## Некоторые особенности мезомасштабного циклогенеза над Японским морем

#### И.А. Гурвич, М.К. Пичугин, А.В. Баранюк, В.П. Кулешов

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН Владивосток, 690041, Россия E-mail: gurvich@poi.dvo.ru

Работапосвященасравнительномуанализузимнегоилетнегомезоциклогенезанад Японскимморем. Исследование проводилось на основе данных мультисенсорного спутникового зондирования. Проанализирован зимний полярный циклон, который развивался в тылу внетропического (южного), находящегося над Тихим океаном к востоку от Японии. Показано, что мезоциклоническая деятельность наблюдается летом при подобной траектории южных и тропических циклонов. Представлен анализ летнего мезоциклона с характеристиками полярного, который в данной работе классифицирован как квазиполярный. Выявлены общие закономерности зимнего и летнего мезоциклогенеза над Японским морем в общей циркуляции с внетропическим и тропическим циклонами соответственно. Полярные и квазиполярные мезоциклоны возникают при перемещении дальневосточной высотной ложбины на восток, когда ее ось пересекает 120-й меридиан. Мезоциклогенезу способствуют холодные высотные депрессии, которые формируются в дальневосточной высотной ложбине и выходят на Японское море. Полярные циклоны интенсифицируются при расстоянии между центрами барических образований мезо- и синоптического масштаба 900-1000 км. Сравнительный анализ гидрометеорологических характеристик летних и зимних мезоциклонов, полученных по данным пассивного (радиометр AMSR2) и активного (скаттерометры) спутникового зондирования, показал, что паросодержание атмосферы и водозапас облаков в мезоциклонических вихрях и в циклонах синоптического масштаба, в общей циркуляции с которыми они развиваются, близки по значениям.

**Ключевые слова:** полярные мезоциклоны, квазиполярные мезоциклоны, циклогенез, Японское море, мультисенсорное спутниковое зондирование, реанализ, паросодержание атмосферы, водозапас облаков, приводный ветер, адвекция холода

Одобрена к печати: 25.05.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-155-168

#### Введение

Северо-западная часть Тихого океана (СЗТО) является регионом активной циклонической деятельности. Здесь проходит основной путь внетропических циклонов (ВТЦ), которые формируются на волнах полярного фронта на южной периферии дальневосточной высотной ложбины и перемещаются под ее передней частью на северо-восток, пополняя алеутскую депрессию (Руководство..., 1988). Циклоны оказывают прямое влияние на погодные условия Японского моря, если выходят непосредственно на его акваторию, или косвенное, когда их траектория проходит восточнее Японии. В этом случае в холодный период года Японское море и его прибрежные районы оказываются под воздействием холодных вторжений в тыловой части ВТЦ, которые сопровождаются сильными штормовыми ветрами северных румбов (Пичугин, Чечин, 2016). В результате соприкосновения сухой и холодной континентальной воздушной массы с относительно теплой морской поверхностью взаимодействие океана и атмосферы интенсифицируется, неустойчивость ее стратификации возрастает. Это приводит к активному развитию упорядоченной конвекции, которая на видимых и инфракрасных спутниковых изображениях проявляется в виде облачных гряд и ячеек (Амбрози и др., 1973; Agee, 1987; Elting, Brown, 1993), а при благоприятных условиях — к возникновению мезомасштабных конвективных циклонических вихрей, которые получили название полярных циклонов.

Полярные циклоны (ПЦ) — это нефронтальные мезомасштабные циклонические вихри, характерные для высоких широт. Их горизонтальные размеры не превышают 1000 км (типичные размеры — 200-600 км), жизненный цикл составляет от нескольких часов до трех суток. Облачная система ПЦ имеет форму запятой или спирали. Они возникают в холодном воздухе над свободной ото льда морской поверхностью, к полюсу от основной бароклинной зоны (арктического или полярного тропосферного фронта). Полярные циклоны наносят ущерб мореплаванию и прибрежной хозяйственной деятельности в результате резкого ухудшения погоды, которое трудно прогнозировать из-за взрывного характера их формирования и очень быстрого развития (Rasmussen, Turner, 2003). ПЦ наблюдаются в течение всего года, однако пик мезоциклонической деятельности в северном полушарии приходится на зимние месяцы (Harold, Bigg, Turner, 1999). Исключение составляет восточный сектор Арктики, где пик мезоциклогенеза сдвинут на осенние месяцы ввиду особенностей ледового режима региона (Гурвич, Заболотских, Пичугин, 2016; Zabolotskikh, Gurvich, Chapron, 2016). Японское море, несмотря на более южное географическое положение, также является районом интенсивного мезомасштабного циклогенеза в холодное время года (Гурвич, Митник, Митник, 2010; Fu, 2000; Ninomiya, 1991; Tsuboki, Wakahama, 1992), что обусловлено муссонным режимом циркуляции и характером синоптических процессов. Полярные циклоны часто возникают в тылу глубоких южных циклонов, когда они находятся восточнее Японии.

