

Возбуждение арктической осцилляции крутильными колебаниями

В.И. Мордвинов, А.С. Иванова, Е.В. Девятова*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, г. Иркутск, а/я 4026*

Поступила в редакцию 18.08.2008 г.

Рассматривается гипотеза внешнего возбуждения арктической осцилляции колебаниями зональной скорости в диапазоне 15–20 сут. Такие колебания часто возникают в тропосфере вблизи полюса и распространяются в низкие широты и в стратосферу, возбуждая колебания индекса арктической осцилляции и оказывая влияние на динамику стратосферного полярного вихря. Ответственными за колебания средней зональной скорости являются крупномасштабные возмущения, имеющие приблизительно структуру длинных баротропных волн Россби.

Ключевые слова: арктическая и антарктическая осцилляции, крутильные колебания, зональная скорость, синоптические возмущения, полярный вихрь, мода, планетарные волны.

Введение

Одним из наиболее масштабных явлений в циркуляции атмосферы являются кольцевые моды — арктическая осцилляция в Северном полушарии и антарктическая — в Южном. Термин «моды» в данном случае используется условно, так как колебания не совпадают по структуре с нормальными модами. До сих пор не вполне понятен механизм возникновения кольцевых мод [1]. Не вызывает сомнения, что это явление связано с колебаниями интенсивности струйных течений. Однако каков механизм раскачки струйных течений, насколько согласованно происходит раскачка в тропосфере и стратосфере — неясно. В низкочастотном диапазоне ($T > 1-2$ мес) колебания в тропосфере и стратосфере тесно связаны, однако на масштабах времени менее 1 мес зонально-симметричные вариации метеополей в тропосфере и стратосфере почти не коррелируют [2]. Возможно, вариации в разных диапазонах обусловлены разными причинами, медленные — колебаниями теплового баланса атмосферы, а кратковременные — динамической неустойчивостью. В настоящей статье мы будем рассматривать только кратковременные колебания индекса арктической осцилляции.

В литературе широко обсуждается роль нормальных мод, в частности модифицированных мод Чарни в возникновении арктической осцилляции [3]. Теоретические и модельные оценки показывают, что взаимодействие этих мод со средним течением действительно могло бы приводить и к усилению самих

мод, и к колебаниям скорости средних течений. Однако раскачка собственных колебаний в турбулентной атмосфере — процесс медленный, если вообще реализуемый «в чистом виде». Даже при возникновении колебаний в локальных областях обострений струйных течений, что более вероятно, оценки характерного времени их возрастания слишком велики [4].

Особенно сложно моделировать динамические процессы в стратосфере [5]. Осенью в стратосфере вследствие быстрого радиационного выхолаживания формируется сильное струйное течение с очень резкими границами [6], препятствующее горизонтальной адвекции тепла. Это течение ограничивает со стороны умеренных широт полярный вихрь, который имеет настолько большую амплитуду, что на коротких интервалах времени демонстрирует свойства локализованного вихря, в частности при взаимодействии с антициклоническими возмущениями, возникающими вследствие распространения из тропосферы длинных планетарных волн.

Часто вихри считают проявлением длинной планетарной волны. На наш взгляд, это неверно, по крайней мере в период максимального развития возмущений. Кинетические энергии циклонического полярного вихря и антициклонических вихрей в эти моменты сопоставимы и достаточно велики для того, чтобы процессы взаимодействия вихрей имели нелинейный характер и напоминали взаимодействие солитонов. Завершением взаимодействия являются затухание всех видов вихревой активности и адиабатический нагрев стратосферы, так называемое внезапное стратосферное потепление. Описать корректно все эти явления на языке взаимодействия волн со средним течением, видимо, невозможно.

* Владимир Иванович Мордвинов (v_mordv@iszf.irk.ru); Анна Сергеевна Иванова (louvianna@rambler.ru); Елена Викторовна Девятова (anel_jena@mail.ru).

Взаимодействие вихрей в стратосфере может сопровождаться излучением волн и генерацией вторичных возмущений. Эти возмущения должны оказывать влияние на динамику верхних слоев атмосферы. Однако и в нижних слоях они могли бы воздействовать, например, на струйные течения, ответственные за раскачку арктической и антарктической осцилляций. Участие нормальных мод в раскачке на коротких интервалах времени проблематично. Другое дело — внешнее воздействие на струйное течение, которое может происходить сколь угодно быстро.

Где бы ни возникали крупномасштабные возмущения и планетарные волны — в тропосфере или стратосфере, их трудно увидеть на фоне синоптических вариаций или выделить в картине сложных нелинейных взаимодействий. Помочь могут различные способы фильтрации, реализуемые при спектральном анализе, построении диаграмм Хофмеллера или диаграмм средней зональной скорости.

Вихри и волны в тропосфере и стратосфере зимой 2000/01 г.

