

Мезомасштабные полярные циклоны над восточным сектором Арктики по данным мультисенсорного спутникового зондирования

И.А. Гурвич¹, Е.В. Заболотских²

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.А. Ильичева ДВО РАН

Владивосток, 690041, Россия

E-mail: gurvich@poi.dvo.ru

² Гидрометеорологический университет

Санкт-Петербург, 195196, Россия

E-mail: liza@rshu.ru

Работа посвящена исследованию мезомасштабной циклонической деятельности над морями восточного сектора Арктики по данным мультисенсорного спутникового зондирования с привлечением синоптических карт приземного анализа, барической топографии и данных реанализа. Статистические оценки получены для мезоциклонов за август – октябрь 2012–2013 гг., отобранных по данным MODIS (спутники Aqua и Terra) и AVHRR (спутники серии NOAA) в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах длин волн. Для количественных оценок параметров океана и атмосферы в условиях мезоциклонической деятельности использовались данные спутниковых пассивных микроволновых измерений с применением оригинальных алгоритмов. На основе комплексного анализа мультисенсорных спутниковых измерений и сопутствующей информации получены данные о новых районах возникновения и распространения мезоциклонов в связи с потеплением климата Арктики и уменьшением площади ледяного покрова и предварительные статистические оценки об их преобладающих размерах, структуре и форме облачной системы. Детальный анализ отдельных случаев с мезоциклонами выявил региональные особенности их формирования и развития и отличия от общих закономерностей. Дальнейшее изучение мезомасштабного циклогенеза над российскими арктическими морями актуально в связи с интенсификацией освоения Арктики и опасностью, которую представляют интенсивные мезоциклоны для судоходства и прибрежной народнохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: мезомасштабные циклоны, восточная Арктика, мультисенсорное спутниковое зондирование, паросодержание атмосферы, водозапас облаков, приводный ветер

Введение

В холодное полугодие над морями высоких широт на спутниковых изображениях часто появляются интенсивные мезомасштабные циклоны (МЦ) с облачной системой в форме запятой или спирали, которые называют полярными циклонами или полярными ураганами. Размеры МЦ от 100 до 1000 км, жизненный цикл – от нескольких часов до 3 суток, скорость ветра может превышать 33 м/с (Rasmussen, Turner, 2003).

Возникновению мезомасштабных полярных циклонов способствует интенсификация взаимодействия океана и атмосферы при вторжениях холодной воздушной массы на относительно теплую морскую поверхность (Rasmussen, Turner, 2003; Chechin et al., 2013). Поэтому скованная почти круглый год льдом восточная Арктика ранее считалась неблагоприятным регионом для мезомасштабного циклогенеза, хотя орографические МЦ вблизи побережья Чукотки упоминаются в монографиях (Зимич, 1998; Зимич, 2002). Однако такие факторы, как связанное с глобальным потеплением климата таяние арктических льдов, усиление меридиональности атмосферной циркуляции и появление сезонного ледяного покрова, вызывают предположения об интенсификации мезоциклонической деятельности над восточной Арктикой (Иванов и др., 2013; Overland, Wang, 2010). Характерное для МЦ резкое ухудшение погоды, опасное для судоходства и прибрежного народного хозяйства,

развитие Северного морского пути и разработка месторождений нефти на арктическом шельфе придают исследованиям МЦ в этом регионе практическую значимость. В отличие от атлантического (Blechsmidt, 2008; Kolstad et al., 2009; Condrón, Renfrew, 2012; Zahn, von Storch, 2013), восточный сектор Арктики является наименее изученным регионом мезомасштабного циклогенеза. Из-за крайне слабой освещенности района стандартными гидрометеорологическими наблюдениями приоритет в исследованиях МЦ принадлежит мультисенсорным спутниковым измерениям (Mitnik et al., 2006; Гурвич и др., 2008; Гурвич и др., 2010; Bobylev et al., 2011; Zabolotskikh et al., 2013; Гурвич, Пичугин, 2013).

Мезоциклоническая деятельность в высоких широтах охватывает весь год с пиком активности в зимний период (Harold et al., 1999). Однако в морях восточной Арктики в ноябре площадь ледяного покрова быстро увеличивается. Поэтому мезоциклоны отбирались за период август – октябрь 2012–2013 гг. Выбор этих месяцев обусловлен также визуальным отбором МЦ по спутниковым изображениям облачности преимущественно в видимом диапазоне длин волн из-за его более высокого разрешения по сравнению с ИК-диапазоном. Как следствие, мезоциклоны во второй половине октября и ноябре не могли быть идентифицированы над большей частью акваторий в связи с наступлением полярной ночи. При продолжении исследований для устранения недостатков их идентификации в темные месяцы планируется применять поля вектора ветра по данным реанализа с высоким разрешением. Предполагается, что применение реанализа позволит получить статистические характеристики межгодовой изменчивости количества мезоциклонов, уточнить районы их формирования и типичные траектории.

В данной работе для идентификации МЦ применялись видимые и ИК-изображения спектро радиометра MODIS со спутников Aqua и Terra и радиометра AVHRR со спутников серии NOAA. Для анализа синоптических ситуаций использовались карты приземного анализа и барической топографии: Национального климатического центра данных NOAA (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/>), архива университета штата Колорадо (<http://www.weather.gov/>) и реанализа ERA Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) на сетке $0,75^\circ$ и $0,25^\circ$. Применение оригинальных алгоритмов восстановления геофизических параметров по данным спутниковых пассивных микроволновых измерений радиометрами AMSR-E (спутник Aqua) и AMSR2 (спутник GCOM-W1) позволило получить количественные оценки паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра в условиях мезоциклонической деятельности. Алгоритмы основаны на физическом моделировании радиояркостных температур уходящего излучения системы океан – атмосфера и их последующем обращении в геофизические параметры при помощи нейронных сетей. Перед применением алгоритмов к реально измеряемым значениям радиояркостных температур (*Тя*) добавляются калибровочные поправки, значения которых рассчитывались на основании сопоставления измерений с модельными расчетами (Bobylev et al., 2011). Поля приводного ветра по данным микроволновых радиометров дополнялись измерениями скаттерометров ASCAT (спутники MetOp-A и MetOp-B) и OSCAT (спутник Oceansat-2). Для сравнительного анализа гидрометеорологических характеристик, полученных из мультисенсорных спутниковых

