

ПОЛЯРНЫЕ МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ЦИКЛОНЫ В АТМОСФЕРЕ НАД БАРЕНЦЕВЫМ И КАРСКИМ МОРЯМИ

канд. геогр. наук Э.И.ЛУЦЕНКО, канд. физ.-мат. наук В.Е.ЛАГУН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: lutsenko@aari.nw.ru

В статье представлены сведения об уникальном природном явлении в атмосфере Арктики – полярных мезомасштабных циклонах (ПМЦ). Обнаруженные и документально описанные в середине XX в. благодаря развитию спутникового зондирования атмосферы, полярные мезоциклоны привлекают пристальное внимание метеорологов, климатологов, океанологов, работников морского транспорта и специалистов по промышленному освоению арктического шельфа. Прикладной интерес к ПМЦ связан прежде всего с необходимостью прогноза возможного возникновения опасных явлений погоды и их воздействия на объекты хозяйственной инфраструктуры и морские транспортные средства.

Приводятся данные об условиях погоды, периоде существования, скоростях перемещения и механизмах формирования ПМЦ. Описаны особенности годового хода и межгодовой изменчивости параметров полярных мезоциклонов, и дана оценка возможности их прогнозирования.

Наиболее подробно характеризуются ПМЦ в районе Баренцева моря. Описание процессов мезомасштабного циклогенеза над Карским морем из-за недостатка исходных материалов ограничено анализом отдельных случаев образования ПМЦ.

Ключевые слова: полярные мезомасштабные циклоны, мезомасштабный циклогенез, погодные условия, климатический режим.

ВВЕДЕНИЕ

Значительный интерес, проявляемый в метеорологии к интенсивным мезоциклонам, определяется, в первую очередь, связанными с ними внезапными и резкими ухудшениями погоды, а также возможной ролью этих вихрей в формировании глубинных водных масс в районах частого мезомасштабного циклогенеза. ПМЦ образуются, как правило, в холодный период года при смещении арктического холодного воздуха на свободную ото льда относительно теплую морскую поверхность. Размеры этих мезовихрей незначительны по сравнению с внетропическими циклонами и составляют от нескольких десятков до нескольких сотен километров, характерный масштаб большинства мезовихрей такого типа находится в пределах 200–600 км [Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003].

В Северном полушарии областью наиболее активного мезомасштабного циклогенеза является акватория Северо-Европейского бассейна. Значительные межширотные термические контрасты в приповерхностном слое, усиленные близостью массива дрейфующих льдов и проникновением теплых атлантических вод на север, в сочетании с интенсивным тропосферным переносом создают условия для развития бароклинной неустойчивости в этом регионе в холодное время года. Основными источниками энергии при образовании и развитии полярных мезоциклонов являются турбулентные потоки тепла и влаги от морской поверхности.

Процессы мезомасштабного циклогенеза в Северном полушарии характерны также для акваторий Канадской Арктики [Hanley, Richards, 1991], Карского [Lagun, Loutsenko, 1999] и Чукотского [Businger, 1987] морей, а также северной части Тихого океана [Гурвич и др., 2008].

Поскольку размеры полярных мезоциклонов незначительны по сравнению с крупномасштабными барическими образованиями, а срок их жизни в большинстве случаев составляет менее суток, они не всегда обнаруживаются на синоптических картах, что усугубляется недостатком стандартных метеорологических наблюдений в высоких морских широтах. Задача обнаружения ПМЦ упростилась с появлением данных спутниковых наблюдений облачного покрова и радиофизических измерений, что способствовало активизации исследования этих образований.

Интенсивные ПМЦ вызывают экстремальные погодные явления – штормовые волнение и ветер, обледенение судов и сооружений, снежные заряды с ухудшением видимости. Штормовая ситуация развивается обычно внезапно за короткий период. Особенности строения и эволюции этих циклонических возмущений создают существенные трудности при их прогнозировании.

Первое научное сообщение о ПМЦ принадлежит Д.Харлею [Harley, 1960]. В ранних исследованиях предполагалось, что основной причиной их возникновения является термическая неустойчивость. Затем была отмечена значительная роль бароклинно-неустойчивых возмущений [Harrold, Browning, 1969] и конвективных режимов [Reed, 1979] в процессе формирования ПМЦ.

В более поздних работах уточнены основные характеристики ПМЦ [Zahn, von Storch, 2008], изучены условия их формирования в связи с крупномасштабными атмосферными процессами [Kolstad et al., 2008], выполнено моделирование динамики ПМЦ [Zahn, von Storch, 2008] и оценены возможности прогнозирования их развития [Noer, Ovsted, 2003; Zahn et al., 2008].

В научных публикациях для обозначения полярных мезоциклонов принято употребление таких терминов, как «polar lows», «arctic low», «arctic hurricane» и другие. В работе [Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003, с. 9] приводится классическое определение полярного мезовихря: «Polar lows – это небольшие, но очень интенсивные морские циклоны, которые формируются к северу от положения главной бароклинной зоны (полярный фронт или другие обширные бароклинные зоны). Горизонтальные размеры polar lows располагаются в диапазоне около 200–1000 км, скорость приземного ветра достигает штормовой силы».

Заметим, что измерение скорости ветра и других погодных характеристик в ПМЦ при отсутствии данных стандартных метеорологических наблюдений на обширных арктических акваториях зачастую невыполнимо. Интенсивность ПМЦ можно определить качественно по структуре и степени яркости изображения облачных вихрей на спутниковых снимках. Ограничение минимальных размеров этих образований значением 200 км можно считать достаточно условным, в категорию polar lows включались также облачные мезовихри начиная с диаметра 100 км [Forbes, Lottes, 1981].

