

Из книги

Особенности синоптических процессов Средней Азии

С. И. Инагамова, Т. М. Мухтаров, Ш. Т. Мухтаров

Ташкент

2002

5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ В СТРАТОСФЕРЕ (С УЧЕТОМ КВАЗИДВУХЛЕТНЕГО ЦИКЛА) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И УВЛАЖНЕНИЮ МЕСЯЦЫ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

5.1. Термический и барический режим в нижней и средней стратосфере

Для познания закономерностей общей циркуляции атмосферы весьма важно изучение термического и барического режима высоких слоев атмосферы. Непосредственное и регулярное измерение основных параметров атмосферы (до 80-100 км) стало возможно в 40-50-х годы, когда, благодаря техническому прогрессу и оснащению метеорологии радиотехническими средствами, повысился потолок радиозондирования. С 1957 года начали составляться ежедневные карты барической топографии всего северного полушария для поверхностей 50, 30, 20 и 10 гПа, а в последние годы и вышележащие.

После 1945 года, особенно в период МГГ и МГС и в 60-70-е годы значительно расширилось ракетное зондирование и исследование строения стратосферы и ее главных циркуляционных особенностей, предпринятое учеными многих стран.

Радиозондовые подъемы и ракетные наблюдения позволили приступить к детальному изучению вертикальной структуры атмосферы и сделать важные открытия о стратосфере [21, 70, 95, 114, 117, 196, 207, 254-256, 261, 288 и др.]:

- Установлен сезонный характер распределения температуры, плотности и давления в стратосфере, обуславливающий циркуляцию – циклоническую зимой и антициклоническую летом.

- Отмечена неоднородность зимней стратосферной циркуляции, особенно резко проявляющаяся в период так

называемых «взрывных» потеплений зимой в высоких и умеренных широтах.

- Выявлена многослойность противоположных зональных составляющих в экваториальной стратосфере: квазидвухлетняя – в нижней и средней стратосфере и шестимесячная – в верхней стратосфере.

- Показано, что каждой фазе квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере соответствует своя модель циркуляции в стратосфере внетропических широт, свои особенности процессов по полушарию.

- Установлено, что в тропосфере и стратосфере сезонные условия формирования температурного и барического поля различны.

Солнечная радиация, хотя и является основным источником атмосферного тепла и движения, однако по-разному воздействует на нижние и верхние слои атмосферы [256].

В тропосфере поле температуры формируется в результате сложных процессов взаимодействия подстилающей поверхности, в том числе и взаимодействия атмосферы и океана, циркуляции, влагооборота и турбулентности, в основе которых лежит приток солнечной радиации к поверхности Земли.

Максимум притока тепла в течение всего года приходится на экваториальную зону, а минимум – на полярные районы, поэтому в тропосфере и даже в нижней стратосфере (\approx до 18-19 км) круглый год устойчиво сохраняется меридиональный градиент температуры, направленный от экватора к полюсу, изменяющийся в различные сезоны только по величине.

В средней и верхней стратосфере и мезосфере формирование поля температуры в основном зависит от компонентов газового состава воздуха, главные из которых озон (O_3), углекислый газ (CO_2) и водяной пар. Преобладающая роль принадлежит озону, имеющему способность поглощать ультрафиолетовую радиацию Солнца и длинно-

волновое излучение Земли [256]. Озон определяет почти всю положительную часть радиационного баланса в слое от 20 до 60 км. Таким образом, главный источник нагревания стратосферы – поглощение прямой солнечной радиации непосредственно в слоях стратосферы, следовательно, тепловой режим ее зависит, прежде всего, от высоты Солнца и продолжительности дня, определяющих количество приходящей радиации, и соответственно имеет широтное распределение. Долготные различия, возникающие вследствие неоднородного распределения поглощающих компонентов газового состава атмосферы незначительны по сравнению с широтными различиями, зависящими от высоты Солнца.

Зимой в средней и верхней стратосфере положительный радиационный баланс наблюдается только в низких широтах. Далее к северу он убывает, достигая на широтах 60-70° отрицательных наибольших значений. Согласно [226] коэффициент корреляции между величинами радиационного баланса и осредненной по широте температурой достаточно большой ($r \approx 0,8-1,0$ в средней стратосфере на широте 30-90°), то есть крупные сезонные изменения радиационного баланса приводят к перестройкам температурного, следовательно, и барического поля в стратосфере.

Для циркуляционного режима зимней стратосферы характерно развитие полярного циклонического вихря (циркумполярного циклона) с ложбинами, ориентированными на Северную Америку и Восточную Сибирь. Он редко ($\approx 10\%$) располагается над полюсом, чаще смещен к югу от полюса на 20-25° в сторону Гренландии и Евразии. Радиационные условия над обширной территорией Сибири в результате влияния подстилающей поверхности обуславливают более сильное охлаждение в тропосфере, чем над Северной Америкой, что способствует смещению стратосферного циклонического вихря зимой в сторону Азии. Этот процесс проявляется ярче, когда в указанных районах

возникают и развиваются глубокие тропосферные циклоны, особенно центральные малоподвижные. Аналогичные процессы наблюдаются и над Северной Америкой, но из-за малых размеров материка масштаб влияния значительно меньше.

Глубокие ложбины, ориентированные на юг Сибири и Северной Америки, нарушают западный перенос, опоясывающий северное полушарие на 55-75° с.ш. Адвекция по восточной периферии этих ложбин более теплого воздуха из умеренных широт в высокие обуславливает повышение температуры в стратосфере на крайнем востоке Азии, в тихоокеанском секторе Арктики, включая Аляску, а иногда и Канаду, и в атлантическом секторе Арктики. В сочетании с нисходящими движениями происходит и адиабатическое повышение температуры. При большой продолжительности подобных процессов область стратосферного тепла, располагающаяся над Беринговым проливом, смещается к северу, вызывая аномальные потепления в высоких широтах в условиях полярной ночи. В связи с этим в слое 20-30 км обычная для зимы температура -65, -75°С повышается до -20, -30°С, а порой даже до 0°С. При этом происходит раздвоение центра циркумполярного циклона, подъем северо-тихоокеанского (алеутского) максимума, а иногда и атлантического в умеренные и высокие широты.