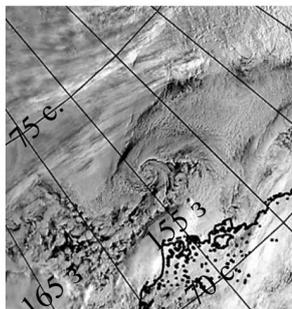
измерений и данных Арктического реанализа ASR с разрешением 30 км, которые охватывают период 2000–2011 гг., был выбран МЦ над Новосибирскими островами 30 сентября 2003 г.

Мезомасштабная циклоническая деятельность над российскими морями восточного сектора Арктики

Типы мезомасштабных циклонов и районы их формирования

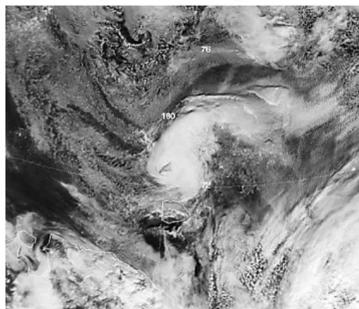
Визуальный анализ видимых и ИК спутниковых изображений MODIS и AVHRR выявил наличие мезоциклонической деятельности над акваториями восточной Арктики, свободными ото льда или покрытыми разреженным льдом. В район исследования включено также Карское море, которое географически относится к западному сектору Арктики. Статистическая обработка около 1000 спутниковых видимых и ИК-изображений показала, что над морями восточной Арктики преобладают МЦ со спиральной формой облачной системы ($\approx 90\%$), на облачные запятыя приходится $\approx 10\%$ случаев (рис. 1). Размеры подавляющего количества восточноарктических мезоциклонов не превышают 200 км. МЦ возникают в основном в мелких бароклинных зонах вблизи кромки льда при постоянной адвекции холода из покрытых льдом районов Северного Ледовитого океана, в центральной части старых

Западная граница моря Бофорта



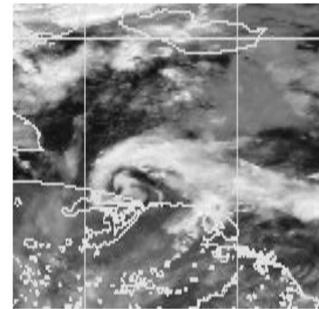
Aqua MODIS
16.09.2013 19:55 UTC

Чукотское море



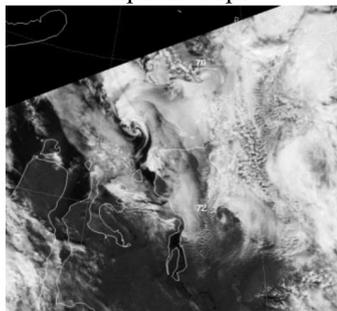
Aqua MODIS
30.08.2012 23:00 UTC

Восточно-Сибирское море



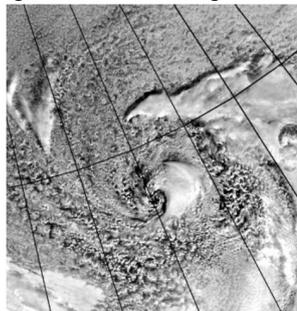
Terra MODIS
04.10.2012 11:01 UTC

Карское море



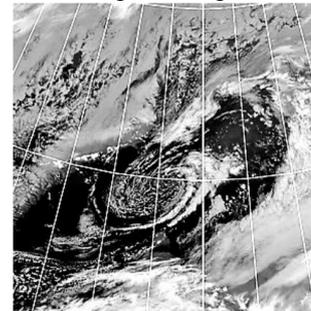
Aqua MODIS
24.08.2013 06:35 UTC

Север Восточно-Сибирского моря



Aqua MODIS
05.09.2007 00:05 UTC

Карское море



Terra MODIS
29.09.2012 08:00 UTC

Рис. 1. Основные типы и районы распространения мезомасштабных циклонов над восточной Арктикой и Карским морем

окклюдированных циклонов и под холодными высотными депрессиями. Кроме того, при определенном направлении ветра над бухтами арктического и берингоморского побережья образуются орографические мезоциклоны (Зимич, 1998; Зимич, 2002). Восточноарктические МЦ формируются при гораздо более устойчивой стратификации атмосферы, чем в других регионах мезомасштабного циклогенеза (Заболотских и др., 2015).

Ниже приведен анализ условий развития и количественные оценки гидрометеорологических параметров на основе мультисенсорных спутниковых данных с учетом термодинамических условий в тропосфере и температуры морской поверхности на примере трех случаев с мезоциклонами над различными районами восточной Арктики.