Весь спектр мезомасштабных циклонических облачных вихрей, формирующихся при вторжении холодного приполярного воздуха на свободную ото льда морскую поверхность, в зарубежных источниках объединяется термином «cold air vortices» [Parker, 1997], но в процессе их развития могут участвовать разные механизмы. Полярные мезоциклоны выделяются из этой группы как интенсивные вихри, способные генери-

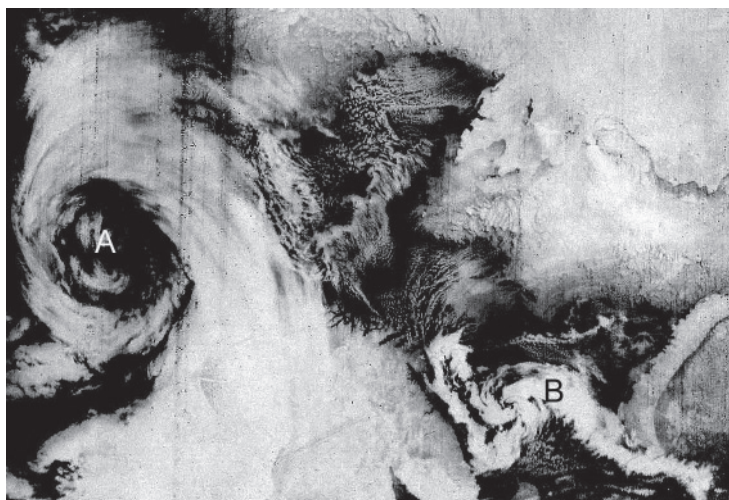


Рис. 1. Облачные вихри внетропического окклюзированного циклона (А) и полярного мезомасштабного циклона (В) на снимке ИСЗ NOAA-10 22 декабря 1988 г. 8 ч 52 мин.

ровать штормовые погодные явления. При сравнении с внетропическими циклонами полярные мезоциклоны, кроме относительно небольших размеров и короткого срока жизни, характеризуются и другими отличительными свойствами. Это отсутствие облачных структур фронтальных разделов на спутниковых изображениях мезовихрей, неспособность их к процессу регенерации, а также быстрая деградация вихрей при смещении на сушу или ледовую поверхность. Соотношение линейных размеров облачных вихрей полярнофронтального циклона и ПМЦ можно оценить на рис. 1.

Традиционно выделяют два основных типа облачных вихрей ПМЦ [Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003] – в виде спирали и запятой (см., например, рис. 4 а, б), хотя встречаются и другие более сложные облачные структуры мезовихрей [Мохов и др., 2007]. Также возможны ситуации, когда в процессе эволюции облачный мезовихрь в форме запятой трансформируется в спиралевидный.

Установлены следующие предварительные условия для возможного развития мезомасштабного циклона [Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003]:

1. Перемещение арктического воздуха с ледовой поверхности на относительно теплую морскую поверхность. В Баренцевом море это чаще всего происходит после прохождения крупномасштабного циклона и установления северного переноса.
2. Разность температур воздух–вода должна быть около 20 °С.
3. Формирование бароклинной зоны вдоль ледовой кромки или в холодном воздушном потоке.
4. Формирование повышенной конвекции в холодном воздухе. Это может быть конвергенция, усиление бароклинности или горизонтальный сдвиг потока.
5. Формирование в результате затока холодного воздуха над обширными акваториями в подынверсионном слое упорядоченной конвекции, индикатором которой являются облачные линии повышенной конвекции и поля открытых конвективных облачных ячеек.
6. Приближение на уровне 500 гПа холодной ложбины или холодного циклонического ядра (отрицательная аномалия температуры воздуха в верхней тропосфере).

7. Приближение струйного течения.
8. Циклоническая завихренность крупномасштабного потока.

В настоящей работе рассмотрены особенности распределения и временной изменчивости параметров полярных мезоциклонов над Баренцевым и Карским морями за многолетний период.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

Исходные материалы. Анализ характеристик полярных мезоциклонов, включая климатический режим, проводился по имеющимся эмпирическим данным ежедневных спутниковых наблюдений за облачностью, полученных с пунктов приема на дрейфующих станциях «Северный полюс» и в АНИИ за период 1981–2002 гг. [Lagun, Loutsenko, 1999; Мохов и др., 2007]. Зона обзора со спутника включала моря Баренцева и Карское, а также часть акватории Норвежского и Гренландского морей. Исходная информация представлена фототелевизионными изображениями облачности в инфракрасном и в видимом диапазоне, полученными со спутниковых систем «NOAA» и «Метеор».

Для расчета режимных характеристик использовались материалы за период 1981–1995 гг. как наиболее репрезентативные. В результате обработки данных спутниковых наблюдений был создан каталог, содержащий 491 случай образования облачных мезовихрей, представленный в [Луценко, Лагун, 2010].

При анализе процессов мезомасштабного циклогенеза, кроме спутниковых данных об облачности, использовались четырехсрочные в сутки синоптические карты и карты барической топографии из архива АНИИ.

Линейные размеры. Понятие пространственного масштаба ПМЦ обычно связано с линейным размером (диаметром) его облачного вихря. Диаметр соответствующей локальной области пониженного давления на уровне моря, ограниченной условной замкнутой изолинией, не всегда можно определить из-за недостатка данных метеонаблюдений в высокоширотных акваториях. Горизонтальные размеры спиралевидных облачных мезовихрей обычно определяются по диаметру внешней облачной спирали, а размеры мезоциклона в форме запятой – по горизонтальной протяженности облачного массива в головной части вихря. Средний размер ПМЦ в форме запятой оценен равным 176 км, а в форме спирали – 283 км [Мохов и др., 2007]. Максимальный размер облачного вихря ПМЦ по наблюдениям 1981–2002 гг. составил 700 км.

