

2. Механизмы мезомасштабного циклогенеза и условия развития

Ниже приводится краткое описание основных механизмов образования циклонических мезовихрей в холодном воздухе над морской поверхностью, изложенных подробно в [34,35,36,].

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° [42].

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 [14].

Циклогестрофичность интенсивных полярных мезоциклонов показана в [6,32] с помощью оценки относительного вклада циклострофического и геострофического компонентов в уравнении 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, сместившегося 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° [38]. В других источниках [19] указывается иная градация – ниже -35° . На рис. 2.1 показана такая зависимость для акватории Канадской Арктики. Наибольшая частота образования ПМЦ приходится на интервал температур от -31 до -40° С.



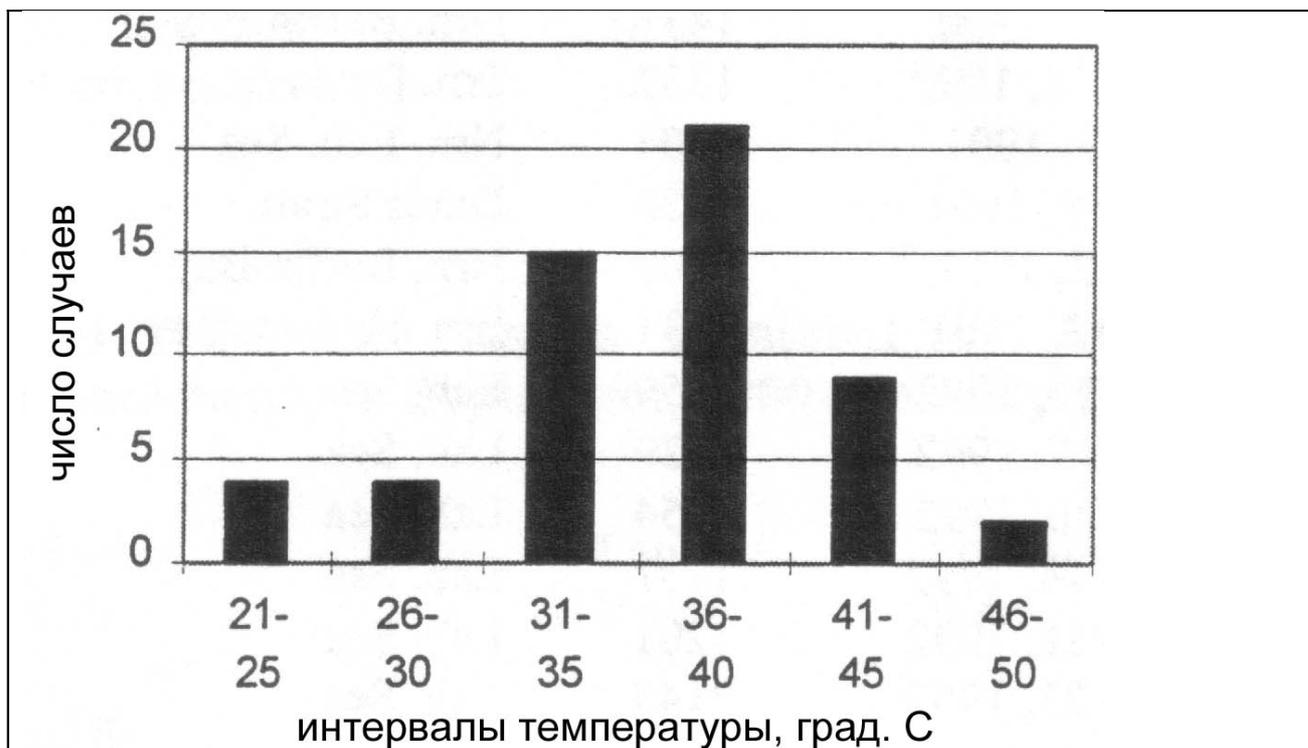


Рис. 2.1. Частота образования полярных мезоциклонов в зависимости от температуры воздуха на уровне 500 гПа. Указаны интервалы отрицательных значений температуры воздуха (по данным [34]).

В отдельных арктических регионах относительная роль разных факторов в формировании ПМЦ (конвекции, бароклинности, циклонической завихренности) различна. Так, по данным [12] над акваторией Баренцева моря и над северной частью Норвежского моря доминирует бароклиный форсинг, а в южной части Норвежского моря - конвекция.