Мезоциклон 29–30 сентября 2003 г. над Новосибирскими островами

Ярким примером мезомасштабного циклогенеза над акваториями восточной Арктики служит мезоциклон, который образовался 29 сентября 2003 г. к северу от о. Котельный (рис. 2). Он быстро развивался, достиг около 250 км в поперечнике, пересек Новосибирские о-ва с северо-северо-запада на юго-юго-восток и заполнился, выйдя на сушу. Время жизни МЦ не превышало сутки. Из данных MODIS (спутник Aqua), которые здесь не приводятся, следует, что в 00:55 Гр. 29 сентября МЦ еще не сформировался в поле облачности, а в 08:45 Гр. уже было заметно формирование облачного вихря. В 17:30 Гр. тех же суток над Новосибирскими о-вами хорошо виден МЦ с облачной системой спиральной формы и отчетливо выраженным глазом диаметром 30–35 км, окруженным облачной стеной (рис. 2а). Таким образом, путь от начальной стадии развития до максимальной МЦ прошел примерно за 10 час. Верхняя граница его облачности в стадии максимального развития по данным MODIS (не приводятся) не превышала 3,5 км. В процессе перемещения МЦ над Новосибирскими о-вами вертикальная мощность облачного слоя уменьшалась. В 00 Гр. 30 сентября, когда центр МЦ находился над юго-восточной оконечностью

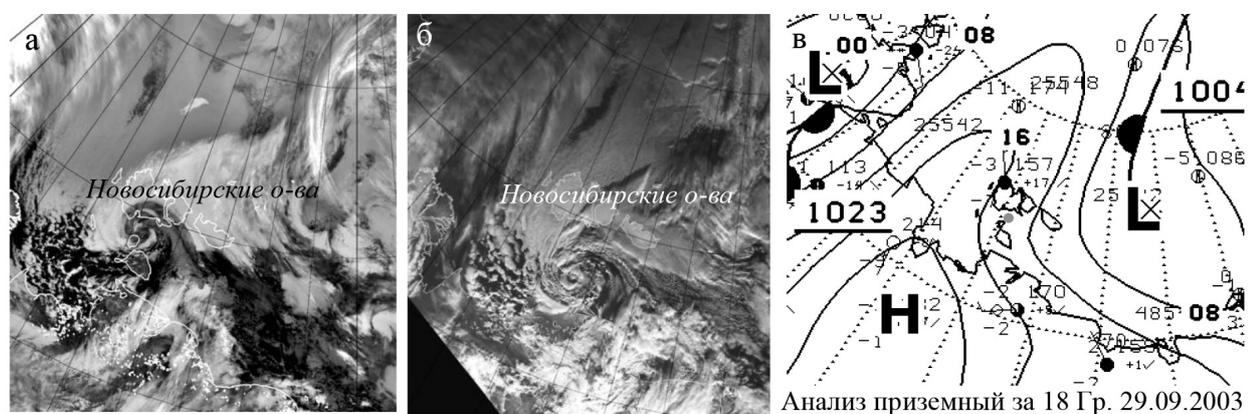


Рис. 2. Мезоциклон над Новосибирскими островами 29-30 сентября 2003 г.: ИК – за 17:30 Гр. 29 сентября (а) и видимое за 00 Гр. 30 сентября (б) изображения MODIS (спутник Aqua); карта приземного анализа за 18 Гр. 29 сентября (в)

о. Большой Ляховский (рис. 2б), верхняя граница его облачности опустилась до 1500 м. В поле давления на картах приземного анализа мезоциклон отсутствовал (рис. 2в).

МЦ развивался на фоне адвекции холода от покрытых льдом акваторий при более устойчивой стратификации атмосферы, чем в других регионах мезомасштабного циклогенеза. По данным реанализа ERA, разность температур вода - АТ500 (ΔT) составляла 34–35°C, в то время как необходимым условием для развития конвективного вихря считается $\Delta T \geq 38-43^\circ\text{C}$. Разность температур морской поверхности и приводного воздуха $\geq 3^\circ\text{C}$ к северу от о. Котельный являлась благоприятным критерием для его развития.

Из сравнения почти синхронных полей приводного ветра по данным пассивных (рис. 3а) и активных (рис. 3б) спутниковых измерений и Арктического реанализа (рис. 3в) следует, что в зрелой стадии развития МЦ зона максимальных ветров располагалась в его западном секторе, а по данным ASR – в юго-западном. Значения максимальной скорости ветра варьируют от 12–14 м/с по данным радиометра AMSR-E до 10–12 м/с по измерениям скаттерометра QuikSCAT и 9–11 м/с по данным реанализа. Эти вариации не выходят за рамки погрешности оценки скорости ветра, поэтому можно считать представленные данные взаимозаменяемыми и дополняющими друг друга, что важно при дефиците контактных измерений над арктическими акваториями. Следует отметить, что по данным MODIS за 00:55 Гр. 29 сентября МЦ еще не был виден в поле облачности (см. выше), тогда как по данным ASR за 00 Гр. в поле ветра уже прослеживалась слабая замкнутая циклоническая циркуляция, что может служить прогностическим признаком его формирования (рисунки не представлены). Это еще раз подчеркивает преимущества комплексного использования данных мультисенсорных спутниковых измерений и реанализа.

Вертикальная мощность облачности мезоциклона меньше, чем в МЦ над дальневосточными морями. Тем не менее спиральная структура его облачной системы проявляется в повышенных по сравнению с фоном значениях водяного пара и капельной влаги. На