Продолжительность существования. Характерной чертой ПМЦ является короткий срок существования по сравнению с крупномасштабными циклонами. По данным [Polar Lows Project, 1986] средняя продолжительность жизни ПМЦ составляет 15 ч. В работе [Businger, Reed, 1989] приводятся сведения по 61 случаю образования ПМЦ. Из них 32 мезовихря жили менее 12 ч, 17 ПМЦ – от 12 до 24 ч, 9 ПМЦ – от 24 до 36 ч, 2 ПМЦ – от 36 до 48 ч и только один просуществовал более 48 ч.

Быстрое ослабление ПМЦ наступает при его смещении над ледяной поверхностью или при приближении к суше, так как при этом отсекается основной источник энергии, но, если облачный мезовихрь малоподвижен и остается над водой, он может сохраняться относительно долго – более двух суток.

Направление и скорость перемещения. Полярные мезовихри над Баренцевым морем обычно образуются в холодном северном потоке. Из-за незначительного вертикального развития мезовихрей ведущий их поток часто может располагаться на уровне 850–700 гПа – ниже основного формирующегося переноса [Businger, Reed,

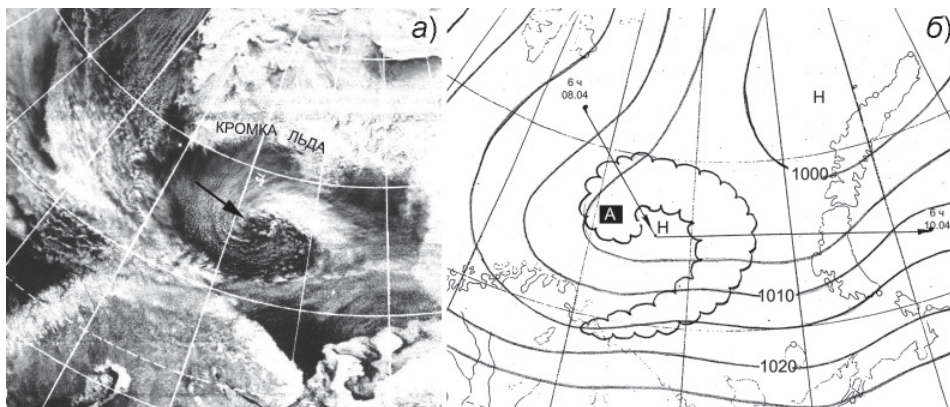


Рис. 2. Облачный вихрь интенсивного полярного мезоциклона в районе Баренцева моря (показан стрелкой) на снимке ИСЗ «Метеор-3» 9 апреля 1993 г. 10 ч 12 мин (а), его положение в поле давления на уровне моря за 6 ч 9 апреля 1993 г. и траектория перемещения 8–10 апреля 1993 г. (б).

1989]. В большинстве случаев ПМЦ перемещаются на юг к побережью Скандинавии или в юго-восточном и реже в восточном направлении, достигая иногда акватории Карского моря. Зарегистрированная максимальная протяженность траектории ПМЦ составила 2800 км [Polar Lows Project, 1986]. Скорость перемещения ПМЦ определяется сложившейся синоптической ситуацией, обычными являются значения 10–30 км/ч. На рис. 2 показано перемещение интенсивного полярного мезоциклона, образовавшегося к юго-востоку от Шпицбергена вблизи границы дрейфующих льдов. Мезовихрь с хорошо развитой плотной облачной структурой спиралевидной формы (см. рис. 2а) смещался в восточном направлении в течение двух суток в соответствии с направлением интенсивного воздушного переноса в нижней половине тропосферы (см. рис. 2б) и, достигнув акватории Карского моря, разрушился над западным побережьем полуострова Таймыр.

Протяженность траектории перемещения ПМЦ составила около 2400 км при средней скорости около 40 км/час. Процесс его развития сопровождался штормовой погодой, срок жизни составил более двух суток.

Облачные мезовихри небольших размеров обычно малоподвижны, малоподвижными могут быть и интенсивные ПМЦ.

Давление на уровне моря. Определение давления на уровне моря в центре мезомасштабных циклонов зачастую является невыполнимой задачей из-за отсутствия данных метеонаблюдений, поэтому нет достоверных статистических характеристик этого параметра. Обычно экстремальные значения давления в интенсивных ПМЦ менее значительны, чем в хорошо развитых внетропических циклонах. Облачные мезовихри небольших размеров (до 100 км в диаметре) зачастую не отображаются в поле давления. В некоторых случаях это свойственно и интенсивным ПМЦ. В работе [Бухаров, Геохланян, 2000] описан случай спутникового наблюдения облачного вихря интенсивного полярного мезоциклона в Баренцевом море, который не прослеживался в структуре приземного термобарического поля. При этом максимальная скорость приводного ветра в этом ПМЦ, рассчитанная по данным РЛСБО с ИСЗ «Океан», составила 30–35 м/с.

Погодные условия. Известны случаи вхождения судов в зону действия штормовых полярных мезоциклонов. Обычно это неспрогнозированное внезапное и резкое ухудшение погоды. В такую ситуацию в западной части Баренцева моря у ледовой кромки попало ледокольное судно [Businger, Baik, 1991]. При ясной и холодной погоде произошло быстрое натекание плотной облачности, ветер, вначале слабый, северный, перешел к юго-западному и усилился до 32 м/с при волнении высотой 9 м. При сильном снегопаде ухудшилась видимость, палуба судна покрылась толстым слоем льда.

