	54
28.08	121.9 23.01	124.03 27.17	125.0 32.40	60,63	182,62
29.08	124.03 27.74	125.34 33.45	128.04 37.32	63,38	169,03
30.08	126.48 34.01	130.76 37.91	131.98 38.37	122,74	226,62
				Среднее 84,52	Среднее 145,77

ТЦ Гучол (11.06–20.06.2012) и Талим (16.06–21.06.2012) перемещались по северо-западу Тихого океана с 16 по 20.06 одновременно: ТЦ Талим – вдоль побережья Китая с юго-запада на северо-восток по близкой к прямолинейной траектории; Гучол – по параболической траектории восточнее Талима в открытом океане (рис. 1). 18–19.06 Гучол вышел на побережье Японии в стадии тайфуна. Взаимодействия этих двух образований не наблюдалось, но имело место их взаимодействие со струйным течением. На рис. 4 представлена динамика расчетных метеорологических полей при перемещении ТЦ Гучол и Талим.

По полям влажности и осадков (рис. 4 а,в) хорошо видно, каким образом трансформируются эти поля при приближении ТЦ к фронтальной зоне: происходит

значительное усиление и переформирование этих зон. На рис. 4 б видно, что поля температуры на уровне 850 гПа также существенно трансформируются при приближении тропических циклонов: граница тепла поднимается к северу, а за вихрями движутся холодные области. Взаимодействие со струйным течением происходит следующим образом: ось СТ над юго-востоком Китая сильно прогибается к югу, как и в предыдущем случае; Гучол разрывает струйное течение, усиливает его и следует вдоль него. ТЦ Талим, следующий за ТЦ Гучол, циклонически «закручивает» СТ (рис. 4).

Таблица 3

Ошибки в положении центра ТЦ Болавин (20–28 августа 2012 г.)

Дата (дд.мм)	Факт. координ.	Расчет на 24 ч (координ.)	Расчет на 48 ч (координ.)	Расстояние (км) между факт. и расчет на 24 ч	Расстояние (км) между факт. и расчет на 48 ч
20.08	141.67 17.44	141.31 20.44	137.78 21.24		
21.08	140.45 18.24	138.1 20.26	134.31 23.30	260,53	
22.08	138.51 19.18	135.24 21.72	130.29 24.90	127,48	241,24
23.08	135.5 19.79	133.16 21.65	130.7 24.51	216,29	408,79
24.08	133.65 21.14	130.97 23.64	128.62 25.71	76,03	538,2
25.08	131.91 23.51	129.04 25.70	125.66 29.17	96,84	165,39
26.08	129.46 25.31	126.09 28.60	124.2 34.96	60,3	95,19
27.08	126.74 28.59	123.74 34.96	125 41.14	63,47	123,1
28.08	124.54 34.87	128.88 41.10	127.38 41.43	73,59	32,56
				Среднее 121,83	Среднее 229,21

Анализ результатов расчета траекторий и эволюции тропических циклонов Гучол и Талим

На рис. 5 представлены последовательные положения струйных течений при подходе ТЦ Санба, Гучол и Талим, а также кинетической энергии струйного течения для ТЦ Мелор. Во всех случаях имеет место разрыв струйного течения и опускание его ветвей к югу при приближении ТЦ к его южной границе на расстояние около 1000 км. Спустя некоторое время, на правую (восточную) ветвь струйного течения «садится» приблизившийся вихрь и далее смещается вдоль него. При этом максимальная скорость и кинетическая энергия правой ветви струйного течения заметно увеличиваются. Таким образом, динамика струйного течения при взаимодействии с тайфунами повторяется во всех проведенных нами расчетах.

Заключение

1. Рассчитаны метеорологические поля и траектории нескольких тропических циклонов, перемещавшихся по сложным траекториям.

2. Представлены случаи, подтверждающие сильное взаимодействие тайфуна со струйным течением.

3. Показано, каким образом трансформируется структура и конфигурация вихрей при взаимодействии их друг с другом и со струйным течением.

4. Подтверждено, что при приближении тайфуна к струйному течению на расстояние около 1000 км оно разрывается, ветви его опускаются в направлении приближающегося тайфуна, и вихрь захватывается струйным течением.

5. Получено, что при взаимодействии ТЦ друг с другом и со струйным течением происходит перекачка энергии: усиление одной структуры и ослабление другой.

