Мезомасштабный циклогенез над Японским морем. Часть II: мезоциклоническая деятельность при атмосферном блокировании

И. А. Гурвич, М. К. Пичугин, Е. С. Хазанова

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

Владивосток, 690041, Россия

E-mails: gurvich@poi.dvo.ru, pichugin@poi.dvo.ru, khazanova@poi.dvo.ru

В части II работы анализировалось усиление мезоциклонической активности над Японским морем в холодное время 2017/2018 гг. Интерес к выбранному сезону обусловлен аномально продолжительным холодным вторжением, которое было связано со стационаризацией блокирующего тихоокеанского высотного гребня над северо-западной частью Тихого океана в течение 10–11 дней. Для анализа эволюции полярных мезоциклонов (ПМЦ) над Японским морем использовались мультисенсорные спутниковые измерения. ПМЦ идентифицировались по данным архива спутниковых изображений за 15 холодных сезонов (октябрь–апрель) 2003–2018 гг. Мезоциклоническая деятельность на фоне блокирующего процесса в холодном сезоне 2017/2018 гг. в целом продолжалась 17 сут с перерывами на 1–3 сут. С 22 января по 7 февраля 2018 г. над Японским морем возникло 11 ПМЦ мезо- α - и мезо- β -масштаба различной интенсивности. Особое внимание было уделено ПМЦ со скоростью ветра, близкой к ураганной (>30 м/с), и ПМЦ с двойной петлёй траектории и жизненным циклом >7 сут, что сопоставимо с жизненным циклом циклона синоптического масштаба. Изучение ПМЦ с петлями траекторий, равно как и долгоживущих, будет продолжено по мере пополнения архива и увеличения рядов наблюдений.

Ключевые слова: полярные мезоциклоны, Японское море, мультисенсорные спутниковые измерения, блокирующий высотный гребень, петля траектории

Одобрена к печати: 29.01.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-243-251

Введение

Полярными мезоциклонами (ПМЦ) называют нефронтальные конвективные мезомасштабные вихри с облачной системой в форме запятой или спирали и малооблачным центром (глазом). Горизонтальные размеры ПМЦ в большинстве случаев составляют 200–600 км, жизненный цикл — от нескольких часов до трёх суток. ПМЦ возникают в холодном воздухе над морями высоких широт в тылу глубоких циклонов синоптического масштаба (Rasmussen, Turner, 2003). С ними обычно связано внезапное ухудшение погоды, которое трудно прогнозировать из-за взрывного характера их формирования и очень быстрого развития. Сопровождающий ПМЦ штормовой ветер, опасное волнение моря и обледенение судов представляют угрозу мореплаванию и прибрежным районам.

Японское море (ЯМ) расположено южнее основных районов мезоциклогенеза. Тем не менее оно характеризуется интенсивной мезоциклонической деятельностью в холодное время года, во время действия зимнего муссона, который формируется в результате больших температурных контрастов между океаном и континентом. Крупномасштабная атмосферная циркуляция оказывает определяющее влияние на мезоциклогенез (Blechschmidt et al., 2009; Ninomiya et al., 1993; Rojo et al., 2015). Основным элементом структуры термобарического поля тропосферы над Дальним Востоком в зимний период является обширная устойчивая ложбина у восточного побережья Азиатского материка, так называемая дальневосточная ложбина (Руководство..., 1988), в тылу которой происходят вторжения холодной континентальной (полярной) или арктической воздушной массы на относительно тёплую поверхность морей. Холодные вторжения (ХВ) вызывают резкий рост разности температуры вода — воздух и, как следствие, усиление конвективной неустойчивости пограничного слоя атмосферы (Fu, 2000; Ninomiya, 1991; Rasmussen, Turner, 2003). Интенсивность мезоциклогенеза обусловлена

циклонической деятельностью на полярном фронте и более высокой температурой поверхности ЯМ, чем морей северных широт (Tsuboki, Wakahama, 1992). Японское море зимой практически свободно ото льда, за исключением Татарского пролива и зал. Петра Великого, поэтому конвективная и мезоциклоническая деятельность охватывает почти всю его акваторию. Локализация очагов мезоциклогенеза показана в первой части работы.