Рассмотрим динамические процессы в тропосфере и стратосфере и их связь с колебаниями арктической осцилляции в 2000–2001 гг. По данным NCEP/NCAR Reanalysis [7], в октябре 2000 г. в стратосфере началось формирование полярного вихря. А уже в середине октября в умеренных широтах Северотихоокеанского сектора начали возникать антициклонические возмущения. В конце ноября, декабре сформировавшийся антициклонический стратосферный вихрь (АСВ) уже вполне ощутимо влиял на положение и динамику циклонического полярного вихря. Рис. 1, *a* иллюстрирует относительные изменения вихрей в декабре 2000 г. на уровне 20 гПа.

Для построения карт использовались среднесуточные значения высот изобарических поверхностей по данным NCEP/NCAR Reanalysis. В верхней части каждого кадра указаны даты.

Из рис. 1, *a* видно, что в первых числах декабря АСВ находился над Аляской, а центр полярного вихря был смещен на север Евразии. В течение месяца вихри совершали сложные относительные движения. АСВ смещался по часовой стрелке вокруг полярного вихря, центр которого, в свою очередь, переместился сначала на север Северной Америки, а затем вернулся в исходное положение над Аляской и северной частью Тихого океана. В тропосфере в эти моменты над полярной областью образовалась перемычка высокого давления, а стратосферный полярный вихрь распался на два ядра — над севером Евразии и Северной Америкой.

На рис. 1, *б* приведен пример несколько иной динамики стратосферных вихрей зимой 2008 г. Стратосферное потепление в 2007–2008 гг. было одним из наиболее сильных за всю историю наблюдений. Это было обусловлено образованием над северной частью Тихого океана исключительно мощного антициклонического вихря. Вероятно поэтому АСВ был малоподвижен и большую часть времени находился над Аляской и севером Тихого океана. Циклонический полярный вихрь, также достаточно мощный, был асимметричен, имел две хорошо выраженные ложбины и за январь–февраль 2008 г. совершил 2–3 полных оборота вокруг Северного полюса. Взаимодействие вихрей проявилось в вариациях их интенсивности и смещениях в меридиональном направлении. Это должно было привести к периодической генерации крупномасштабных возмущений, распространяющихся в зональном и меридиональном

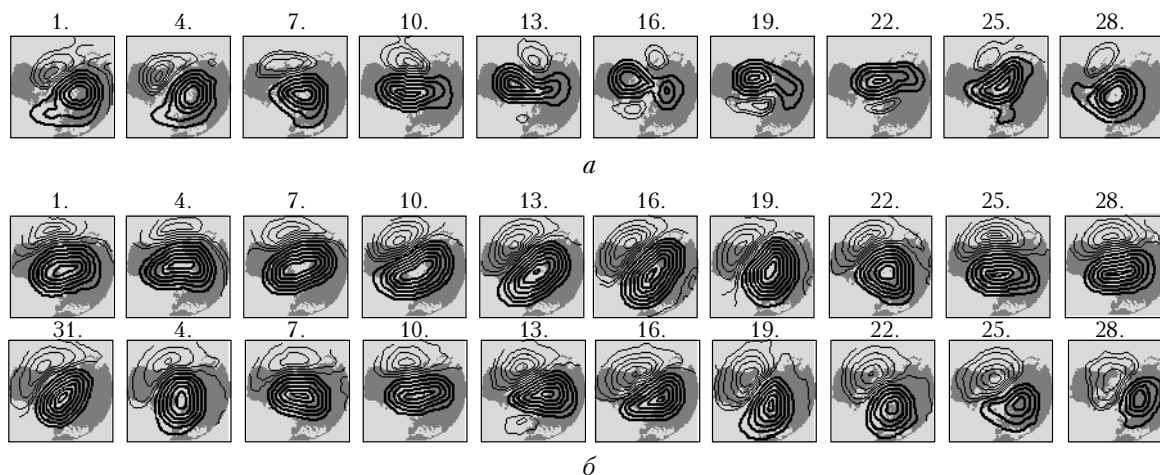


Рис. 1. Аномалии барического поля в декабре 2000 г. (*a*) и в январе–феврале 2008 г. (*б*). Толстыми и тонкими линиями нанесены изолинии положительных и отрицательных отклонений высоты изобарической поверхности 20 гПа (–1100, –900, –700, –600, –500, –400, –300, 50, 100, 200, 250, 300, 350, 400, 450 гПа) относительно высоты поверхности в первый день выбранного периода в точке с координатами 0° в.д., 35° с.ш.

направлениях. Аналогичные колебания должны были возникнуть и зимой 2000/01 г., тем более что динамика вихрей отличалась в этот период большей сложностью, чем зимой 2008 г.

Чтобы проверить это предположение, мы построили для стратосферы амплитудно-фазовые диаграммы длинных планетарных волн, а также диаграммы колебаний средней зональной скорости. На рис. 2 приведены фазовые диаграммы волн с зональными волновыми числами 1 и 2 вдоль параллели 80° с.ш. с 1.11.2000 по 1.03.2001 г. (б) и за более продолжительный период с 1.07.2000 по 1.07.2001 г. (а).