Подобное состояние погоды возможно при очень интенсивных ПМЦ, можно полагать, что продолжительность шторма в соответствии с масштабами и сроком жизни мезоциклона обычно ограничивается несколькими часами. По данным [Бухаров, Геохланян, 2000] максимальная скорость ветра (25–35 м/с) наблюдалась в сравнительно небольшой по размерам (примерно 50×100 км) части ПМЦ. Осадки и облачные системы ПМЦ могут простираться на расстояние 100–150 миль и по вертикали до 3 км [Parker, 1997].

В работе [Polar Lows Project, 1986] приводятся характеристики погоды по материалам 203 случаев образования интенсивных мезоциклонов. Характерный диапазон скорости ветра по этим наблюдениям составил 18–25 м/с. Зарегистрированное максимальное значение – 35 м/с.

Для ПМЦ характерны также интенсивные снегопады с экстремальным ухудшением видимости.

Ветровое волнение. Незначительные размеры и короткий срок жизни ПМЦ ограничивают возможность генерации экстремальных высот волн. Значительное волнение может развиваться при совпадении направления ветра с направлением перемещения интенсивного мезовихря. В таких случаях ПМЦ сопровождается локализованной областью волнения с острым фронтом и зоной роста высоты волн. Ветровое волнение быстро спадает при замедлении движения или деградации мезоциклона. При малоподвижном ПМЦ даже в случае экстремальных значений скорости ветра волнение не достигает предельных значений. Зафиксирован случай, когда при скорости ветра 35 м/с в малоподвижном полярном мезоциклоне высота волнения составила всего 5,5 м [Dysthe, Harbitz, 1987].

По данным 134 наблюдений волнения с судна погоды АМІ (71,5° с.ш., 19,5° в.д.) [Polar Lows Project, 1986] в 65 % случаев высоты волн составили 2–5 м, в 25 % – более 5 м. Волна высотой 11 м наблюдалась при скорости ветра 26 м/с. По другим данным [Polar Lows Project, 1986] при наблюдении 50 случаев ПМЦ средняя высота волн составила 4–8 м, в трех случаях более 10 м, максимальная – 10,5 м.

Из приведенных данных о погодных условиях следует, что интенсивные ПМЦ являются существенным препятствием в хозяйственной деятельности, но нет оснований преувеличивать исходящую от них штормовую угрозу. Экстремальные погодные условия в полярно-фронтовых циклонах бывают более жесткими и продолжительными.

Ниже приводится краткое описание основных механизмов образования циклонических мезовихрей в холодном воздухе над морской поверхностью (см. также [Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, 2003]).

Бароклинная неустойчивость. Динамическая волновая неустойчивость атмосферного потока с широтным градиентом температуры (и, следовательно, с вертикальным градиентом скорости ветра) в поле силы Кориолиса. Источником энергии растущих возмущений в таком потоке служит доступная потенциальная энергия.

Термическая конвекция (тепло- и влагообмен с подстилающей поверхностью). При перемещении с ледовой на теплую морскую поверхность холодная и сухая воздушная масса насыщается теплом и влагой. Быстрое образование облачности с выделением скрытого тепла может привести к развитию глубокой конвекции и образованию интенсивного мезоциклона. При этом средняя разность температур воздуха над этими поверхностями должна составлять около 20°.

Баротропная неустойчивость. Динамическая волновая неустойчивость бездивергентного потока, связанная с горизонтальным сдвигом ветра. Могут образоваться так называемые вихри сдвига (shear vortex) незначительных размеров, которые при соответствующих дополнительных условиях на верхних уровнях могут трансформироваться в ПМЦ. Кинетическая энергия баротропных возмущений возрастает за счет кинетической энергии основного переноса.

Условная неустойчивость второго рода. Для гидродинамического описания развития мезоциклона и его конвективных систем используется концепция так называемой условной неустойчивости второго рода (conditional instability of the second kind – CISK). Эта концепция впервые была предложена для описания развития тропических циклонов, но впоследствии она была применена также и для полярных мезоциклонов. Сущность этой концепции состоит в представлении о взаимодействии и взаимном усилении возмущений двух различных масштабов: глубокой влажной конвекции и циклонического вихря (полярной депрессии). Последний играет роль начального возмущения и не имеет, как циклонические вихри средних широт, источников энергии в крупномасштабном потоке. Вихрь привносится извне и может быть следствием бароклинной неустойчивости (которая имела место в области возникновения этого возмущения), орографических влияний и других факторов. Присутствие циклонической циркуляции обуславливает конвергенцию воздуха к центру, где развивается мощная конвекция в условно-неустойчивом воздухе с выделением тепла, происходит взаимное усиление циклонической циркуляции и конвекции, в результате чего развивается интенсивный мезоциклон.

Важнейшая особенность условной неустойчивости второго рода, в отличие от бароклинной неустойчивости, состоит в том, что источником ее энергии является выделение скрытого тепла при глубокой конвекции, а не кинетическая либо потенциальная энергия основного потока. Существует мнение, что этот механизм может способствовать образованию ПМЦ, но не является основным.

Циклогестрофичность интенсивных полярных мезоциклонов показана в [Мохов и др., 2007] с помощью оценки относительного вклада циклострофического и геострофического компонентов в уравнение движения. В связи с близостью в высоких широтах силы Кориолиса и центробежной силы (при значениях числа Россби (Ro) близком к единице) полярные мезоциклоны занимают промежуточное положение между геострофическими ($Ro \ll 1$) и циклострофическими ($Ro \gg 1$) вихрями.