Основными районами циклогенеза на Дальнем Востоке в холодное полугодие являются Восточно-Китайское, Жёлтое и Японское моря, а также прилегающая к Японии акватория Тихого океана. Циклоны, которые возникают в этом районе на полярном фронте, называют южными. Южные циклоны (ЮЦ) быстро углубляются и увеличиваются в размерах к востоку от Японии над течением Куроисио. Большая их часть перемещается на северо-восток, в частности к Берингову морю, где они пополняют и обостряют алеутскую депрессию. Структура термобарического поля тропосферы при типичном зимнем положении алеутской депрессии с центром над Алеутскими островами, благоприятная для мезомасштабного циклогенеза над северо-западной частью Тихого океана (СЗТО) (Fu, 2000; Ninomiya et al., 1993; Tsuboki, Wakahama, 1992), показана на *рис. 1а*. В случае формирования над СЗТО блокирующего тихоокеанского высотного гребня (*рис. 1б*) циклоны выходят на Охотское море и образуют стационарный центральный циклон, в который вливаются новые ЮЦ. Такие процессы сопровождаются продолжительными холодными вторжениями в его тылу, что также может приводить к обострению мезоциклонической деятельности над Японским морем (Руководство..., 1988).

Рис. 1. Декадные поля геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа (AT500) за 6–16 января 2013 г. (а) и 21–31 января 2018 г. (б). Синие звёздочки показывают положение полярных мезоциклонов в начальной стадии развития

Полярные мезоциклоны над ЯМ в тылу ЮЦ первоначально перемещаются на северо-восток (Гурвич и др., 2017). Они недостаточно отчётливо определяются в поле облачности в начальной стадии развития и развиваются по типу быстрого окклюдирования над северной частью моря. Одновременно над юго-западной частью моря, с подветренной стороны горы Чанбайшань, в результате блокирующего эффекта формируется зона конвергенции полярных воздушных масс JPCZ — Japan Sea Polar airmass Convergence Zone (Fu, 2000; Tsuboki, Asai, 2004). JPCZ генерирует ПМЦ, в том числе серии волновых мезо- β -циклонов (Orlanski, 1975), которые перемещаются на юго-восток к побережью Японии.

Целью части II работы является анализ мезоциклонической деятельности над Японским морем в холодном сезоне 2017/2018 гг. при аномально продолжительном холодном вторжении на фоне блокирующего тихоокеанского высотного гребня. Внимание акцентировалось на двух ПМЦ с петлями траекторий, в одном из которых регистрировалась скорость ветра >30 м/с. Второй рассмотренный ПМЦ представляет интерес двойной петлёй траектории и жизненным циклом >7 сут, что сопоставимо с жизненным циклом циклона синоптического масштаба.

Данные и методы

Исследования проводились на основе комплексного анализа мультисенсорных спутниковых измерений. Полярные мезоциклоны идентифицировались визуально по форме облачной системы по данным архива видимых и инфракрасных (ИК) изображений спектрорадиометра MODIS со спутников Aqua и Terra за 15 холодных сезонов (октябрь – апрель) 2003–2018 гг. Для построения траекторий использовались координаты центров ПМЦ, снятые визуально со спутниковых изображений. При идентификации ПМЦ с жизненным циклом менее половины суток, которые попадали между измерениями MODIS, привлекались ИК-изображения с геостационарного спутника COMS Кореянского метеорологического управления (КМА — Korea Meteorological Administration) с почасовым шагом. Количественные оценки гидрометеорологических параметров на разных стадиях развития ПМЦ были получены из полей приводного ветра, интегрального паросодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным микроволнового радиометра AMSR2 со спутника GCOM-W1. Для их восстановления применялись алгоритмы, основанные на физическом моделировании радиояркостных температур уходящего излучения системы «океан – атмосфера» и их последующем обращении в геофизические параметры (Митник и др., 2013; Zabolotskikh et al., 2013, 2014). При оценке интенсивности ПМЦ поля приводного ветра по данным AMSR2 дополнялись измерениями скаттерометра ASCAT со спутников MetOp-A/B.

Для оценки развития синоптических процессов использовались карты приземного анализа и барической топографии и карты AT500 для северного полушария Японского метеорологического агентства (ЯМА). Структура термобарического поля тропосферы анализировалась по синоптическим картам геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа (AT500) ЯМА для северного полушария в 12:00 GMT и декадным (осреднённым за 10 сут) картам из оперативного анализа системы прогноза климата Climate Forecast System, Version 2 (CFSv2) прогностического центра National Centers for Environmental Prediction (NCEP) в узлах регулярной сетки $0,5 \times 0,5^\circ$.

