

ЦИРКУЛЯЦИЯ В СРЕДНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ И ПРОГНОЗ ОПАСНОГО ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

А.А. Лукин

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
lukin@metcom.ru*

Введение

Диагноз и прогноз ветрового волнения представляет большой интерес для мореплавания, рыболовства, гидротехнического строительства, добычи нефти и газа на шельфе и других видов морской деятельности [1]. С практической точки зрения наиболее важен прогноз опасных ветровых волн. Согласно типовому перечню опасных природных явлений [4], к опасным относятся волны, высота которых в прибрежных районах составляет не менее 4 м, в открытом море – не менее 6 м, в открытом океане – не менее 8 м.

Прогностические данные барических полей и полей ветра, рассчитанных с помощью атмосферных гидродинамических моделей, являются основой для расчета высот ветровых волн. В настоящее время успешность прогноза траекторий циклонов над акваториями океанов на срок более трех дней низка [5]. Это означает, что заблаговременность надежных прогнозов полей ветра и волнения не превышает трех дней, что является неблагоприятным фактором для всех видов морской деятельности.

В условиях возникновения в циклонах зон штормовых и ураганных ветров всегда существует вероятность возникновения опасного ветрового волнения с высотой волн 8 и более метров. Для возникновения этого опасного явления необходимо продолжительное воздействие штормовых или ураганных ветров одного направления на поверхность океана и достаточный разгон для волн. При возникновении очень глубоких циклонов с давлением в центре ниже 960 гПа и взрывных циклонов прогноз возникновения зон опасного волнения (ОВ) в наибольшей степени вызывает затруднения из-за ошибок в выходных данных гидродинамических моделей.

Северная Атлантика является одним из ключевых районов в Мировом океане, где режим ветра и волнения оказывает значительное влияние на морскую деятельность в прибрежных и удалённых от берега районах, поэтому здесь особенно важен качественный прогноз ветра и волнения. Большая заблаговременность прогноза волнения, в особенности возникновения ОВ, для морской деятельности является актуальной задачей. На основе краткосрочных прогнозов осуществляется проводка судов по безопасным и наиболее

выгодным курсам и выпускаются предупреждения о возникновении опасных явлений для всех видов морской деятельности. Качественный прогноз возникновения ОВ с большей заблаговременностью может позволить заранее планировать все виды морских работ, в особенности в сложных условиях, и предупреждать о возникновении опасных явлений на акватории океана, что является очень важным и экономически выгодным в современных условиях.

Опасное ветровое волнение и процессы в атмосфере

Данная работа основана на анализе процессов формирования ОВ на акватории Северной Атлантики в течение пяти холодных сезонов с октября 2007 г. по март 2012 года.

Анализ синоптических условий за рассматриваемый период и выявление их связи с возникновением ОВ на акватории Северной Атлантики показывает, что это опасное явление связано с циклонами, которые зарождались в основном над континентом Северной Америки. В течение этого периода 80 % всех штормовых циклонов, вызвавших ОВ на акватории океана, зародились именно над континентальной частью Северной Америки или недалеко от ее побережья. В результате взаимодействия холодной воздушной массы, перемещающейся с континента в тыловых частях этих циклонов, и теплым морским воздухом зачастую происходит резкое углубление циклонов в районах их выхода на акваторию океана. В некоторых случаях циклоны развиваются по «взрывному» типу, когда понижение давления в центре в течение суток составляет 24 и более гПа. Такие процессы в большинстве случаев сопровождаются возникновением зон штормовых и ураганых ветров и очагов ОВ.

Изучение процессов, происходящих в атмосфере в районе Северной Америки, может служить основой для прогноза возникновения ОВ на акватории Северной Атлантики с большей заблаговременностью. Прогноз возникновения ОВ требует детального рассмотрения особенностей динамических процессов в атмосфере, благоприятных для зарождения и дальнейшего развития циклонов и перехода их в разряд штормовых.

Вследствие того, что зарождение и перемещение циклонов напрямую связано с процессами, которые происходят во всей толще атмосферы, возникла необходимость изучения процессов, происходящих не только у поверхности земли или моря, но и в свободной атмосфере. Для этого были проанализированы процессы, происходящие в средней тропосфере в моменты возникновения ОВ и предшествующие его возникновению.

