

В.Н. Воробьев, Л.Ю. Рыжаков, Н.П. Смирнов

**ДИНАМИКА ТРОПОСФЕРНОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО
ВИХРЯ И ФОРМЫ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ**

V.N. Vorobyev, L.Yu. Ryzhakov, N.P. Smirnov

**DYNAMICS OF A TROPOSPHERIC CIRCUMPOLAR
VORTEX AND ATMOSPHERIC CIRCULATION
FORMS IN THE SOUTHERN HEMISPHERE**

Выполнен анализ многолетних изменений характеристик тропосферного циркумпольного вихря (ЦПВ) Южного полушария. Проведено сопоставление значений геопотенциала в центре вихря и широты центра с изменениями давления в циклонических центрах действия атмосферы Южного полушария, индексов атмосферной циркуляции повторяемости форм атмосферной циркуляции.

Установлено, что с интенсификацией ЦПВ усиливается зональная циркуляция и увеличивается повторяемость формы Z. При ослаблении ЦПВ уменьшается повторяемость формы Z. При ослаблении ЦПВ уменьшается повторяемость формы Z и увеличивается повторяемость формы Mb.

Сделан вывод, что на основании поведения ЦПВ можно с достаточной заблаговременностью прогнозировать тенденцию в повторяемости форм атмосферной циркуляции в Южном полушарии.

An analysis of multiyear variations in the characteristics of the tropospheric circumpolar vortex (CPV) in the Southern Hemisphere is implemented. A comparison of magnitude for the geopotential in the vortex center and the latitude of the centre is made with pressure variations in cyclonic action centres of the atmosphere in the Southern Hemisphere, as well as of atmospheric circulation indexes and recurrence of atmospheric circulation forms.

With intensified CPV, the zonal circulation gains in strength and recurrence of Form Z increases. With attenuating CPV, recurrence of Form Z decreases and recurrence of Form Ma increases. In the periods of the fastest CPV displacement to the South Pole, recurrence of Form Mb increases.

A conclusion is made that on the basis of CPV behaviour it is possible to predict a trend in recurrence of atmospheric circulation forms in the Southern Hemisphere with a sufficient term of forecast.

Систематические синоптические исследования Антарктики в нашей стране (в то время – в бывшем СССР) начались с открытия бюро погоды в научной обсерватории Мирный в 1956 г. До этого, в послевоенные годы, эпизодические работы в этом направлении выполнялись синоптиками китобойной флотилии «Слава». Так, Г.М. Таубер не только выполнил анализ региональных процессов в Южной Атлантике, но и сделал некоторые обобщения о характере блокирующих процессов в атмосфере высоких широт Южного полушария [Тауберг, 1959]. С началом комплексных научных наблюдений, проводимых советскими антарктическими экспедициями, исследования атмосферной циркуляции про-

водились постоянно и целенаправленно. Результатом исследований явились труды многих синоптиков и физиков атмосферы, начиная с В.А. Бугаева, О.Г. Кричака, А.М. Гусева, П.А. Астапенко, С.Т. Серлапова. При этом одновременно с исследованиями закономерностей изменчивости антарктической атмосферы разрабатывались и методы краткосрочных прогнозов погоды, а позднее и долгосрочных.

Важным разделом синоптических исследований явились работы по типизации и классификации атмосферных процессов, результаты которых представлены, например, в издании ВМФ “Атлас океанов” для регионов южных частей Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Однако при этом задача сводилась к типизации полей давления, что недостаточно для решения многих практических задач. В ААНИИ была поставлена и к 1987 г. решена проблема классификации крупномасштабных синоптических процессов Южной полярной области по формам атмосферной циркуляции. Как известно, основоположником учения о формах циркуляции Северного полушария является проф. Г.Я. Вангенгейм, который выделил три формы циркуляции: западную W, восточную E и меридиональную C [Вангенгейм, 1952]. При этом было введено понятие об естественных стадиях развития атмосферных макропроцессов различного временного масштаба от элементарных (2–5 дней) до эпохальных (несколько десятилетий).

При определении форм циркуляции учитывается по возможности весь комплекс метеовеличин: давление и температура воздуха у поверхности земли и на высотах в тропосфере, ветер, а кроме того особенности циклогенеза и антициклогенеза, положение и развитие длинных волн. Такая классификация дает возможность выделить стадии развития генетически взаимосвязанных процессов большого масштаба. При этом для развивающихся последовательно естественных стадий выявляются определенные закономерности, в том числе закономерности преемственности форм циркуляции. Поиск их является главным содержанием исследований по развитию макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов [Дыдина, 1976; Рыжаков, 1978, 1981, 1999].