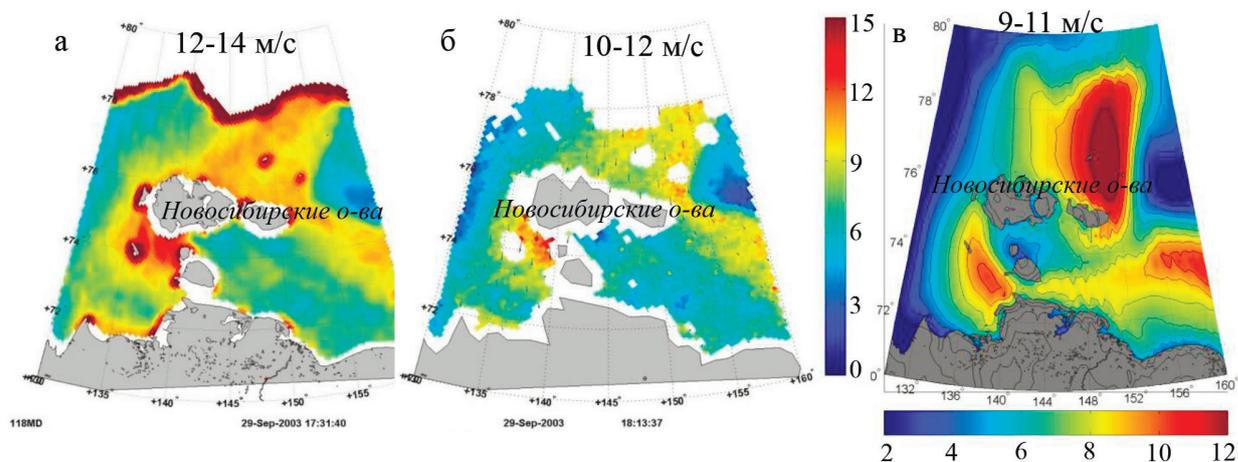


Рис. 3. Поля приводного ветра по измерениям микроволнового радиометра AMSR-E (спутник Aqua) за 17:32 Гр. (а), скаттерометра QuikSCAT (спутник SeaWinds) за 18:13 Гр. (б) и арктического реанализа ASR на сетке 30 км за 18:00 Гр. (в) 29 сентября 2003 г. Шкалы в м/с

рис. 4 показаны поля паросодержания атмосферы и водозапаса облаков, восстановленные по данным радиометра AMSR-E. МЦ развивался в сухом воздухе, количество водяного пара в его облачной системе не превышало 6–7 кг/м² на фоне 3–5 кг/м² (рис. 4а, б). Вероятно, меньшая, чем в других регионах, интенсивность мезоциклонов восточной Арктики объясняется характерными для этого района слабыми потоками тепла и небольшим количеством водяного пара. Для достоверных выводов необходимо получить статистические оценки указанных параметров.

Водозапас облаков Q в МЦ варьировал в пределах 0,1–0,2 кг/м². Несмотря на крайне низкие значения Q , в полях капельной влаги спиральная структура МЦ отображается особенно отчетливо и идентична полям облачности. Очень хорошо в вариациях значений водозапаса облаков прорисованы спиральные рукава и глаз с $Q \approx 0$, по положению которого с большой точностью можно определить положение центра МЦ. Центр окружен облачной стеной, в которой $Q > 0,1$ кг/м² (рис. 4в, г).

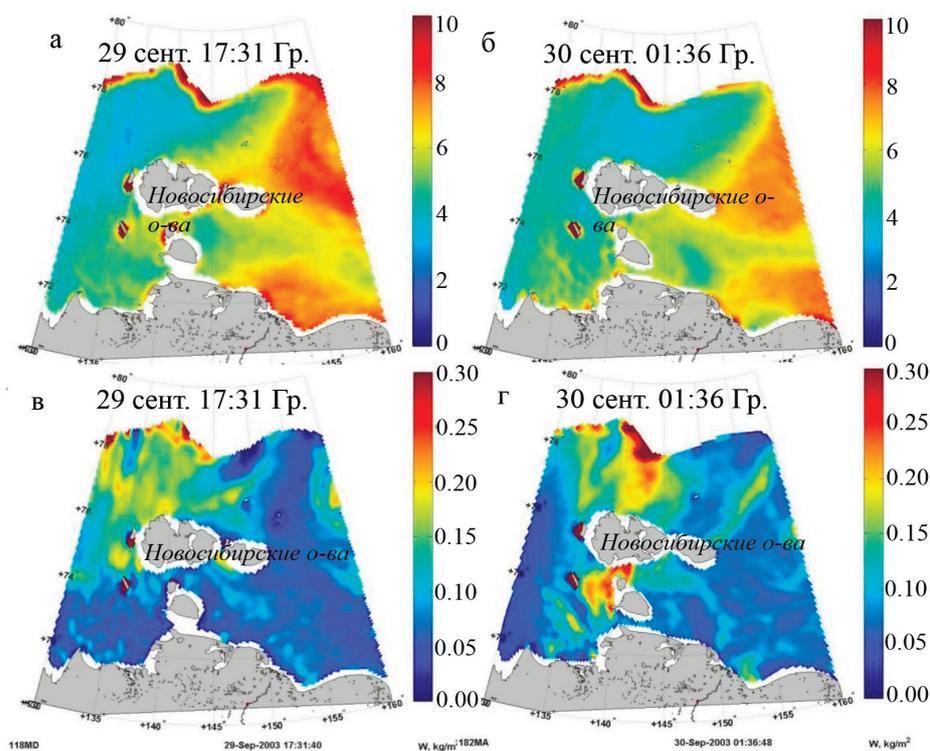


Рис. 4. Поля паросодержания атмосферы (а, б) и водозапаса облаков (в, г) по измерениям микроволнового радиометра AMSR-E (спутник Aqua) за 17:31 Гр. 29 сентября (слева) и 01:36 Гр. 30 сентября (справа) 2003 г. Шкалы в кг/м²

Мезоциклон под холодной высотной депрессией 28–29 августа 2013 г.