На основе проведенного анализа синоптических процессов в период с октября 2007 г. по март 2012 года, вызвавших на акватории Северной Атлантики ОВ, были выявлены их особенности для различных уровней в свободной атмосфере во время возникновения штормов и образования очагов ОВ. В результате были получены характеристики циркуляции атмосферы на различных уровнях и определена их связь с процессами формирования ОВ на

акватории океана. При этом было выявлено, что наиболее хорошо процессы, сопровождающие возникновение и перемещение очагов ОВ, выражены в средней тропосфере, а именно на стандартной изобарической поверхности 500 гПа. В связи с этим в дальнейшем рассматривались процессы, происходящие в средней тропосфере на уровне данной изобарической поверхности.

На первом этапе из созданного архива карт абсолютной топографии поверхности 500 гПа было отобрано 912 карт за холодные периоды 2007–2012 гг. за срок 0 ч ВСВ. Также была произведена выборка карт анализа волнения за этот же срок. На их основе были рассмотрены следующие характеристики, определяющие циркуляцию атмосферы в средней тропосфере во время штормовых ситуаций, вызвавших ОВ:

- форма переноса воздушных масс (меридиональная или зональная);
- пространственное расположение ложбин и гребней;
- положение барических центров (циклоны или антициклоны);
- положение очагов ОВ относительно различных форм барического рельефа;
- положение очагов ОВ относительно зон с максимальным и минимальным градиентом геопотенциала;
- положение и перемещение очагов ОВ относительно планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ);
- взаимосвязь формы и положения барических образований на уровне 500 гПа с суточным индексом североатлантического колебания (САК).

На основе этих данных были получены характеристики процессов, происходящих в средней тропосфере, и зависимости их от индекса САК. Выявлено, что при положительной фазе САК очаги ОВ образуются в зонах барических ложбин, перемещающихся по акватории океана с запада на восток. При отрицательной фазе САК очаги ОВ возникают в сильно вытянутых в меридиональном направлении барических ложбинах, перемещающихся в северном направлении, при этом ложбины над акваторией океана перемещаются с меньшими скоростями, чем при положительной фазе САК. В обеих фазах САК очаги ОВ чаще всего возникают под зонами с максимальным градиентом геопотенциала, в том числе под ПВФЗ.

На основе проведенного анализа появились предпосылки для рассмотрения начальных этапов формирования возмущений в средней тропосфере, приводящих к возникновению и развитию очагов ОВ на акватории Северной Атлантики.

Атмосферная циркуляция в средней тропосфере, предшествующая возникновению опасного волнения

На втором этапе работы были рассмотрены процессы в средней тропосфере, предшествующие возникновению очагов ОВ. Непосредственно были рассмотрены и

проанализированы все случаи возникновения ложбин, которые впоследствии развились в штормовые циклоны. В результате было выявлено, что в подавляющем большинстве случаев местом зарождения ложбин, вызывающих образование штормовых циклонов на акватории Северной Атлантики, является восточная часть Тихого океана от Аляски до Калифорнии. Ложбины, возникающие западнее или восточнее этого района, как правило, не вызывают образования очагов ОВ на акватории Северной Атлантики.

Из этого следует, что выявление этих ложбин на начальных этапах развития в данном районе может служить предиктором для прогноза ОВ, так как с развитием этих ложбин связано возникновение большинства штормовых циклонов, вызывающих ОВ на акватории океана. Циклоны, развивающиеся при других процессах, как правило, не вызывают ОВ.

Возмущения, развившиеся в штормовые циклоны, возникают на фронтах в зонах адвекции холодного воздуха. В подавляющем большинстве случаев возмущения проявляются на картах АТ500 как узкие вытянутые ложбины, которые перемещаются с достаточно большими скоростями. В некоторых случаях они перемещаются по периферии стационарных ложбин, впоследствии отделяются от них и перемещаются самостоятельно.

Наиболее сильно выраженные возмущения возникают в условиях меридиональной циркуляции, когда над акваторией Тихого океана наблюдаются хорошо выраженные высотные гребни и ложбины. Такая форма барического рельефа характерна для процессов, происходящих при отрицательных значениях индекса САК. Особенность этих возмущений заключается в том, что они обычно располагаются на умеренных фронтах, хорошо прослеживающихся в средней тропосфере, и в большинстве случаев перемещаются с большими скоростями. При этом на начальной стадии развития в ложбинах наблюдается хорошо выраженная дивергенция и сильная адвекция холодного воздуха, что может служить дополнительным параметром для выявления возмущений подобного рода.