Установленные формы циркуляции для Южного полушария получены на основе тех же принципов, что и для Северного полушария [Вангенгейм, 1952; Дыдина, 1976; Рыжаков, 1978]. В обоих случаях они связаны с состоянием тропосферного циркумполярного вихря (ЦПВ). При меридиональных формах циркуляции в тропосфере наблюдаются стационарные волны большой амплитуды. Локализация высотных ложбин и гребней при этих формах принципиально отличная. При форме Ma формируются два мощных гребня со стороны Австралии и Южной Атлантики. Между ними находятся две ложбины над Индийским и Тихим океанами. При форме Mb основными являются высотные гребни над Индийским океаном и над восточными районами Тихого океана. Над Южной Атлантикой, а также над австралийским сектором формируются две обширные ложбины, которые довольно часто расчленяются на две части вторичными гребнями, развивающимися в районе гринвичского меридиана и в районе Тасмания – Новая Зеландия. Для формы Z (зональной) характерно слабое возмущение за-

падно-восточного потока в толще тропосферы. Длинные волны имеют незначительные амплитуды, высотные ложбины и гребни достаточно быстро смещаются в восточном направлении. Приземные циклоны и антициклоны в зоне умеренных широт имеют повышенные зональные составляющие своего движения.

Рассмотрев вопрос о соотношении форм циркуляции и характеристик зональности в атмосфере Северного полушария, проф. Г.Я. Вангенгейм [Вангенгейм, 1963] на конкретных длительных синоптических процессах и данных о колебаниях индексов Росби и Блиновой пришел к выводу о необходимости, кроме напряженности западно-восточного переноса воздушных масс, учитывать наличие и интенсивность меридиональных составляющих. Он наметил створы в зоне умеренных широт для расчета напряженности зональных и меридиональных потоков. Выбор створов сделан не для фиксированной широтной зоны, а с учетом положения преобладающих в многолетнем плане потоков в различных секторах полушария.

В настоящее время выполнена аналогичная работа для Южного полушария, имея в виду возможность сопоставления характеристик интенсивности зональных и меридиональных потоков при процессах различных форм циркуляции Северного и Южного полушарий. Более надежные результаты получены для прежних лет, когда синоптические и барические карты Южного полушария были наиболее полными, особенно в годы выполнения таких глобальных программ, как МГГ, ПИГАП, ПОЛЭКС, ТРОПЭКС, ПГЭП и др. Есть основания предполагать, что состояние ЦПВ может быть охарактеризовано через формы циркуляции. И наоборот, одной из характеристик форм циркуляции может быть интенсивность, положение «полюса циркуляции» и характер расчлененности ЦПВ (число длинных волн и наличие среди них волн с большой амплитудой).

Для выяснения механизма возникновения и развития длинных волн в тропосфере весьма важным является изучение структуры полей температуры воздуха. В работе [Рыжаков, 1959] рассмотрена взаимосвязь положения и интенсивности очагов холода тропосферы с преобразованиями форм циркуляции Северного полушария. Изучению стратосферных возмущений и механизма их передачи в нижележащие слои атмосферы и, в конечном счете, их влияния на процесс преобразования форм циркуляции также уделено внимание [Рыжаков, 1960]. В результате такого многостороннего рассмотрения тропосферных макропроцессов над Северным и Южным полушариями получены схемы состояния ЦВП при разных формах циркуляции. Эти схемы в основных чертах сходны для обоих полушарий, но для Северного они имеют несколько более сложный характер. В Южном полушарии для каждой формы циркуляции выделены основные и переходные состояния ЦПВ. Основным состоянием ЦПВ для зональной формы (Z) является единый, невозмущенный или слабо возмущенный, тропосферный вихрь с центром в пределах центральных районов Антарктиды, либо когда имеется в зоне среднеширотного потока четыре и более длинных волны, а амплитуды волн незначительны, т.е. межширотный обмен воздушных масс ограничен.

