

М.К.Пичугин, И.А.Гурвич

*Тихоокеанский океанологический институт им.В.И.Ильичева
Дальневосточного отделения РАН, г.Владивосток***СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ И
НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ
ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ**

Исследуются характеристики интенсивных морских погодных систем над окраинными морями восточного сектора евразийской Арктики (ВЕА) за осенне-зимние периоды (сентябрь – декабрь) 2014 – 2015 гг. на основе комплексных мультисенсорных спутниковых измерений. Анализ полей гидрометеорологических параметров, восстановленных по спутниковым данным, показал, что над морем Лаптевых, Чукотским и Восточно-Сибирским морями в исследуемый период систематически регистрируются атмосферные циклоны синоптического масштаба (далее Арктические циклоны) со скоростью ветра у морской поверхности $W = 15$ м/с и более, хотя они менее интенсивны и имеют меньшие размеры, чем внетропические циклоны умеренных широт. В тылу отдельных циклонов возникали холодные вторжения с ледяной полярной шапки с максимальной $W = 15 - 22$ м/с. Вторжения сопровождались формированием мезомасштабных облачных гряд, отражая процесс валиковой конвекции в пограничном слое атмосферы. Также над окраинными морями ВЕА наблюдался мезомасштабный циклогенез, который наиболее активен в октябре. Характерные размеры мезоциклонов не превышали, в среднем, 200 – 300 км с максимальным ветром $W = 14 - 16$ м/с.

Ключевые слова: *Арктика, циклоны, мезоциклоны, спутниковые измерения, мультисенсорный анализ, холодные вторжения, синоптические условия*

В последние годы в связи с сокращением площади ледяного покрова циклонической деятельности над восточным сектором евразийской Арктики (ВЕА) уделяется повышенное внимание. Ее интенсификация обусловлена климатическими изменениями, но в то же время отмечено её влияние на экстремальные среднеширотные климатические проявления [1 – 2].

Комплексный анализ мультисенсорных спутниковых измерений [3, 6] и усовершенствованных данных реанализа *ASR* и *ERA-Interim* выявило, что циклоническая деятельность в Арктике более интенсивна, чем предполагалось ранее. Ряд исследователей отмечают тенденцию к усилению ветра и увеличению высоты волн в сентябре – октябре в прибрежных районах окраинных морей ВЕА и северной части Берингова моря [4, 5].

В работе представлены результаты исследования формирования и эволюции интенсивных морских погодных систем и их воздействия на гидрометеорологические условия окраинных морей ВЕА в осенне-зимние сезоны (сентябрь – декабрь) 2014 – 2015 гг. по данным спутникового дистанционного зондирования.

Для изучения циклогенеза использовались видимые и инфракрасные изображения спектрорадиометра *MODIS* (спутники *Terra* и *Aqua*) и поля приводного ветра по измерениям скаттерометра *ASCAT* со спутников *MetOp-A*

и *MetOp-B* и микроволнового радиометра *AMSR2* (спутник *GCOM-W1*). Для количественных оценок паросодержания атмосферы, водозапаса облаков применялись оригинальные алгоритмы восстановления геофизических параметров по данным *AMSR2* [8, 9].

Циклон над Чукотским морем 24 – 25 сентября 2015 г. Циклон, который 24 – 25 сентября 2015 г. определял погодные условия над Чукотским морем, вышел на его акваторию из районов Колымы и Якутии. В 00.00 24 сентября он сместился на Чукотское море с давлением в центре 992 гПа. После этого он медленно перемещался на северо-восток и продолжал углубляться. Стадии максимального развития циклон достиг в 12.00 24 сентября, при этом давление в его центре упало до 987 гПа. В дальнейшем он медленно заполнялся, продолжая перемещаться на северо-восток.

Как следует из карт приземного анализа за 00.00 25 сентября (рис.1, *а*), к югу от основного центра образовался еще один центр циклонической циркуляции, который хорошо виден также в поле облачности на ИК-изображении радиометра *MODIS* (спутник *Aqua*) за 23.00 24 сентября (рис.1, *б*).