Таким образом, в системе циркумполярного циклона существуют (на поверхности 10 гПа 18% времени холодного полугодия, на поверхности 30 гПа – 24%) два центра: один – над северными районами Сибири (сибирский центр), второй – над Канадским архипелагом (канадский центр). Заполнение зимнего стратосферного циклона происходит по-разному:

- ранняя весенняя перестройка начинается в феврале и быстро заканчивается – во второй половине апреля;
- поздняя весенняя перестройка, начинаясь в апреле, затягивается на более длительный срок.

В разные сроки осуществляется соответственно и изменение направления ветра с западного на восточный.

По данным ракетного зондирования переход западных ветров на восточные начинается с более высоких слоев (90-100 км) во второй половине февраля. На высоте 30-35 км смена потоков наблюдается в среднем в середине мая. Распространение восточных ветров с высоты 100 км до 30 км происходит со средней скоростью 1 км/сут.

Окончательный переход к летнему режиму заканчивается в первой половине июня, когда в стратосфере над полюсом формируется устойчивый антициклон и над всем полушарием устанавливается восточная циркуляция.

Напомним, что уже с марта в полночь полярная стратосфера севернее 60° с.ш. непрерывно освещается Солнцем в течение нескольких месяцев. Над полюсом в слое 16 км стратосфера полностью освещена Солнцем в течение 7 месяцев (I декада марта – I декада октября), на 80° с.ш. – 6 месяцев (начало апреля – I декада сентября), на 70° с.ш. – 3,5 месяцев (I декада мая – I декада августа).

В центре летней стратосферной области тепла в среднем максимальная температура на высоте $h = 50-60$ км в июле достигает 12°C, на высоте $h = 30$ км – соответственно -30°C, далее к экватору она непрерывно понижается, обуславливая отрицательный горизонтальный градиент температуры над всем северным полушарием. Поэтому характерный для поверхности 100 гПа западный перенос значительно ослабевает и с высоты 19 км (ветропауза или велопауза) устанавливаются восточные ветры.

Летний стратосферный антициклон на поверхности 10 гПа достигает максимума в июле. Со второй половины июля антициклон начинает ослабевать. Однако до середины августа этот процесс протекает медленно, и на всем полушарии восточная циркуляция остается хорошо выраженной. Приполюсная область тепла существует в стратосфере с апреля по сентябрь. В октябре в нижних слоях

стратосферы еще сохраняется летний характер горизонтального распределения температуры над экватором и полюсом. Однако с высоты 18-20 км в полярных широтах зональная средняя температура понижается с сентября по октябрь на 14°C, с октября по ноябрь – на 8°C.

Осенью, по мере уменьшения освещенности высоких широт и охлаждения воздуха, приполюсная область тепла, значительно ослабевая, смещается в умеренные широты. Начинается разрушение стратосферного антициклона и его раздвоение, появляются одна-две ложбины, направленные в сторону высоких широт. В системе ложбин (через 4-5 суток) появляется частный циклон, который, постепенно углубляясь, смещается к полюсу.

К концу октября полярная ночь распространяется от полюса до 80° с.ш. С высоты 18-20 км в полярных областях начинает формироваться область холода и над большей частью северного полушария устанавливается зона положительных градиентов температуры $\gamma = 0,3-0,4^\circ\text{C}/1^\circ\text{ф}$. Радиационное охлаждение воздуха вследствие излучения тепла озоном, водяным паром и углекислым газом, составляющее на высотах 20-30 км в сутки 1-2°C, приводит к дальнейшему понижению температуры и геопотенциала. Циклонический вихрь постепенно углубляется и распространяет свое влияние на внетропические широты северного полушария.

5.2. Квазидвухлетняя цикличность в экваториальной стратосфере и ее отражение в процессах в стратосфере и тропосфере внетропических широт

Квазидвухлетняя цикличность относится к низкочастотным колебаниям атмосферы. Это явление было открыто в начале 60-х годов XX века с появлением регулярного температурно-ветрового зондирования в экваториальной стратосфере.

В широтной зоне от 10° с.ш. до 10° ю.ш. в интервале широт 18-40 км существует хорошо выраженное циклическое чередование восточных и западных потоков, средняя скорость которых достигает 20-30 м/с. Время сохранения потоков одного направления колеблется около года, так что продолжительность одного полного цикла на высоте $h = 24$ км, где процесс чередования восточных (*E*) и западных (*W*) потоков выражен наиболее четко, составляет чаще всего 26 месяцев (диапазон колебаний от 21 до 36 месяцев) [21, 89, 96, 114, 117, 254, 255, 261, 288 и др.]. Это послужило основанием для определения обнаруженного явления как 26-месячного или квазидвухлетнего цикла (*QBO*) в экваториальной стратосфере [288].

Отличие среднего периода от строго двухлетнего не случайно и указывает на его относительную независимость от годового и сезонного хода циркуляции, доминирующего во внеэкваториальной стратосфере обоих полушарий [21, 70, 114, 117, 196, 207, 254-256 и др.].

Другой не менее важной особенностью чередования восточных и западных потоков является их постепенное опускание из средней стратосферы (рис. 5.1).

Таким образом, смена одного направления на другое происходит не одновременно во всем слое действия всего цикла, а путем монотонного вытеснения преобладающего потока вниз, почти до тропопаузы, где она деградирует и исчезает, уступая место воздушным течениям противоположного направления. Все это свидетельствует о генетической изолированности цикла от процессов, имеющих место в тропосфере.

В 70-е годы были проведены первые масштабные экспедиционные исследования квазидвухлетней циклическости в экваториальной стратосфере в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах на научно-исследовательских судах (НИС и НИСП) бывшего Советского Союза. Организаторами и непосредственными участниками этих много-

численных экспедиций были В.А. Бугаев, В.Р. Дубенцов, М.А. Петросяниц, Б.С. Чучкалов, А.И. Угрюмов (Гидрометцентр), Ю.П. Копельков (ЦАО) и многие другие. В них принимали активное участие и сотрудники САНИГМИ – С. И. Инагамова, С. Г. Чанышева, Л.Г. Грузинова.