Холодные высотная ложбина или циклоническое ядро на верхних уровнях. Предполагается, что при всех видах неустойчивости, развивающейся в холодном воздухе, сместившемся на морскую поверхность, для образования интенсивных мезомасштабных циклонов необходим форсирующий механизм, каким является наличие холодной ложбины или холодного циклонического ядра на уровне 500 гПа с температурой ниже -40 °C [Rasmussen, Cederskov, 1994].

Ниже рассмотрены примеры и многолетняя статистика ПМЦ над Северо-Европейским бассейном.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

Пространственное распределение повторяемости полярных мезоциклонов над акваторией Северо-Европейского бассейна за период 1981–1995 гг. (рис. 3а) обнаруживает сходство с тепловыми свойствами подстилающей морской поверхности, включая такие характеристики, как температура поверхностного слоя и теплообмен между океаном и атмосферой. Наибольшая концентрация облачных мезовихрей от-

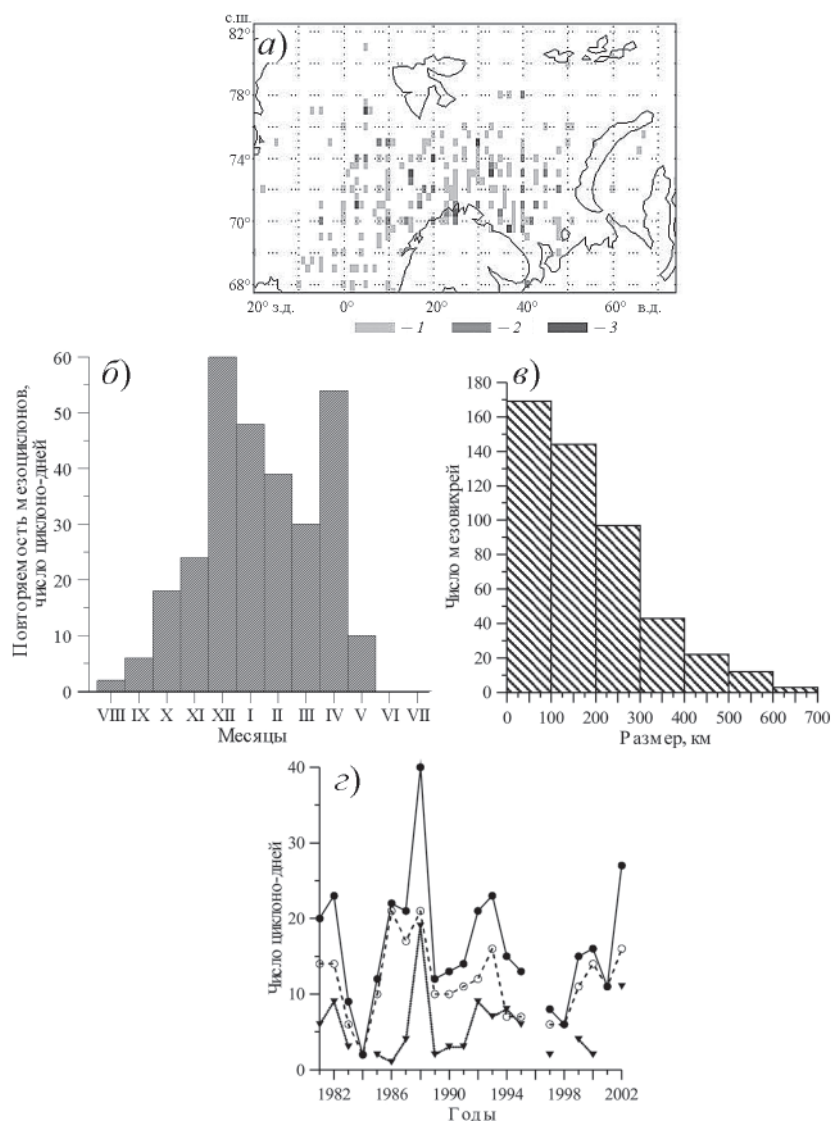


Рис. 3. Климатические параметры полярных мезоциклонов над акваторией Северо-Европейского бассейна для периода 1981–1995 гг.: а – пространственное распределение ПМЦ (три градации соответствуют числу случаев от 1 до 3) [Мохов и др., 2007]; б – внутригодовое изменение повторяемости (количества циклоно-дней в году); в – распределение количества ПМЦ по размерам; г – межгодовая изменчивость повторяемости (количества циклоно-дней в году).

мечается между Северной Норвегией и о. Медвежий – районе наибольших широтных термических контрастов в приводном слое атмосферы. Примечательной деталью является относительно низкая повторяемость мезовихрей около меридиана 40° в.д., где локализуются холодные воды. В общих чертах можно отметить соответствие этой картины с ранее полученными подобными результатами для этого региона за период 1971–1984 гг. [Polar Lows Project, 1986].

Внутригодовая изменчивость. На рис. 3б показано распределение по месяцам суммарного числа дней с ПМЦ в атмосфере Северо-Европейского бассейна за период 1981–1995 гг.

Максимальная повторяемость ПМЦ приходится на декабрь, второй максимум отмечается в апреле. Наличие вторичного весеннего максимума, очевидно, характерно как для этого региона, что подтверждается в [Polar Lows Project, 1986], так и для акватории Канадской Арктики [Parker, 1997], где кроме основного зимнего максимума отмечается высокая повторяемость мезоциклонов в марте. В холодный период года полярные мезоциклоны проявляются над Баренцевым морем в среднем в течение 1–2 дней в месяц (см. рис. 3в). Вышеуказанные особенности сезонной изменчивости параметров мезовихрей наблюдаются в различных районах Арктики.