Максимальное паросодержание атмосферы V в циклоне по данным радиометра *AMSR2* (спутник *GCOM-W1*) составляет 18 – 20 кг/м². Такое количество водяного пара сопоставимо с паросодержанием в полярно-фронтальных циклонах над северо-западной частью Тихого океана (СЗТО). Водозапас облаков Q мал, что характерно для восточно-арктического региона, и варьирует в диапазоне 0,1 – 0,2 кг/м².

Максимальная скорость ветра регистрировалась вокруг центра циклона, в зоне теплого фронта и фронта окклюзии достигала 18 – 20 м/с (рис.2, *а*, *б*). Цифрами 1 и 2 отмечены локальные зоны с аномально высокими значениями ветра, где формируется морской лед, приводящий к существенным погрешностям в восстановлении этого параметра. В центральной части циклона скорость ветра не превышала 3 – 5 м/с. По мере перемещения циклона на

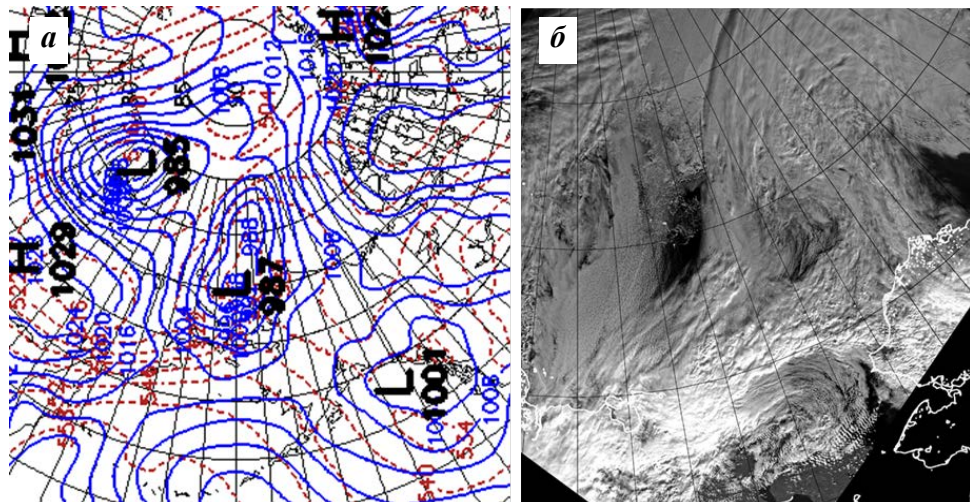


Рис.1. Эволюция циклона над Чукотским морем: карта приземного анализа Национального центра окружающей среды *NOAA* за 00:00 GMT 25 сентября (*а*); ИК-

изображение облачности по данным спектрорадиометра *MODIS* (спутник *Aqua*) за 23:00 GMT 24 сентября (б) 2015 г.