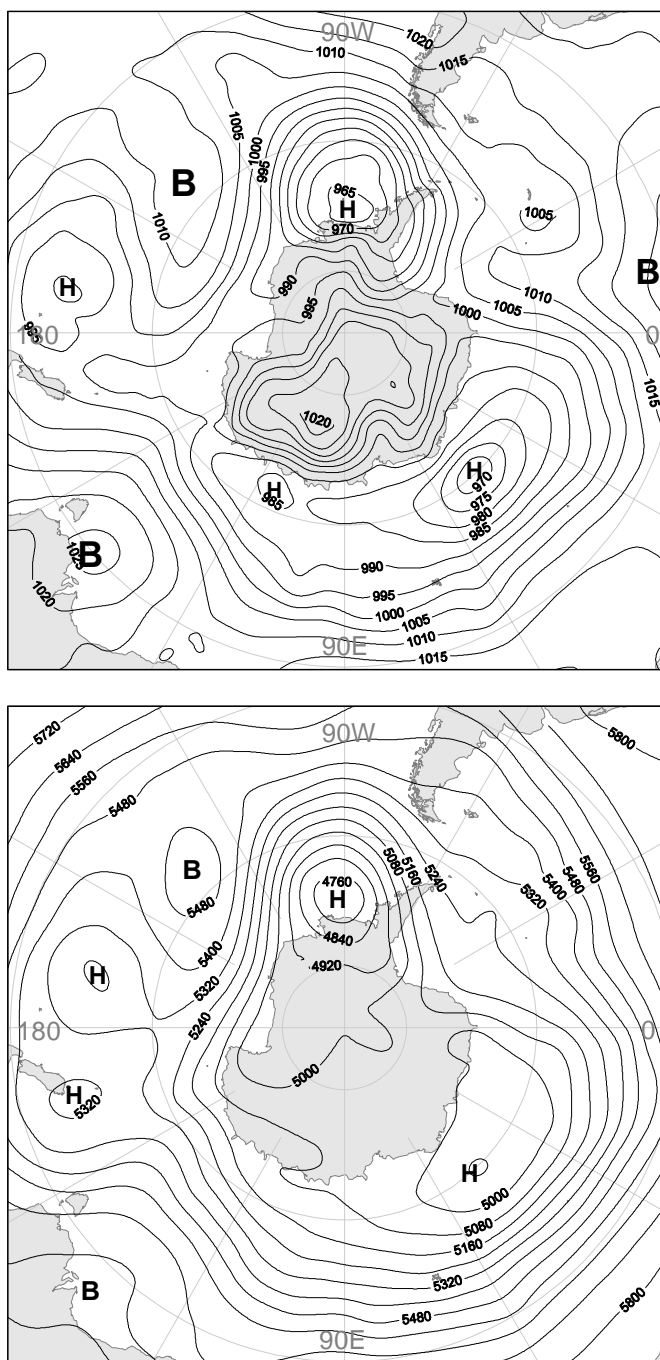


Рис. 1. Среднее поле приземного давления (вверху) и поле Н-500 гПа за 26–28 октября 2002 г.

При форме Ма формируется две циклонических ячейки тропосферной циркуляции. Одна из них располагается в индоокеанском секторе Антарктики (над морем Дейвиса или севернее границ антарктических морей этого сектора). Другая обычно находится над юго-востоком тихоокеанского сектора. ЦПВ при этом начинает работать не на создание изолированности высоких широт, а способствует включению их в процесс межширотного воздухообмена. Именно при таком состоянии ЦПВ возможно проникновение циклонов, движущихся над океанами к материку по крутым меридиональным траекториям, в околополюсный район. Пример процесса при форме Ма приводится на рис. 1. Отметим, что при восточной форме циркуляции (Е) единый циркумполярный вихрь Северного полушария тоже обычно расчленяется на два вихря: один из них формируется над Сибирью, чаще всего над севером Якутии, а другой – над Канадой.

Основное состояние ЦПВ при форме Mb – это расчленение тропосферного вихря на три ячейки, т.е. в западно-восточном потоке формируется три длинных волны, в ложбинах которых нередко возникают самостоятельные центры циклонической циркуляции. Такие ложбины при форме Mb находятся обычно в австралийском секторе Южного океана, в центральной и (или) юго-западной части тихоокеанского сектора, и, наконец, третий находится над Южной Атлантикой. Пример процесса при форме Mb приводится на рис. 2.

Отметим, что для меридиональной формы циркуляции (С) Северного полушария характерно формирование также трех длинных волн, а ЦПВ расчленяется на три самостоятельных циклонических центра: обычно к двум указанным для формы Е формируется еще один – над Северным Уралом или Карским морем.

Заметим, что понятие «форма циркуляции» – довольно широкое, определяющее состояние общей циркуляции атмосферы в конкретной фазе ее развития. Это понятие учитывает многие показатели, но с известными допущениями. Без допущений свести все многообразие реальных синоптических процессов к трем формам циркуляции невозможно.

В тропосфере для процессов в Южном полушарии, и в том числе над полярной зоной, наиболее показательным является уровень изобарической поверхности 500 гПа, в частности потому, что он позволяет в полной мере учитывать процессы над Антарктическим куполом. Анализ среднемесячных карт АТ-500 показывает, что над Антарктидой располагается область низкого давления, в результате чего обеспечивается устойчивый зональный перенос воздушных масс с запада на восток над всей обширной территорией к югу от 30° ю.ш. Таким образом, в тропосфере умеренных широт в Южном полушарии, как и в Северном, формируется отчетливо выраженный циркумполярный вихрь (ЦПВ). Ранее по картам АТ-500, составленным в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ, были определены величины геопотенциала в центре ЦПВ и координаты центра для каждого месяца за период с 1958 по 1991 г., а также выполнен анализ среднего положения и сезонных колебаний характеристик центра. Следует не забывать, что ЦПВ охватывает и тропосферу, и слои стратосферы. В работе [Рыжаков, 1983] был выполнен анализ