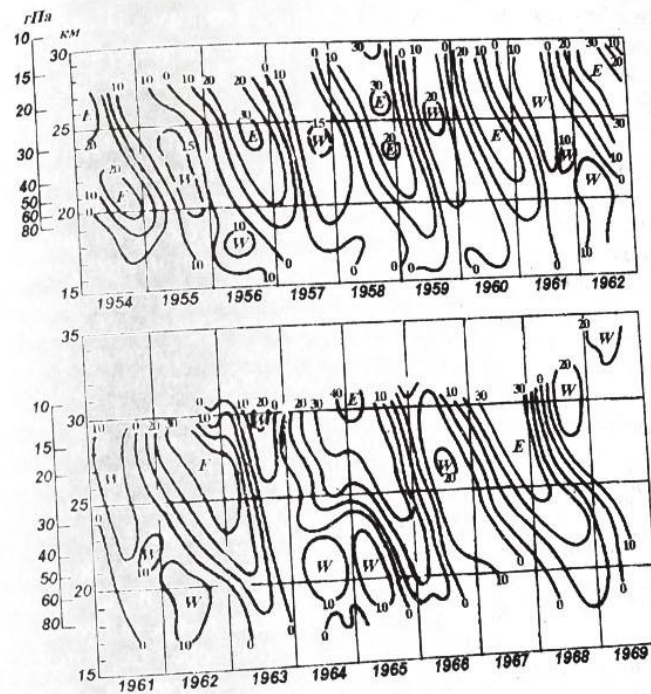


Рис. 5.1. Временной разрез зональных составляющих ветра в экваториальной стратосфере (10° с.ш. – 10° ю.ш.) с 1954 по 1965 год. *E* – восточная составляющая, *W* – западная [207].

Ракетные исследования на экваторе позволили также обнаружить еще один цикл циркуляции в верхней стратосфере – шестимесячный. В слое 35–65 км в переходные сезоны господствуют западные ветры, а зимой и летом – восточные, причем наблюдается четкое соблюдение полугодового режима, вследствие чего это явление можно отнести к периодическим явлениям, а не циклическим. Шестилетний цикл в экваториальной стратосфере имеет чисто астрономическое объяснение, которое дали А.Л. Кац, Квайзер и Миллер [114, 256].

Развитие западных ветров происходит в периоды весеннего и осеннего равнодействия, когда ультрафиолетовая радиация Солнца наиболее глубоко проникает в слои верхней стратосферы и разогревает ее, усиленно поглощаясь озоном. Таким образом, у экватора возникают температурный и барический градиенты, направленные к полюсам.

По данным ракетного зондирования на о. Вознесения некоторые из весенне-осенних вспышек западного переноса по 6-месячному циклу, опускаясь в среднюю стратосферу, дают начало западным ветрам квазидвухлетнего цикла, которые далее уже существуют самостоятельно. Во многих работах для скорости опускания западных ветров приводится цифра 1 км за месяц, но цифра эта колеблется в довольно широких пределах (0,6–1,5 км/мес и более).

По гипотезе Н.С. Сидоренкова [234] «движение полюсов у Земли, нутационные волны, Эль Ниньо и Ла Ниња в океане, Южное колебание в атмосфере и квазидвухлетняя цикличность в экваториальной стратосфере являются отдельными частями единого феномена – нутации системы Земля – океан – атмосфера. Эти явления и определяют значительную долю межгодовой изменчивости атмосферы и океана».

В 60–70-е годы XX века уже предпринимались первые попытки, несмотря на скептицизм отдельных ученых, связать данное явление с двухлетней (квазидвухлетней) цик-

личностью в ходе многих метеорологических элементов, с особенностями процессов в тропосфере и стратосфере внетропических широт. В частности, получены долгосрочные прогностические связи, объединяющие фазу квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере с интенсивностью весенней перестройки циркуляции в стратосфере внетропических широт [21, 95, 114, 207, 254 и др.]

В последние десятилетия усиленные исследования процессов в стратосфере в целях долгосрочного прогноза погоды позволили получить ряд интересных результатов, некоторые из них уже нашли применение в оперативной практике. В настоящее время особенности процессов в стратосфере вновь привлекли внимание с позиций выявления причин возможных изменений климата, оценки естественной изменчивости общей циркуляции атмосферы.

Представляется целесообразным рассмотреть основные особенности процессов в стратосфере северного полушария (с учетом квазидвухлетней цикличности) при значительных аномалиях температуры воздуха у поверхности Земли и осадков по территории Средней Азии.

Для определения фазы квазидвухлетнего цикла использовались временные разрезы средних месячных значений зональных составляющих ветра в экваториальной стратосфере, а также данные радиозондирования и ракетных наблюдений на научно-исследовательских судах в зоне 10° с.ш. – 10° ю.ш. за различные периоды. В качестве примера на рис. 5.1 приведен временной разрез зональных составляющих ветра в экваториальной стратосфере за период 1954–1969 годов из работы [207].

Для количественной оценки преобладающей фазы квазидвухлетнего цикла существуют различные подходы, иногда приводящие к значительным противоречиям. Нами в исследованиях [92, 95 и др.] использован принцип, предложенный А.И. Угрюмовым [254]: в экваториальной стратосфере (высота 20–30 км) при толщине слоя восточной со-

ставляющей ветра $\Delta h_E > 5$ км преобладающей считается восточная фаза, при $\Delta h_E < 5$ км – западная. Учитывая, что дисперсия в определении нижней границы перехода восточной (западной) фазы цикла (из-за волновых движений и ошибок ветровых измерений [89]) порядка 1 км, была введена некоторая корректировка. При $\Delta h_E > 6$ км преобладающей принята восточная фаза *E*, при $\Delta h_E < 4$ км – преобладающей западная фаза *W*, при $\Delta h_E = 5 \pm 1$ и развивающейся западной фазе – *WE*, при $\Delta h_E = 5 \pm 1$ и развивающейся восточной фазе – *EW*. Иными словами, если на поверхности 10 и 30 гПа наблюдаются восточные ветры, то преобладает восточная фаза *E*, если на поверхности 10 и 30 гПа – западные ветры, то преобладает западная фаза *W*. При западных ветрах на поверхности 10 гПа и восточных ветрах на поверхности 30 гПа – *WE*, при восточных ветрах на поверхности 10 гПа и западных ветрах на поверхности 30 гПа – *EW*. Таким образом, способ определения длительности цикла и характера его развития в работах [92, 95, 254] почти аналогичны.