На погодные условия Японского моря влияют также тропические циклоны (ТЦ), когда они перемещаются по траектории с обратной ветвью, т.е. после точки поворота на оси тихоокеанского гребня попадают под переднюю часть дальневосточной высотной ложбины и меняют направление движения с западного на северо-восточное. Изредка ТЦ выходят на Японское море, а перемещаясь на северо-восток восточнее Японии, оказывают на него косвенное влияние. Летние мезоциклоны, которые изредка возникают над Японским морем в тылу южных или тропических циклонов и сопровождаются сильными дождями, изучены значительно меньше зимних (Matsumoto et al., 1982). Интенсивные мезоциклонические вихри, схожие с тропическими или полярными циклонами структурой облачной системы, механизмами формирования и размерами, наблюдаются также над Средиземным (Claud et al., 2010) и Черным (Демышев, Маркова, 2010; Ефимов и др., 2008; Яровая и др., 2008; Яровая, Ефимов, 2014) морями. Общим условием зимнего и летнего мезоциклогенеза является наличие холодной высотной ложбины или депрессии.

Цель данного исследования — выявить сходство и различия между мезомасштабным циклогенезом над Японским морем в холодное и теплое время года на основе комплексного анализа мультисенсорных спутниковых измерений и данных реанализа высокого разрешения. В качестве сопутствующей информации использовались синоптические карты приземного анализа и барической топографии. Ниже будут рассмотрены сравнительные характеристики зимнего и летнего мезоциклонов, которые развивались в общей циркуляции с южным и тропическим циклонами соответственно.

#### Данные и методика

Исследования проводились на основе комплексного анализа мультисенсорных спутниковых измерений. Для идентификации циклонов синоптического и мезо- масштабов в полях облачности и анализа структуры и эволюции их облачной системы использовались изображения высокого разрешения (375 м) радиометра VIIRS со спутника Suomi NPP в инфракрасном (ИК) спектральном диапазоне. Для улучшения временного разрешения наблюдений при анализе эволюции барических образований использовались почасовые ИК-изображения корейского геостационарного спутника COMS (http://nmsc.kma.go.kr). Высота облачности барических образований определялась по данным продукта MODIS о температуре и давлении на верхней границе облаков (Level 2 Cloud Product). Для количественных оценок паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра применялись алгоритмы восстановления геофизических параметров из радиояркостных температур, измеренных микроволновым радиометром AMSR2 со спутника GCOM-W1 (Митник, Митник, 2011; Mitnik, Mitnik, Zabolotskikh, 2009; Zabolotskikh, Mitnik, Chapron, 2013). Использовались данные уровня L1B, которые находятся в свободном доступе на сайте Японского аэрокосмического агентства для пользователей GCOM-W1 Data Providing Service, полученных с сайта http://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM W/JASMES daily/index.html. При анализе полей приводного ветра пассивные измерения (AMSR2) дополнялись полями, построенными по данным активных измерений (скаттерометр ASCAT на спутнике MetOp-A с разрешением 25×25 км и RapidSCAT на МКС с разрешением 12,5×12,5 км), которые находятся в свободном доступе на сайте https://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/ QuikSCATData.php/.

Синоптические процессы анализировались по картам приземного анализа и барической топографии Японского метеорологического агентства (ЯМА) и Национального климатического центра данных NOAA (http://nomads.ncdc.noaa.gov/). Для анализа локальных изменений температуры воздуха ( $T_a$ ) в слое от 1000 до 500 гПа, обусловленных горизонтальным перемещением воздушной массы, в работе выполнен расчет адвективного изменения  $T_a$  (далее — термическая адвекция) по формуле:

$$\left(\frac{\partial T_a}{\partial t}\right)_a = -\left(u\frac{\partial T_a}{\partial x} + v\frac{\partial T_a}{\partial y}\right),$$

где *и* и *v* — зональная и меридиональная составляющие скорости ветра соответственно. Ежечасные поля метеорологических параметров взяты из усовершенствованной климатической модели NCEP CFSv2 (Climate Forecast System, version 2) в узлах регулярной сетки  $0,5 \times 0,5^{\circ}$ . Положительные значения термической адвекции  $(\partial T_a/\partial t)_a$  обусловлены адвекций тепла, а отрицательные — адвекцией холода.

# Полярный циклон в общей циркуляции с внетропическим — пример зимнего мезоциклогенеза

Одним из характерных механизмов мезоциклогенеза над Японским морем является формирование полярного циклона в тыловой части внетропического южного циклона синоптического масштаба (Fu, 2000; Ninomiya, 1989). Это происходит, когда южный циклон перемещается над СЗТО к востоку от Японии, а на Японское море с континента выходит холодная высотная депрессия. В поле приземного давления от циклона на запад вытягивается барическая ложбина, в которой возникают полярные циклоны. Они зачастую вызывают штормовые ветры и сильные осадки на акватории моря и в прибрежных районах. Ниже приведен детальный анализ интенсивного мезоциклогенеза в тылу южного циклона, который перемещался над СЗТО к востоку от Японии 18–19 января 2016 г. (*puc. 1a*).