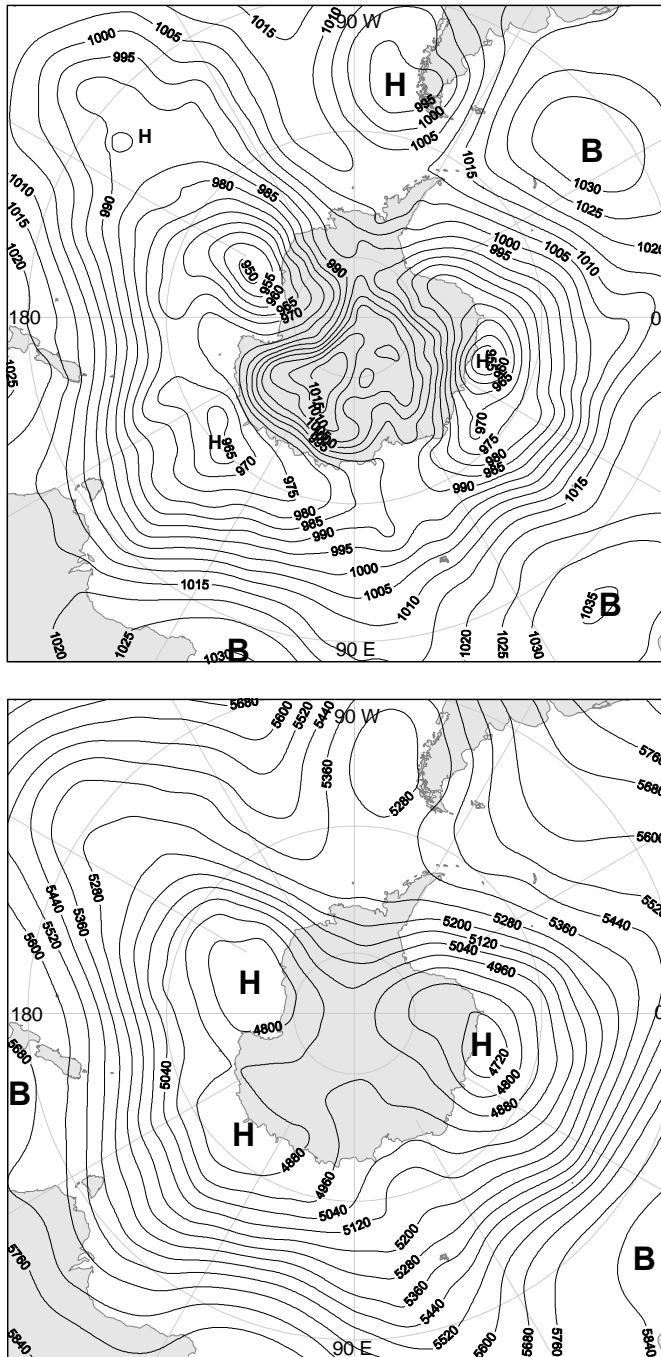


Рис. 2. Среднее поле приземного давления (вверху) и поле Н-500 гПа за 15–17 сентября 2002 г.

временного разреза атмосферы над метеорологическим центром Молодежная по материалам наблюдений за 1977 г. При построении временного разреза использовались данные радиозондирования (до высоты 30–40 км), ракетных подъемов (до высоты 80–90 км) и радиолокационных наблюдений за метеорными следами в слоях атмосферы 100–120 км. Из анализа указанных материалов был сделан вывод, что зона западных переносов над Антарктикой охватывает в холодную часть года почти все слои атмосферы, а наибольшие скорости потоков наблюдаются в слое 15–60 км. В летний сезон западные потоки ослабевают на всех высотах. В нижней стратосфере происходит сезонная перестройка и западные потоки меняются на восточные

В среднем за год центр ЦПВ располагается над областью Восточной Антарктиды, примыкающей к шельфовому леднику Росса. Было установлено, что изменение в течение года значений геопотенциала в центре ЦПВ минимально в зимнее время (август–сентябрь – 480–482 д.м) и заметно повышается летом (январь – 510 д.м). Изменения в течение года положения центра ЦПВ в целом невелики. Так, по широте, определяемой в приполюсном районе более точно, они составляют всего 2°.

Изменения год от года значений геопотенциала в центре ЦПВ и особенно его положения по широте также достаточно велики. Так, среднее за год значение геопотенциала в центре вихря изменялось от 485 д.м в начале 60-х годов прошлого века до 498 д.м в 1984 г., а широта центра изменялась от 77° ю.ш. в 1969 г. до 84° ю.ш. в 1983 г. (рис. 3).

В изменениях значений геопотенциала хорошо заметна положительная трендовая составляющая от начала 60-х к началу 90-х годов. За 34 года она составила +9,1 д.м. Также заметно колебание с периодом около 8 лет, которое является наиболее характерным для Северо-Атлантического колебания [Смирнов, 1998]. В изменениях широты центра ЦПВ полностью преобладает колебание с периодом около 11 лет (рис. 3 и 4).

Интересно было сопоставить многолетние изменения интенсивности ЦПВ и его положения по широте с изменениями давления в приземных циклонических центрах действия атмосферы, расположенных над океаном у побережья Антарктиды (табл. 1). Как следует из результатов, приведенных в табл. 1, наиболее тесная положительная связь наблюдается между изменениями интенсивности ЦПВ и давления в центре Южно-Атлантической депрессии. Значимая, но более слабая положительная связь с изменениями интенсивности ЦПВ имеет место и для давления в центре Индоокеанской депрессии. У изменений давления в центре Южно-Тихоокеанской депрессии связь с интенсивностью ЦПВ практически отсутствует, и только в долгопериодной области намечается слабая отрицательная связь, т.е. когда интенсифицируется ЦПВ, давление в центре Южно-Тихоокеанского циклонического центра действия атмосферы растет. С изменениями широты центра ЦПВ давление в стационарных депрессиях Южного полушария никак не связано.