Далее приводятся примеры процесса образования возмущений для различных форм атмосферной циркуляции. На рис. 1 отражен процесс начальной стадии образования ложбины в условиях отрицательной фазы САК (прогноз Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды).

В соответствии с прогнозом 10.12.2010 г. в восточной части Тихого океана сформировалось возмущение, при этом максимальный градиент геопотенциала в этой области составил 5,63 дам/100 км, что превышает критерий развития штормовых циклонов (см. таблицу). В этом районе на момент образования возмущения располагался малоподвижный циклон, хорошо выраженный в поле приземного давления. Через сутки произошло зарождение молодого циклона в юго-восточной части малоподвижного циклона. Зарождение молодого циклона было связано именно с возникшей ложбиной. На третьи сутки произошло отделение молодого циклона от малоподвижного, и уже через двое суток,

14.12.2010 г., он превратился в сильный шторм. В результате этого к югу от полуострова Новая Шотландия сформировался очаг ОВ. Максимальная высота волн по данным заякоренных океанских буев составила 10,1 м (рис. 2).

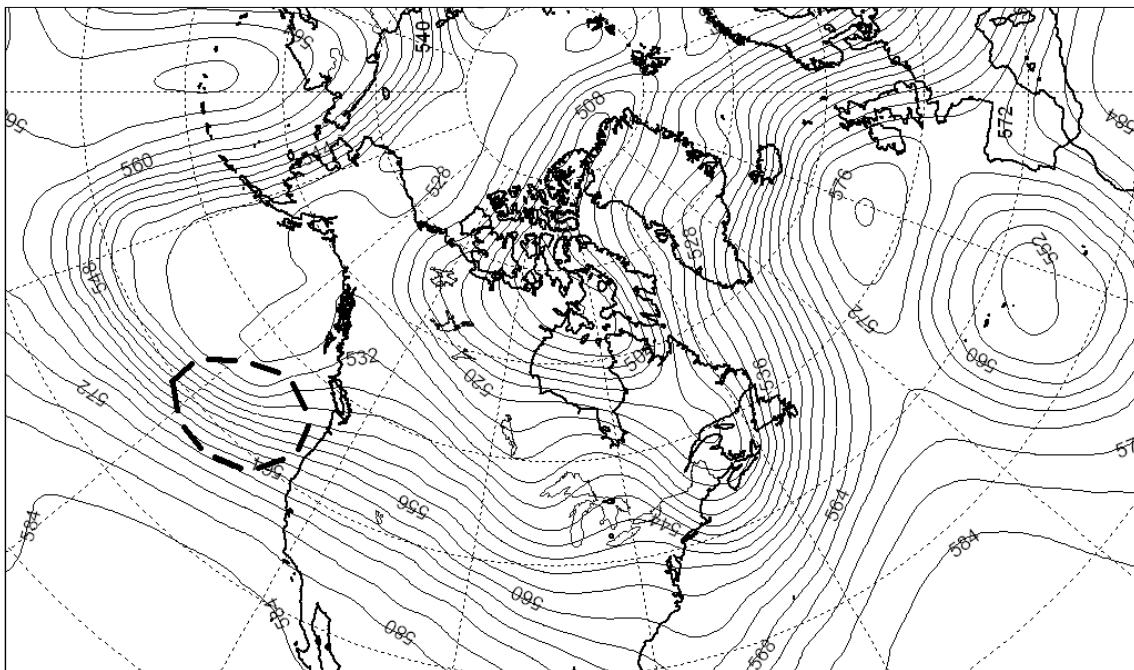


Рис. 1. Прогноз геопотенциала H500 (дам) на 10.12.2010 г. с заблаговременностью 144 ч в условиях отрицательной фазы САК. Пунктиром обозначена область формирования ложбины в восточной части Тихого океана.