Пространственный масштаб. Распределение суммарного количества ПМЦ в зависимости от их размера представлено на рис. 3в. Из анализа рис. 3в следует, что наиболее часто в районе исследований появляются мезовихри с характерным масштабом от 50 до 200 км.

Межгодовая изменчивость. На рис. 3г представлены межгодовые изменения общего числа ПМЦ, а также отдельных их типов в виде спирали и запятой над акваторией Северо-Европейского бассейна для периода 1981–2002 гг. На фоне достаточно больших вариаций числа циклоно-дней с интервалами между максимумами около 5–6 лет общих тенденций изменения не выявлено. Наибольшая повторяемость ПМЦ отмечена в 1988 г. с вторичными максимумами в 1982 и 1993 гг., что согласуется с максимумами повторяемости внетропических циклонов в Северном полушарии [Лагун, Язев, 1994]. Минимальные значения получены для 1983 г. и 1989 г.

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ЦИКЛОГЕНЕЗ НАД КАРСКИМ МОРЕМ

Полярные мезоциклоны над Карским морем были впервые обнаружены сравнительно недавно [Луценко, 1999]. Невысокое качество имеющихся материалов и частые пропуски спутниковых наблюдений облачности по этому району исключали возможность регистрации всех мезовихрей и получения статистических параметров, поэтому характеристика процессов мезомасштабного циклогенеза ограничена анализом отдельных случаев образования ПМЦ.

По сравнению со смежным Баренцевым морем гидрометеорологические условия, характерные для Карского моря в холодное время года, менее благоприятны для формирования мезомасштабных циклонов, так как здесь значительно ослаблен приток теплых атлантических вод и только северо-западная часть его акватории в незначительной степени подвержена их влиянию. В среднем в холодное время года с ноября по апрель Карское море полностью покрыто дрейфующими льдами и только в сентябре и октябре – частично. Поэтому период возможного развития процессов мезомасштабного циклогенеза здесь ограничен.

Нижеследующий пример демонстрирует возможность образования интенсивных полярных мезоциклонов над северной частью акватории Карского моря. Формирова-

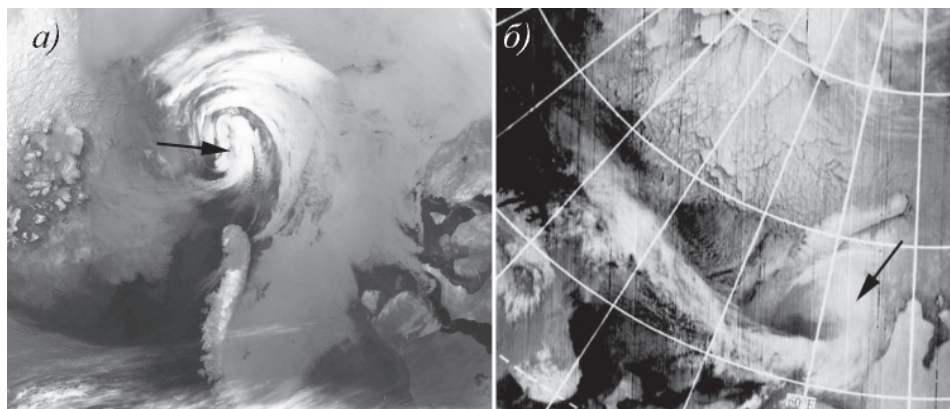


Рис. 4. Облачные вихри интенсивных полярных мезоциклонов (показаны стрелками) в северной части Карского моря на снимке ИСЗ NOAA-14 12 октября 1999 г. 8 ч 36 мин (а) и в южной части Карского моря на снимке ИСЗ NOAA-10 28 декабря 1988 г. 8 ч 43 мин (б).

ние такого мезовихря происходило в октябре вблизи кромки льда при северо-западном переносе в нижней тропосфере. Горизонтальный размер облачного вихря хорошо выраженной спиралевидной формы, частично располагавшегося над молодым льдом, составил около 500 км (см. рис. 4а). На уровне моря полярному мезоциклону соответствовал довольно высокий фон давления (около 1020 гПа) без явных признаков циклонической завихренности. Из-за отсутствия данных метеонаблюдений не было возможности оценить состояние погоды. В течение суток наблюдалось медленное перемещение мезовихря в юго-восточном направлении и разрушение его облачной структуры.

Отдельные случаи мезомасштабного циклогенеза в период ледообразования отмечались также в центральной и южной части Карского моря в районе границы лед–вода при северных воздушных потоках в нижней половине тропосферы. Такие процессы сопровождалось понижением атмосферного давления и штормовым ветром с выпадением осадков.

Зарегистрированы ситуации, когда активные полярные мезоциклоны перемещались в район Карского моря с акватории Баренцева моря. Процесс образования такого рода ПМЦ наблюдался у юго-западной оконечности Новой Земли вблизи кромки морского льда при северо-западном переносе в нижней тропосфере. В дальнейшем сформировавшийся в форме запятой облачный мезовихрь (см. рис. 4б), хорошо выраженный в поле приземного давления и ветра, переместился на Карское море со средней скоростью около 40 км/ч.

В начальной стадии процесса падение давления на уровне моря составило 6,8 гПа за три часа, ветер усилился до 25 м/с. Известны и другие случаи, когда интенсивные ПМЦ, образовавшиеся в районе Баренцева моря, преодолев о. Новая Земля, выходили на акваторию Карского моря (см. рис. 2).