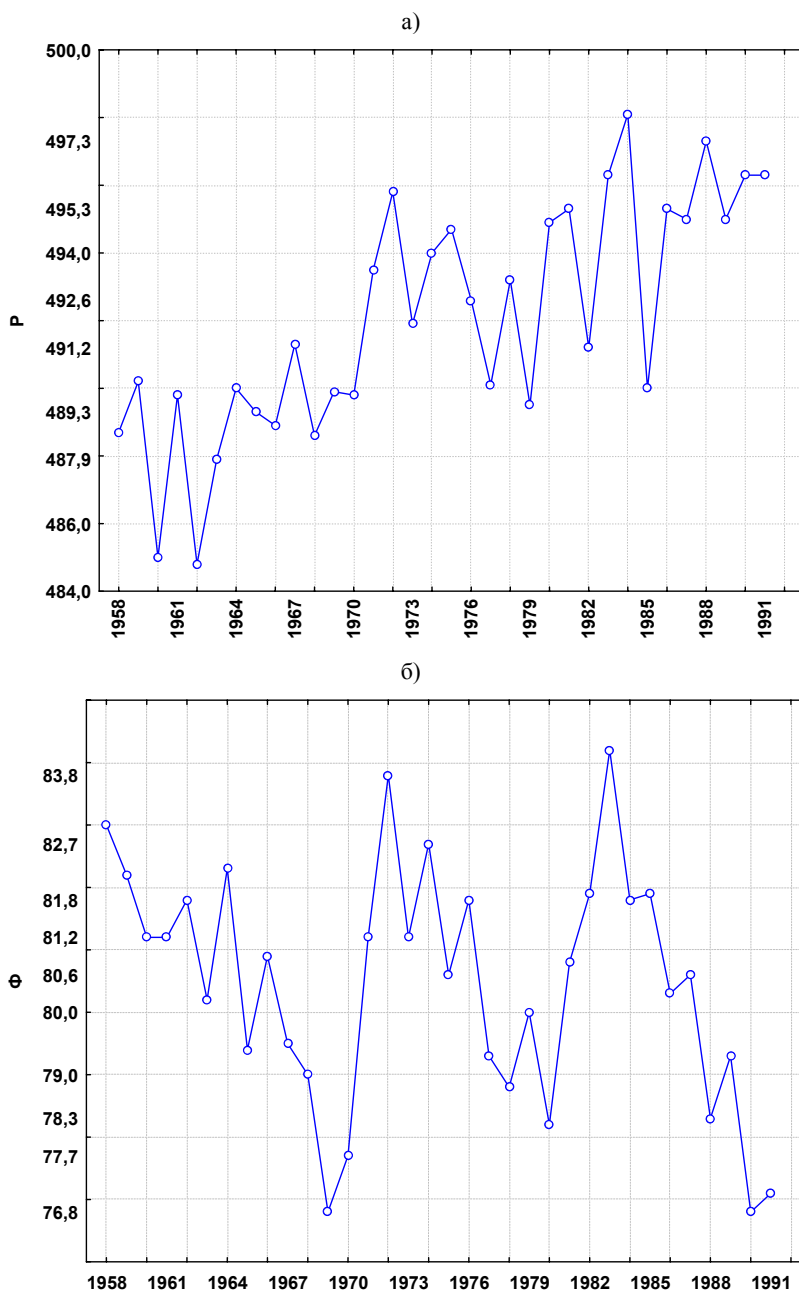


Рис. 3. Многолетние изменения среднегодовых значений геопотенциала в центре ЦПВ (а) и широты центра (б).