Мезоциклоническая деятельность над Японским морем в тылу южных циклонов при блокирующем атмосферном процессе

В части I работы был отмечен рост мезоциклонической активности на фоне блокирующего тихоокеанского высотного гребня в двух холодных сезонах (2016/2017 и 2017/2018 гг.). Пороговым было выбрано значение 0,6 ПМЦ/сут, выше которого мезоциклоническая активность считается высокой. В настоящей работе рассматривается холодный сезон 2017/2018 гг., который является последним из пятнадцати, представленных в архиве спутниковых изображений. Интерес к этому сезону объясняется длительным блокирующим атмосферным процессом. По данным карт AT500 ЯМА для северного полушария, высотный гребень стационарировал над СЗТО 11 сут (с 18 января по 2 февраля). Блокирующий тихоокеанский высотный гребень (см. *рис. 1б*) способствовал аномально продолжительному ХВ (Пичугин и др., 2018) и, как следствие, активизации мезомасштабного циклогенеза над ЯМ. Мезоциклоническая деятельность над ЯМ длилась в общей сложности 17 сут, с 22 января по 7 февраля 2018 г. За это время над ЯМ, по данным MODIS и COMS, возникло 11 ПМЦ мезо- α - и мезо- β -масштаба различной интенсивности. В двух из них скорость ветра превышала 25 м/с. Особый интерес представляют два ПМЦ с петлёй траектории. В одном из них скорость ветра, по данным AMSR2, была близка к ураганным значениям и превышала 30 м/с. Особенности второго заключались в двойной петле траектории и аномально продолжительном жизненным цикле, который составлял >7 сут, что сопоставимо с жизненным циклом циклона синоптического масштаба.

Южный циклон, в тылу которого развивалась мезоциклоническая деятельность, по данным карт приземного анализа ЯМА, образовался над Китаем на волне полярного фронта в 06:00 GMT 21 января. В результате стационарирования блокирующего высотного гребня

над Беринговым морем 24 января он вышел через Северные Курилы на Охотское море, где трансформировался в стационарный центральный циклон. Холодное вторжение обострилось по мере вхождения в стационарный циклон новых ЮЦ. Полярный мезоциклон мезо- α -масштаба, который возник 22 января над центральной частью моря в тылу ЮЦ, в начальной стадии развития был недостаточно отчётливо выражен в поле облачности (рис. 2а). Однако по данным ASCAT в 01:36 GMT 23 января регистрировалась циклоническая циркуляция со скоростью ветра >20 м/с. Полярный мезоциклон перемещался на северо-северо-восток и достиг пика интенсивности в точке поворота траектории, когда его центр располагался на одной широте с центром ЮЦ. На этой стадии развития скорость ветра в нём по данным ASCAT составляла 25–30 м/с (рис. 2в), а по данным AMSR2 превышала 30 м/с (рис. 2г). Траектория ПМЦ сделала петлю над северной частью моря, и после точки поворота он вышел на побережье Японии.

Рис. 2. Видимое (а) и инфракрасное (б) изображения спектро радиометра MODIS (спутник Aqua) в 04:15 и 16:15 GMT соответственно; поля приводного ветра по данным скаттерометра ASCAT (спутник MetOp-B) в 11:08 GMT (в) и микроволнового радиометра AMSR2 (спутник GCOM-W1) в 16:07 GMT (г) 23 января 2018 г. Шкалы на рис. 2в и г — в метрах в секунду

Береговые метеостанции на Хоккайдо по данным ЯМА 23–24 января регистрировали порывы ветра 18–23 м/с. В стадии максимального развития ПМЦ формой облачной системы напоминал известный полярный циклон над Норвежским морем, который авторами публикации (Claud et al., 2004) был назван «Лебедь» — “Le Cygne” (см. рис. 2б).

В тот же временной период в JPCZ над юго-западной частью моря возникли два мезовихря, один из которых развился в ПМЦ мезо- β -масштаба (см. рис. 2а) со скоростью ветра (по данным ASCAT) ~ 20 –23 м/с и жизненным циклом менее суток. Мезоциклоническая деятельность прекратилась 25 января и возобновилась 28 января на фоне обострения ХВ после вхождения очередного ЮЦ в систему центрального циклона. Спутник COMS зафиксировал цепочку мезо- β -циклонов в JPCZ 28–29 января и мезо- β -циклон над восточной частью моря 31 января, который существовал несколько часов.