Из сказанного следуют предварительные условия для возможного развития мезомасштабного циклона [35].

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°C .
3. Формирование бароклиной 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 (см. рис. 2.2).

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.

Трансформация мезовихря в интенсивный ПМЦ происходит очень быстро. Это может быть результат динамического форсинга, связанного с высотными системами и инициация глубокой конвекции вследствие уменьшения устойчивости на средних и высоких уровнях. В это время свой вклад в процесс углубления могут также приносить CISK или взаимодействие атмосфера – открытая морская поверхность. В отличие от полярно-фронтальных циклонов стадии развития ПМЦ обычно строго не определяются. В случае значительной продолжительности жизненного цикла ПМЦ и достаточной частоты спутниковых наблюдений облачности можно выделить три стадии эволюции облачного вихря ПМЦ: формирование, максимальное развитие и разрушение.

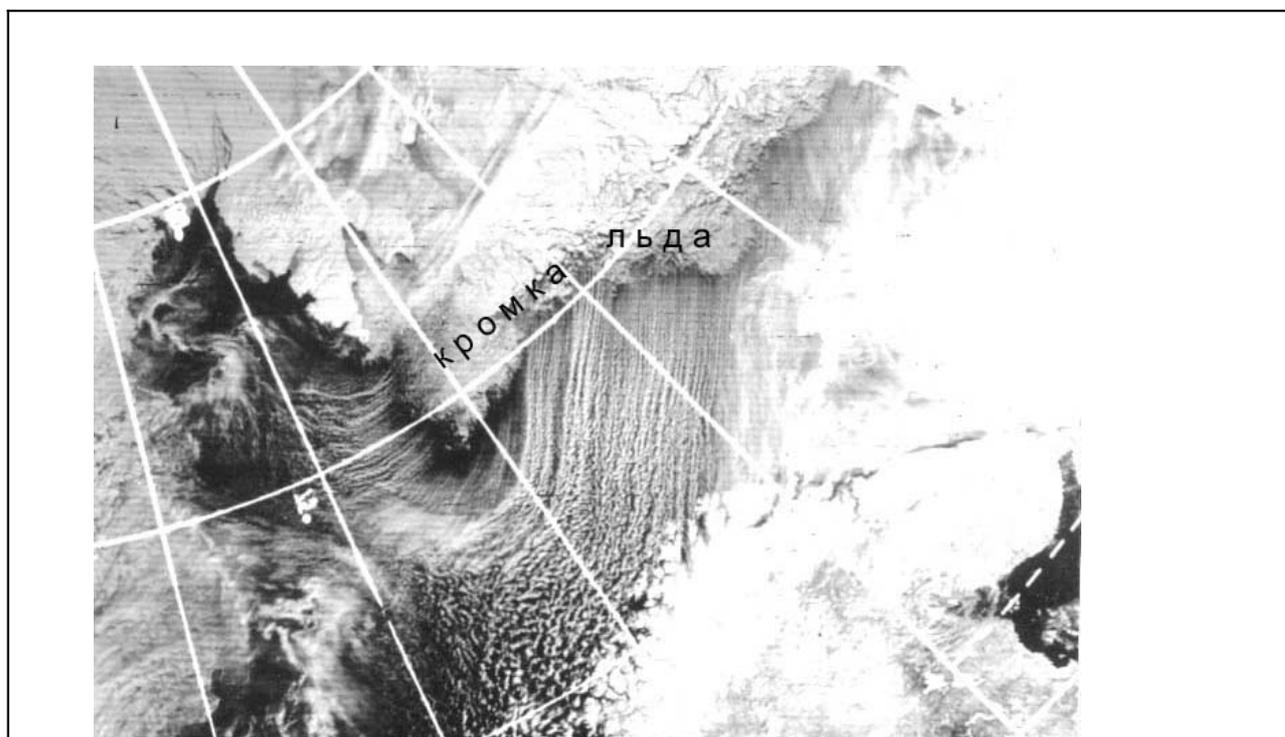


Рис. 2.2 Облачные гряды повышенной конвекции и открытые облачные ячейки в районе Баренцева моря на снимке ИСЗ Метеор 14 апреля 1986 г. 09 ч. 45 мин.