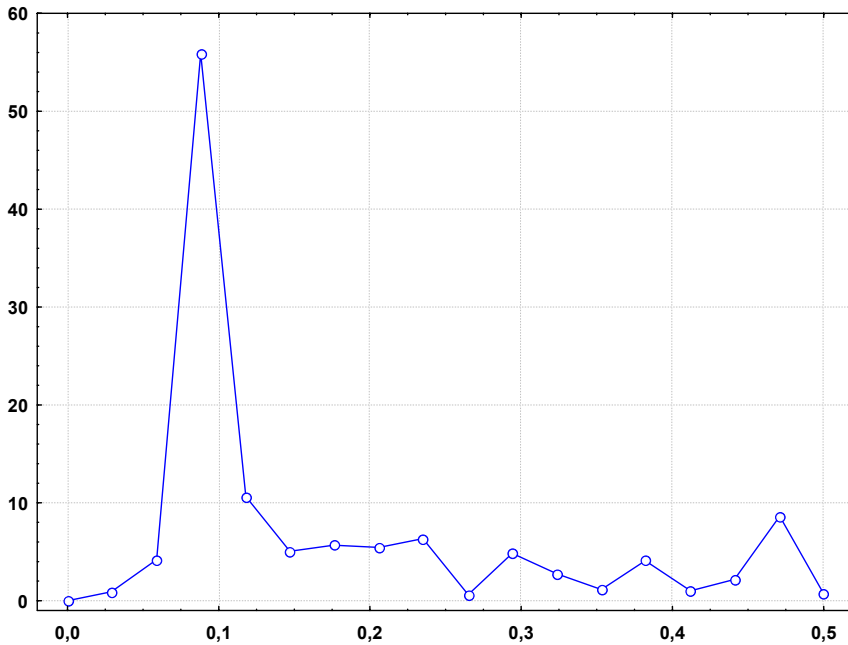


Рис. 4. Спектрограмма изменений среднегодовых значений широты центра ЦПВ.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями характеристик ЦПВ и изменениями давления в приземных циклонических центрах действия атмосферы Южного полушария ($r_{95\%} = \pm 0,33$)

Центры действия атмосферы	Среднегодовые значения		5-летние скользящие средние	
	геопотенциал	широта	геопотенциал	широта
Южно-Атлантический	0,53	-0,01	0,50	-0,12
Индокоеанский	0,35	-0,02	0,11	0,03
Южно-Тихоокеанский	-0,16	-0,17	-0,38	-0,08

Далее были сопоставлены изменения характеристик ЦПВ и различных индексов атмосферной циркуляции, отражающих интенсивность зональных переносов воздушных масс как в Южном, так и в Северном полушарии. В табл. 2 приведены значения коэффициентов корреляции между изменениями среднегодовых значений геопотенциала в центре ЦПВ и широты центра ЦПВ и значений индексов Северо-Атлантического колебания ($NAO_{об}$) [Смирнов, 1998], Северо-Тихоокеанского колебания ($NPO_{об_2}$) [Смирнов, 2002], Южно-Полярного колебания (SPO) [Смирнов, 2004], а также Южного колебания ($SP_{ян}$) [Trendberth, 2000]. Из табл. 2 следует, что значимые коэффициенты корреляции между значениями геопотенциала ЦПВ и индексов атмосферной циркуляции получены только для Северо-Атлантического и Южно-Полярного колебаний, которые ха-

рактизируют интенсивность зональной циркуляции в средних широтах от $\approx 70^\circ$ з.д. до 120° в.д. соответственно в Северном и Южном полушариях. Особенно велика связь изменений геопотенциала ЦПВ с индексом Северо-Атлантического колебания. При этом, когда увеличивается индекс Северо-Атлантического колебания, т.е. усиливается интенсивность циркуляции в Северном полушарии, растет значение геопотенциала ЦПВ, его интенсивность ослабевает. И, наоборот, как и должно быть, при интенсификации зональной циркуляции в Южном полушарии интенсифицируется и ЦПВ.

С изменениями широты ЦПВ значимый коэффициент корреляции наблюдается для изменений индекса Северо-Тихоокеанского колебания. Когда усиливается атмосферная циркуляция в Северо-Тихоокеанском регионе, центр ЦПВ в Южном полушарии имеет тенденцию к смещению в направлении Южного полюса. С изменениями индекса Южного колебания ЦПВ Южного полушария оказался никак не связан.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями характеристик ЦПВ и изменениями индексов атмосферной циркуляции ($r_{95\%} = \pm 0,33$)

Индекс	Среднегодовые значения		5-летние скользящие средние	
	геопотенциал	широта	геопотенциал	широта
NAO _{об}	0,65	0,16	0,80	-0,04
NPO _{об2}	0,18	0,45	-0,01	-0,09
SPO	-0,34	-0,07	-0,44	-0,07
SP _{ян}	0,01	-0,07	-0,02	-0,02

Наконец, наиболее интересно было сопоставить характеристики ЦПВ с повторяемостью форм атмосферной циркуляции Южного полушария. Заметим, что индекс повторяемости различных форм атмосферной циркуляции отражает не столько интенсивность циркуляции, сколько ее характер и устойчивость макропроцессов.

В табл. 3 приведены коэффициенты корреляции между среднегодовыми значениями характеристик ЦПВ и повторяемостью процессов той или иной формы со сдвигом в один год, так как оказалось, что максимальные коэффициенты корреляции имеют место при запаздывании повторяемости форм циркуляции относительно геопотенциала ЦПВ в один год. Другими словами, характер состояния ЦПВ сказывается на преобладающих макропроцессах в следующем году.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции между изменениями среднегодовых значений характеристик ЦПВ и повторяемостью форм атмосферной циркуляции при сдвиге в один год ($r_{95\%} = \pm 0,36$)

Форма циркуляции	Среднегодовые значения		5-летние скользящие средние	
	геопотенциал	широта	геопотенциал	широта
Z	-0,43	-0,22	-0,88	-0,09
Ma	0,41	0,27	0,72	-0,23
Mb	-0,11	-0,17	0,10	0,43