При господстве циркумполярного циклона с мало-возмущенным зональным переносом в стратосфере вентрических широт преобладает положительная аномалия температуры у поверхности Земли или около нормы над большей территорией Евразии, в том числе и в Средней Азии.

Как отмечалось выше, характерной особенностью зимних процессов является раздвоение центра циркумполярного циклона (рис. 5.2) в результате крупномасштабных меридиональных преобразований. Один из центров циклона располагается над севером Сибири (п-ов Таймыр, Среднесибирское плоскогорье) – так называемый сибирский центр, второй – над Канадским архипелагом, севером Гренландии – канадский центр [88]. Эпизодически один из центров становится подвижным и за короткий промежуток времени может переместиться из западного полушария в

восточное полушарие или наоборот. Подобное смещение центров циркумполярного циклона и его раздвоение взаимосвязано с потеплениями и смещениями стратосферных антициклонов – тихоокеанского (алеутского) и атлантического в высокие широты [88, 92, 95 и др].

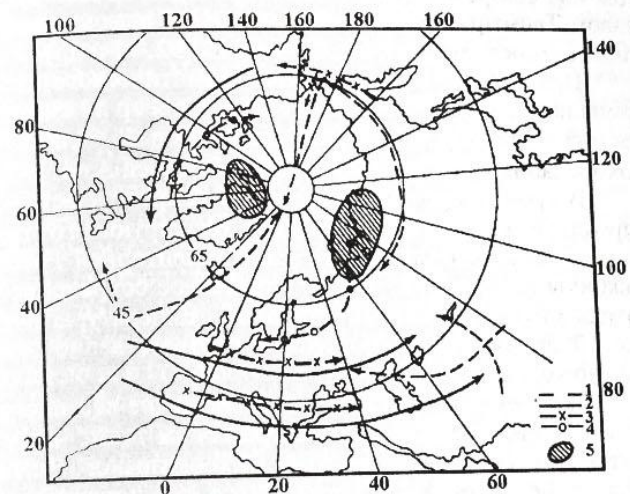


Рис. 5.2. Схема траекторий циркумполярного циклона и антициклонов на поверхности 30 гПа в январе-феврале при восточной (1, 2) и западной (3, 4) фазах квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере.
1, 2, 3 – траектории центров антициклонов, 4 – циклона, 5 – область стационарирования его центра.

В работе [88] было установлено, что выход тихоокеанского антициклона, сопровождающееся потеплением в Северной Америке и прилегающим сектором Арктики, способствует формированию очень сильных похолоданий

в Средней Азии (аномалия средней суточной температуры в Ташкенте достигает -8° , -12°C и более). При этом процессом доминирующим является сибирский центр циркумполярного циклона, ложбина которого направлена на Среднюю Азию. Канадский центр циклона оказывается второстепенным либо заполняется. Очаг холода располагается над севером Европейской территории России или над п.-вом Таймыр, иногда южнее него. Эти выводы подтвердились в последующих исследованиях [92, 95 и др].

При выходе стратосферного атлантического антициклона на территорию Европы, если его центр не смещается восточнее 45° в.д., возможны значительные и длительные похолодания у поверхности Земли в Средней Азии [95].

В тропосфере данный процесс сопровождается блокирующей ситуацией: развитием блокирующего гребня или антициклона над Европейской территорией России и ложбины на Среднюю Азию. Устойчивое сохранение значительной отрицательной аномалии температуры в течение 10 дней и более формирует соответственно экстремально холодный месяц.

Экстремально холодные месяцы зимне-весеннего сезона часто над среднеазиатским регионом также часто характеризуются серией выходов тихоокеанского антициклона к Берингову проливу (или его стационарностью в этом районе) и атлантического антициклона на Европу до $30-45^{\circ}$ в.д., что обуславливает в свою очередь серию ультраполярных вторжений на Среднюю Азию.

В качестве примера можно привести развитие процессов в стратосфере зимой 1972 года, известного экстремальными аномалиями, как по температуре, так и по количеству выпавших осадков по территории Средней Азии. В январе-марте 1972 года наблюдалось 5 случаев выхода атлантического антициклона на Европу с траекторией на восток до $15-38^{\circ}$ в.д. [95]. Тихоокеанский антициклон в основном стационарировал в районе Берингова залива с не-

большими колебаниями в сторону Аляски и Чукотки. На поверхности 10 гПа с 8 по 31 января отмечалось смещение его на Чукотку. Число дней с выходом атлантического антициклона на Европу (на поверхности 30 гПа) в январе-марте 1972 года составило 32 дня, тихоокеанского антициклона на Канаду, Аляску, Берингов пролив – 46 дней. Канадский центр циркумполярного циклона оставался мало-подвижным, располагаясь над северо-востоком Гренландии. Сибирский центр циклона и очаг холода стационарировали в районе о. Новая Земля и п.-ова Таймыр. В течение длительного времени также сохранялась стратосферная ложбина, сопряженная с тропосферной ложбиной, направленной на Среднюю Азию, что обусловило интенсивную адвекцию холодного воздуха на наши районы.

Характерно, что в экстремально холодные зимние месяцы не наблюдается выхода ядра стратосферного азиатского субтропического антициклона на территорию Средней Азии. Отмечается более южное положение – по сравнению со средним многолетним на $10-15^{\circ}$ азиатского антициклона над индийским сектором (западнее 100° в.д.).