Рис. 1. ИК-изображение радиометра VIIRS (спутник Suomi NPP) за 17:13 GMT (a); карта AT500 ЯМА за 12:00 GMT (б); карта приземного анализа ЯМА за 18:00 GMT (в) и поле приводного ветра по данным скаттерометра RapidSCAT (МКС) за 17:06 GMT (в) 18 января 2016 г. Стрелка указывает на центр ПЦ. Шкала на рис. 1г — в узлах

Южный циклон образовался над Восточно-Китайским морем на волне полярного фронта. На карте приземного анализа ЯМА в 18 GMT 16 января 2016 г. он был очерчен одной замкнутой изобарой 1010 гПа. Циклон перемещался под высотной фронтальной зоной на северо-восток, вдоль восточного побережья Японии. В 00 GMT 19 января, когда центр циклона находился в точке с координатами 41° с.ш., 148° в.д., давление в нем понизилось до 968 гПа. В дальневосточной высотной ложбине сформировались две холодные высотные депрессии. Южная депрессия вместе с очагом холода перемещалась на юго-восток (*puc. 16*) и в 00 GMT 19 января вышла на Японское море. В тылу депрессии осуществлялась интенсивная адвекция холода с континента на морскую акваторию, а по ее северной периферии — вынос теплой влажной океанической воздушной массы. Температура воздуха  $T_{500}$  на уровне изобарической поверхности 500 гПа в 00 GMT 19 января составляла в среднем  $-36^{\circ}$ С, температура морской поверхности по данным измерений AMSR2  $T_{g} \approx 10^{\circ}$ С, а разность  $\Delta T = T_{g} - T_{500} \approx 46^{\circ}$ С, т.е. имелись предпосылки для развития конвективного вихря (Rasmussen, Turner, 2003). Полярный циклон возник в области циклонического сдвига ветра на западной оконечности приземной барической ложбины в 00 GMT 18 января.

При этом ось высотной ложбины располагалась примерно вдоль 123° в.д., центр высотной депрессии находился в точке с координатами 43° с.ш., 123° в.д., а расстояние между центрами южного и полярного циклонов составляло 900–1000 км. Приближение высотной депрессии к Японскому морю способствовало быстрому развитию ПЦ. Так, по данным скаттерометра ASCAT со спутника MetOp-A (не представлены) за 01:33 GMT 19 января ветер в нем усилился до 15–20 м/с, а в его северо-западном секторе — до 25 м/с.

На *рис. 1а* в поле облачности видна часть фронта окклюзии циклона и темное безоблачное пятно округлой формы «1» — центральная часть развивающегося полярного циклона, который на карте приземного анализа ЯМА за 18 GMT 18 января очерчен одной изобарой 992 гПа (*рис. 1в*). Центр южного циклона с давлением 972 гПа расположен восточнее северной части о. Хонсю. Облачные гряды над южной частью моря, где адвекция холода наиболее интенсивна (*рис. 1а*), совпадают с зонами сгущения изобар в поле давления (*рис. 1в*) и северо-западного ветра со скоростью 15–20 м/с по данным скаттерометра RapidSCAT (*рис. 1г*). Скорость ветра в штормовом кольце вокруг маловетреного центра составляет 20–25 м/с. Усиление ветра до 25–30 м/с в северо-западном секторе ПЦ обусловлено орографическими особенностями побережья. Почти двое суток ПЦ вызывал штормовые ветры и сильные осадки над морской акваторией и в Приморском крае.

На рис. 2 показана начальная стадия развития ПЦ в полях водяного пара, капельной влаги и приводного ветра, восстановленных из измерений радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) с применением алгоритмов (Митник, Митник, 2011; Zabolotskikh, Mitnik, Chapron, 2013). Полярный циклон развивается на северо-западной оконечности конвективной полосы «1» (*puc. 2a*). Паросодержание атмосферы V в нем варьируется в пределах 12–16 кг/м<sup>2</sup> (*рис. 2б*), водозапас облаков *Q* в среднем составляет 0,4–0,6 кг/м<sup>2</sup>, что указывает на большую вероятность выпадения осадков (рис. 2в). По данным карт приземного анализа ЯМА за 00:00 GMT и 06:00 GMT (не представлены), прибрежные и морские метеостанции регистрировали осадки различной интенсивности. В облачной полосе «1» определяются участки с повышенным паросодержанием атмосферы ( $V \ge 20$  кг/м<sup>2</sup>) и водозапасом облаков  $(Q>0.8 \text{ кг/м}^2)$ . Значения V и Q соизмеримы с аналогичными параметрами в активных внетропических циклонах и связаны с конвергенцией водяного пара, а также бурным развитием конвекции вдоль резкой внутренней границы облачной полосы, которая отделяет облачность вихря от сухого воздуха с  $V \approx 3$  кг/м<sup>2</sup>. Скорость ветра в ПЦ составляет 15–20 м/с (*рис. 2г*). Небольшая область, где регистрируется скорость ветра  $W \ge 25$  м/с, является результатом погрешности расчетов, возрастающей при повышенных значениях V и Q.

