

Изменчивость субтропического струйного течения в тропосфере Северного полушария во второй половине XX в.

Е.А. Дюкарев, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, С.В. Логинов*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 24.04.2008 г.

На базе выходных данных проекта реанализа NCEP/NCAR за 1948–2005 гг. исследована пространственно-временная изменчивость скорости субтропического струйного течения (ССТ), проявляющегося как ведущий поток западно-восточной циркуляции в тропосфере Северного полушария. Показано, что скорость ССТ в холодный период года увеличивается на 1 м/с за 10 лет. Значимых тенденций в изменении широты и высоты положения оси ССТ не установлено. Рассмотрены корреляции временного ряда скорости течения с рядами индексов Северо-Атлантического и Южного колебаний, чисел Вольфа, угловой скорости вращения Земли. Влияние Северо-Атлантического колебания на скорость ССТ является значимым в октябре–декабре, Южного колебания – в январе–апреле. Для летних месяцев наблюдается антикорреляция скорости течения с угловой скоростью вращения Земли. Показано, что теснота связи повышается, если ее рассматривать не для исходных рядов, а для их вейвлет-спектров.

Ключевые слова: циркуляция атмосферы, струйное течение, изменения климата, вейвлет-анализ.

Введение

Поскольку в тропосфере градиент температуры воздуха направлен от экватора к полюсам, термический ветер направлен с запада на восток в обоих полушариях. Известно [1], что в высотных фронтальных зонах, где между теплым и холодным воздухом горизонтальный градиент температуры особенно велик, барический градиент растет с высотой и скорость ветра на высотах достигает больших значений. При этом формируются струйные течения (СТ) с максимальными скоростями ветра на оси в несколько сотен километров в час и протяженностью в несколько тысяч километров.

В зависимости от типов воздушных масс, разделяемых фронтами, в тропосфере различают арктические СТ, СТ умеренных широт и субтропические СТ [1]. Субтропическое струйное течение (ССТ) наблюдается в полосе широт 20–45° с.ш., его ось находится на высотах 12–14 км (200–150 гПа), а скорость ветра на оси может превышать 500 км/ч [2].

Изучению механизмов образования и пространственно-временного режима струйных течений посвящено большое количество работ, результаты которых обобщены, например, в монографиях [3, 4]. Для исследования режимов СТ в [3, 4] использовались данные о термобарических полях и поле ветра,

полученные с помощью аэрологического зондирования. Основной недостаток массивов аэрологических данных заключается в неравномерности распределения пунктов зондирования по поверхности земного шара. Поэтому в последние годы для исследования процессов циркуляции в атмосфере широко используются глобальные поля метеорологических величин, получаемые из проектов реанализов [5, 6]. Основным достоинством глобальных баз данных реанализов является пространственно-временная непрерывность выходных данных.

В [7] исследованы особенности годового хода и сезонной изменчивости зональной циркуляции атмосферы с применением индекса циркуляции ветра, рассчитываемого вдоль круга широты. Была использована база данных реанализа NCEP/NCAR, а также одна из версий модели общей циркуляции атмосферы. Для поверхности на уровне 200 гПа, вблизи которой обычно располагается ось ССТ, было установлено, что характеристики средней зональной циркуляции в Северном и Южном полушариях оказались практически одинаковыми. Некоторое отличие проявилось в том, что сезонные миграции ССТ в Южном полушарии оказались несколько большими, чем в Северном. Это касается и средних сезонных максимумов зональной циркуляции. В Северном полушарии субтропическая струя имеет хорошо выраженный очаговый характер с максимумами скорости на юге Японии, севере Сахары и над районом Флориды.

В работе [8] приведены результаты анализа уровней максимального ветра в Северном полушарии

* Егор Анатольевич Дюкарев (egor@imces.ru); Иван Иванович Ипполитов (seo@imces.ru); Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru); Сергей Владимирович Логинов (seo@imces.ru).

в летние сезоны 1958–2004 гг., выполненного на основе базы данных реанализа NCEP/NCAR. Была выявлена тенденция понижения уровня максимального ветра, достигающая для отдельных районов тропиков и субтропиков 30 гПа/10 лет. Эта тенденция, связанная с перестройкой температурного поля в верхней тропосфере, отмечена, в частности, над Атлантикой и Западной Африкой.