6. Оценка точности расчетов показала, что модель дает приемлемые результаты по метеорологическим полям и достаточно хорошо рассчитывает траектории ТЦ.

Автор приносит благодарность А.В. Смирнову за проведение необходимых расчетов.

Список использованных источников

1. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 615 с.

2. Похил А.Э. Об интересных случаях взаимодействия пары тропических циклонов и полярного фронта // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 5. – С. 29–40.

3. Похил А.Э., Глебова Е. О взаимодействии тропических циклонов между собой и с другими атмосферными структурами // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 9. – С. 5–18.

4. Похил А.Э., Глебова С., Смирнов А.В. Исследование взаимодействия тропических циклонов и струйных течений по данным расчетов на численных моделях // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 3. – С. 5–16.

5. Похил А.Э., Ситников И.Г., Галкин С.А. Взаимодействие трех идеальных вихрей в численной модели и поведение группы реальных тропических циклонов Тихого океана // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 2. – С. 28–32.

6. Г. Риль. Климат и погода в тропиках. – Л. Гидрометеиздат, 1984. – 606 с.

7. Сайт Гидрометцентра России. – <http://www.meteoinfo.ru/>

8. Ситников И.Г., Зленко В.А. Бароклинная схема прогноза траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 3. – С. 5–12.

9. Ситников И.Г., Похил А.Э., Тунеголовец В.П. Тайфуны. Природные опасности России. Том 5. Гидрометеорологические опасности. – М.: КРУК, 2001. – С. 84–126.

10. Mesinger F. Eta Model at NCEP: Challenges overcome and lessons learned. Lecture notes, Workshop on "Design and Use of Regional Weather Prediction Models", The International Centre for Theoretical Physics, Miramare, Trieste, Italy, 11-19 April 2005.

11. <http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/>

Поступила в редакцию 26.09.2013 г.

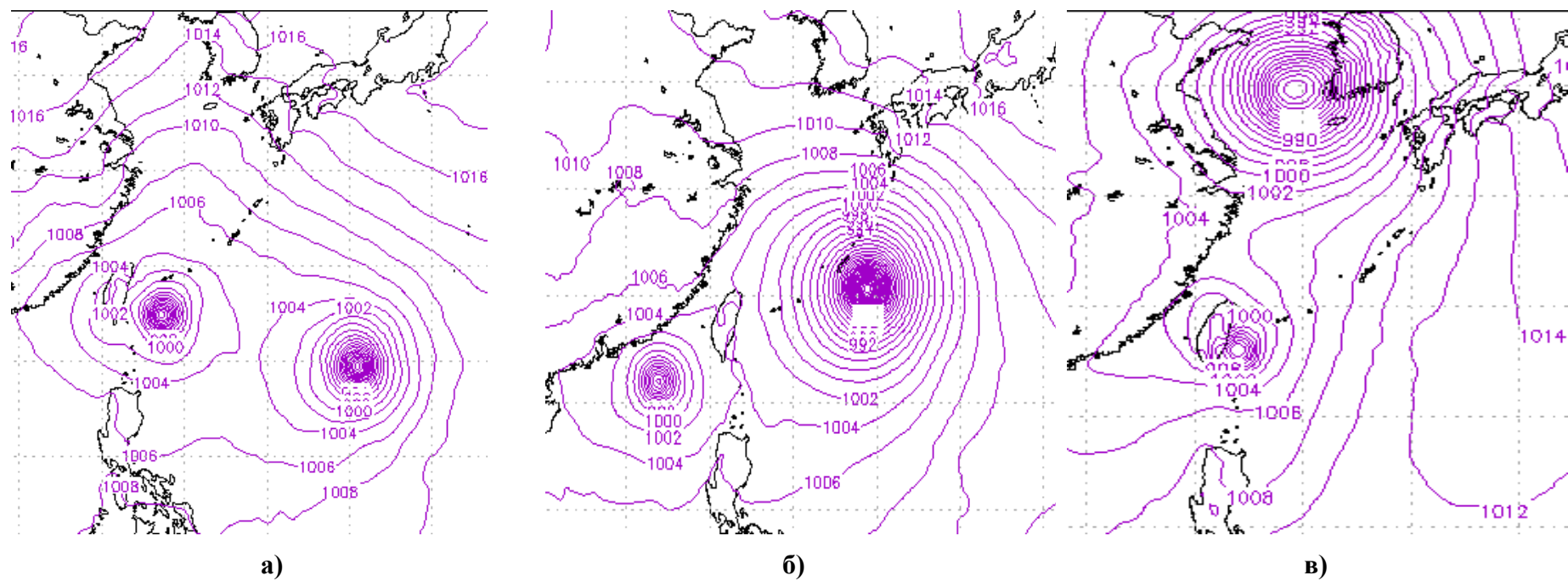


Рис. 2. Поле давления у поверхности Земли: 24 (а), 26 (б), 28 августа (в) 2012 г..