Циклон медленно перемещался на восток-северо-восток, а ПЦ в его юго-западном секторе — на юго-восток, в соответствии с циркуляцией в высотной депрессии. К 16:00–17:00 GMT 19 января он подошел к япономорскому побережью о. Хонсю в стадии максимального развития (*puc. 3a*). Облачная спираль ПЦ, ранее представляющая собой эллипс, приобрела форму окружности. Заметно, что она состоит из отдельных кластеров мощных кучевых облаков. Центральная часть ПЦ начала размываться, в ней также появились облачные кластеры. Несмотря на признаки перехода ПЦ в стадию заполнения (диссипации),

в нем сохранялась скорость ветра 20–22 м/с, местами до 25 м/с (*puc. 36*). Практически синхронные с ИК-изображением VIIRS поля *V*, *Q* и *W*, построенные по данным AMSR2, показывают, что максимальное количество водяного пара ( $V = 12-14 \text{ кг/m}^2$ ) сосредоточено в юго-западном секторе ПЦ, в области наиболее интенсивной адвекции холода (*puc. 3e*), где наблюдается северо-западный ветер 25–30 м/с (*puc. 3d*). Здесь же на ИК-изображении VIIRS регистрируются облачные гряды (*puc. 3a*) с водозапасом до 0,4–0,8 кг/м<sup>2</sup> (*puc. 4z*). Конфигурация ПЦ в поле капельной влаги идентична полю облачности.

Полярный циклон заполнился к концу суток 19 января при выходе на о. Хонсю.



Рис. 2. ИК-изображение COMS за 04:00 GMT (a); поля паросодержания атмосферы (б), водозапаса облаков (в) и скорости приводного ветра (г) по измерениям радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 04:12 GMT 18 января 2016 г. Шкалы на рис. 2б, в — в кг/м2; шкала на рис. 2г — в м/с



Рис. 3. ИК-изображение VIIRS (спутник Suomi NPP) за 16:56 GMT (а); поля приводного ветра по данным скаттерометра RapidSCAT (MKC) за 14:00–16:00 GMT (б), паросодержания атмосферы (в), водозапаса облаков (г) и приводного ветра (д) по измерениям радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 16:59 GMT 19 января 2016 г. Шкала на рис. 36 — в узлах

### Квазиполярный циклон в общей циркуляции с тайфуном — пример летнего мезоциклогенеза

Подробный анализ случая летнего мезоциклогенеза над Японским морем, сопровождавшегося сильными осадками, приведен в публикации (Matsumoto et al., 1982). Мезоциклон развивался под холодной высотной депрессией в общей циркуляции с ВТЦ, который находился восточнее Японии. Аналогичная синоптическая ситуация наблюдалась при выходе тайфуна Lionrock к океаническому побережью Японии 28–30 августа 2016 г.



Рис. 4. Траектория тайфуна Lionrock по данным сайта http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon

Тайфун Lionrock, по данным ЯМА и http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/, возник над Тихим океаном в точке с координатами 32,5° с.ш., 144,5° в.д. и перемещался на юго-запад под южной периферией тихоокеанского гребня. Нехарактерная для лета форма циркуляции атмосферы, когда высотный гребень устанавливается в районе Камчатки, а не у западного побережья Охотского моря (Руководство..., 1988), способствовала резкому усилению меридиональности и интенсивному углублению дальневосточной высотной ложбины. Тайфун попал под влияние передней части ложбины, в результате чего его траектория 25 августа сделала петлю, и в дальнейшем он перемещался на северовосток мористее океанического побережья Японии (*рис. 4*). В южной части ложбины сформировалась холодная высотная депрессия, которая перемещалась над Японским морем 28–30 августа, создавая предпосылки для конвективной и мезоциклонической деятельности (*рис. 5a*). Интенсивный мезоциклон развивался на оси приземной барической ложбины, которая распространялась от тайфуна на Японское море, при структуре термобарического поля тропосферы, аналогичной 18–19 января 2016 г. Форма облачной системы, механизмы и условия формирования позволяют классифицировать его как квазиполярный циклон (КПЦ). Квазиполярный циклон вызывал сильные ветры и осадки в Приморском крае уже 29 августа, когда тайфун находился над Тихим океаном примерно на 500 км юго-восточнее Японии и не оказывал прямого влияния на погоду в прибрежных районах Японского моря.



Рис. 5. Карты AT500 (a) и приземного анализа (б) ЯМА за 12 GMT; ИК-изображение COMS за 12:00 GMT (в) и поле приводного ветра по данным скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-A) за 13:22 GMT 27 августа 2016 г. Красная точка на рис. 5а — положение приземного центра мезоциклона, красные стрелки указывают на центр мезоциклона. Шкала на рис. 5г — в узлах

В 12 GMT 27 августа центр высотной депрессии находился в точке 43° с.ш., 124° в.д. На южной периферии ложбины над Желтым морем возник циклон мезо-β-масштаба (Orlanski, 1975) (*рис. 56, в*). Его циркуляция видна в поле вектора ветра по измерениям скаттерометра ASCAT (puc. 5г). Мезоциклон перемещался сначала на восток, а затем заполнился над южной частью Японских о-вов. По данным ЯМА за 18 GMT 28 августа, мезоциклон регенерировал над Японским морем. Однако анализ ИК-изображений с часовым интервалом со спутника COMS (не представлены) показывает, что в узкой зоне резкого циклонического сдвига ветра, которая пересекала всю акваторию моря с севера на юг (рис. 6ж), возник новый мезоциклон. По картам АТ500 ЯМА, T<sub>500</sub> 28-30 августа составляла в среднем 36°С, а T<sub>в</sub> по данным AMSR2 варьировалась в интервале ~12–14°С, следовательно,  $\Delta T_{500} = T_{e} - T_{500} \approx 38$ °С, т.е. существовали предпосылки для возникновения конвективных мезоциклонических вихрей (Rasmussen, Turner, 2003). Мезоциклон интенсивно развивался по типу полярного циклона и перемещался под высотной депрессией на северо-запад. В 00:00 GMT 29 августа (карта приземного анализа ЯМА) давление в центре квазиполярного циклона (~38° с.ш., 134° в.д.) составляло 988 гПа (рис. 6а, б). Его циркуляция не проявляется в полях облачности (рис. 6в), водяного пара (рис. 6г) и капельной влаги (рис. 6д), однако хорошо видна в поле приводного ветра по данным AMSR2 (рис. 6е). Расстояние между центрами ТЦ и КПЦ составляло ~1000 км.