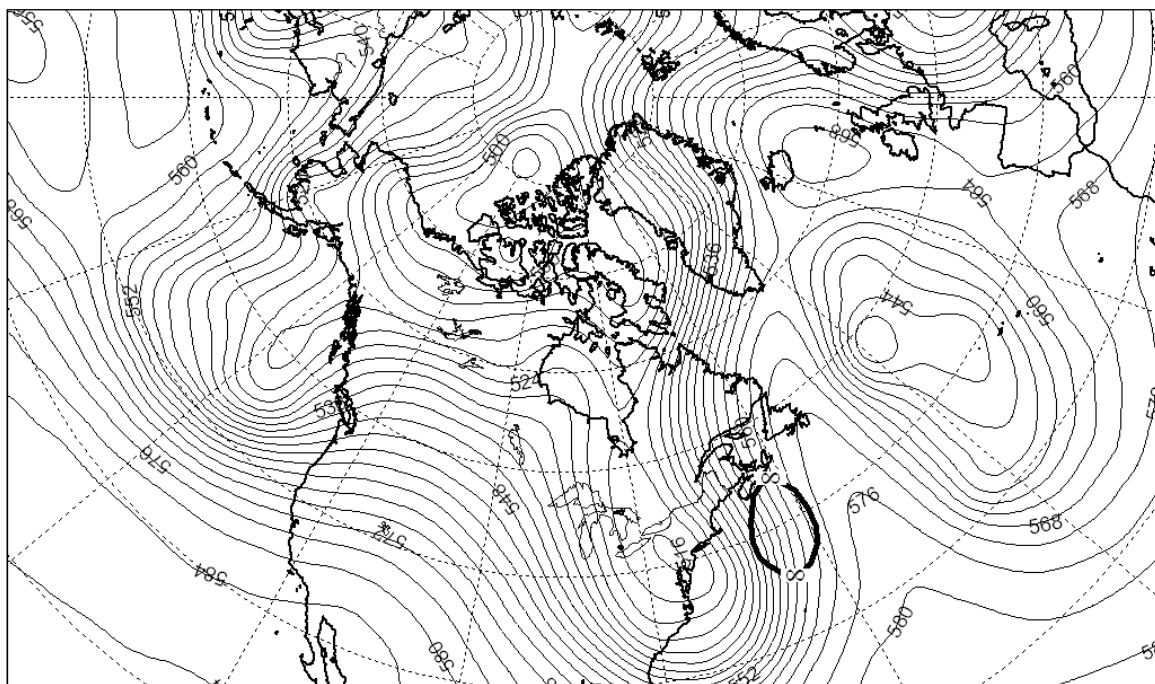


Рис. 2. Поле геопотенциала H500 (дам) и очаг опасного волнения 14.12.2010 г. Жирной линией обозначена область с высотой волн более 8 м.

Циркуляция атмосферы в средней тропосфере над Северной Америкой в этот период осуществлялась по меридиональному типу. В момент образования ложбины значение суточного индекса САК составляло $-0,7$, в момент формирования опасного волнения – $-1,5$, что говорит о резко выраженной меридиональной циркуляции над акваторией Северной Атлантики. Образовавшийся очаг ОВ просуществовал одни сутки, при этом его распространение к востоку произошло на незначительное расстояние, что является характерным для распространения волнения при меридиональной циркуляции над акваторией Северной Атлантики. В таких условиях опасное волнение формируется в западной части океана, при этом наблюдается зависимость локализации очагов опасного волнения от фазы САК.

Следовательно, значение индекса САК может рассматриваться как параметр, определяющий развитие и перемещение очага ОВ по акватории океана (в условиях зональной циркуляции очаги ОВ перемещаются на значительные расстояния и их образование происходит восточнее). При отрицательной фазе САК очаги ОВ формируются в основном в западной части океана, а при положительной фазе – по всей акватории Северной Атлантики. Особенности формирования очагов ОВ в Северной Атлантике и их распространения при разных фазах САК были рассмотрены в работах [2, 3].

В начальной стадии своего образования (рис. 1) ложбины вызывают устойчивую адвекцию холодного воздуха, который до определенного момента поддерживает и усиливает возникшее возмущение. При прохождении над выхожденным континентом Северной Америки адвекция холодного воздуха в тыловой части ложбины еще больше усиливается, что способствует ее дальнейшему углублению. При возникновении рассматриваемого процесса в районах восточного побережья Северной Америки это приводит к сильнейшим штормам. Такие возмущения вызывают резкое вторжение (обрушение) холодных воздушных масс в южные районы, что в конечном итоге и приводит к образованию хорошо развитых штормовых циклонов, вызывающих опасное волнение.

Далее будут рассмотрены процессы образования ОВ при положительной фазе САК, т.е. в условиях преобладания зональной циркуляции. При этом на начальном этапе развития возмущения имеют схожие черты с возмущениями, возникшими при меридиональной циркуляции (рис. 3).