В [9] предложен новый методический подход к климатологии струйных течений, касающийся в основном методики выделения струйных течений и их разбиения на глубокие и мелкие по значениям нормированного сдвига скорости ветра в слое 200–500 гПа. Этот подход был реализован для обоих полушарий на базе данных реанализа ERA-15 за 1979–1993 гг. Было показано, что в обоих полушариях годовой цикл СТ имеет форму гладкого перехода от квазиколецевой структуры летом к спиралевидной структуре зимой. Различие СТ в обоих полушариях проявляется в повторяемости и в меридиональном положении спиралевидных структур.

В работе [10] ежедневные данные реанализа NCEP/NCAR за 1948–2003 гг. использовались для исследования режимов течений и низкочастотных колебаний среднего зонального потока над Северным полушарием в зимний сезон. Анализировались отклонения от средних зональных значений зональной и меридиональной компонент скорости ветра. Выявлены межмесячные колебания зонального

потока с периодами 172 и 72 дня, связанные с изменениями положения СТ и его интенсивности.

В настоящей статье рассмотрена пространственно-временная изменчивость характеристик субтропического струйного течения на временном интервале 1948–2005 гг. и выявлены связи скорости на оси СТ с Северо-Атлантическим (NAO) и Южным (SOI) колебаниями, колебаниями солнечной активности, характеризуемыми числами Вольфа (W), и с изменениями угловой скорости вращения Земли (Ω).

В качестве исходных данных использовались:

- база данных реанализа NCEP/NCAR за 1948–2005 гг. (17 изобарических поверхностей от 1000 до 10 гПа на сетке с шагом $2,5 \times 2,5^\circ$ по широте и долготе) (<http://www.cdc.noaa.gov/PublicData>);
- данные о нутации и изменениях скорости вращения Земли (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.html>);
- геофизические индексы NAO, SOI (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>);
- числа Вольфа (<ftp://ftp.nqdc.noaa.gov>).

Пространственно-временные характеристики ССТ

На рис. 1 представлены распределения в меридиональной плоскости усредненной по времени

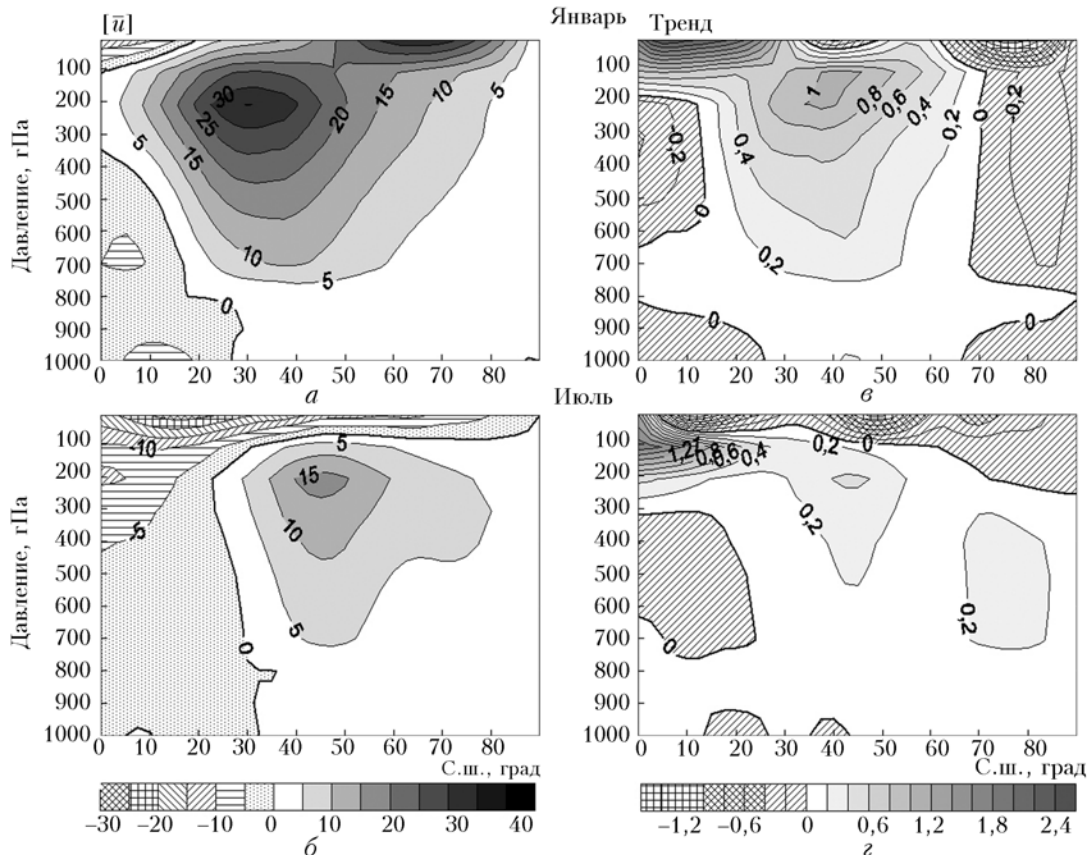


Рис. 1. Усредненная по времени и долготе зональная составляющая скорости ветра (м/с) (а – январь, б – июль) и ее тренд (м/с за 10 лет) за 1948–2005 гг. (в – январь, г – июль)