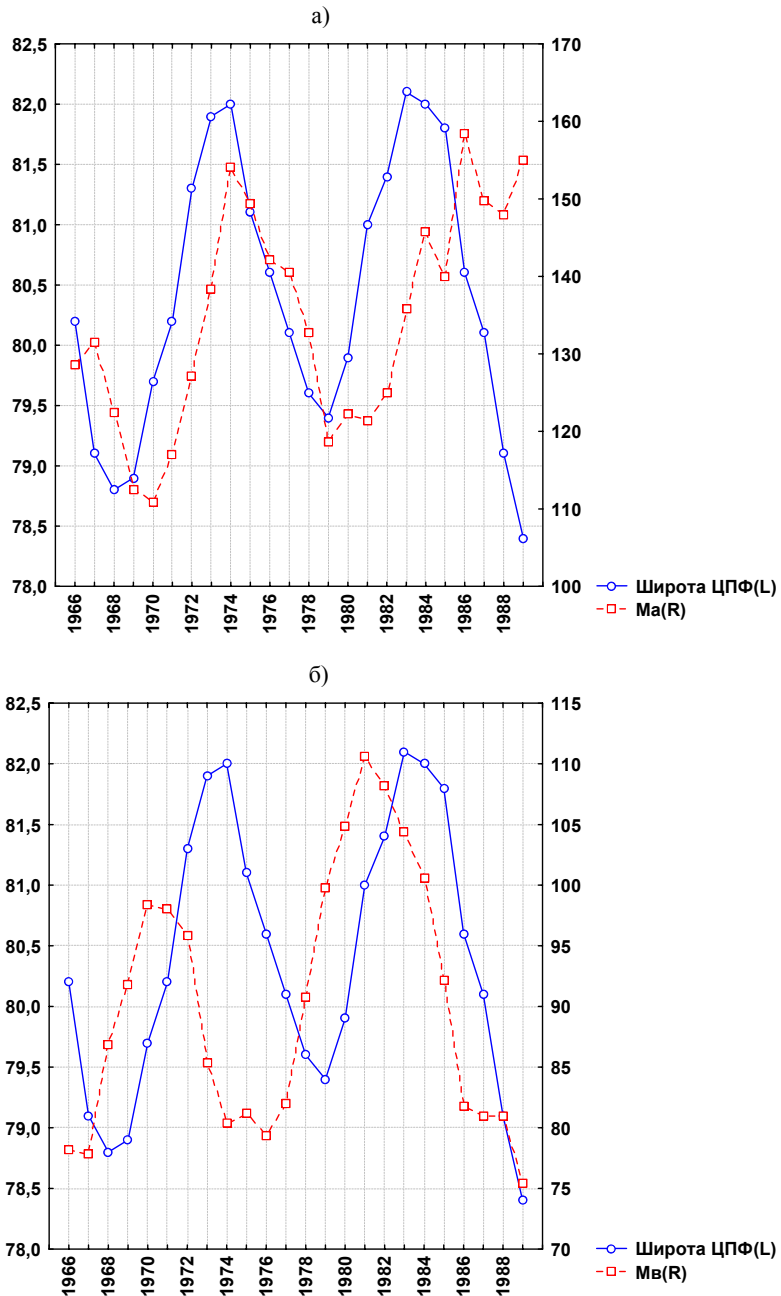


Рис. 5. Сопоставление 5-летних скользящих средних значений широты центра ЦПФ и повторяемости форм циркуляции атмосферы в Южном полушарии Ma (а) и Mb (б).

Результаты, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что между изменениями среднегодовых значений геопотенциала в центре ЦПВ и повторяе-

мостью форм атмосферной циркуляции на следующий год существует значимая связь. При ослаблении ЦПВ уменьшается повторяемость формы Z и увеличивается повторяемость формы Ma и, наоборот, при интенсификации ЦПВ и усилении западно-восточного переноса увеличивается повторяемость формы Z. Повторяемость же формы Mb в первую очередь, по-видимому, зависит от направления перемещения центра ЦПВ. В моменты наиболее быстрого смещения ЦПВ к полюсу увеличивается повторяемость формы Mb и, наоборот, при смещении центра ЦПВ к северу увеличивается повторяемость формы Ma. Это наглядно демонстрирует рис. 5. Однако надо иметь в виду, что эти данные имеют отношение к долгосрочным прогнозам фоновых характеристик для месяца в целом. Для более краткосрочных прогнозов важно установить закономерности развития структуры ЦПВ, наблюдаемые в естественные циркуляционные периоды длительностью 2-5 дней. Какая бывает структура ЦПВ в периоды развития процессов форм Ma и Mb видно из рис. 1 и 2. Поэтому актуальна задача поиска зависимостей между структурой и интенсивностью ЦПВ и последующим развитием внутримесячных процессов.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение изменчивости характеристик циркумполярного вихря может способствовать пониманию закономерностей изменчивости атмосферной циркуляции не только в Южном полушарии, но и в масштабах всей Земли. Они могут иметь и прогностическое значение с учетом того, что на основании поведения ЦПВ можно прогнозировать тенденции в повторяемости форм атмосферной циркуляции в Южном полушарии, используемые в долгосрочных прогнозах.