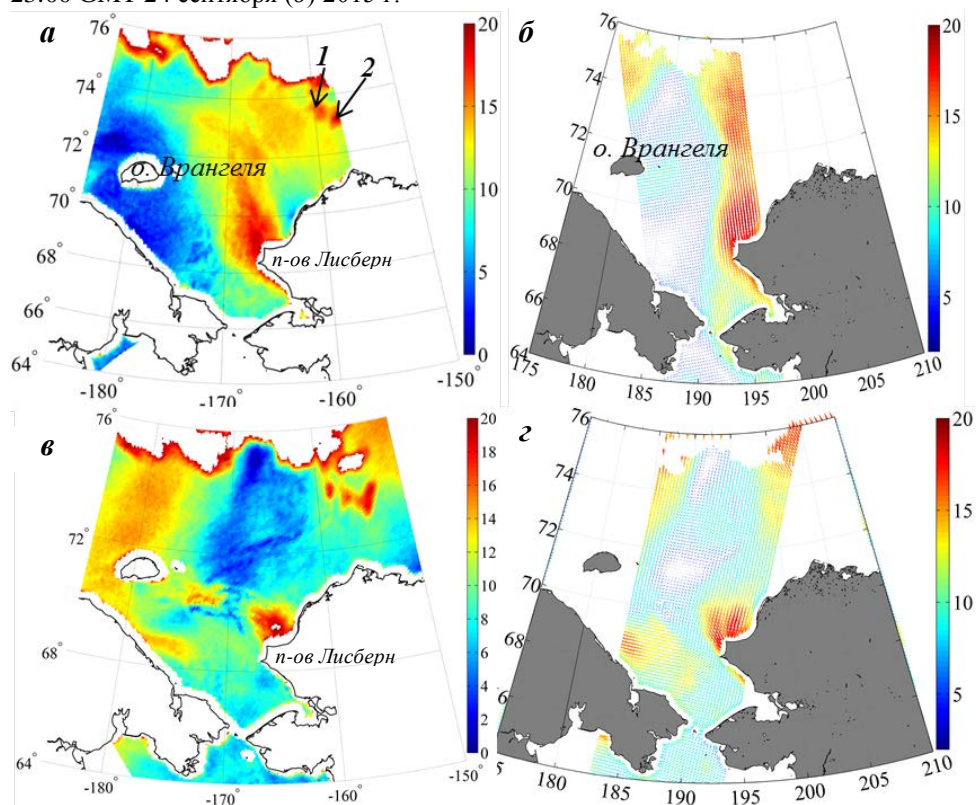


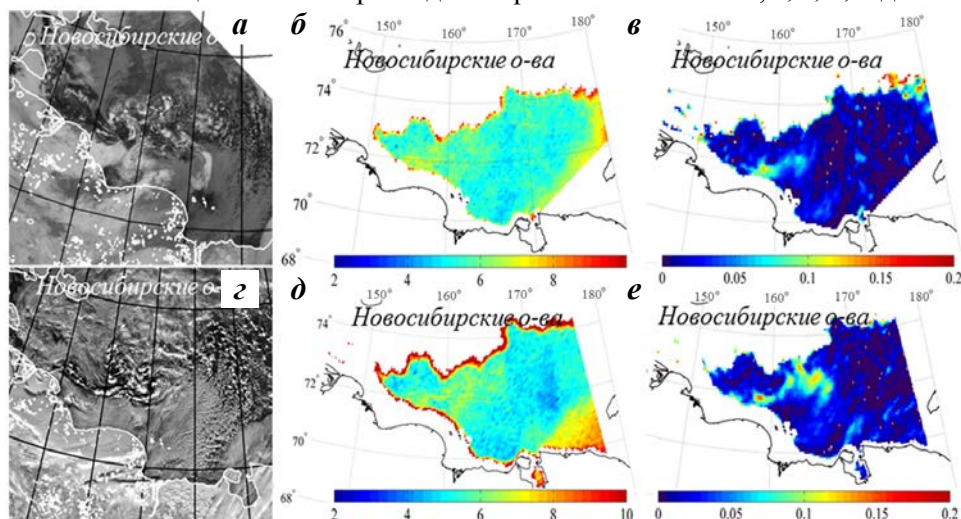
Рис. 2. Поля приводного ветра по измерениям радиометра *AMSR2* (спутник *GCOM-W1*) за 23:50 GMT 23 сентября (а) и 22:54 GMT 24 сентября (в); по измерениям скаттерметра *ASCAT* (спутники *MetOp-A* и *MetOp-B*) за 08:53 GMT (б) и 21:39 GMT (з) 24 сентября 2015 г. Цифрами «1» и «2» отмечены зоны формирования морского льда. Шкалы в м/с.

северо-восток область сильных ветров вокруг его центральной части сохранялась. Однако максимальные ветры наблюдались в северо-восточном секторе двухцентровой циклонической системы, в зоне повышенных барических градиентов между циклоном и гребнем высокого давления, который распространялся на северо-запад от мощного антициклона с центром над Северной Америкой (рис.2, в, з). Еще один очаг усиления ветра регистрировался к северу от п-ова Лисберн и, вероятно, был обусловлен орографическим эффектом, характерным для этого района при различных направлениях ветра (рис.2, з). Заполнение циклона сопровождалось расширением площади его маловетреной центральной части. При этом вокруг центральной части сохранялись ветры силой 12 – 15 м/с, местами до 18 м/с (рис.2, в, з).