В соответствии с прогнозом 7.02.2011 г. в восточной части Тихого океана сформировалось возмущение, при этом максимальный градиент геопотенциала в этой области составил $6,1$ дам/100 км, что говорит о силе и устойчивости процесса развития ложбины.

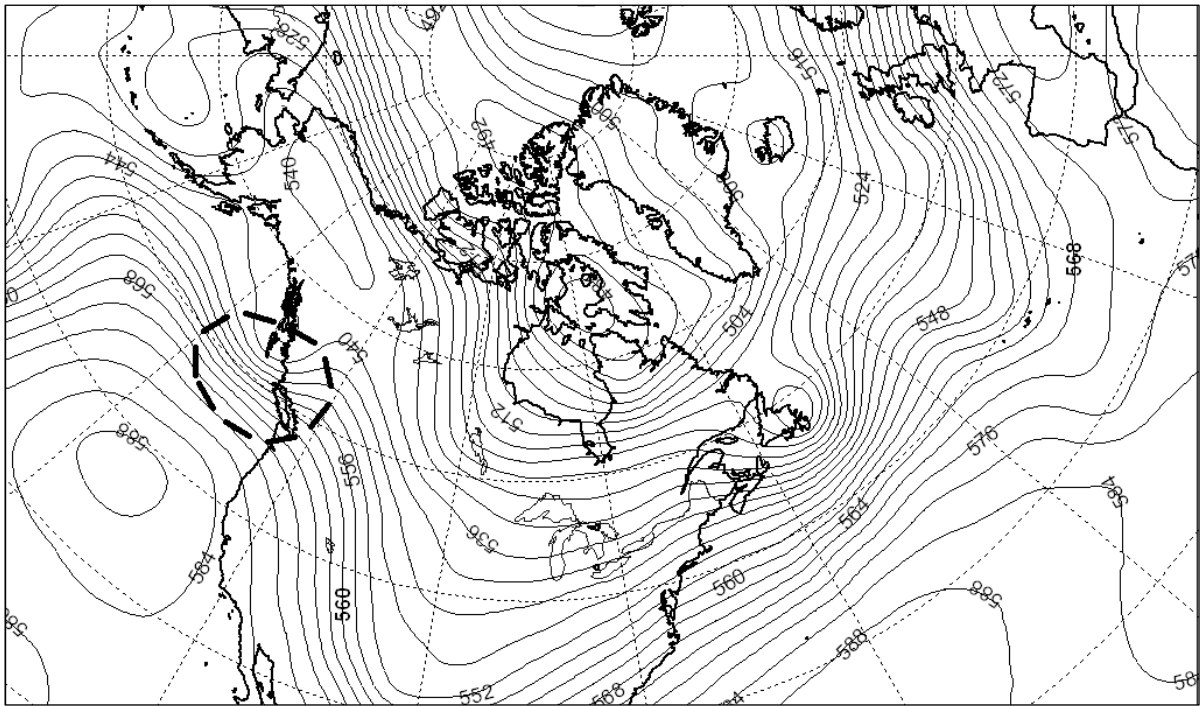


Рис. 3. Прогноз геопотенциала H500 (дам) на 7.02.2011 г. с заблаговременностью 144 ч в условиях положительной фазы САК. Пунктиром обозначена область формирования ложбины в восточной части Тихого океана.

В приземном поле давления 7.02.2011 г. уже наблюдался молодой, быстро движущийся циклон, связанный с этой ложбиной. Его зарождение произошло 6.02.2011 г., так же, как и в первом случае, на юго-восточной периферии малоподвижного циклона, располагавшегося к югу от Алеутских островов. Через шесть суток 12.02.2012 г. он развился в сильнейший штормовой циклон. В результате этого в центральной части Северной Атлантики сформировался очаг ОВ. Максимальная высота волн, по данным закоренных океанских буев, составила около 9 м, а в районе зоны максимальных ветров по данным анализа волнения – 15 м.

Циркуляция атмосферы в средней тропосфере над Северной Атлантикой в это время осуществлялась по зональному типу. В момент образования ложбины значение индекса САК составляло 0,9, в момент формирования ОВ – 0,6, что говорит о хорошо выраженной зональной циркуляции над акваторией Северной Атлантики. При этом давление в рассматриваемом циклоне понизилось до 938 гПа. Образовавшийся очаг ОВ просуществовал в течение двух суток, распространившись на восток и юго-восток до Бискайского залива и на северо-восток до Норвежского моря (рис. 4).