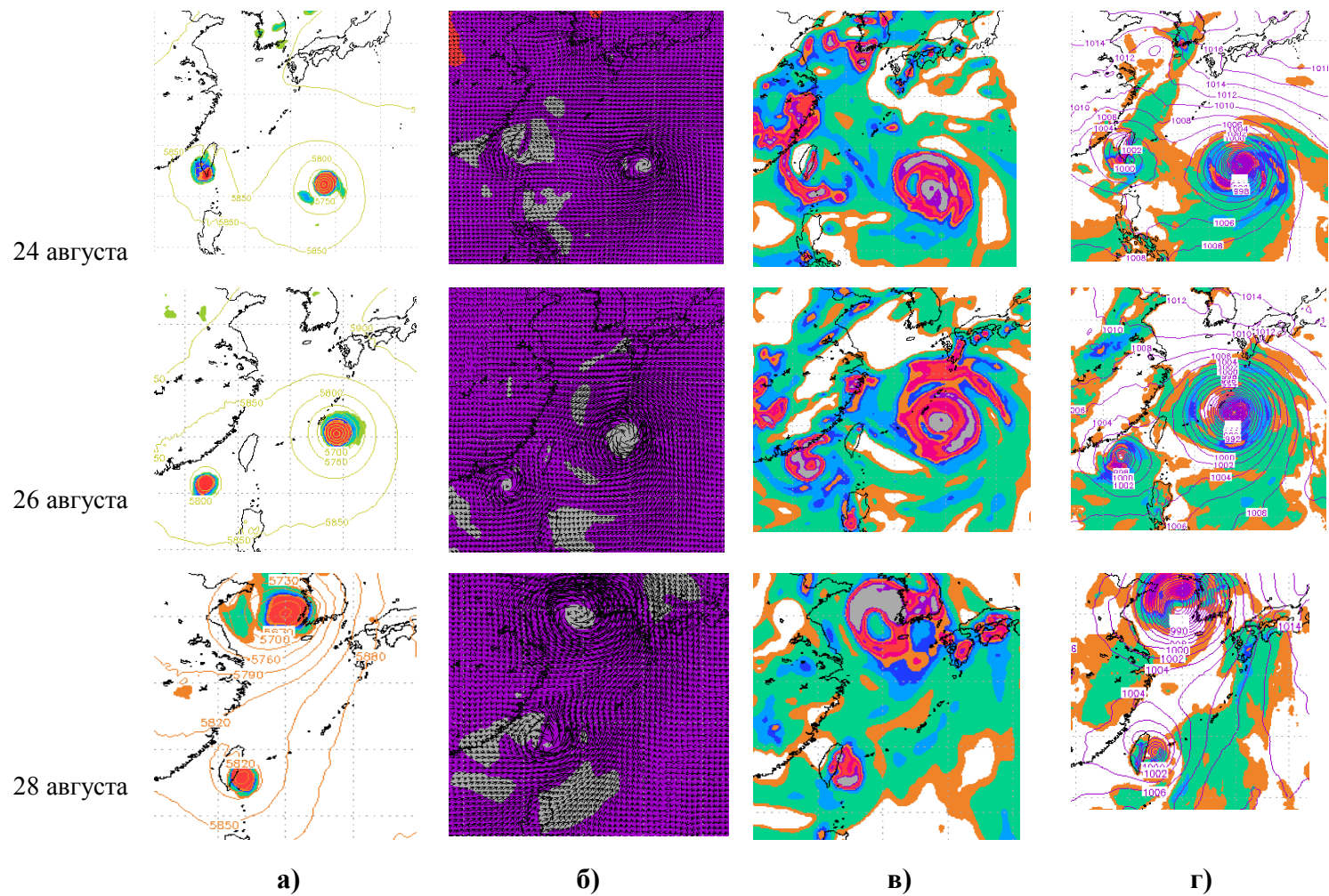


Рис. 3. Динамика метеорологических полей при перемещении ТЦ Тембин и Болавин 24, 26, 28 августа 2012 г: поля вихря (10^5 с^{-1}) и карта изобарической поверхности (м) на уровне 500гПа (а); поля температуры ($^{\circ}\text{C}$) и ветра (м/с) на уровне 850гПа (б); поля влажности RH на 850 гПа (%) (в); осадки (мм) и MSLP (гПа) (г).