Рис. 2, а позволяет анализировать динамику волновой активности за длительное время, а рис. 2, б — исследовать детали этого процесса. По вертикальной оси отложены даты, по горизонтальной — долгота в сферической системе координат. В левой части каждого рисунка в относительных единицах нанесены вариации амплитуды волн, в правой части — положения максимумов гармоник. Горизонтальными линиями выделен декабрь 2000 г., для которого построены карты барических аномалий на рис. 1, а.

Образование антициклонических возмущений в Тихоокеанско-североамериканском секторе Северного полушария осенью 2000 г. проявилось в резком возрастании амплитуды дипольной волны, хорошо видимом на рис. 2, а. Первые признаки АСВ появились в конце сентября, а основное возрастание амплитуды волны началось в конце октября 2000 г.

Судя по фазовой диаграмме, в целом конфигурация вихрей большую часть зимы была устойчивой — полярный вихрь чаще всего был смещен на север Евразии, а антициклонический вихрь располагался над Аляской.

Исключением оказался декабрь 2000 г. В этот период планетарная волна с зональным волновым числом 1 за 15–20 дней совершила полный оборот по часовой стрелке вокруг полюса. Будем называть эту волну в дальнейшем 15-суточной, хотя скорость ее вращения может варьировать. Условным является использование термина «волна», поскольку периодические изменения в барическом поле обеспечиваются относительным движением крупномасштабных возмущений, изображенных на рис. 1, а.

После завершения полного оборота и восстановления устойчивой конфигурации с АСВ, расположенным над Аляской, и полярным вихрем над севером Евразии вращение дипольной компоненты прекратилось и амплитуда уменьшилась. Полярный вихрь снова занял центральное положение. Дипольная компонента оставалась устойчивой до конца февраля, когда резко уменьшилась амплитуда волны и появились признаки вращения фазы по часовой стрелке, причем с тем же характерным периодом около 15 сут.

Несмотря на общее ослабление вихревой активности и перестройку циркуляции в весенне-летний период, признаки 15-суточных колебаний на фазовой диаграмме к лету стали еще более явными.

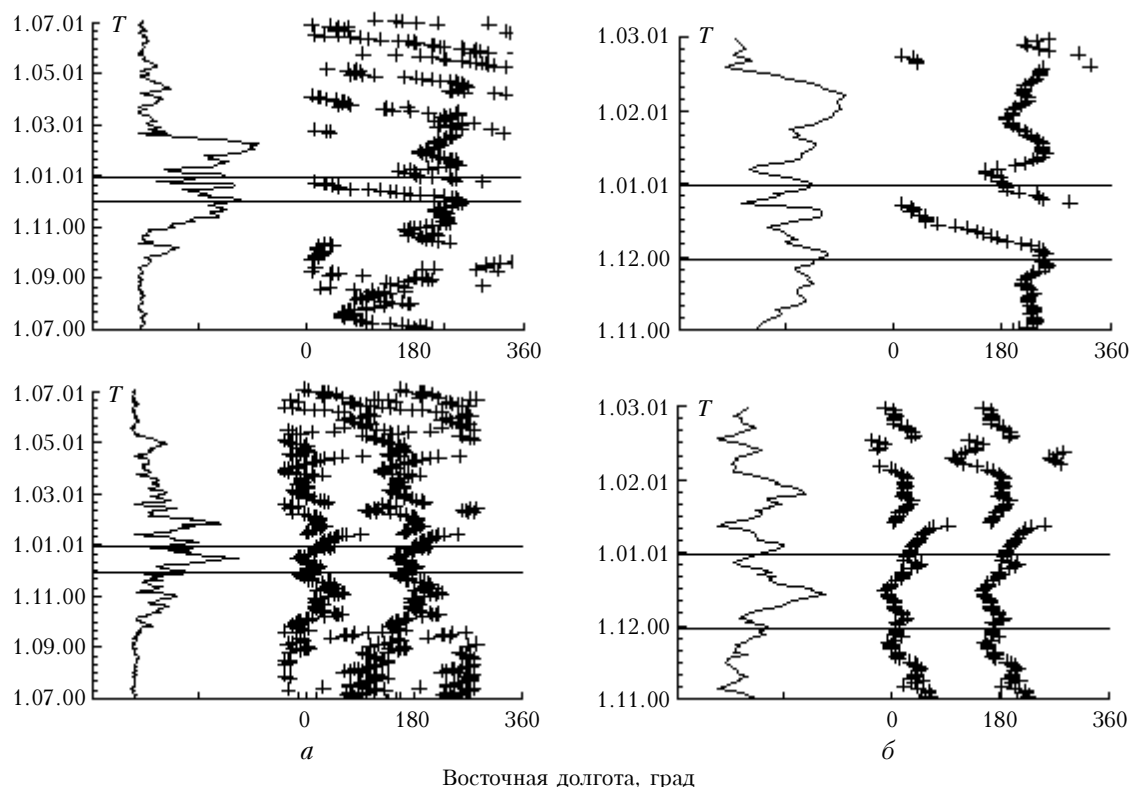


Рис. 2. Амплитудные и фазовые диаграммы волн с зональными волновыми числами 1 (верхняя панель) и 2 (нижняя панель) для широтного круга 80° с.ш. за периоды разной продолжительности — с 1.07.2000 по 1.07.2001 г. (а) и с 1.11.2000 по 1.03.2001 г. (б)