Подобное расположение стратосферных антициклонов и центров циркумполярного циклона, очагов холода и тепла, в зимне-весенний период (январь-март) характерно для западной фазы квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере, но в периоды, близкие к переходу от западной фазы к восточной и наоборот – *WE* и *EW*. Можно предположить, что в периоды различного направления зональной составляющей ветра на поверхностях 10 и 30 гПа, то есть при различии фаз цикла на этих высотах в атмосфере создаются условия, способствующие небольшим миграциям стратосферных антициклонов во внетропических широтах:

- траектория атлантического антициклона прослеживается только до $10-45^{\circ}$ в.д.;

в Средней Азии (аномалия средней суточной температуры в Ташкенте достигает -8° , -12°C и более). При этом процессе доминирующим является сибирский центр циркумполярного циклона, ложбина которого направлена на Среднюю Азию. Канадский центр циклона оказывается второстепенным либо заполняется. Очаг холода располагается над севером Европейской территории России или над п.-вом Таймыр, иногда южнее него. Эти выводы подтвердились в последующих исследованиях [92, 95 и др].

При выходе стратосферного атлантического антициклона на территорию Европы, если его центр не смещается восточнее 45° в.д., возможны значительные и длительные похолодания у поверхности Земли в Средней Азии [95].

В тропосфере данный процесс сопровождается блокирующей ситуацией: развитием блокирующего гребня или антициклона над Европейской территорией России и ложбины на Среднюю Азию. Устойчивое сохранение значительной отрицательной аномалии температуры в течение 10 дней и более формирует соответственно экстремально холодный месяц.

Экстремально холодные месяцы зимне-весеннего сезона часто над среднеазиатским регионом также часто характеризуются серией выходов тихоокеанского антициклона к Берингову проливу (или его стационарностью в этом районе) и атлантического антициклона на Европу до $30-45^{\circ}$ в.д., что обуславливает в свою очередь серию ультраполярных вторжений на Среднюю Азию.

В качестве примера можно привести развитие процессов в стратосфере зимой 1972 года, известного экстремальными аномалиями, как по температуре, так и по количеству выпавших осадков по территории Средней Азии. В январе-марте 1972 года наблюдалось 5 случаев выхода атлантического антициклона на Европу с траекторией на восток до $15-38^{\circ}$ в.д. [95]. Тихоокеанский антициклон в основном стационарировал в районе Берингова залива с не-

большими колебаниями в сторону Аляски и Чукотки. На поверхности 10 гПа с 8 по 31 января отмечалось смещение его на Чукотку. Число дней с выходом атлантического антициклона на Европу (на поверхности 30 гПа) в январе-марте 1972 года составило 32 дня, тихоокеанского антициклона на Канаду, Аляску, Берингов пролив – 46 дней. Канадский центр циркумполярного циклона оставался мало подвижным, располагаясь над северо-востоком Гренландии. Сибирский центр циклона и очаг холода стационарировали в районе о. Новая Земля и п-ова Таймыр. В течение длительного времени также сохранялась стратосферная ложбина, сопряженная с тропосферной ложбиной, направленной на Среднюю Азию, что обусловило интенсивную адвекцию холодного воздуха на наши районы.

Характерно, что в экстремально холодные зимние месяцы не наблюдается выхода ядра стратосферного азиатского субтропического антициклона на территорию Средней Азии. Отмечается более южное положение – по сравнению со средним многолетним на $10-15^{\circ}$ азиатского антициклона над индийским сектором (западнее 100° в.д.).

Подобное расположение стратосферных антициклонов и центров циркумполярного циклона, очагов холода и тепла, в зимне-весенний период (январь-март) характерно для западной фазы квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере, но в периоды, близкие к переходу от западной фазы к восточной и наоборот – *WE* и *EW*. Можно предположить, что в периоды различного направления зональной составляющей ветра на поверхностях 10 и 30 гПа, то есть при различии фаз цикла на этих высотах в атмосфере создаются условия, способствующие небольшим миграциям стратосферных антициклонов во внетропических широтах:

- траектория атлантического антициклона прослеживается только до $10-45^{\circ}$ в.д.;

- тихоокеанский антициклон стационарен над Беринговым проливом с небольшими колебаниями на Аляску или Чукотку или перемещается к северу, но не далее 70° с.ш.;

- интенсивные «взрывные» потепления в нижней и средней стратосфере в арктических широтах отсутствуют, характерны локальные потепления в умеренных широтах, захватывающие отдельные секторы Арктики;

- для тропосферы над Европой характерна повышенная повторяемость блокирующих ситуаций, соответственно в Средней Азии наблюдается повышенная повторяемость длительных похолоданий и значительные аномалии температуры воздуха у поверхности Земли ниже нормы.

При максимальном (или близком к нему) развитии западной фазы цикла в экваториальной стратосфере траектории стратосферных антициклонов заметно удлиняются.

Смещение стратосферного атлантического антициклона до $50-70^\circ$ в.д. обуславливает над Средней Азией адвекцию тепла на всех высотах, положительные аномалии температуры воздуха у поверхности Земли. В качестве примера можно привести процессы в январе-марте 1967 года [84]. Стратосферный атлантический антициклон на поверхности 30 гПа достиг 70° в.д. (с довольно южной траекторией), а очаг тепла сместился в течение 23-30 января до Восточной Сибири.

При максимальном (или близком к нему) развитии западной фазы цикла в экваториальной стратосфере отмечаются интенсивные «взрывные» зимние потепления в нижней и средней стратосфере в арктических широтах. При этих процессах траектории стратосферных антициклонов и соответствующих им очагов тепла проходят почти в меридиональном направлении к северу — до Центральной Арктики (рис. 5.2).

Зимние стратосферные «взрывные» потепления (открытые впервые в 1952 году) достаточно подробно описаны в ряде исследований. Они характеризуются значительным повышением температуры в арктической стратосфере — величина всплеска температуры над полюсом существенно выше, чем при потеплениях в период фазы *WE* и *EW*. Однако наблюдаются эти потепления относительно редко, формируясь почти одновременно в районах Дальнего Востока и Атлантического океана.

При интенсивных «взрывных» потеплениях зимой в арктической стратосфере временно усиливается антициклонический (летний) тип циркуляции появляется очаг тепла (до -37°C , -33° и выше). Циркумполярный циклон смещается на северо-запад в сторону Европы по часовой стрелке.