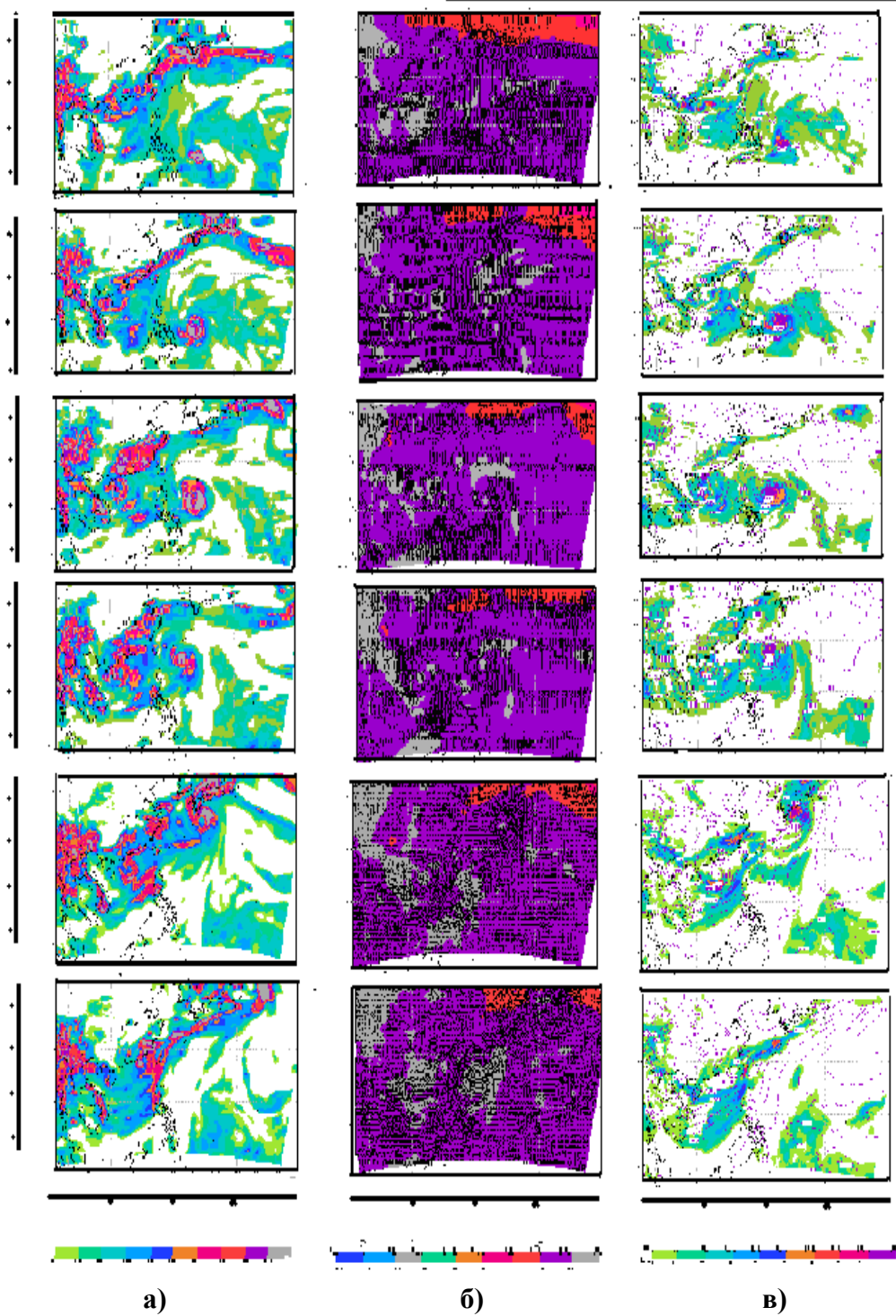


Рис. 4. Динамика расчетных метеорологических полей при перемещении ТЦ Гучол и Талим (15–20 июня): поля влажности RH на 850 гПа (а), поля температуры и ветра на уровне 850гПа (б), поля осадков и MSLP (в).