Это говорит о том, что не взаимодействие вихрей, как мы предположили, было причиной колебаний, а, наоборот, 15-суточная волна, скорее всего, влияла на динамику вихрей в стратосфере. Подтверждением этого является отчетливое проявление гармоничности на поверхности 150 гПа, расположенной несколько выше тропопаузы (не приведена). На фазовой диаграмме хорошо была видна «траектория» волны, совпавшая с «траекторией» волны в стратосфере. При этом устойчивая дипольная структура на высоте 150 гПа отсутствовала. Это означает, что стратосферные вихри, в отличие от 15-суточной волны, на высоте 150 гПа уже не прослеживались.

Сложным поведением отличалась компонента с зональным волновым числом 2. Ее фаза и амплитуда зависели от количества барических аномалий в полярной области. При развитии антициклонического вихря в декабре 2000 г. фаза гармоничности менялась мало, а амплитуда испытала всплеск в момент активного взаимодействия вихрей. Сдвиг фазы квадрупольной компоненты произошел в середине января 2001 г. при относительно устойчивой дипольной компоненте. В этот период над северной частью Тихого океана вновь появилось антициклоническое возмущение. Процесс взаимодействия нового АСВ и полярного вихря повторился, хотя и без столь резких изменений положения вихрей, как в конце 2000 г.

Таким образом, амплитудно-фазовые диаграммы в сочетании с картами барических аномалий оказались весьма полезными для анализа динамических процессов в стратосфере. Правда, результаты анализа не подтвердили исходное предположение. Вполне адекватно на диаграммах была отражена динамика стратосферных вихрей, которая оказалась зависящей от планетарной волны с периодом 15–20 сут, перемещавшейся с востока на запад. Волна была зафиксирована не только в стратосфере, но и на более низких уровнях. Фазовые траектории волн слабо менялись при переходе от зимних к летним условиям.

Планетарные волны с периодом около 15 сут принято относить к собственным колебаниям атмосферы [8], накачиваемым синоптическим шумом. Однако реальные колебания чересчур изменчивы, что плохо согласуется с предложенным механизмом. Нестабильность колебаний можно объяснить явлением вазилляции [9] или свойствами каких-то других механизмов раскачки. Установить локализацию гипотетических источников и проверить эту гипотезу можно с помощью диаграмм колебаний средней зональной скорости. Эти диаграммы могут быть весьма полезны и для поиска факторов, влияющих на генерацию кольцевых мод.

Крутильные колебания в тропосфере и стратосфере

Будем называть колебания средней зональной скорости в диапазоне временных масштабов больше синоптического и меньше сезонного крутильными колебаниями. Попытаемся использовать крутильные колебания для поиска источника длинных планетар-

ных волн, выявленных на амплитудно-фазовых диаграммах в предыдущем разделе. Диаграммы крутильных колебаний за период с 1.07.2000 по 1.07.2001 г. приведены на рис. 3 в координатах «широта—время» для трех уровней атмосферы — 500, 150 и 20 гПа.

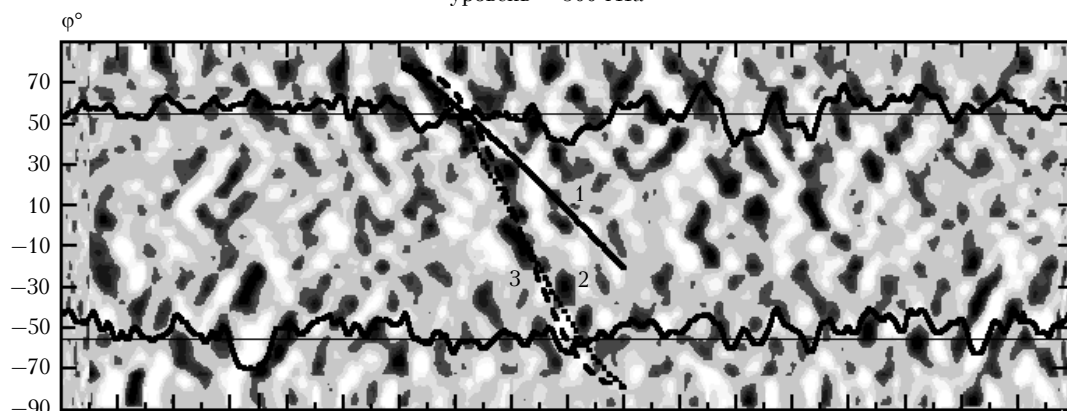
Предварительно для каждой широты с помощью обычного скользящего усреднения были отфильтрованы колебания средней зональной скорости с характерным временем меньше 5 и больше 20 сут. Это позволило исключить из рассмотрения синоптические и сезонные вариации зональной скорости. Затем для устранения широтной зависимости отфильтрованные ряды средней зональной скорости были приведены к единичному интервалу. На рис. 3 различными оттенками серого и черного цветов нанесены изолинии полученных после обработки значений в диапазонах соответственно от 0 до 0,5 и от 0,6 до 1 с дискретностью 0,1. На диаграммы нанесены также графики индексов арктической и антарктической осцилляций. Оси графиков помещены на широты 55° с.ш. и 55° ю.ш.