Одновременно при интенсивных «взрывных» потеплениях зимой в арктической стратосфере происходит усиление стратосферного азиатского антициклона, распространение его гребня в северо-западном направлении на районы Средней Азии, где возможно появление самостоятельного ядра и очага тепла. Подобные потепления обуславливают длительные периоды положительной аномалии температуры воздуха у поверхности Земли в Средней Азии.

Таким образом, в период западной фазы цикла в экваториальной стратосфере в Средней Азии у поверхности Земли возможны аномалии температуры любого знака, хотя следует подчеркнуть, что зимой экстремально холодные месяцы наиболее вероятны при диапазоне $\Delta h_E = 3,5 \div 5$ км.

На рис. 5.2. приведена схема траекторий антициклонов на поверхности 30 гПа при восточной фазе квазидвухлетнего цикла, которая хорошо согласуется с траекториями антициклонов на поверхности 10 гПа [207, 254], движение которых происходит с востока на запад. При восточной фазе цикла осуществляются выходы тихоокеанского анти-

циклона на Чукотку и Восточную Сибирь. Интенсивная адвекция теплого воздуха в тропосфере и стратосфере, устойчиво сохраняющаяся в течение 10 дней и более, создает условия длительных потеплений у поверхности Земли в Средней Азии и соответственно обуславливает положительную среднюю месячную аномалию.

При восточной фазе цикла характерно также усиление субтропического стратосферного антициклона над Азией, в том числе над югом Средней Азии и Индией. Центры азиатского антициклона располагаются в зоне $25-40^{\circ}$ с.ш., то есть на $10-15^{\circ}$ севернее по сравнению с климатическим положением. В отдельных случаях ядра высокого давления смещаются на районы Средней Азии и юга Европейской территории России. Примером являются процессы января 1965 и декабря 1967 года [95]. Перемещение тихоокеанского стратосферного антициклона на запад 5-17 января 1965 года сопровождалось выходом антициклонального ядра на Среднюю Азию, 11-28 декабря 1967 года – усилением антициклогенеза над Индией.

Смещение основного центра циркумполярного циклона при крупных меридиональных преобразованиях в стратосфере внетропических широт при восточной фазе цикла происходит также на запад (по часовой стрелке). Сибирский центр циклона заполняется или смещается в европейский сектор Арктики (западнее 30° в.д.), а доминирующим становится канадский центр. Средняя Азия в большинстве случаев оказывается вне сферы влияния циркумполярного циклона и очага холода, ось высотной ложбины располагается западнее ее. Однако возможны кратковременные волны холода менее 6-8 дней.

Таким образом, в период восточной фазы квазидвухлетнего цикла в циркуляции экваториальной стратосферы зимой развитие процессов в стратосфере внетропических широт исключает возможность формирования над Средней Азией экстремально холодных месяцев, в преобладающем

числе случаев преобладает положительный температуры у поверхности Земли, длительные потепления. В значительной степени это обусловлено:

- усилением антициклогенеза в стратосфере субтропических широт, особенно над индийским сектором;
- выходами тихоокеанского стратосферного антициклона на Восточную Сибирь;
- или господством нормальной циклонической циркуляции с преобладанием зональности, особенно над атлантико-евразийским сектором.

В январе-феврале при максимальном развитии восточной фазы отклонение средней месячной температуры воздуха у поверхности Земли в Средней Азии в 83% случаев было выше нормы, в 56% наблюдалась значительная аномалия, 13% – средняя.

Для процессов в ноябре столь определенных тенденций не было обнаружено.

Сроки весенней перестройки зимнего стратосферного циркумполярного циклона на летний антициклон, как отмечалось выше, испытывают резкие межгодовые колебания, которые неплохо согласуются с фазой квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере: ранняя перестройка (вторая половина марта – начало апреля) соответствует западной, поздняя (вторая половина апреля – начало мая) – восточной.

Преобладание меридиональных процессов стратосфере в период, предшествующий раннему разрушению циклона, обуславливает в марте при западной фазе цикла неопределенность в знаке аномалии средней месячной температуры у поверхности Земли по Средней Азии

При поздней весенней перестройке в стратосфере внетропических широт сохраняется зимний характер циркуляции, преобладает зональный перенос, которому соответствует зональность процессов в тропосфере, формирующая положительные аномалии температуры у поверх-

ности Земли в Средней Азии. В работе [95] графически представлена эта зависимость от времени весенней перестройки.

Отмеченные закономерности позволяют с большой заблаговременностью прогнозировать общий характер зимне-весенних процессов по предварительному прогнозу фазы квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере. Однако необходимо иметь в виду, что скорость опускания экваториальных стратосферных ветров (на высоте 20-30 км) колеблется в среднем около 0,6-1,5 км/мес, возможны и отклонения от приведенных средних значений, задержки в опускании нижней границы. Это может привести к определенным ошибкам при прогнозировании фазы цикла. Прогноз более надежен при господстве восточной фазы цикла, при которой преобладает положительный фон аномалии температуры в Средней Азии, и менее успешный – при западной фазе.

Кроме того, необходимо учитывать, что погода в среднеазиатском регионе существенным образом зависит не только от времени весенней перестройки, но и от характера движения стратосферных антициклонов к полюсу, района заполнения, оттесненного с полюса циклонического вихря.

Источником антициклогенеза в арктической стратосфере чаще всего является тихоокеанский (алеутский) антициклон (рис. 5.3), хотя не исключены отдельные случаи формирования летней циркуляции в результате усиления и смещения атлантического антициклона.

Ранний выход тихоокеанского антициклона начинается в зоне 55-60° с.ш. и совершается по сложной траектории со скоростью 1-2° широты в сутки широтно на Канадский архипелаг, затем меридионально к полюсу. Траектории антициклонов на поверхности 30 гПа, приведенные на рис. 5.3 [87], хорошо согласуются с траекториями на поверхности 10 гПа [207, 254].

Различие в процессах ранней и поздней перестройки проявляется также в характере движения (отступления) зимнего циркумполярного циклона от полюса.