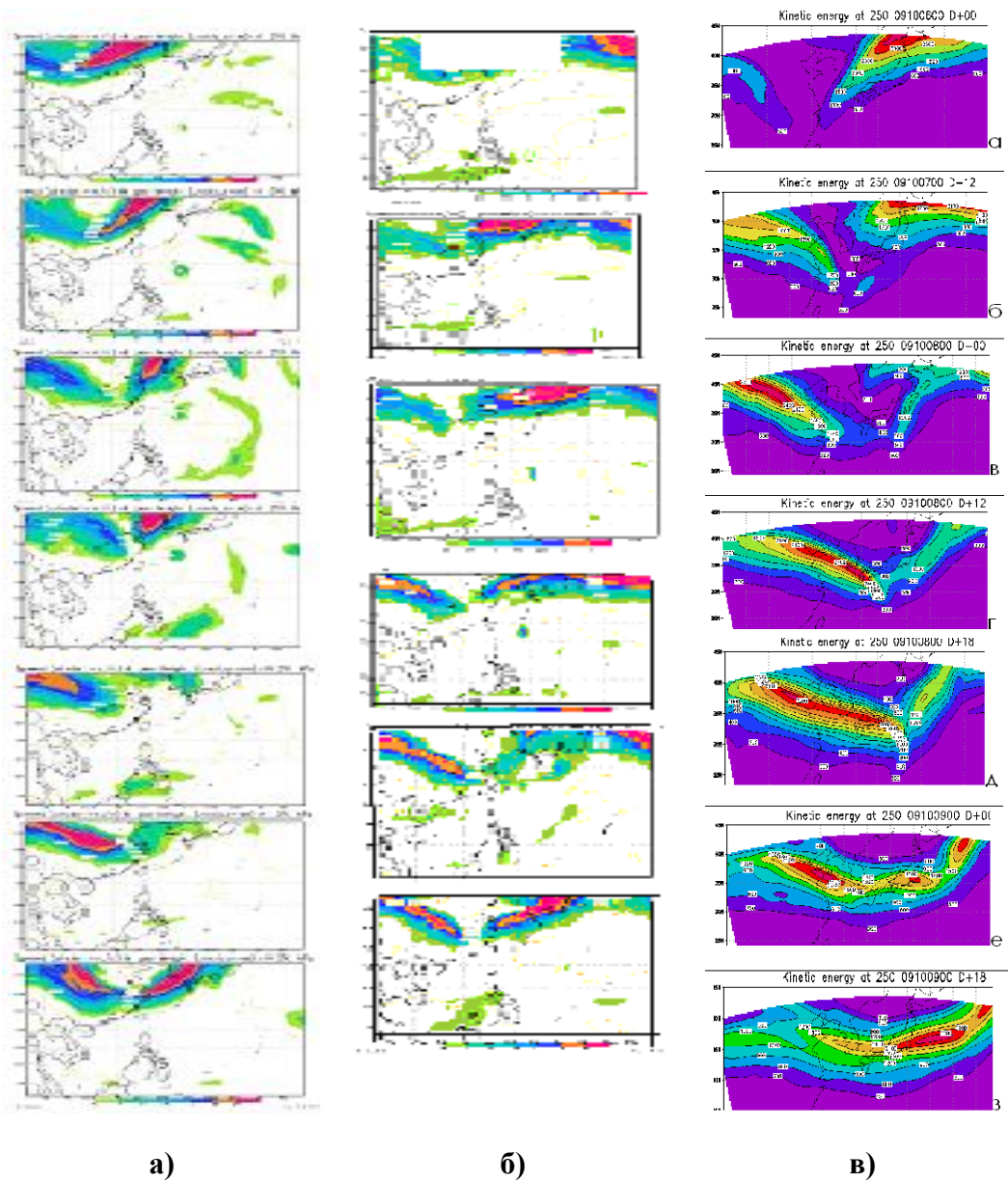


Рис. 5 Динамика струйных течений при приближении ТЦ Санба 13–19 сентября 2012 г (а), Гучол и Талим 15–20 июня 2012 г. (б); и кинетическая энергия струйного течения для ТЦ Мелор 6–9 октября 2009 г. (в).