Мезоциклоны над Восточно-Сибирским морем 17 октября 2015 г.

Рис.3, а, з показывает формирование облачной системы мезоциклонов спиральной формы с горизонтальными размерами около 200 км и диаметром малооблачного глаза примерно 20 км. Мезоциклоны существовали около суток. На ИК-изображении *MODIS* (спутник *Aqua*) за 16:40 GMT 17 октября

(не представлено) в районе их локализации уже регистрировалась только конвективная цепочка с вихрями диаметром < 100 км. Рис.3, б, в, д, е демон-



Р и с . 3 . Инфракрасное за 17:35 GMT 16 октября (а) и видимое за 01:40 GMT 17 октября (с) изображения MODIS (спутник Aqua); паросодержание атмосферы и водо-запас облаков по измерениям радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 17:30 GMT 16 октября (б, в) и 01:40 GMT 17 октября (д, е) 2015 г. Шкалы на (б, в, д, е) в кг/м².

стрирует эволюцию мезоциклонов в полях водяного пара и капельной влаги, восстановленных по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) при помощи оригинальных алгоритмов [8, 9]. Паросодержание атмосферы в облачной системе МЦ составляет 5 – 7 кг/м² и незначительно отличается от паросодержания фона 4 – 5 кг/м² (рис.3, б, д). Достаточно отчетливо спиральная структура мезоциклонов отображается в поле водозапаса облаков Q (рис.3, в, е).

Мезоциклоническая деятельность сопровождалась усилением ветра до 10 – 12 м/с. Это следует из анализа полей приводного ветра по измерениям как микроволнового радиометра AMSR2 со спутника GCOM-W1 (рис.4, а), так и скаттерометра ASCAT со спутников MetOp-A и MetOp-B (рис.4, б). В полях ветра мезоциклоническая циркуляция проявляется достаточно отчетливо, несмотря на погрешности восстановления скорости ветра вблизи

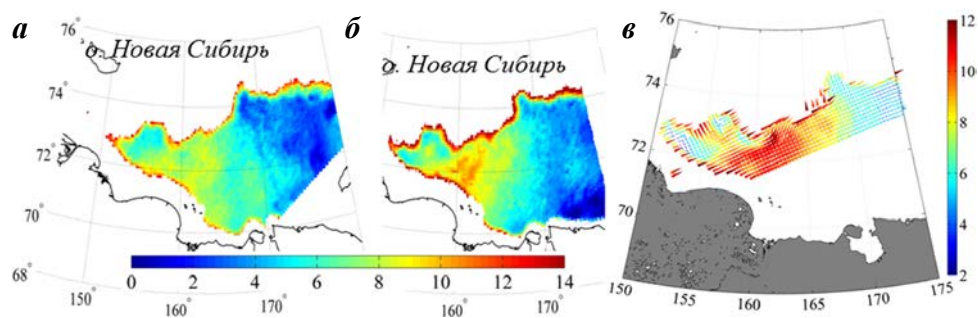


Рис. 4. Поля приводного ветра по данным радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) за 17:30 GMT 16 октября (а) и 01:40 GMT 17 октября (б) и по данным скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-A и MetOp-B) и 03:28 GMT (в) 17 октября 2015 г.

кромки льда. Особенно отчетливо отображена спиральная структура мезоциклонов в поле вектора приводного ветра по измерениям скаттерометра (рис.4, в).

Заключение. В работе исследуются характеристики интенсивных морских погодных систем над окраинными морями ВЕА за осенне-зимние периоды (сентябрь – декабрь) 2014 – 2015 гг. на основе комплексных мультисенсорных спутниковых измерений. Анализ полей гидрометеорологических параметров, восстановленных по спутниковым данным, показал, что над морем Лаптевых, Чукотским и Восточно-Сибирским морями в исследуемый период регулярно регистрируются атмосферные циклоны синоптического масштаба (далее Арктические циклоны) со скоростью ветра у морской поверхности (W) 15 м/с и более, хотя они менее интенсивны и имеют меньшие размеры, чем внетропические циклоны умеренных широт. Характерными синоптическими условиями формирования и эволюции Арктических циклонов является географическая отдаленность от основных зон циклогенеза северного полушария и высокая концентрация над Северным Ледовитым океаном, проявляющаяся в соизмеримости расстояний между центрами барических систем и их горизонтальными размерами.