На всех уровнях и почти во всех широтных зонах хорошо видны 15-суточные колебания. В стратосфере эти колебания обладают различными свойствами к югу и северу от среднего положения оси стратосферного струйного течения. В полярной области колебания происходят одновременно на всех широтах, а к югу от стратосферной струи имеют вид меридионально распространяющихся волн. Столь четкое пространственное разделение стоячих и бегущих волн непонятно, если учесть взаимодействие вихрей и подвижность границы между ними.

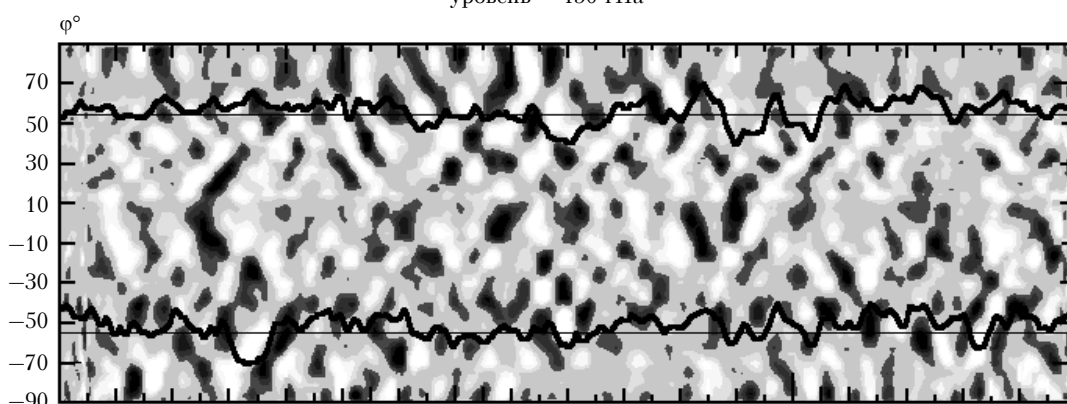
В тропосфере такого различия свойств колебаний в разных широтных зонах нет. Везде колебания распространяются с постоянной скоростью либо в северном, либо в южном направлениях. При этом 15-суточные волны хорошо видны не только зимой, но и в летний период, когда взаимодействующие вихри в стратосфере отсутствуют. Хорошо видно также, что эти волны влияют на колебания индекса арктической осцилляции. Причем, как следует из рис. 3, крутильные колебания часто возникали много раньше, чем колебания индекса арктических осцилляций, и далеко за пределами полярнофронтальной зоны. Это свойство, на наш взгляд, можно использовать для прогноза вариаций арктической осцилляции наряду с предложенным в работах [10, 11] учетом динамики стратосферного полярного вихря.

Диаграммы средней зональной скорости подтверждают представление о ведущей роли 15-суточных планетарных волн как в стратосферных, так и в тропосферных процессах. Безусловно, только на основании диаграмм невозможно утверждать, что все колебания с одинаковым периодом на разных уровнях атмосферы представляют собой проявления одного и того же процесса. Для этого необходимы хотя бы простые корреляционные оценки. Частично эта задача будет рассмотрена в следующем разделе статьи, а сейчас обратим внимание еще на одну любопытную особенность — колебания в тропосфере могут возникать очень близко к полюсу вдали от

Колебания средней зональной скорости
уровень = 500 гПа



уровень = 150 гПа



уровень = 20 гПа

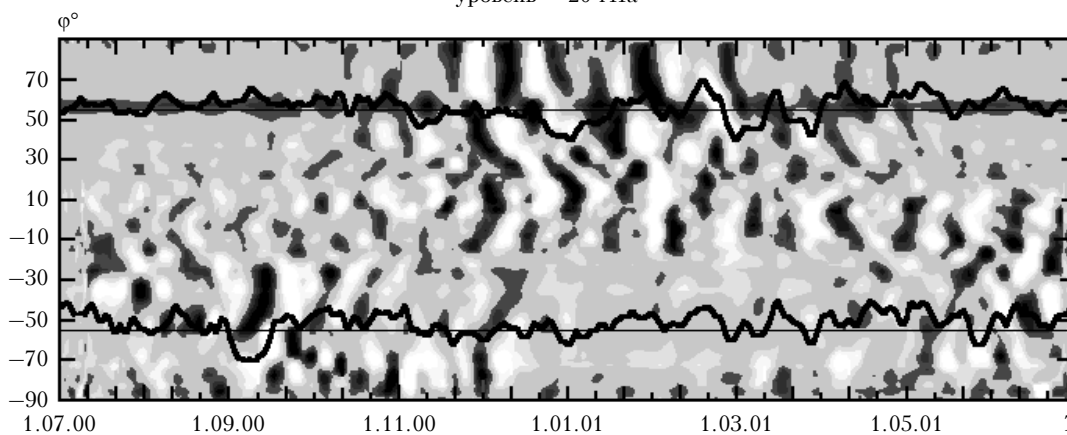


Рис. 3. Крутильные колебания на изобарических поверхностях. Положительные и отрицательные аномалии средней зональной скорости выделены различными оттенками черного и серого цветов. Вдоль широтных кругов 55° с.ш. и 55° ю.ш. нанесены графики индексов арктической и антарктической осцилляций. На диаграмму уровня 500 гПа нанесены траектории баротропных волн Россби с зональными волновыми числами 1, 2, 3