Заключение

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) – это система крупномасштабных атмосферных процессов в высоких, умеренных и низких широтах, которые постоянно взаимодействуют, с одной стороны, между собой, а с другой – с подстилающей поверхностью. Формы циркуляции атмосферы отражают главные особенности этой системы в разные периоды времени. Одни периоды характеризуются преобладанием в зоне умеренных широт зональных потоков, т.е. потоков воздуха с запада на восток вдоль круга широт. В другие периоды наблюдаются меридиональные перемещения воздушных масс. Общее вращение атмосферы вместе с Землей приводит в зоне умеренных и высоких широт, не только в тропосфере, но и в стратосфере, к формированию западно-восточных потоков. ЦПВ является стержневым проявлением ОЦА. Циркуляционные явления, такие, как Североатлантическое и Южное колебания, а также региональные особенности циркуляции можно рассматривать происходящими на фоне динамики ЦПВ. Сложность развития циркуляционных механизмов атмосферы определяется влиянием на них большого количества факторов астрономического, геофизического и географического характера. Достаточно строгий учет влияния этих факторов на атмосферные процессы является сложной проблемой, которая по отдельным направлениям исследуется многими научными коллективами в разных странах. Новизна нашего подхода заключается прежде всего в стремлении рассмотреть закономерности

ОЦА и влияние на нее различных факторов на основе исследования ведущего циркуляционного механизма ОЦА – ЦПВ. Общая циркуляция атмосферы в реальном времени проявляется в формах атмосферной циркуляции и в состоянии и динамике ЦПВ. Важно при этом учитывать характер взаимодействия форм атмосферной циркуляции Северного (W, C, E) и Южного (Z, Ma, Mb) полушарий. Термодинамические процессы тропической зоны – важнейшее звено ОЦА, которое влияет и на динамику ЦПВ обоих полушарий.

Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов предусматривает изучение закономерностей развития ОЦА как смену реально наблюдаемых зональных и меридиональных форм циркуляции. Использование понятий о формах циркуляции Южного полушария и связанных с ними типов синоптических процессов Антарктики делает более ясной и сжатой информацию об атмосферных процессах, необходимую для решения практически важных задач синоптической метеорологии. Важной частью настоящей работы является привлечение уникального синоптического архива ААНИИ для создания каталога типовых структур ЦПВ, отражающего состояние ЦПВ по естественным периодам, близким к понятию однородного на полушарии циркуляционного периода по Вангенгейму или циркуляционного механизма по Дзердзеевскому.

Литература

1. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. // Труды ААНИИ, 1952, т. 34, 314 с.
2. Вангенгейм Г.Я. Учет интенсивности воздушных течений для диагноза и прогноза особенностей атмосферной циркуляции и погоды. // Труды ААНИИ, 1963, т. 253, с. 21–32.
3. Дыдина Л.А., Рабцевич С.В., Рыжиков Л.Ю., Савицкий Г.Б. Формы атмосферной циркуляции в Южном полушарии. // Труды ААНИИ, 1976, т. 330, с. 5–16.
4. Рыжиков Л.Ю. О характере расчлененности области холода тропосферы Северного полушария и его связь с циркуляционными условиями. // Труды Воен.-воздуш. инж. акад. им. Можайского, 1959, вып. 297, с. 78–85.
5. Рыжиков Л.Ю. Об особенностях температурных условий в нижней стратосфере и их связь с тропосферной циркуляцией. В сб.: «Проблемы Арктики и Антарктики», 1960, вып. 5.
6. Рыжиков Л.Ю. Характерные аномальности циркуляции атмосферы над Южным полушарием и некоторые прогностические связи для района Антарктики. В сб. «Циркуляция атмосферы в полярных областях». – Л.: Гидрометеиздат, 1978, с. 123–129.
7. Рыжиков Л.Ю. Вопросы совершенствования синоптического обеспечения экспедиционных и рыбопромысловых работ в Южном океане. В сб. «Исследования Арктики, Антарктики и Мирового океана». – Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 75–80.
8. Рыжиков Л.Ю. Основные черты полей температуры и ветра над Антарктидой в 1977 г. // Труды САЭ, 1983, т. 76, с. 62–75.
9. Рыжиков Л.Ю., Рабцевич С.В. Результаты разработки метода долгосрочных метеорологических прогнозов на зиму для Антарктики. // Труды ААНИИ, 1999, т. 441, с. 59–72.
10. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: изд. РГГМУ, 1998.
11. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н. Северо-Тихоокеанское колебание и динамика климата в северной части Тихого океана. – СПб.: изд. РГГМУ, 2002.
12. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.А. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004.
13. Таубер Г.М. Некоторые особенности атмосферных процессов в Антарктике. Климат Антарктики. – М.: Географгиз, 1959, с. 28–78.
14. Trenberth K.E., Caron J.M. The Southern Oscillation Revisited // Journal of Climate. 2000, Vol. 13.