При ранней перестройке (западная фаза цикла) он отступает меридионально на Западную Сибирь, а затем широтно на восток – движение основного центра циклона против часовой стрелки (рис. 5.3).

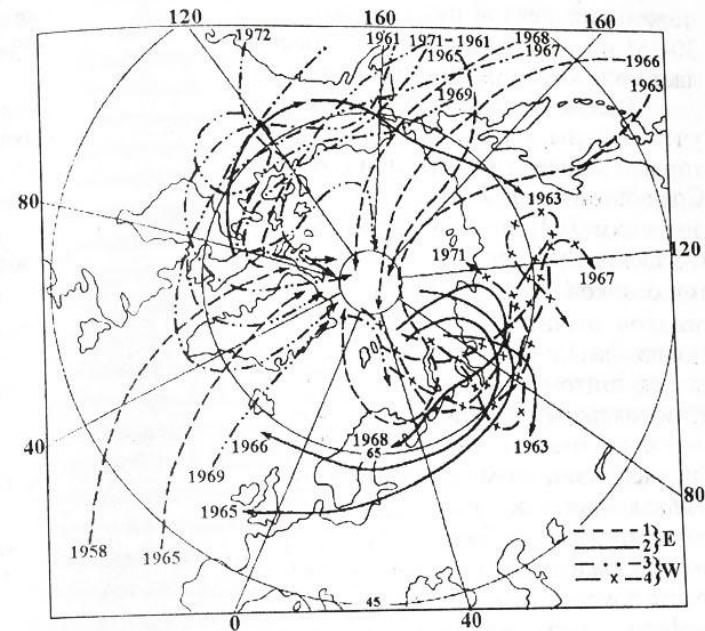


Рис. 5.3. Схема траекторий циркумполярного циклона (2, 4), тихоокеанского (алеутского) и атлантического антициклонов на поверхности 30 гПа (1, 3) в период весенней перестройки в полярной стратосфере при восточной (1, 2) и западной (3, 4) фазе квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере.

При поздней перестройке (восточная фаза цикла) движение зимнего циклона от полюса происходит меридионально к п-ову Таймыр, затем по спиралевидной траектории на запад (по часовой стрелке).

Прогноз района смещения циклона при его заполнении весьма важен для прогноза аномалии температуры у поверхности Земли в Средней Азии в марте-апреле. При положении центра циклона восточнее 90° в.д. и западнее $30-45^\circ$ в.д. в Средней Азии у поверхности Земли преобладает положительная аномалия температуры.

Рассмотрим особенности циркуляции в стратосфере с учетом фазы квазидвухлетнего цикла циркуляции в экваториальной стратосфере при крупных аномалиях осадков в Средней Азии в зимне-весенние сезоны. Согласно исследованиям [92] при западной фазе цикла в большинстве случаев в Средней Азии наблюдается значительный избыток осадков (тип 1а – 50% случаев), вероятность дефицита осадков значительно меньше (типы 3а и 3б – 18%). Восточная фаза в преобладающем числе (50%) характеризуется дефицитом осадков в ноябре-марте, вероятность появления влажных месяцев в Средней Азии мала (13%).

Как известно, в экстремально влажные месяцы в Средней Азии возможна как положительная, так и отрицательная аномалия температуры, в экстремально сухие и сухие месяцы над большей частью Средней Азии преобладает положительная аномалия температуры. Такие зависимости обусловлены особенностями макропроцессов в тропосфере и стратосфере внетропических широт и соответственно находят выражение в повторяемости и интенсивности некоторых типов синоптических процессов Средней Азии при определенных фазах квазидвухлетнего цикла.

Экстремально сухие и сухие месяцы в Средней Азии характеризуются в преобладающем числе случаев процессами, нарушающими зимнюю циркуляцию:

- выходом тихоокеанского антициклона на Чукотку и Восточную Сибирь;
- выходами стратосферных антициклонов (атлантического и тихоокеанского) в полярные широты, которые сопровождаются «взрывными» потеплениями в стратосфере Центральной Арктики;
- выходом субтропического азиатского (индийского) антициклона на Среднюю Азию или Восточную Европу севернее 40° с.ш.;
- выходом атлантического антициклона на Европейскую территорию России или Западную Сибирь (восточнее 40° в.д.).

Наиболее благоприятные условия создаются при чередовании этих процессов или их совпадении. Данные процессы обуславливают длительные периоды без осадков или незначительными осадками в Средней Азии, с аномалиями температуры воздуха у поверхности Земли выше нормы.

Как отмечалось выше, при смещении тихоокеанского антициклона на Чукотку и Восточную Сибирь Средняя Азия оказывается вне сферы влияния стратосферного циркумполярного циклона, ложбина которого сдвигается восточнее 50° в.д. Средняя Азия оказывается вне сферы его влияния и при смещении атлантического антициклона восточнее $45-50^\circ$ в.д. [88, 92, 95]. Нарушения зимней циркуляции, связанные с выходами стратосферных антициклонов в высокие широты, «взрывные» потепления в Арктике начинаются в стратосфере, а затем вследствие сопряженности процессов передаются в тропосферу. В частности, выход стратосферного атлантического антициклона сопровождается блокирующей ситуацией в тропосфере. При смещении его центра восточнее $45-50^\circ$ в.д. западная ложбина «омеги» оказывается вне пределов Средней Азии, смещаясь восточнее 80° в.д. В тропосфере при этих двух

процессах соответственно наблюдается гребневое положение над Сибирью и Восточной Европой.

Выход стратосферного азиатского (индийского) антициклона на Среднюю Азию сопровождается развитием в тропосфере малоподвижного высотного гребня над центральными и восточными районами Средней Азии. ПВФЗ, особенно ее северная ветвь, располагается над умеренными широтами, то есть взаимодействие северной и южной ветвей ПВФЗ происходит севернее 45° с.ш.

В результате под влиянием подобного развития стратосферных процессов в тропосфере создаются определенные синоптические ситуации, неблагоприятные для образования значительных осадков над среднеазиатским регионом.