Рис. 3. Видимые изображения MODIS (спутник Terra) в 02:20 GMT 3 февраля (а) и в 01:25 GMT 4 февраля (б); поля интегрального содержания водяного пара в атмосфере (в), капельной влаги в облаках (з) и поле приводного ветра (д) по данным AMSR2 (спутник GCOM-W1) в 17:31 GMT 3 февраля 2018 г. Шкалы на рис. 3в и з — в килограммах на квадратный метр, на рис. 3д — в метрах в секунду

По мере перестройки высотного термобарического поля высотный блокирующий гребень перемещался на север, а алеутская депрессия постепенно занимала своё типичное

зимнее положение. 31 декабря к востоку от Тайваня возник ЮЦ, в траектории которого восточная составляющая была более выражена, чем в траекториях предыдущих ПМЦ. По данным MODIS (рис. 3а, б) и COMS, мезоциклогенез над ЯМ начался 1 февраля в результате сильного циклонического сдвига ветра на оси барической ложбины, которая распространялась от ЮЦ, и продолжался по 7 февраля. Над северной частью моря 1–2 февраля возникли два малоинтенсивных мезо- β -циклона. ПМЦ 1 образовался с подветренной стороны горы Чанбайшань 1 февраля и быстро перемещался на северо-восток. По данным CFSv2, слабая мезоциклоническая циркуляция в поле приводного ветра регистрировалась уже 31 января. ПМЦ 1 можно отнести к разряду долгоживущих в результате аномально продолжительного жизненного цикла, который составлял >7 сут.

В тылу ПМЦ 1, в районе его формирования, 2 февраля возник ПМЦ 2 мезо- β -масштаба, который в процессе развития укрупнился до мезо- α -масштаба, существовал около 2 сут, пересёк ЯМ и заполнился над побережьем о. Хонсю. Спиральная структура обоих ПМЦ отчётливо выражена в полях водяного пара V (рис. 3в) и капельной влаги Q (рис. 3г). Скорость ветра в обоих мезовихрях в стадии их максимального развития превышала 25 м/с (рис. 3д).

Рис. 4. Траектория ПМЦ 1 за период 1–7 февраля 2018 г. по спутниковым данным (а), картам приземного анализа ЯМА (б) и оперативной прогностической модели CFSv2 (в). Цифрами на рис. 4а обозначены даты в 00:00 GMT

Долгоживущий ПМЦ 1 (~ 7 сут) существовал над ЯМ, 6 февраля через Сангарский пролив вышел на акваторию Тихого океана, где регенерировал и существовал ещё несколько суток. Около 2 сут он находился в стадии максимального развития со скоростью ветра >25 м/с. Анализ спутниковых данных (рис. 4а), карт приземного анализа ЯМА (рис. 4б) и оперативной прогностической модели CFSv2 (рис. 4в) показал наличие двойной петли его траектории. Большая петля была обусловлена ростом небольшого высотного гребня в результате адвекции тепла по северо-восточной периферии ЮЦ, что изменило траекторию ПМЦ 1. Причиной малой петли, предположительно, послужило формирование и взаимодействие двух мезовихрей в центральной его части, которые были зафиксированы на ИК-изображениях COMS.

Заключение

Полярные мезоциклоны вызывают резкое ухудшение погоды, которое трудно прогнозировать из-за взрывного характера их формирования и очень быстрого развития. С наиболее интенсивными из них связаны штормовые и ураганные ветры, опасное волнение моря, обледенение судов, что представляет угрозу для судоходства, рыбного промысла и прибрежных районов. Поэтому любые исследования мезомасштабного циклогенеза не теряют своей ак-

туальности. Из-за специфических размеров и короткого жизненного цикла ключевую роль в изучении ПМЦ играют мультисенсорные спутниковые измерения.

В части I работы по результатам статистической обработки архива спутниковых изображений с ПМЦ за 15 холодных сезонов 2003–2018 гг. в два последних сезона — 2016/2017 и 2017/2018 гг. — был отмечен рост мезоциклонической активности (выше порогового значения 0,6 ПМЦ/сут) над Японским морем на фоне блокирующего тихоокеанского высотного гребня. В настоящей работе выполнен детальный анализ мезоциклонической деятельности над Японским морем в холодный сезон 2017/2018 гг. Интерес к выбранному сезону обусловлен аномально продолжительным холодным вторжением, которое было обусловлено стационарированием блокирующего тихоокеанского высотного гребня над СЗТО в течение 10–11 дней. Мезоциклоническая деятельность на фоне блокирующего процесса в холодном сезоне 2017/2018 гг. в целом продолжалась 17 сут с перерывами на 1–3 сут. Анализ мультисенсорных спутниковых измерений показал, что за период 22 января — 7 февраля образовалось 11 ПМЦ различных размеров и интенсивности с максимальной скоростью ветра в одном из них >30 м/с.