На рис. 5 показан пример мезомасштабного циклогенеза под холодной высотной депрессией. Такой тип МЦ наблюдается и в других регионах мезомасштабного циклогенеза, в частности, над Японским морем (Ninomiya et al., 1993; Гурвич и др., 2010). В поле облачности виден фронт по типу окклюзии, который сформировался вдоль периферии высотной де-

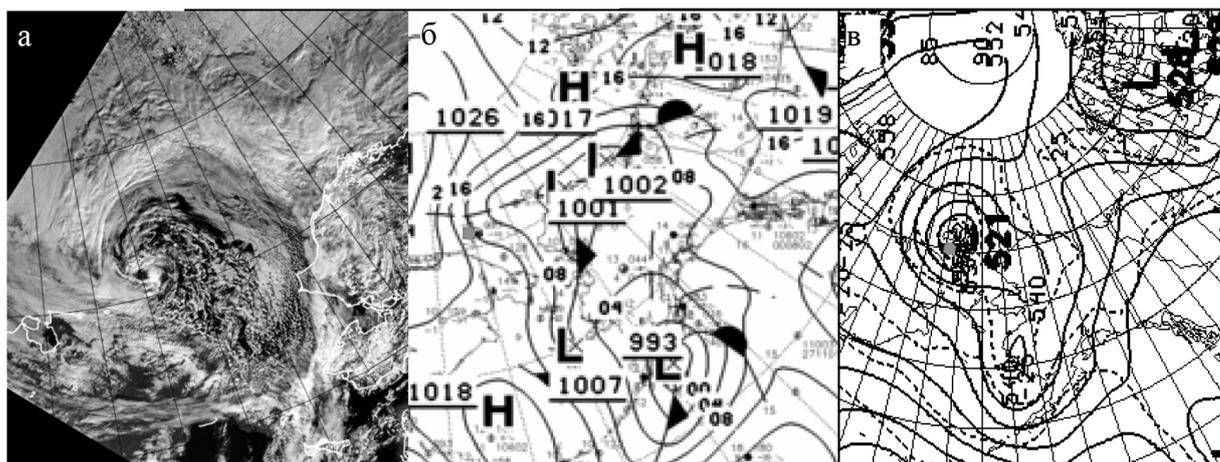


Рис. 5. Видимое изображение MODIS (спутник Aqua) за 22:40 Гр. 28 августа (а), карты приземного анализа (б) и геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 мб (в) за 00 Гр. 29 августа 2013 г.

прессии в результате выноса тепла в системе тихоокеанского циклона и адвекции холода от покрытой льдом акватории Восточно-Сибирского моря (рис. 5а). Несмотря на небольшие горизонтальные размеры МЦ (около 200 км), диаметр глаза достаточно велик и составляет почти 60 км (рис. 5б). На карте приземного анализа МЦ отсутствует, соответствующий ему высотный центр на карте АТ500 характеризуется очагом холода, очерченным изотермой -35°C (рис. 5в). МЦ развивался при разности температур вода – АТ500 $36\text{--}39^{\circ}\text{C}$, что ниже общепринятого критерия ($\geq 38^{\circ}$), но несколько выше, чем в предыдущем случае. При этом разность температур вода – воздух $\approx 2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ была близка к критерию, благоприятному для мезоциклонической деятельности.

В стадии максимального развития скорость ветра W в западном секторе МЦ по данным AMSR2 достигала $12\text{--}18$ м/с. Усиление ветра было обусловлено адвекцией холода со стороны покрытых льдом акваторий (рис. 6а). Вокруг глаза скорость ветра не превышала $12\text{--}14$ м/с. Паросодержание атмосферы в МЦ было несколько выше, чем в предыдущем случае,

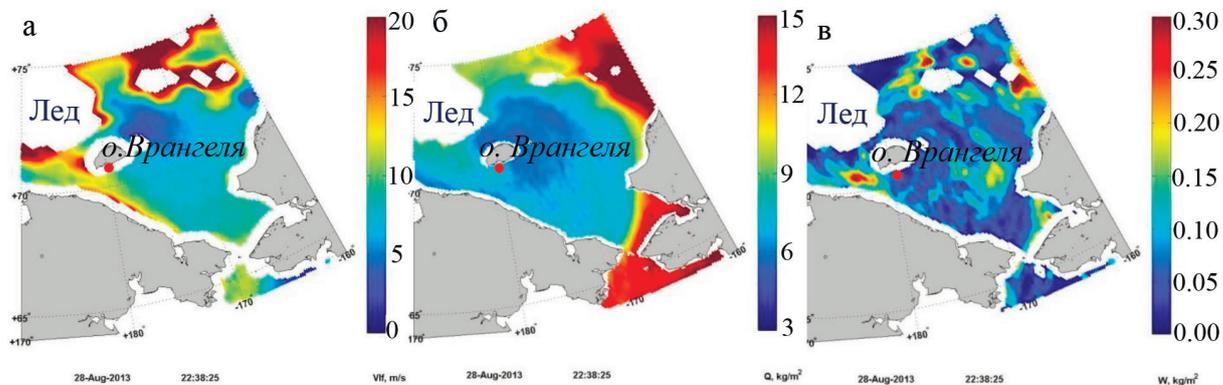


Рис. 6. Поля приводного ветра (а), паросодержания атмосферы (б) и водозапаса облаков (в) по измерениям AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 22:38 Гр. 28 августа 2013 г. Шкалы на (а) в м/с, на (б, в) – в $\text{кг}/\text{м}^2$

и составляло 7–9 кг/м² с максимумом в области максимальных ветров (рис. 6б), что, вероятно, обусловлено различиями механизмов формирования мезоциклонов. Водозапас облаков варьировал в пределах 0,1–0,3 кг/м², что характерно для восточноарктических МЦ, рассмотренных как в этой, так и в предыдущей работе авторов (Заболотских и др., 2015). Представляют интерес статистические характеристики этих параметров в мезоциклонах над морями восточной Арктики. Эта задача будет решаться в дальнейших исследованиях.

Мезоциклон над Чукотским морем 6–7 сентября 2013 г.