На рис. 5.2 были приведены траектории стратосферных антициклонов в экстремально теплые месяцы. Эти ситуации характерны также как процессы, формирующие одновременно недостаток осадков в Средней Азии, способствующие размыванию в тропосфере фронтов, ослаблению циклонической деятельности.

Таким образом, наиболее благоприятные условия для формирования длительных периодов без осадков или с незначительными осадками по территории Средней Азии создаются при восточной фазе квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере.

Следует, однако, подчеркнуть одну особенность в характере развития процессов в стратосфере при выходе азиатского субтропического антициклона, когда в ряде случаев возможно выпадение осадков. При усилении антициклогеназа над Индией и Восточной Азией гребень стратосферного антициклона в начале распространяется только на крайние южные и юго-восточные районы Средней Азии. В тропосфере в этот период происходит смещение южной ветви ПВФЗ к северу на районы Средней Азии, в результате взаимодействия ее с северной ветвью отмечается усиление циклонической деятельности и соответственно

выпадение значительных осадков. Период этот довольно кратковременный. При дальнейшем распространении стратосферного гребня на Среднюю Азию сопряженный с ним тропосферный высотный гребень захватывает Центральную и Восточную Европу, тем самым, обуславливая смещение ПВФЗ в умеренные широты и способствуя ослаблению и прекращению осадков над среднеазиатским регионом.

Наиболее благоприятные условия для формирования крупных положительных аномалий осадков создаются при стационарности циркумполярного стратосферного циклона над п-вом Таймыр – о. Новая Земля, при этом ложбина должна быть направлена на территорию Средней Азии. Необходимым условием является также расположение центра антициклона или оси стратосферного гребня в пределах $15-45^{\circ}$ с.ш. Этой ситуации в тропосфере соответствует в тропосфере блокирующий антициклон. Западная ложбина «омеги» оказывается направленной на север Средней Азии. Северная ветвь ПВФЗ проходит через север Европы, опускаясь на юго-восточные районы Европейской территории России, юг Западной Сибири или Казахстан. Южная ветвь ее проходит через Ближний Восток и Среднюю Азию. Взаимодействие северной и южной ветви ПВФЗ вызывает интенсификацию циклонической деятельности над Средней Азией и соответственно наблюдается выпадение значительных осадков [93].

При отсутствии в тропосфере блокирующего антициклона и выхода стратосферного атлантического антициклона, если над Средней Азией наблюдаются сопряженные стратосферная и тропосферная ложбина, воздушные массы, поступающие в Среднюю Азию в системе холодных фронтов, связаны с ПВФЗ, проходящей с Атлантического океана на Европу, Казахстан или Среднюю Азию.

Обнаружена интересная особенность: при восточной фазе цикла часто (45% случаев) отсутствовали выходы

мургабских циклонов, что характерно для сухих месяцев в Средней Азии, а в 31% наблюдался только один выход циклона [92]. При западной фазе цикла частота выходов мургабского циклона увеличивается. При максимальном развитии западной фазы цикла при выходах южных циклонов в преобладающем числе случаев выпадали значительные осадки. Некоторые различия в зависимости от фазы цикла обнаружены и в повторяемости волновой деятельности, особенно ее продолжительности.

Однако не удалось обнаружить каких-либо заметных различий от характера развития фазы цикла в повторяемости холодных вторжений, малоподвижного циклона. Аналогичный вывод об отсутствии резких различий относится и к повторяемости антициклональных ситуаций (9+9а+9б). Можно отметить только тенденцию к понижению повторяемости этих ситуаций при максимальном развитии западной фазы – средняя повторяемость при фазе *W* составила 4,8 случая, тогда как среднее многолетнее значение 6,2 [92]. Конечно, надо принять во внимание, что эти выводы носили предварительный характер из-за небольшого числа случаев.

Как отмечалось выше, в работе [95] были построены графики, позволяющие прогнозировать знак и аномалию температуры воздуха у поверхности Земли в Средней Азии в марте в зависимости от срока весенней перестройки, которые в свою очередь определялись по особенностям процессов в зимней стратосфере и фазой квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере. Эти зависимости довольно успешно использовались в 80-е годы при составлении прогноза (в качестве вспомогательного метода) в оперативной деятельности Гидрометцентра РУз.

Однако аналогичные зависимости типа аномалии осадков в Средней Азии в марте и апреле от сроков весенней перестройки оказались весьма слабыми [92]. Определенную роль здесь сыграла, на наш взгляд, более сложная

природа формирования значительных осадков в среднеазиатском регионе [93].

Более четкие зависимости засух (апрель-май) от срока весенней перестройки циркуляции в стратосфере выявлены для Северного Кыргызстана (В.Я. Огурцов, Г.Х. Ярмахамедов, 1979), что обусловлено, по-видимому, большим вкладом температурного фактора.

Достаточно успешным оказался и метод прогноза засух и избыточного увлажнения в Казахстане, основанный на зависимости от сроков весенней перестройки и продолжительности существования летнего стратосферного антициклона (А.А. Скаков, 1985).

Существующие синоптические и статистические методы долгосрочных прогнозов погоды в большинстве основаны на использовании истории развития макропроцессов за предшествующие периоды (месяц, сезон). Выявление закономерности преобразования и сопряженности полей позволяет предупредить будущий их характер, используя при прогнозе наметившуюся тенденцию в развитии процессов.

В зависимости от фазы квазидвухлетнего цикла в экваториальной стратосфере изменяется термический и барический режим в стратосфере и тропосфере внетропических широт, то есть каждой фазе цикла соответствует своя модель общей циркуляции, свои особенности макропроцессов на полушарии (в зависимости от сезона). Поэтому необходимо весьма корректно подходить к вопросу репрезентативности исходных для прогноза месяцев.

В конце 70-х годов в работе [95] нами была высказана идея, что достаточно тесные связи могут наблюдаться, когда исходные для прогноза месяцы находятся в одной фазе квазидвухлетнего цикла с прогнозируемым месяцем. Если в исходном и прогнозируемом месяце фазы цикла различаются, то, по всей вероятности, аналогичность в развитии процессов будет мала.