Есть основания предполагать, что образование полярных мезоциклонов непосредственно над Карским морем наиболее вероятно в период формирования здесь ледяного покрова. Очевидно, частота этих событий здесь незначительна по сравнению с основной областью мезомасштабного циклогенеза Северного полушария – морями Северо-Европейского бассейна.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ

Низкая предсказуемость – одна из основных проблем полярных мезоциклонов. Объективные трудности прогноза возникновения ПМЦ определяются их характерными особенностями (незначительные размеры и короткий срок жизни), усугубляются дефицитом данных стандартных метеорологических наблюдений на арктических акваториях и не всегда имеющейся возможностью оперативного получения спутниковой информации с достаточным временным разрешением.

На первом этапе прогноз образования ПМЦ основывается на общем прогнозе синоптического положения. Прогнозирование затoka холодного воздуха на морскую поверхность в приполярных широтах хорошо оправдывается в краткосрочном прогнозе (72 ч) Европейского центра (ECMWF). В работе [Polar Lows Project, 1986] определены следующие условия возможного образования ПМЦ:

- температура на поверхности 500 гПа должна быть ниже -35° ;
- направление ветрового потока на поверхности 1000 гПа должно быть в пределах северной четверти горизонта;
- поступающая воздушная масса должна быть холоднее относительно окружающего воздуха в тех же широтах.

Качество прогноза ПМЦ повышается при совместном использовании спутниковых наблюдений и мезомасштабных численных моделей. При этом необходимы данные о состоянии нижней и верхней атмосферы для определения интенсивности ПМЦ.

Наиболее простой метод прогноза образования ПМЦ над Северо-Европейским бассейном [Polar Lows Project, 1986] базируется на следующих основных критериях-предикторах:

- имеется адвекция холодного арктического воздуха на морскую поверхность;
- толщина слоя 850–500 должна быть менее 4000 м;
- кривизна изолиний на уровнях 500 и 700 гПа должна быть циклонической или нейтральной.

Было дано 137 прогнозов по этой методике с использованием численной модели с разрешением 50 км, 94 из них показали образование ПМЦ, но оправдалось лишь 40.

Очевидно, этих данных недостаточно для более точного прогноза.

При наличии необходимой информации возможен сверхкраткосрочный прогноз (до 12 ч) образования ПМЦ в Баренцевом море по следующим признакам:

- установившийся северный перенос в нижней тропосфере;
- формирование над водной поверхностью облачных гряд повышенной конвекции;
- падение атмосферного давления, не обусловленное влиянием внетропического циклона или фронта;
- развитие конвективной облачности;
- усиливающийся снегопад;
- усиление ветра, обычно с изменением направления;
- начало формирования облачной спирали.

Сильная конвергенция на нижних уровнях и дивергенция на высоких при развивающемся мезоциклоне может способствовать усилению скорости ветра до ураганной [Polar Lows Project, 1986].

Для прогноза перемещения ПМЦ применим метод экстраполяции. Если прогностическая траектория перемещения мезовихря направлена на сушу или ледяную

поверхность, следует ожидать его скорой деградации. В большинстве случаев разрушение интенсивного ПМЦ происходит за период менее суток.

Развитие наблюдательской сети на морских акваториях, учащенные радиозондовые наблюдения на метеостанциях, систематические спутниковые наблюдения и прогресс в мезомасштабных численных моделях – необходимые условия для совершенствования методов прогноза ПМЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для статистического анализа параметров атмосферных мезоциклонов над морями Российской Арктики по данным спутниковых изображений облачного покрова создан календарь уникальных явлений мезомасштабного циклогенеза за многолетний период (1981–2002 гг.), практическое значение которого связано с необходимостью прогноза возможного возникновения опасных явлений погоды и их воздействия на объекты хозяйственной инфраструктуры и морские транспортные средства.

2. Оценка условий погоды, повторяемости, периоде существования, пространственного масштаба и скорости перемещения выполнена для двух основных типов полярных мезоциклонов в форме спирали и запятой.

3. В годовом ходе наибольшая повторяемость полярных мезоциклонов отмечена в декабре, а вторичный максимум – в апреле. В зимний сезон полярные мезоциклоны образуются над Баренцевым морем в течение 1–2 дней в месяц.

Распределение суммарного количества ПМЦ в зависимости от их размера представлено на рис. 3в. Из анализа рис. 3в следует, что наиболее часто в районе исследований появляются мезовихри с характерным масштабом от 50 до 200 км.

4. Наиболее часто над Северо-Европейским бассейном формируются атмосферные мезовихри с характерным размером от 50 до 200 км.

5. Межгодовые изменения общего количества полярных мезоциклонов, а также мезовихрей в форме спирали и запятой над акваторией Северо-Европейского бассейна не содержат выраженной тенденции. Наибольшая повторяемость ПМЦ отмечена в 1988 г. с вторичными максимумами в 1982 и 1993 гг. Минимальные значения получены для 1983 г. и 1989 г.

6. Для совершенствования методов прогноза мезомасштабного циклогенеза над окраинными арктическими морями необходимо дальнейшее развитие наблюдательской сети на морских акваториях, учащенные радиозондовые наблюдения на метеостанциях, систематические спутниковые наблюдения, построение схемы регионального реанализа и прогресс в мезомасштабных численных моделях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бухаров М.В., Геохланя Т.Х. Статистический анализ приводного ветра по спутниковым радиолокационным измерениям при мезоциклоне над Баренцевым морем // Метеорология и гидрология. 2000. № 5. С. 101–108.

Гурвич И.А., Митник Л.М., Митник М.Л. Мезомасштабный циклогенез над дальневосточными морями: исследование на основе спутниковых микроволновых радиометрических и радиолокационных измерений // Исследование Земли из космоса. 2008. № 5. С. 58–73.