По данным AMSR2 и скаттерометра, в КПЦ регистрировалась скорость ветра 15–20 м/с (*рис. бе, ж*).



Рис. 6. Карты приземного анализа (a) и AT500 (б) ЯМА за 00 GMT; ИК-изображение VIIRS за 03:12 GMT (в); поля паросодержания атмосферы (г), водозапаса облаков (д) и приводного ветра (е) по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 04:13 GMT; поле вектора ветра по данным скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-B) (ж) за 00:35 GMT 29 августа 2016 г. Красная точка на рис 6г-ж — положение центра мезоциклона на карте приземного анализа. Шкалы на рис. 6г, д — в кг/м2, на рис. 6е — в м/с, на рис. 6д — в узлах. Красным треугольником на рис. 6а-в обозначено положение Владивостока

Развитию КПЦ способствовали такие факторы, как интенсивная адвекция холода из районов Якутии по западной периферии высотной ложбины и вынос на Японское море теплой и влажной тропической воздушной массы из системы тайфуна по северо-восточной периферии высотной депрессии (*puc. 6б*). Поля термической адвекции в слое между изобарическими поверхностями 1000–500 гПа, построенные по данным NCEP CFSv2, показывают, что адвективное изменение температуры воздуха над Желтым морем и югозападной частью Японского 28–30 августа составляло -0,5...-1 °С/ч. *Puc. 7a* демонстрирует облачную систему КПЦ в максимальной стадии развития в 02:00 GMT 30 августа, когда ТЦ находился вблизи восточного побережья о. Хонсю. Адвективные изменения

температуры слоя над юго-западной частью Японского моря составляли  $-0,5 \,^{\circ}C/^{\circ}$  (*рис. 76*). Отдельные очаги интенсивной адвекции холода над сушей, возможно, обусловлены орографическим эффектом. Для сравнения, адвективные изменения температуры слоя 17–19 января в этом же районе составляли  $-1...-1,5\,^{\circ}C/^{\circ}$  (*рис. 76*).



Рис. 7. ИК-изображение COMS за 02:00 GMT 30 августа (а); поля термической адвекции в слое 1000–500 гПа по данным NCEP CFSv2 30 августа (б) и 18 января (в) 2016 г.

В результате интенсивной адвекции холода в тылу высотной депрессии и выноса теплой влажной тропической воздушной массы в ее передней части сформировалась полоса мощной конвективной облачности с резкой границей (*puc. 6e*), которая проходила по условной линии, соединяющей центры тайфуна и КПЦ, и характеризовалась большими перепадами паросодержания атмосферы и водозапаса облаков по обе ее стороны (*puc. 6г, д*). С этой конвективной облачностью были связаны умеренные и сильные осадки.

Стадии максимального развития КПЦ достиг в 18 GMT 30 августа, давление в его центре составляло 974 гПа. Он развивался в общей циркуляции с ТЦ, аналогично рассмотренному выше зимнему процессу. Тайфун перемещался по аномальной траектории с востока на запад под северо-восточной периферией высотной депрессии (карты АТ500 ЯМА за 00 GMT и 12 GMT 30 августа, не представлены), в 12 GMT 30 августа он пересек северную часть о-ва Хонсю и вышел на Японское море с давлением в центре 972 гПа, а в 18 GMT трансформировался во внетропический циклон с давлением в центре 980 гПа (рис. 8а, б). Над Японским морем в это время располагалась обширная холодная высотная депрессия (*рис. 8в*). Облачность с паросодержанием атмосферы ≥40 кг/м<sup>2</sup> (*рис. 8г*) и водозапасом  $\geq 1$  кг/м<sup>2</sup> (*puc.* 8 $\partial$ ) была локализована в зонах максимальных ветров как в тайфуне, так и в КПЦ. Наиболее высокие скорости ветра (~25 м/с) по данным AMSR2 (*puc. 8e*) и скаттерометра (рис. 8ж) регистрировались в северо-западном и южном секторах КПЦ. В процессе объединения облачная система тайфуна утратила спиральную форму, в то время как спиральная структура КПЦ отчетливо видна в полях облачности, водного пара и капельной влаги. В 00 GMT 31 августа оба барических образования объединились в один глубокий циклон с давлением в центре 972 гПа, который сопровождался штормовыми и ураганными ветрами и сильными осадками на всей акватории Японского моря, в Японии, Корее, Приморском и Хабаровском краях. Осадки вызвали наводнения в ряде районов Приморского края.