областей повышенной бароклинной и баротропной неустойчивостей.

Анализ крутильных колебаний в другие годы показал, что генерация волн вблизи полюса происходит не всегда. Часто крутильные колебания приходят в полярную зону из низких широт. Правильнее представлять крутильные колебания в виде суперпози-

ции волн, распространяющихся во встречных направлениях с севера на юг и с юга на север. В отдельные интервалы времени могут преобладать либо те, либо другие.

Удовлетворительные оценки скорости распространения крутильных колебаний дает приближение баротропных волн Россби на бета-плоскости.

Это показывают «траектории» баротропных волн Россби с зональными волновыми числами 1–3, нанесенные на диаграмму крутильных колебаний поверхности 500 гПа (см. рис. 3). Для построения траекторий в каждый момент времени рассчитывалась групповая меридиональная скорость плоских планетарных волн. Высота однородной атмосферы была принята равной 8 км, длина волны в меридиональном направлении определялась из диаграммы крутильных колебаний и была принята равной 4000 км. Начальная точка траекторий находилась на широте 80° с.ш. Следует отметить, что согласие между расчетами и наблюдениями было хорошим лишь в умеренных и низких широтах. Вблизи полюсов волны должны были распространяться медленнее, но этого не произошло.

Пространственная структура крутильных колебаний

К сожалению, выделить возмущения, ответственные за крутильные колебания, не удастся даже после фильтрации. Слишком большим оказывается случайный фон. Однако иногда крутильные колебания почти регулярны и, кроме пространственной фильтрации, для выделения возмущений можно воспользоваться усреднением во времени. Одним из наиболее подходящих интервалов является уже рассмотренный выше период осени–зимы 2000 г. Как видно из рис. 3, крутильные колебания в это время повторялись с периодом 15–20 сут.

Для усреднения по времени мы использовали корреляционный анализ. Со сдвигами от –20 до +20 сут оценивались коэффициенты корреляции между вариациями средней зональной скорости вдоль параллели 55° с.ш., проходящей примерно через ось полярнофронтального струйного течения, и колебаниями зональной скорости в узлах сетки. Карты изокоррелянт отражали искомую пространственную структуру возмущений. Особенно удобна данная методика для анализа причин колебаний арктической осцилляции, обусловленных вариациями скорости полярнофронтального струйного течения.

Коэффициенты корреляции рассчитывались для различных узлов сетки. Выбирая узлы пространственной сетки вдоль изобарических поверхностей, мы исследовали горизонтальную структуру возмущений, используя узлы в меридиональных плоскостях, изучали вертикальную структуру аномалий. На рис. 4, а приведены результаты выделения горизонтальной структуры возмущений на поверхности 500 гПа.

Каждый кадр представляет собой карту распределения коэффициентов корреляции с дискретностью 0,1 в узлах сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ со сдвигами во времени – от –12 до +10 сут. Хорошо видно распространение возмущений из очень узкой области вблизи полюса, несколько смещенной в направлении Гренландии. Вблизи полярнофронтального струйного течения возмущения почти осесимметричны, в уме-

ренных широтах оказываются лучше выраженными над территорией Евразии, а дальше к югу теряются на фоне хаотической картины аномалий, имеющих разный масштаб, направление и скорость распространения. Складывается впечатление, что над Северной Америкой в умеренных широтах преобладали движения в направлении полюса, однако они были выражены гораздо хуже, чем над Евразией. В стратосфере возмущения имели форму спиралей, сходящихся к полюсу.

Вертикальные сечения можно было разбить на две группы, обладающие разными свойствами, одна приблизительно соответствовала Восточному полушарию, другая – Западному. На рис. 4, б представлены карты распределения изокоррелянт, характеризующие динамику возмущений вдоль меридианов 100° в.д. (правая часть каждого кадра) и 80° з.д. (левая часть каждого кадра), относящихся к этим двум группам. По горизонтальной оси отложены полярные углы, отсчитываемые от центральной точки, соответствующей полюсу. В Восточном полушарии полярные углы приняты положительными, в Западном полушарии – отрицательными. По вертикальной оси отложены изобарические поверхности от 1000 до 10 гПа.