В отличие от предыдущих случаев, мезоциклон над Чукотским морем 6–7 сентября на картах приземного анализа был очерчен одной замкнутой изобарой. В стадии максимального развития, которого МЦ достиг за 8 часов существования, его горизонтальные размеры составляли 200–250 км, размеры эллиптического глаза – 25 x 35 км (рис. 7а,б). К востоку от МЦ виден слабо выраженный в поле облачности стационарный фронт *1*, обозначенный и на карте приземного анализа (не представлена), а также облачная полоса *2*, характерная для участка холодного фронта (рис. 7а). Скорость ветра в МЦ достигала 9–13 м/с. Значения капельной влаги варьировали в пределах 0,1–0,2 кг/м², а в северо-

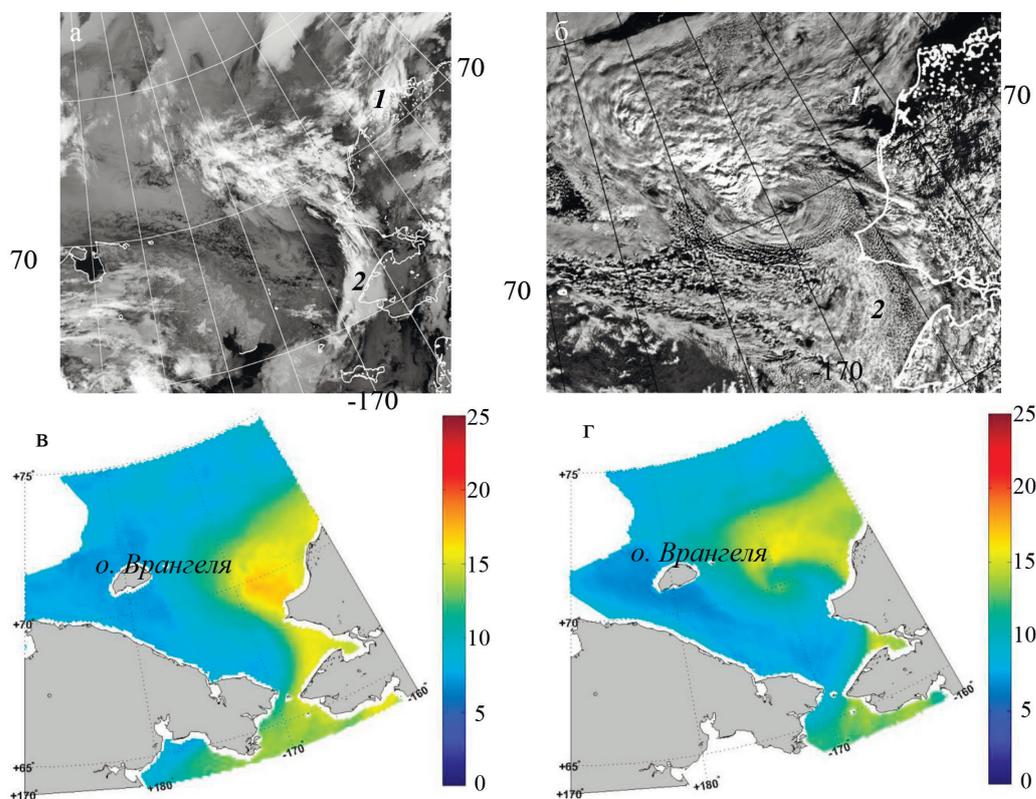


Рис. 7. ИК – за 15:30 Гр. (а) и видимое за 22:35 Гр. (б) изображения MODIS (спутник Aqua); поля паросодержания атмосферы за 14:26 Гр. (в) и 22:32 Гр. (г) по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) 6 сентября 2013 г. Шкалы на (в, г) в кг/м². Структуры, обозначенные буквами, поясняются в тексте

западном секторе, где облачность наиболее плотная, превышали $0,3 \text{ кг/м}^2$ (поля водозапаса облаков не представлены).

Развитие мезоциклона можно проследить в полях водяного пара по данным AMSR2 (рис. 7в,г). Рисунок показывает, что МЦ развивался по типу мгновенного окклюдирования. Причем в поле водяного пара хорошо виден процесс, идентичный секклюдии, в результате которого предположительно формируется центральная часть МЦ с теплым ядром (Montgomery, Farrell, 1992). Паросодержание атмосферы составляло $14\text{--}16 \text{ кг/м}^2$, что значительно выше, чем в предыдущих случаях и соизмеримо с паросодержанием в облачности МЦ над более южными регионами мезомасштабного циклогенеза.

Выводы

Комплексный анализ мультисенсорных спутниковых данных и термобарических полей тропосферы за период август – октябрь 2012–2013 гг. выявил наличие мезоциклонической деятельности над морями восточного сектора Арктики, примерные районы распространения мезоциклонов и синоптические условия их возникновения и развития. Восточноарктические МЦ в основном образуются вблизи кромки льда, в центральной части старых окклюдированных циклонов и под высотными холодными депрессиями. При благоприятных синоптических ситуациях и под влиянием орографии МЦ возникают вблизи островов и побережья материка. В восточной Арктике преобладают МЦ размером $\leq 200 \text{ км}$ со спиральной формой облачной системы ($\approx 90\%$), облачные запятыя встречаются крайне редко ($\approx 10\%$).

Типичные значения паросодержания атмосферы в МЦ составляют $6\text{--}8 \text{ кг/м}^2$, водозапаса облаков – $0,1\text{--}0,2 \text{ кг/м}^2$. Интенсивность МЦ в этом регионе значительно ниже, чем над арктическими морями, находящимися под обогревающим влиянием Гольфстрима. Так, за исследуемый период скорость приводного ветра в МЦ не превышала 20 м/с , МЦ со штормовыми ($\geq 25 \text{ м/с}$) и ураганными ($\geq 33 \text{ м/с}$) ветрами выявлены не были.