За указанный период было обнаружено два таких достаточно редких явления, как ПМЦ с петлями траекторий. В одном из них по данным AMSR2 были зарегистрированы значения скорости ветра, близкие к ураганным (>30 м/с). Пика интенсивности данный ПМЦ достиг, когда его центр находился на одной широте с центром ЮЦ, в тылу которого он развивался, что можно считать точкой поворота траектории. Второй рассмотренный ПМЦ представляет интерес двойной петлей траектории и жизненным циклом >7 сут, сопоставимым с жизненным циклом циклона синоптического масштаба. Причём 7 сут ПМЦ существовал над Японским морем. После выхода через Сангарский пролив на акваторию Тихого океана он регенерировал и существовал ещё несколько суток.

Полярный мезоциклон с петлей траектории и долгоживущие ПМЦ заслуживают более детального изучения как для повышения точности прогноза связанных с ними опасных явлений погоды, так и для выявления возможных новых тенденций мезоциклогенеза в связи с климатическими изменениями.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы, регистрационный номер АААА-А17-117030110037-8.

Литература

1. Гурвич И. А., Пичугин М. К., Баранюк А. В., Кулешов В. П. Некоторые особенности мезомасштабного циклогенеза над Японским морем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 155–168.
2. 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.
3. Пичугин М. К., Гурвич И. А., Тилинина Н. Д. Комплексный анализ экстремальных погодных явлений во время аномально продолжительного холодного вторжения над северо-западной частью Тихого океана в январе 2018 г. // 16-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. Москва, 12–16 нояб. 2018. 2018. С. 201–202. URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=153&thesis=7272>.
4. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. I. Вып. 5: Дальний Восток. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 176 с.
5. Blechschmidt A.-M., Bakan S., Grabl H. Large-scale atmospheric circulation patterns during polar low events over the Nordic seas // J. Geophysical Research. 2009. V. 114. D06115. DOI: 10.1029/2008JD010865.
6. Claud C., Heinemann G., Raustein E., Mcmurdiel L. Polar low le Cygne: Satellite observations and numerical simulations // Quarterly J. Royal Meteorological Society. 2004. V. 130. No. 598. P. 1075–1102.
7. Fu G. Polar Lows: Intense Cyclones in Winter. Qindao, China, 2000. 219 p.
8. Ninomiya K. Polar low development over the east coast of the Asian continent on 9–11 December 1985 // J. Meteorological Society of Japan. 1991. V. 69. No. 6. P. 669–685.

9. Ninomiya K., Wakahara K., Ohkubo H. Meso- α -scale low development over the northeastern Japan Sea under the influence of a parent large-scale low and a cold vortex aloft // J. Meteorological Society of Japan. 1993. V. 71. P. 73–91.
10. Orlanski I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes // Bull. American Meteorological Society. 1975. V. 56. P. 527–530.
11. Rasmussen E., Turner J. Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions. Cambridge: University Press, 2003. 612 p.
12. Rojo M., Claud C., Mallet P.-E., Noer R. G., Carleton A. M., Vicomte M. Polar low tracks over the Nordic Seas: a 14-winter climatic analysis // Tellus A. 2015. V. 67. 24660. URL: <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.
13. 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. Meteorological Society of Japan. 1992. V. 2. No. 1. P. 77–93.
14. Tsuboki K., Asai T. The multi-scale structure and development mechanism of mesoscale cyclones over the Sea of Japan in winter // J. Meteorological Society of Japan. 2004. V. 82. P. 597–621.
15. Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Chapron B. New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing // Geophysical Research Letters. 2013. V. 40. Iss. 13. P. 3347–3350.
16. Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Chapron B. An updated geophysical model for AMSR-E and SSMIS brightness temperature simulations over oceans // Remote Sensing. 2014. V. 6. No. 3. P. 2317–2342.