Особенно хорошо динамика возмущений выражена в Восточном полушарии. Видно, что возмущения возникают на нижних уровнях тропосферы, быстро принимают баротропную структуру и уже на широте полярнофронтального струйного течения проникают в стратосферу. Что происходит дальше, не вполне понятно. Возможно, в стратосфере они медленно смещаются в направлении полюса. Нижняя часть возмущений в тропосфере низких широт постепенно затухает. Вероятно, это связано с достижением области восточных ветров в тропиках.

В Западном полушарии пространственная структура возмущений менее регулярна. Вероятно, возмущения смещаются в направлении полюса. Можно видеть признаки, довольно слабые, влияния возмущений, приходящих к полюсу на верхних уровнях, на генерацию следующего цуга колебаний в тропосфере Восточного полушария.

Некоторые изменения возмущений можно было предвидеть, исходя из оценок в линейном приближении, например затухание возмущений в тропической тропосфере, распространение в верхнюю тропосферу и стратосферу в области полярнофронтального струйного течения. Некоторые изменения оказались неожиданными. В первую очередь – очень ограниченная область возникновения возмущений вблизи полюса. Возникающие здесь колебания зональной скорости проявляются затем в колебаниях скорости полярнофронтальной зоны примерно через 10–15 сут. Анализ непосредственно самих синоптических карт за 2000 г. действительно показал в отдельные моменты согласованное движение синоптических возмущений к полюсу или от полюса. Имеет ли это отношение к возбуждению крутильных колебаний и не является ли результатом случайной организации синоптических возмущений в полярной области – неясно.