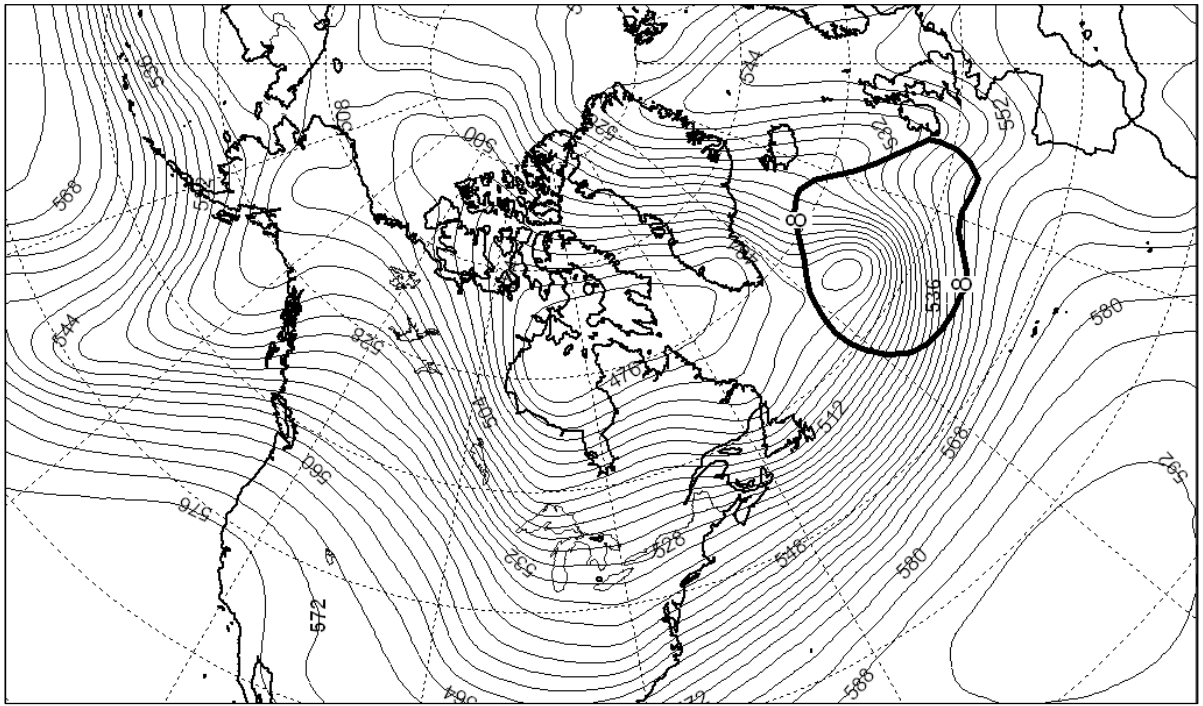


Рис. 4. Поле геопотенциала N500 (дам) и очаг опасного волнения 12.02.2011 г. Жирной линией обозначена область с высотой волн более 8 м.

Исходя из анализа процессов, происходящих в средней тропосфере над восточной частью Тихого океана, за холодный период с октября 2010 г. по март 2011 года были получены некоторые параметры ложбин, находящихся в начальной стадии развития (таблица). Расчет всех параметров был произведен на основе архива синоптических карт Северного полушария за 00 ч ВСВ, созданного в программе ГИС Метео. Для определения значения градиента геопотенциала N500 (дам) изначально выделялись зоны с максимальным градиентом в отдельно взятой ложбине. Далее рассчитывался градиент N500 (дам) на 100 км путем определения расстояния между двумя изогипсами в областях с максимальными градиентами.

За район возникновения ложбин принимались географические координаты центров областей с максимальным градиентом геопотенциала. Значение геопотенциала определялось также в области с его максимальным градиентом. Далее был определен временной интервал между образованием ложбины на востоке Тихого океана и возникновением ОВ на акватории Северной Атлантики. Все рассчитанные параметры ложбин были обработаны и сведены в таблицу.