Несмотря на меньшее количество климатически значимых мезоциклонов ($> 200 \text{ км}$ в диаметре) и меньшую интенсивность, необходимость их исследования над восточной Арктикой не вызывает сомнений. Вызовет ли связанное с таянием льдов увеличение сезонности ледяного покрова обострение мезоциклонической активности в регионе, усиление интенсивности и увеличение продолжительности жизни МЦ? Этот вопрос пока остается открытым. Исследования региональных особенностей мезомасштабного циклогенеза, его вклада в изменения климата, перенос водяного пара и процессы взаимодействия океана и атмосферы в связи с увеличением площади свободных ото льда акваторий является крайне актуальной задачей на фоне растущей роли восточного сектора Арктики в развитии российской экономики.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН 15-I-1-009_о, целевой комплексной программы ДВО РАН “Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных научных исследований ДВО РАН” и при поддержке

Минобрнауки России в рамках проекта RFMEFI61014X0006 (соглашение №14.610.21.0006). В работе использовались данные с магаданской станции ИТЦ СКАНЭКС, полученные и обработанные в Спутниковом центре ДВО РАН – ЦКП Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН.

Литература

1. Гурвич И.А., Митник Л.М., Митник М.Л. Мезомасштабный циклогенез над дальневосточными морями: исследование на основе микроволновых радиометрических и радиолокационных измерений // Исследование Земли из космоса. 2008. № 5. С. 58–73.
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.
3. Гурвич И.А., Пичугин М.К. Исследование сравнительных характеристик типичных мезомасштабных циклонов над дальневосточными морями на основе спутникового мультисенсорного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 51–59.
4. Заболотских Е.В., Гурвич И.А., Шапрон Б. Новые районы распространения полярных циклонов в Арктике как результат сокращения площади ледяного покрова // Исследование Земли из космоса. 2015. № 2. С. 1–14.
5. Зимич П.И. Атмосферные процессы и погода Восточной Арктики. Владивосток: Дальнаука, 1998. 236 с.
6. Зимич П.И. Ураганы побережья Чукотки и их прогнозирование. Магадан: Дальнаука, 2002. 174 с.
7. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А., Колдунов Н.В., Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.
8. Мохов И.И., Акперов М.Г., Лагун В.Е., Луценко Э.И. Интенсивные арктические мезоциклоны // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 3. С. 291–297.
9. Blechschmidt A.M. A 2year climatology of polar low events over the Nordic Seas from satellite remote sensing // Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. No. 9.
10. Bobylev L.P., Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Mitnik M.L. Arctic Polar Low Detection and Monitoring Using Atmospheric Water Vapor Retrievals from Satellite Passive Microwave Data // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 2011. V. 49. No. 9. pp. 3302–3310.
11. Chechin D.G., Lüpkes C., Repina I.A., Gryanik V.M. Idealized dry quasi 2D mesoscale simulations of cold air out breaks over the marginal sea ice zone with fine and coarse resolution // J. Geophys. Res. Atm. 2013. V. 118. No. 16. pp. 8787–8813.
12. Claud C., Heinemann G., Raustein E., Mcmurdie L. Polar low le Cygne: Satellite observations and numerical simulations // Quart. J. Royal Meteorol. Soc. 2004. V. 130. No. 598. pp. 1075–1102.
13. Condron A., Renfrew I.A. The impact of polar mesoscale storms on northeast Atlantic Ocean circulation // Nat. Geosci. 2012. V. 6. No. 1. pp. 34–37.
14. Harold J.M., Bigg G.R., Turner J. Mesocyclone activity over the northeast Atlantic. Part 1: Vortex distribution and variability // J. Climatol. 1999. V. 19, No. 11. pp. 1187–1204.
15. Kolstad E.W., Bracegirdle T.J., Seierstad I.A. Marine cold air outbreaks in the North Atlantic: temporal distribution and associations with large scale atmospheric circulation // Clim. Dyn. 2009. V. 33. No. 2–3. pp. 187–197.
16. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Gurvich I.A. Passive and active microwave sensing of winter mesoscale cyclones over the ocean // Proc. IGARSS'06, Denver, Colorado, 31 July–4 August, 2006.
17. Montgomery M.T., Farrell B.F. Polar low dynamics // J. Atmos. Science. 1992. Vol. 49. No. 24. pp. 2484–2505.
18. Ninomiya K., Wakahara K., Ohkubo H. Meso-a-scale low development over the northeastern Japan Sea under the influence of a parent large-scale low and a cold vortex aloft // J. Meteor. Soc. Japan, 1993. V. 71. pp. 73–91.
19. Overland J.E., Wang M. Large scale atmospheric circulation changes are associated with the recent loss of Arctic sea ice // Tellus A. 2010. V. 62. No. 1. pp. 1–9.
20. Rasmussen E.A., Turner J. Polar lows: mesoscale weather systems in the polar regions. Cambridge: Cambr. Univ. Press, 2003, 612 p.
21. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. No.13. pp. 3347–3350.
22. Zahn M., von Storch H. Investigation of Past and Future Polar Low Frequency in the North Atlantic // Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective / Eds. A.S. Sharma et al. Geophys. Monogr.Ser. 196. Amer. Geophys. Union. 2013. pp. 99–110.

Mesoscale polar lows over the Eastern Arctic Sector according to multisensor satellite remote sensing

I.A. Gurvich¹, E.V. Zabolotskikh²

¹ V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS
Vkadivostok, 690041, Russia, E-mail: gurvich@poi.dvo.ru

² Hydrometeorological University
Saint-Petersburg, 195196, Russia, E-mail: liza@rshu.ru

The mesoscale cyclonic activity over the eastern Arctic seas is analyzed using multisensor satellite remote sensing data, synoptic maps of surface analysis, baric topography and reanalysis data. Statistical estimates are obtained for mesocyclones of August–October 2012–2013, identified on Aqua and Terra MODIS and NOAA AVHRR visible and infrared images. Quantitative estimates of the oceanic and atmospheric parameters are obtained from satellite passive microwave measurements using original algorithms. A comprehensive analysis of multisensory satellite data and contiguous information is used to detect the new areas of mesocyclone occurrence and spread in association with the warming Arctic climate and reduced ice cover. Preliminary statistical estimates of mesocyclone dominant size, structure and form of the cloud system are obtained. A detailed analysis of several case studies revealed the regional conditions of their forming and development, and differences from the general laws governing mesocyclone features in the traditional areas of their development. Further investigation is very important due to intensification of the use of the Russian Arctic seas, and the danger of intense mesocyclones to shipping and coastal national economic activity in this region.