Рис. 8. ИК-изображение VIIRS за 16:56 GMT (a); карты приземного анализа за 18 GMT 30 августа (б) и AT500 за 00 GMT 31 августа (в) ЯМА; поля водяного пара (г), капельной влаги (д) и приводного ветра (е) по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 16:59 GMT; поле приводного ветра по измерениям скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-B) за 11:55 GMT (ж) 30 августа 2016 г. Чёрный кружок на рис. 8г-е — центр тайфуна; чёрные стрелки на рис. 8а указывают на центры тайфуна (верхняя) и КПЦ (нижняя). Шкалы на рис. 8г, д — в кг/м2, на рис. 8е — в м/с, на рис. 8ж – в узлах

#### Заключение

Одним из механизмов мезоциклогенеза над Японским морем является развитие мезомасштабных полярных циклонов в тылу южных циклонов, когда они находятся восточнее Японии. Такая синоптическая ситуация характерна для холодного времени года, однако изредка наблюдается и в теплое. Прогностическим признаком начала мезоциклогенеза служит усиление меридиональности и проникновение дальневосточной высотной ложбины южнее 30-й параллели. При этом в ложбине формируется холодная высотная депрессия, которая выходит на Японское море и создает предпосылки для развития конвективных

мезоциклонических вихрей. Мезоциклоническая деятельность над Японским и Желтым морями начинается, когда ось ложбины проходит по меридиану 123–124° в.д., а координаты центра высотной депрессии — примерно 43° с. ш., 123–124° в. д. Интенсивная адвекция холода в тылу депрессии способствует обострению взаимодействия океана и атмосферы, а в передней части южного циклона или тайфуна на Японское море выносится теплая влажная воздушная масса. Неустойчивость атмосферы резко возрастает, в результате чего возникают условия для развития мощной конвекции и, как следствие, мезоциклонической деятельности. От циклона (тайфуна) на Японское море вытягивается приземная барическая ложбина, на оси которой, в области циклонического сдвига ветра, развиваются мезомасштабные полярные и квазиполярные циклоны в общей циркуляции с внетропическими или тропическими. При этом расстояние между центрами барических образований мезои синоптического масштаба составляет примерно 1000 км. Такие полярные и квазиполярные циклоны, как правило, очень интенсивны, сопровождаются штормовыми и ураганными ветрами с сильными осадками. Паросодержание атмосферы и водозапас облаков в мезоциклонических вихрях и в циклонах синоптического масштаба, в общей циркуляции с которыми они развиваются, близки по значениям. В теплое время года барические системы, состоящие из квазиполярных и южных или тропических циклонов, могут вызывать сильные затяжные дожди, приводящие к подъему уровня рек и наводнениям.

#### Литература

- 1. Амбрози П., Вельтищев Н.Ф., Гетц Г., Ноймайстер Х., Рункану Т., Шабров В.Г. Использование данных о мезомасштабных особенностях облачности в анализе погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 150 с.
- 2. Гурвич И.А., Митник Л.М., Митник М.Л. Мезомасштабный циклогенез над Японским морем 7–13 января 2009 г. по спутниковым мультисенсорным данным // Исследование Земли из космоса. 2010. № 4. С. 11–22.
- Гурвич И.А., Заболотских Е.В., Пичугин М.К. Особенности мезомасштабного циклогенеза над восточным 3 сектором Евразийской Арктики // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из кос-моса. 2016. Т. 13. № 5. С. 227–237. Демышев С.Г., Маркова Н.В. Отклик гидрофизических полей Черного моря на атмосферный квазитропи-
- 4
- ческий циклон 25–29 сентября 2005 г. // Геоинформатика. 2010. № 1. С. 86–92. Ефимов В.В., Станичный С.В., Шокуров М.В, Яровая Д.А. Наблюдение квазитропического циклона над Черным морем // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 53–62. 5.
- *Митник Л.М., Митник М.Л.* Алгоритм восстановления скорости приводного ветра по измерениям микро-волнового радиометра AMSR-Е со спутника Aqua // Исследование Земли из космоса. 2011. № 6. С. 34–44. 6.
- Пичугин М.К., Чечин Д.Г. Межгодовая изменчивость характеристик холодных вторжений над Японским 7. морем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. C. 238–248.
- Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. ІІ, вып. 5: Дальний Восток. Л.: Гидрометеоиздат, 8. 1988. 176 c.
- 9. Яровая Д.А., Ефимов В.В., Шокуров М.В., Станичный С.В., Барабанов В.С. Квазитропический циклон над Черным морем: наблюдения и численное моделирование // Морской гидрофизический журнал. 2008. № 3. С. 41–55. 10. *Яровая Д.А., Ефимов В.В.* Мезомасштабные циклонические вихри над Черным морем // Метеорология и
- гидрология. 2014. № 6. С. 28-39.
- 11. Agee E.M. Mesoscale cellular convection over the oceans // Dyn. Atmos. Oceans. 1987. Vol. 10. No. 4. P. 317-341.
- 12. Claud C., Alhammoud B., Funatsu B.M., Chaboureau J.-P. Mediterranean hurricanes: large-scale environment and convective and precipitating areas from satellite microwave observations // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2010. Vol. 10. P. 2199-2213.
- 13. Etling D., Brown R.A. Roll vortices in the planetary boundary layer: A review // Boundary-Layer Meteorology. 1993. Vol. 65. No. 3. P. 215–248.
  14. *Harold J.M., Bigg G.R., Turner J.* Mesocyclone activity over the northeast Atlantic. Part 1: Vortex distribution and
- variability // J. Člimatology. 1999. Vol. 19. No. 11. P. 1187–1204.
- 15. Fu G. Polar lows: Intense cyclones in winter. Qindao, China, 2000. 219 p.