и по кругам широты зональной компоненты скорости ветра на различных уровнях атмосферы от 1000 до 10 гПа для января и июля, а также их линейные тренды за 1948–2005 гг.

Границей, выделяющей собственно струйное течение, принято считать изотаху 30 м/с. При таких масштабах усреднения не проявляются струйные течения умеренных широт, наблюдающиеся в области 40–60° с.ш. на уровнях около 300 гПа. Это связано с большой подвижностью СТ умеренных широт и, следовательно, относительно малой повторяемостью на определенной широте. Однако по данным реанализа эти струйные течения уверенно выделяются при анализе некоторого сезона определенного года.

Из рис. 1 следует, что среднее многолетнее положение оси ССТ по вертикали соответствует уровню 200 гПа, причём в январе среднее положение струи располагается над 30° с.ш., а в июле — над 45° с.ш. Средняя скорость на оси течения в январе составляет 35, в июле 16 м/с. Такая динамика связана с сезонной перестройкой термобарического поля атмосферы. В холодный сезон температурный градиент «экватор–полюс» имеет максимальное

значение, а летом из-за нагрева материков он уменьшается.

Распределение трендов скорости ветра свидетельствует об общей тенденции усиления западного переноса, наиболее выраженной в холодный период. Скорость ветра на оси ССТ увеличивается на 1 м/с за 10 лет в январе и на 0,4 м/с за 10 лет в июле. В то же время, как показывает рис. 1, в январе существенные изменения претерпевает циркуляция на уровнях 10–200 гПа, т.е. в нижней стратосфере. Распределение трендов скорости говорит о тенденции ослабления как стратосферного экваториального струйного течения, так и зимнего циклонического полярного вихря. В летний период тенденция ослабления восточных ветров наблюдается лишь в экваториальной стратосфере между уровнями 200 и 100 гПа, в то время как для умеренных и полярных широт восточная циркуляция усиливается.

На рис. 2 показаны распределение средней по времени зональной компоненты ветра \bar{u} вдоль кругов широты на поверхности 200 гПа и распределение соответствующих трендов. Картина пространственного распределения \bar{u} соответствует картине, полученной в работах [7, 9].