Mesoscale cyclogenesis over the Sea of Japan. Path II: mesocyclonic activity associated with atmospheric blocking

I. A. Gurvich, M. K. Pichugin, E. S. Khazanova

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

In part II of the work, an increase in mesocyclonic activity over the Sea of Japan in the cold season of 2017/2018 was analyzed. The interest in the selected season was caused by the abnormally prolonged air cold-outbreak, which was associated with the locating of a blocking tropospheric ridge over the North-West Pacific during 10–11 days. Multisensor satellite measurements were used to analyze the evolution of polar mesocyclones (PMC) over the sea. PMCs were identified using an archive of satellite images for 15 cold seasons (October – April) 2003–2018. Mesocyclonic activity during the atmospheric blocking in the cold season 2017/2018 lasted 17 days with interruptions for 1–3 days. From January 22 to February 7, 2018, 11 PMCs of the meso- α - and meso- β scales of various intensities appeared over the Sea of Japan. Particular attention was paid to PMC with a wind speed close to the hurricane (>30 m/s), and PMC with a double loop of the trajectory and a life cycle of more than 7 days, which is comparable with the life cycle of a synoptic-scale cyclone. The study of the PMC with loop trajectories, as well as long-lived, will continue as the archive is replenished and the series of observations increases.

Keywords: polar mesocyclones, Sea of Japan, multisensory satellite measurements, upper-level blocking ridge, loop of trajectory

Accepted: 29.01.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-243-251

References

1. Gurvich I. A., Pichugin M. K., Baranyuk A. V., Kuleshov V. P., Nekotorye osobennosti mezomasshtabnogo tsiklogeneza nad Yaponskim morem (Some features of mesoscale cyclogenesis over the Japan Sea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 4, pp. 155–168.
2. Mitnik L. M., Mitnik M. L., Zabolotskikh E. V., Sputnik Yaponii GCOM-W1: modelirovanie, kalibrovka i pervye rezul'taty vosstanovleniya parametrov okeana i atmosfery (Japan satellite GCOM-W1: simulation,

- calibration and first results of the retrievals of atmospheric and oceanic parameter), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp 135–141.
3. Pichugin M. K., Gurvich I. A., Tilinina N. D., Kompleksnyi analiz ekstremal'nykh pogodnykh yavlenii vo vremya anomal'no prodolzhitel'nogo kholodnogo vtorzheniya nad severo-zapadnoi chast'yu Tikhogo okeana v yanvare 2018 g. (Comprehensive analysis of extreme weather events during the abnormally long cold air outbreak over the northwestern Pacific Ocean in January 2018) *16-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (16th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, Moscow, 12–16 Nov. 2018, 2018, pp. 201–202, <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=153&thesis=7272>.
4. *Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody. Ch. II, Vyp. 5: Dal'nii Vostok* (Guide to short-term weather forecasts. Pt. II, Iss. 5: Far East), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 176 p.
5. Blechschmidt A.-M., Bakan S., Grabl H., Large-scale atmospheric circulation patterns during polar low events over the Nordic seas, *J. Geophysical Research*, 2009, Vol. 114, D06115, DOI: 10.1029/2008JD010865.
6. Claud C., Heinemann G., Raustein E., Mcmurdie L., Polar low le Cygne: Satellite observations and numerical simulations, *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 2004, Vol. 130, No. 598, pp. 1075–1102.
7. Fu G., *Polar Lows: Intense Cyclones in Winter*, Qindao, China, 2000, 219 p.
8. Ninomiya K., Polar low development over the east coast of the Asian continent on 9–11 December 1985, *J. Meteorological Society of Japan*, 1991, Vol. 69, No. 6, pp. 669–685.
9. 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. Meteorological Society of Japan*, 1993, Vol. 71, pp. 73–91.
10. Orlanski I., A rational subdivision of scales for atmospheric processes, *Bull. American Meteorological Society*, 1975, Vol. 56, pp. 527–530.
11. Rasmussen E., Turner J., *Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions*, Cambridge: University Press, 2003, 612 p.
12. Rojo M., Claud C., Mallet P.-E., Noer R. G., Carleton A. M., Vicomte M., Polar low tracks over the Nordic Seas: a 14-winter climatic analysis, *Tellus A*, 2015, Vol. 67, 24660, available at: <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v67.24660>.
13. 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. Meteorological Society of Japan*, 1992, Vol. 2, No. 1, pp. 77–93.
14. Tsuboki K., Asai T., The multi-scale structure and development mechanism of mesoscale cyclones over the Sea of Japan in winter, *J. Meteorological Society of Japan*, 2004, Vol. 82, pp. 597–621.
15. Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Chapron B., New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing, *Geophysical Research Letters*, 2013, Vol. 40, Issue 13, pp. 3347–3350.
16. Zabolotskikh E. V., Mitnik L. M., Chapron B., An updated geophysical model for AMSR-E and SSMIS brightness temperature simulations over oceans, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, No. 3, pp. 2317–2342.