Лагун В.Е., Язев А.И. Глобальное распределение и временная изменчивость параметров циклонических возмущений в атмосфере // Доклады РАН. 1994. Т. 334. № 5. С. 642–645.

- Луценко Э.И. Мезомасштабный циклогенез над арктическими морями по спутниковым наблюдениям // Труды ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 202–213.
- Луценко Э.И., Лагун В.Е. Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики: Справочное пособие. СПб.: ААНИИ, 2010. 95 с. URL: www.aari.ru/projects/mesocyclone/mez_arc.pdf [дата обращения 13.05.2013].
- Мохов И.И., Акперов М.Г., Лагун В.Е., Луценко Э.И. Интенсивные арктические мезоциклоны // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 3. С. 291–297.
- Businger S. The synoptic climatologi of polar low outbreaks over the Gulf of Alaska and the Bering Sea // *Tellus*. 1987. Vol. 39A. P. 307–325.
- Businger S., Baik J.J. An Arctic hurricane over the Bering Sea // *Mon. Wea. Rev.* 1991. Vol. 119. P. 2293–2322.
- Businger S., Reed R. Cyclogenesis in cold air masses // *Weather and Forecasting*. 1989. Vol. 4. № 2. P. 133–156.
- Dysthe K.B., Harbitz A. Big waves from polar lows? // *Tellus*. 1987. Vol. 39A. P. 500–508.
- Forbes G.S., Lottes W.D. Classification of mesoscale vortices in polar aistreams and the influence of the large-scale environment on their evolutions // *Tellus*. 1985. Vol. 37A. P. 132–155.
- Hanley D., Richards W.G. Polar Lows in Atlantic Canadian Waters 1977–1989 // Report MAES 2-91. 1991. Scientific Services Division, Atlantic Region, Atmospheric Environment Service. Downsview, Ontario. 1991. Vol. 2. P. 112/
- Harley D.G. Frontal contour analysis of a «polar low» // *Meteorol. Mag.* 1960. Vol. 89. P. 146–147.
- Harrold T.W., Browning K.A. The polar low as a baroclinic disturbanse // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1969. Vol. 95. P. 710–723.
- Kolstad E., Bracegirdle T.J., Seierstad I.A. Marine cold-air outbreaks in the North Atlantic: Temporal distribution and associations with large scale atmospheric circulation // *Climate Dynamics*. 2008. doi: 10.1007/s00382-008-0431-5.
- Lagun V.E., Loutsenko E.I. Classification of the Polar mesoscale vortex distribution over North-European basin // IUGG XX11 General Assembly. Abstracts. Birmingham. UK. 1999. P. A82. URL: www.bham.ac.uk/IUGG99 [дата обращения 13.05.2013].
- Lagun V.E., Loutsenko E.I. Diagnostic study of the extraordinary polar low development event Kara Sea // *Geophysical Research Abstracts*. XXIV General Assembly of the EGS Society. Suppliment A. The Hague, The Netherlands. 1999. April 19–23. Vol. 1. P. 201.
- Noer G., Ovhed M. Forecasting of polar lows in the Norwegian and the Barents Sea / Paper presented at the 9th Meeting of the EGS Polar Lows Working Group // *Eur. Geophys. Soc. Cambridge. U.K.* 2003. 15 p. URL: www.uni-trier.de/index.php?id=28161#c60628 [дата обращения 13.05.2013].
- Parker N. Cold air vortices and polar low handbook for Canadian meteorologists. Environment Canada, Edmonton, 1997. 70 p.
- Polar Lows. Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions / Eds: E A.Rasmussen, J.Turner. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 612 p.
- Polar Lows Project, Final Report / Editor Lystad M. Oslo: The Norwegian Meteorological Institute, 1986. 196 p.
- Rasmussen E. An in investigation of a polar low with spiral cloud structure// *Journal of the Atmos. Sciences*. 1981. Vol. 38. P. 1785–1792.
- Rasmussen E.A., Cederskov A. Polar lows: a critical appraisal // *Proccedings, International Symposium on the life Cycles of Extra-tropical Cyclones*. 27 June – 1 July 1994. Bergen, Norway. Vol. 3. P. 199–203.
- Reed R.J. Cyclogenesis in polar air streams // *Quart. Journal R. Meteorological Soc.* 1979. Vol. 107. P. 38–52.

Zahn M., von Storch H. A long-term climatology of North Atlantic polar lows // Geophys. Res. Lett. 2008. Vol. 35. P. 1–6. L22702. doi: 10.1029/2008GL035769.

Zahn M., von Storch H., Bakan S. Climate mode simulation of North Atlantic polar lows in a limited area model // Tellus. 2008. Ser. A. Vol. 60. P. 620–631, doi: 10.1111/j.1600-0870.2008.00330.x.

E.I.LUTSENKO, V.E.LAGUN

POLAR MESO-SCALE CYCLONES IN THE ATMOSPHERE OVER BARENTS AND KARA SEAS

This Article presents information about Arctic atmosphere unique natural event - polar meso-scale cyclone (PMC). PMCs were discovered and documented in the middle of XX century based on atmosphere satellite sounding methods development. Polar mesocyclones attract an intensive attention of meteorologists, climatologists, oceanologists, sea transport staff and Arctic shelf oil extraction specialists. An applied interest to PMCs is due to necessity of possible origin strong weather storm and events forecasting and their impact on economic objects infrastructure and sea transport tools. Polar meso-cyclonic vortex weather conditions, duration and drift speed data are presented in this Article. Possible polar mesocyclone genesis mechanisms and their annual course and interannual variations peculiarities are described.

Keywords: *polar mesoscale cyclones, mesoscale cyclogenesis, weather condition, climatic regime.*