Мезомасштабный циклогенез над ВЕА наиболее активен в октябре. В ноябре же большая часть акваторий быстро покрывается льдом, что значительно сокращает площадь районов мезомасштабного циклогенеза. Получение репрезентативных количественных характеристик мезоциклонов в прикромочной зоне из микроволновых спутниковых измерений осложняется наличием дрейфующего и разреженного льда на акваториях, охваченных мезоциклонической деятельностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tilinina T., Gulev S.K., Bromwich D.H.* New view of Arctic cyclone activity from the Arctic system reanalysis // *Geophys. Res. Letters.*– 2014.– v.41, issue 5.– P.1766-1772.
2. *Sienkiewicz J.M., Jelenak Z., Chang P.S., Folmer M., Albright B., Fadden G.* The operational use of scatterometer Surface vector winds in extreme winter ocean storms // *Fourth Session of the Joint WMO-IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology.* 23-31 May 2012.– Yeosu, Korea Rep.
3. *Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B.* New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing // *Geophys. Res. Letters.*– 2013.– v.40, issue 13.– P.3347-3350.
4. *Lynch A., Cassano E., Cassano J., Lestak L.R.* Case studies of high wind events in Barrow, Alaska: climatological context and development processes // *Monthly Weather Review.*– 2003.– v.131.– P.719-732.
5. *Wang X.L., Feng Y., Swail V.R., Cox A.* Historical changes in the Beaufort-Chukchi-Bering Seas surface winds and waves, 1971 – 2013 // *Journal of Climate.*– 2015.– v.28.– P.7457-7469.
6. *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.64-77.

7. *Гурвич И.А., Заболотских Е.В.* Мезомасштабные полярные циклоны над восточным сектором Арктики по данным мультисенсорного спутникового зондирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2015. – т.12, № 3. – С.101-112.
8. *Митник Л.М., Митник М.Л.* Алгоритм восстановления скорости приводного ветра по измерениям микроволнового радиометра AMSR-E со спутника Aqua // *Исследование Земли из космоса.* – 2011. – № 6. – С.34-44.
9. *Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В.* Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2013. – т.10, № 3. – С.135-141.

Материал поступил в редакцию 14.02.2016 г.
После доработки 11.11.2016 г.

M.K.Pichugin, I.A.Gurvich

SATELLITE SENSING OF HAZARDOUS AND ADVERSE WEATHER EVENTS OF MARGINAL SEAS OF THE EASTERN EURASIAN ARCTIC

Parameters of intensive marine weather systems over the marginal seas of the Eastern sector of the Eurasian Arctic (EEA) in autumn – winter (September – December) 2014 – 2015 are studied using integrated multisensor satellite measurements. Analysis of geophysical parameters retrieved from satellite active and passive microwave measurements is showed that for period under study over the Laptev, Chukchi and East-Siberian Seas the synoptic atmospheric cyclones (the Arctic cyclones) are systematically determined with surface winds $W = 15$ m/s and more. However they are less intense and are smaller than extratropical cyclones of the North Pacific and Atlantic Oceans. In the rear of the separate cyclones Cold-Air Outbreaks (CAO) occurred from the ice polar cap with a maximum $W = 15 - 22$ m/s. CAO were accompanied by the formation of mesoscale “cloud streets”, reflecting the roll convection in the atmospheric boundary layer. Also mesoscale cyclones (MC) which are most active in October were observed over EEA marginal seas. The typical size of MC was at an average 200 – 300 km with a maximum wind $W = 14 - 16$ m/s.

KEYWORDS: the Arctic, cyclones, mesocyclones, satellite measurements, multi-sensory analysis, cold invasion, synoptic conditions