- 16. *Matsumoto S., Ninomiya K., Hasegawa R., Miki Y.* The structure and role of a subsynoptic-scale cold vortex on the heavy precipitation // J. Meteorological Society of Japan. 1982. Vol. 60. No. 1. P. 339–354.
- 17. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotskikh E.V. Microwave sensing of the atmosphere-ocean system with ADEOS-II AMSR and Aqua AMSR-E // J. Remote Sensing Society of Japan, 2009. Vol. 29. No. 1. P. 156–165.
- Ninomiya K. Polar low development over the east coast of the Asian continent on 9–11 December 1985 // J. Meteor. Soc. Japan. 1991. Vol. 69. No. 6. P. 669–685.
- Ninomiya K. Polar/comma-cloud lows over the Japan Sea and the northwestern Pacific in winter // J. Meteor. Soc. Japan. 1989. Vol. 67. P. 83–97.
- Orlanski I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1975. Vol. 56. P. 527–530.
- 21. Rasmussen E., Turner J. Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions. Cambridge: University Press, 2003. 612 p.
- Tsuboki K., Wakahama G. Mesoscale cyclogenesis in winter monsoon air streams: Quasi-geostrophic baroclinic instability as a mechanism of the cyclogenesis off the west coast of Hokkaido Island, Japan // J. Meteorol. Society of Japan. 1992. Vol. 2. No. 1. P. 77–93.
- Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing // Geophys. Res. Letters. 2013. Vol. 40. Issue 13. P. 3347–3350.
   Zabolotskikh E.V., Gurvich I.A., Chapron B. Polar Lows over the Eastern Part of the Eurasian Arctic: The Sea-
- Zabolotskikh E.V., Gurvich I.A., Chapron B. Polar Lows over the Eastern Part of the Eurasian Arctic: The Sea-Ice Retreat Consequence // Geoscience and Remote Sensing Letters. 2016. Vol. 13. No. 10. P. 1492–1496. DOI:10.1109LGRS.2016.2593487.

## Some features of mesoscale cyclogenesis over the Japan Sea

#### I.A. Gurvich, M.K. Pichugin, A.V. Baranyuk, V.P. Kuleshov

#### V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok 690041, Russia E-mail: gurvich@poi.dvo.ru

The work is dedicated to a comparative analysis of winter and summer mesocyclogenesis over the Japan Sea. The study was conducted using multisensory satellite measurements. The winter polar low in the rear of the extratropical (southern) cyclone located over the Pacific Ocean to the east of Japan was analyzed. It is shown that mesocyclonic activity is observed in summer with a similar trajectory of southern and tropical cyclones. An analysis of the summer mesocyclone with characteristics of polar low is presented. In this study, such mesocyclone is classified as quasipolar low. The general regularities of winter and summer mesocyclogenesis over the Japan Sea within the general circulation with extratropical or tropical cyclones are revealed. Polar and quasipolar lows occur when the Far Eastern tropospheric trough moves eastward and its axis crosses 120°E meridian. Mesocyclones are generated under cold high-level depressions that form in the tropospheric trough and pass over the Japan Sea. Polar lows are intensified when a distance between the centers of meso- and synoptic scales pressure systems is 900-1000 km. A comparative analysis of winter and summer mesocyclogenesis in terms of hydrometeorological characteristics retrieved from passive (AMSR2 radiometer) and active (scatterometers) satellite measurements showed that the atmospheric water vapor content and cloud liquid water content in synoptic-scale cyclones and associated with them meso-scale vortices are close in quantity.

Keywords: polar lows, quasipolar lows, cyclogenesis, Japan Sea, multisensory satellite measurement, reanalysis, atmospheric water vapor content, cloud liquid water, sea surface wind, cold advection

*Accepted: 25.05.2017* DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-155-168

#### References

- 1. Ambrozi P., Vel'tishchev N.F., Getts G., Noimaister Kh., Runkanu T., Shabrov V.G., *Ispol'zovanie dannykh o mezomasshtabnykh osobennostyakh oblachnosti v analize pogody pogody* (The use of data on the mesoscale features of cloudiness in weather analysis), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 150 p.
- 2. Gurvich I.A., Mitnik L.M., Mitnik M.L., Mezomasshtabnyi tsiklogenez nad Yaponskim morem 7–13 yanvarya 2009 g. po sputnikovym mul'tisensornym dannym (Mesoscale cyclogenesis over the Japan Sea on January 7–13, 2009 using satellite multisensor data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2010, No. 4, pp. 11–22.
- 3. Gurvich I.A., Zabolotskikh E.V., Pichugin M.K., Osobennosti mezomasshtabnogo tsiklogeneza nad vostochnym sektorom Evraziiskoi Arktiki (Features of mesoscale cyclogenesis over the eastern sector of the Eurasian Arctic), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 227–237.