Для определения этих параметров было рассмотрено 59 случаев образования ложбин, вызвавших ОВ. На основе проведенных исследований было выявлено, что минимальное значение градиента геопотенциала в ложбинах составило 2,72 дам/100 км. Ложбины с максимальным градиентом ниже этого значения разрушались в процессе перемещения над

континентом Северной Америки или выходили на акваторию Северной Атлантики в ослабленном виде, не вызывая при этом на ее акватории ОВ. Максимальный градиент составил 6,56 дам/100 км. Ложбины с градиентом 2,72 дам/100 км и более в начальной стадии своего развития также в большинстве случаев ослабевают над континентом, но при подходе к акватории океана во всех случаях наблюдалось их резкое обострение, с которым и связано образование очагов ОВ.

Таблица

Параметры ложбин в начальной стадии развития

| Значение параметра | Градиент геопотнциала, (дам/100 км) | Значение геопотнциала в зонах с максимальным градиентом, Н500 (дам) | Координаты положения очага максимальных градиентов геопотнциала | | Временной интервал между возникновением ложбин и образованием ОВ, сутки |
|--------------------|-------------------------------------|---|---|---------------|---|
| | | | широта, град | долгота, град | |
| Минимальное | 2,72 | 542 | 27 | 129 | 4 |
| Максимальное | 6,56 | 568 | 53 | 144 | 9 |
| Среднее | 4,68 | 553 | 42 | 136 | 6 |

Минимальное значение геопотнциала в зонах с максимальным градиентом составило 542 дам, а максимальное 568 дам, т.е. разница между значениями не очень большая, что уменьшает размеры района, на территории которого возможно возникновение рассматриваемых ложбин.

При определении географических координат района зарождения ложбин были получены следующие результаты: крайняя южная точка возникновения ложбин находится в районе 27° с. ш., крайняя северная – в районе 53° с. ш., что говорит о достаточно большой протяженности района с севера на юг – около 3000 км. Крайняя западная точка находится в районе 129° з. д., а восточная – в районе 144° з. д., т.е. протяженность района, в котором ложбины можно выделить как сформировавшиеся возмущения, не превышает 1500 км, что облегчает задачу их выявления. Небольшая часть ложбин зарождается западнее рассматриваемого района, но проявляют себя как самостоятельные сформировавшиеся возмущения именно в этом районе.

Значение интервала времени, отделяющего момент образования возмущения от момента возникновения очага ОВ, составил в среднем 6 суток, при этом минимальное его значение 4 суток, а максимальное 9 суток.

Заключение

При различных формах циркуляции атмосферы время, разделяющее возникновение возмущения в средней тропосфере над восточной частью Тихого океана и образование очага

опасного волнения на акватории Северной Атлантики, варьируется в различных пределах и зависит от скорости перемещения воздушных масс и форм барического рельефа. Так, в условиях сильно развитого меридионального переноса воздушных масс, а значит и характерных для него сильно вытянутых в меридиональном направлении ложбин и гребней, путь между местом возникновения возмущения и выходом его на акваторию океана увеличивается. В условиях меридиональной циркуляции нередко возникают блокирующие процессы, которые замедляют скорость перемещения воздушных масс, а вместе с этим уменьшается и скорость переноса возмущений. В условиях преобладания зонального переноса скорость перемещения воздушных масс увеличивается.

Временной интервал, отделяющий возникновение возмущения в атмосфере от образования очага опасного волнения, в среднем составляет 6 суток, его минимальное значение 4 суток, а максимальное 9 суток. Так как рассматриваемый вид возмущений достаточно хорошо прогнозируется гидродинамическими моделями с заблаговременностью до 5-6 суток, то, основываясь на этих прогнозах и данных анализа синоптических ситуаций, можно прогнозировать район возникновения опасного волнения с заблаговременностью до 10–15 суток.

Список использованных источников

1. Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание. – М., 2009. – 287 с.
2. Лукин А.А., Нестеров Е.С. Траектории циклонов и опасное ветровое волнение в Северной Атлантике // Труды ГОИН. – 2011. – Вып. 213. – С. 224–233.
3. Лукин А.А., Нестеров Е.С. Опасное ветровое волнение в Северной Атлантике при разных режимах атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 12. – С. 36–44.
4. РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2008. – 33 с.
5. Froude L.S.R., Bengtsson L., Hodges K.I. The predictability of extratropical storm tracks and the sensitivity of their prediction to the observing system // Mon. Weath. Rev. – 2007. – Vol.135. – No. 2. – P. 315–333.

Поступила в редакцию 15.04.2012 г.