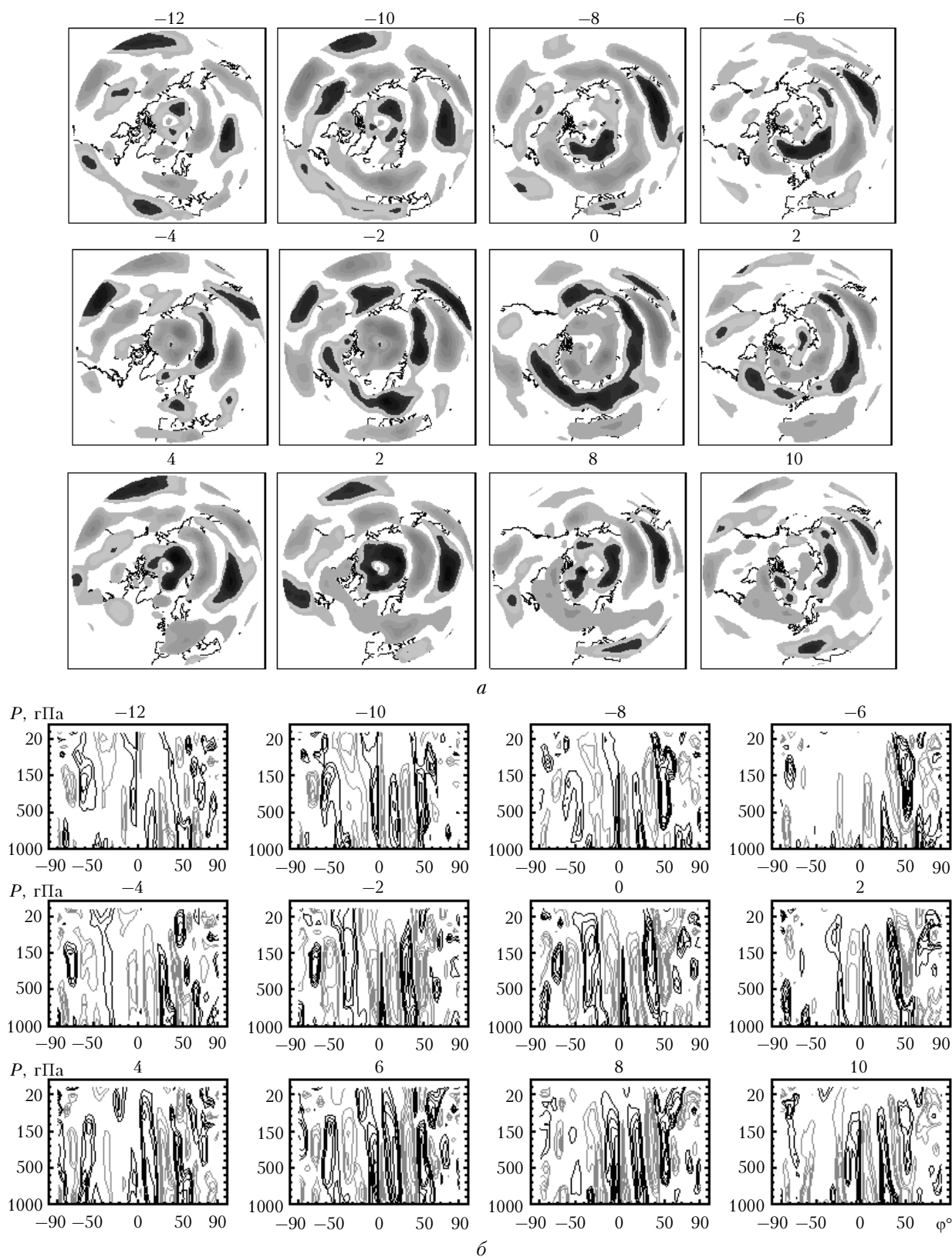


Рис. 4. Динамика горизонтальной структуры крутильных колебаний на уровне 500 гПа, рассчитанная за период с 1.10.2000 по 31.12.2000 г. Различными оттенками черного и серого цвета выделены положительные и отрицательные изокорреляты крутильных колебаний вдоль широтного круга 55° с.ш. и вариаций зональной скорости в узлах сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ (*a*); динамика вертикальной структуры крутильных колебаний вдоль меридианов 100° в.д. и 80° з.д. соответственно в правой и левой частях каждого рисунка (*b*). Распределения изокоррелят построены со сдвигами во времени от -12 до $+10$ сут (слева направо и сверху вниз)

Заклучение

Рассмотрена связь волновых и вихревых движений в тропосфере и стратосфере с колебаниями индекса арктической осцилляции на внутрисезонных масштабах времени в 2000/01 гг. Важная роль в раскачке арктических осцилляций принадлежит колебаниям зональной скорости в интервале 15–20 сут. Крутильные колебания можно представить в виде суперпозиции волн, распространяющихся во встречных направлениях с групповой скоростью длинных баротропных волн Россби. Источником по крайней мере части колебаний являются крупномасштабные возмущения в тропосфере, возникающие в полярной области и распространяющиеся в умеренные и низкие широты. В области полярнофронтального струйного течения колебания проникают в нижнюю стратосферу и влияют на динамику полярного вихря и антициклонических вихрей, образующихся в зимний период над высокими и умеренными широтами.

Найденные колебания трудно отнести к нормальным модам, хотя они и возникают на частотах, характерных для собственных колебаний атмосферы. Неясен механизм возникновения возмущений. Полярные области не обладают большими запасами доступной потенциальной энергии. Возможно, колебания усиливаются при прохождении бароклинических зон в более низких широтах. В некоторые годы траектории крутильных колебаний прослеживаются от одного полюса до другого, возбуждая колебания индексов арктической и антарктической осцилляций.

1. *Thompson D.W.J., Lee S., Baldwin M.P.* Atmospheric Processes Governing the Northern Hemisphere Annular Mode / North Atlantic Oscillation // *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact.* (AGU Geophys. Monogr. Ser.). 2002. V. 134. P. 1–31.

2. *Мордвинов В.И., Иванова А.С., Девятова Е.В.* Арктическая осцилляция и тропосферно-стратосферные взаимодействия // *Солнечно-земная физика.* 2007. Вып. 10. С. 106–112.
3. *Tanaka H.L., Tokinaga H.* Baroclinic Instability in High Latitudes Induced by Polar Vortex: A Connection to the Arctic Oscillation // *J. Atmos. Sci.* 2002. V. 59. N 1. P. 69–82.
4. *Дымников В.П., Филатов А.Н.* Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. М.: Отдел вычислительной математики АН СССР, 1988. С. 1–140.
5. *Manabe S., Hunt B.G.* Experiments with a stratospheric general circulation model. 1. Radiative and dynamic aspects // *Mon. Weather Rev.* 1968. V. 96. N 8. P. 477–502.
6. *Strahan S.E., Mahlman J.D.* Evaluation of the SKYHI general circulation model using aircraft N₂O measurements. 1. Polar winter stratospheric meteorology and tracer morphology // *J. Geophys. Res. D.* 1994. V. 99. N 5. P. 10305–10318.
7. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Wollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetma A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77. N 3. P. 437–471.
8. *Longuet-Higgins M.S.* The Eigenfunctions of Laplace's Tidal Equation over a Sphere // *Phil. Trans. Roy. Soc. London.* 1968. V. 262. N 1123. P. 511–607.
9. *Pogorel'tsev A.I.* Generation of Normal Atmospheric Modes by Stratospheric Vacillations // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics.* 2007. V. 43. N 4. P. 423–435.
10. *Baldwin M.P., Dunkerton T.J.* Downward propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere // *J. Geophys. Res. D.* 1999. V. 104. N 24. P. 30937–30946.
11. *Baldwin M.P., Stephenson D.B., Thompson D.W.J., Dunkerton T.J., Charlton A.J., O'Neil A.* Stratospheric Memory and Skill of Extended-Range Weather Forecasts // *Science.* 2003. V. 301. N 5633. P. 636–639.

V.I. Mordvinov, A.S. Ivanova, E.V. Devyatova. Excitation of the Arctic oscillation by the torsional variations.

Mechanism of the Arctic oscillation excitation is unclear up to now. The hypothesis of the arctic oscillation external excitation by the zonal mean wind variations at intervals 15–20 days is considered in this investigation. Often these variations appear close to the pole in the troposphere and propagate to the lower latitudes and in the stratosphere, causing variations of the Arctic oscillation index and affecting the stratospheric Polar vortex dynamics. The zonal mean wind variations are caused by the largescale disturbances, which have approximately barotropic long Rossby wave structure.