- Demyshev S.G., Markova N.V., Otklik gidrofizicheskikh polei Chernogo morya na atmosfernyi kvazitropicheskii 4 tsiklon 25-29 sentyabrya 2005 g. (The response of the Black Sea hydrophysical fields to the atmospheric quasotropical cyclone September 25-29, 2005), Geoinformatika, 2010, No. 1, pp. 86-92.
- Éfimov V.V., Stanichnyi S.V., Shokurov M.V, Yarovaya D.A., Nablyudenie kvazitropicheskogo tsiklona nad 5 Chernym morem (Observation of a quasotropical cyclone over the Black Sea), Meteorologiya i gidrologiya, 2008, No. 4, pp. 53-62.
- Mitnik L.M., Mitnik M.L., Algoritm vosstanovleniya skorosti privodnogo vetra po izmereniyam mikrovolnovogo 6 radiometra AMSR-E so sputnika Aqua (Algorithm for retrieval of the surface wind speed from measurements of the microwave radiometer AMSR-E from the Aqua satellite), Issledovanie Zemli iz kosmosa, 2011, No. 6, pp. 34-44.
- 7. Pichugin M.K., Chechin D.G., Mezhgodovaya izmenchivost' kharakteristik kholodnykh vtorzhenii nad Yaponskim morem (Interannual variability in cold-air outbreak characteristics over the Sea of Japan), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 238-248.
- Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody (Guide to short-term weather forecasts), Ch. II, vyp. 5: Dal'nii Vostok, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 176 p. 8.
- Yarovaya D.A., Efimov V.V., Shokurov M.V., Stanichnyi S.V., Barabanov V.S., Kvazitropicheskii tsiklon 9 nad Chernym morem: nablyudeniya i chislennoe modelirovanie (Quasotropical cyclone over the Black Sea:
- observations and numerical simulation), *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 2008, No. 3, pp. 41–55. 10. Yarovaya D.A., Efimov V.V., Mezomasshtabnye tsiklonicheskie vikhri nad Chernym morem (Mesoscale cyclones over the Black Sea), Meteorologiya i gidrologiya, 2014, No. 6, pp. 28-39.
- 11. Agee E.M., Mesoscale cellular convection over the oceans, Dyn. Atmos. Oceans, 1987, Vol. 10, No. 4, pp. 317-341
- 12. Claud C., Alhammoud B., Funatsu B.M., Chaboureau J.-P., Mediterranean hurricanes: large-scale environment and convective and precipitating areas from satellite microwave observations, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2010, Vol. 10, pp. 2199–2213.
- 13. Etling D., Brown R.A., Roll vortices in the planetary boundary layer: A review, Boundary-Layer Meteorology, 1993, Vol. 65, No. 3, pp. 215–248. 14. Harold J.M., Bigg G.R., Turner J., Mesocyclone activity over the northeast Atlantic. Part 1: Vortex distribution
- and variability, J. Climatology, 1999, Vol. 19, No. 11, pp. 1187-1204
- 15. Fu G., Polar lows: Intense cyclones in winter, Qindao, China, 2000, 219 p.
- 16. Matsumoto S., Ninomiya K., Hasegawa R., Miki Y., The structure and role of a subsynoptic-scale cold vortex on the heavy precipitation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1982, Vol. 60, No. 1, pp. 339–354.
   17. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotskikh E.V., Microwave sensing of the atmosphere-ocean system with ADEOS-
- II AMSR and Aqua AMSR-E, J. Remote Sensing Society of Japan, 2009, Vol. 29, No. 1, pp. 156–165.
- 18. Ninomiya K., Polar low development over the east coast of the Asian continent on 9-11 December 1985, J. Meteor. Soc. Japan, 1991, Vol. 69, No. 6, pp. 669-685.
- 19. Ninomiya K., Polar/comma-cloud lows over the Japan Sea and the Northwestern Pacific in winter, J. Meteor. Soc. Japan, 1989, Vol. 67, pp. 83–97.
- 20. Orlanski I., A rational subdivision of scales for atmospheric processes, Bull. Amer. Meteor. Soc., 1975, Vol. 56, pp. 527-530.
- Rasmussen E., Turner J., Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, Cambridge: University 21. Press, 2003, 612 p.
- Tsuboki K., Wakahama G., Mesoscale cyclogenesis in winter monsoon air streams: Quasi-geostrophic baroclinic instability as a mechanism of the cyclogenesis off the west coast of Hokkaido Island, Japan, J. Meteorol. Society of Japan, 1992, Vol. 2, No. 1, pp. 77–93.
  23. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B., New approach for severe marine weather study using satellite
- passive microwave sensing, Geophys. Res. Letters, 2013, Vol. 40, Issue 13, pp. 3347-3350.
- Zabolotskikh E.V., Gurvich I.A., Chapron B., Polar Lows over the Eastern Part of the Eurasian Arctic: The Sea-24 Ice Retreat Consequence, Geoscience and Remote Sensing Letters, 2016, Vol. 13, No. 10, pp. 1492–1496.