Keywords: mesocyclones, eastern Arctic, multisensor satellite remote sensing, water vapor, cloud liquid water, sea surface wind

References

1. Gurvich I.A., Mitnik L.M., Mitnik M.L. Mezomasshtabnyj ciklogenez nad dal'nevostochnymi morjami: issledovanie na osnove mikrovolnovykh radiometricheskikh i radiolokacionnykh izmerenij (Mesoscale cyclogenesis over The Far Eastern Seas: study based on satellite microwave radiometric and radar measurements), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2008, No. 5, pp. 58–73.
2. Gurvich I.A., Mitnik L.M., Mitnik M.L. Mezomasshtabnyj ciklogenez nad Japonskim morem 7–13 janvarja 2009 g. po sputnikovym mul'tisensornym dannym (Mesoscale cyclogenesis over the Japan Sea on 7-13 January 2009 from satellite multisensory data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2010, No. 4, pp. 11–22.
3. Gurvich I.A., Pichugin M.K. Issledovanie sravnitel'nykh harakteristik tipichnykh mezomasshtabnykh ciklonov nad dal'nevostochnymi morjami na osnove sputnikovogo mul'tisensornogo zondirovaniya (Study of comparative characteristics of the mesoscale cyclones over the Far Eastern seas on the basis of multisensory satellite remote sensing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10. No. 1, pp. 51–59.
4. Zabolotskikh E.V., Gurvich I.A., Chapron B. Novye rajony rasprostraneniya poljarnykh ciklonov v Arktike kak rezul'tat sokrashheniya ploshhadi ledjanogo pokrova (New Areas of Polar Lows Over the Arctic as a Result of Sea Ice Extent Decrease), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2015, No. 2, pp. 1–14.
5. Zimich P.I. *Atmosfera i pogoda Vostochnoj Arktiki* (Atmospheric processes and weather Eastern Arctic), Vladivostok: Dal'nauka, 1998, 236 p.
6. Zimich P.I. *Uragany poberezh'ja Chukotki i ih prognozirovanie* (Hurricanes of Chukotka coast and their forecasting), Magadan: Dal'nauka, 2002, 174 p.
7. Ivanov V.V., Alexeev V.A., Alexeeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Arkticheskij ledjanij pokrov stanovitsja sezonnym? (Does Arctic Ocean Ice Cover Become Seasonal?), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 4, pp. 50–65.
8. Mokhov I.I., Akperov M.G., Lagun V.E., Lutsenko E.I. Intensivnye arkticheskie mezociklony (Intense Arctic mesocyclones), *Izvestiya RAN, Physics Atmosphere and Ocean*, 2007, Vol. 43, No. 3, pp. 291–297.
9. Blechschmidt A.M. A 2year climatology of polar low events over the Nordic Seas from satellite remote sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 2008, Vol. 35, No. 9, doi:10.1029/2008gl033706.
10. Bobylev L.P., Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Mitnik M.L. Arctic Polar Low Detection and Monitoring Using Atmospheric Water Vapor Retrievals from Satellite Passive Microwave Data, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 2011, Vol. 49, No. 9, pp. 3302–3310.
11. Chechin D.G., Lüpkes C., Repina I.A., Gryanik V.M. Idealized dry quasi 2D mesoscale simulations of cold air out breaks over the marginal sea ice zone with fine and coarse resolution, *J. Geophys. Res. Atm.*, 2013, Vol. 118, No. 16, pp. 8787–8813.
12. Claud C., Heinemann G., Raustein E., McMurdie L. Polar low le Cygne: Satellite observations and numerical simulations, *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.*, 2004, Vol.130, No. 598, pp. 1075–1102.
13. Condrón A., Renfrew I.A. The impact of polar mesoscale storms on northeast Atlantic Ocean circulation, *Nat. Geosci.*, 2013, Vol. 6, No. 1, pp. 34–37.
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. Kolstad E.W., Bracegirdle T.J., Seierstad I.A. Marine cold air outbreaks in the North Atlantic: temporal distribution and associations with largescale atmospheric circulation, *Clim. Dyn.*, 2009, Vol. 33, No. 2–3, pp. 187–197.
16. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Gurvich I.A. Passive and active microwave sensing of winter mesoscale cyclones over the ocean, *Proc. IGARSS'06*, Denver, Colorado, 31 July–4 August, 2006.
17. Montgomery M.T., Farrell B.F. Polar low dynamics, *J. Atmos. Science*, 1992, Vol. 49, No. 24, pp. 2484–2505.
18. Ninomiya K., Wakahara K., Ohkubo H. Meso-a-scale low development over the northeastern Japan Sea under the influence of a parent large-scale low and a cold vortex aloft, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1993, Vol. 71, pp. 73–91.
19. Overland J.E., Wang M. Large scale atmospheric circulation changes are associated with the recent loss of Arctic sea ice, *Tellus A*, 2010, Vol. 62, No. 1, pp. 1–9.
20. Rasmussen E.A., Turner J. *Polar lows: mesoscale weather systems in the polar regions*, Cambridge: Cambr. Univ. Press, 2003, 612 p.
21. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 2013, Vol. 40, No. 13, pp. 3347–3350.
22. Zahn M., von Storch H. Investigation of Past and Future Polar Low Frequency in the North Atlantic, *Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective*, Eds. A.S. Sharma et al., Geophys. Monogr. Ser. 196, Amer. Geophys. Union, 2013, pp. 99–110.