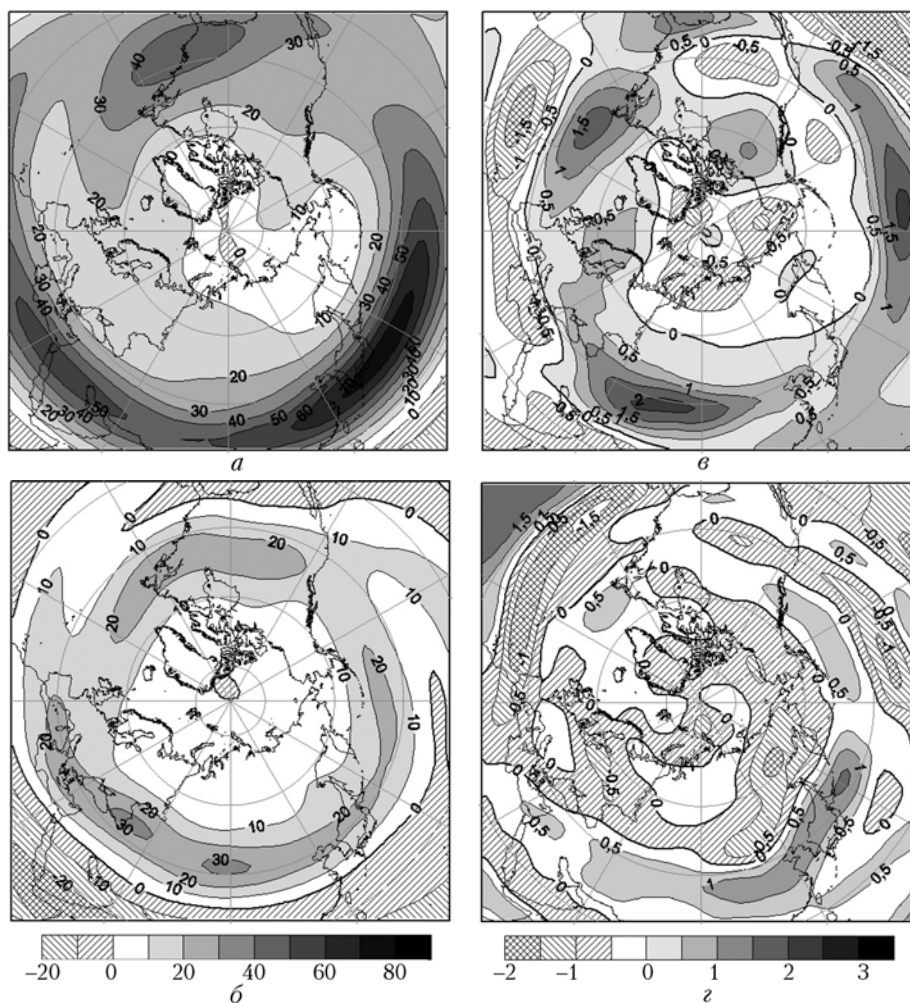


Рис. 2. Распределение средней по времени зональной компоненты скорости ветра (м/с) вдоль кругов широты на поверхности 200 гПа (*а* – январь, *б* – июль) и соответствующие тренды (м/с за 10 лет) (*в* – январь, *г* – июль)

В зимнее время года на уровне 200 гПа максимальные скорости западного ветра в Восточном полушарии наблюдаются на широтах 25–30° с.ш. над Аравийским полуостровом (скорость до 55 м/с) и в северо-западной части Тихого океана (до 75 м/с). В восточной части Тихого океана струйное течение ослабевает (до 26 м/с) и смещается к югу (22° с.ш.). В Западном полушарии максимум скорости на оси струйного течения приходится на северо-восток Атлантического океана – Саргассово море (до 46 м/с). Над восточным побережьем Атлантического океана скорость ветра уменьшается до 22 м/с, и наблюдается раздвоение струи течения на картах среднего многолетнего ветра. Южная часть струи проходит на широте 15° с.ш., а северная – 50° с.ш.

В летние месяцы скорость зонального переноса уменьшается, и ось струйного течения смещается к северу до широты 40–45° с.ш. В июле зона максимальных ветров (со скоростью 26–32 м/с) проходит от Средиземного моря через Каспийское море и Казахстан до пустыни Гоби (Китай).

В экваториальных широтах на протяжении всего года существует зона восточных ветров. В январе восточный перенос наблюдается в Восточном полушарии до широт 10° с.ш. Скорость ветра в районе экватора не превышает 15 м/с. К июлю восточный перенос усиливается и захватывает широты до 30° с.ш. В июле над Аравийским морем восточные ветры достигают скорости 25 м/с.

Распределение трендов скорости ветра, представленное на рис. 2, в, г, показывает, что в целом происходит усиление ветра в областях его максимальных значений и наблюдается тенденция смещения этих областей в восточном направлении.

Корреляционный анализ временных рядов

Для дальнейшего рассмотрения были сформированы временные ряды зонально-усредненной компоненты скорости ветра на горизонтальной оси струйного течения на уровне 200 гПа. Усреднение проводилось как по кругу широты, так и по отрезкам широты, отвечающим Европейскому (0–60° в.д.), Сибирскому (60–120° в.д.), Дальневосточному (120–180° в.д.), Тихоокеанскому (120–180° з.д.), Американскому (60–120° з.д.) и Атлантическому (0–60° з.д.) секторам. Далее вычислялась поперечная корреляция полученных таким образом рядов скорости ветра ($[u]$) и временных рядов индексов Северо-Атлантического колебания, Южного колебания, чисел Вольфа и угловой скорости вращения Земли (Ω) для отдельных месяцев и года в целом.

Результаты корреляционного анализа для усредненной по кругу широты зональной компоненты скорости ветра $[u]$ на оси струйного течения представлены в таблице для отдельных месяцев и года в целом. Выделены значения коэффициентов корреляции, статистически значимые при 90%-й доверительной вероятности.

Коэффициенты корреляции между рядами усредненной по долготе скорости ветра на оси СТ (200 гПа) и рядами геофизических индексов

Месяц	NAO	SOI	W	Ω
1	0,11	0,3	0,25	–0,01
2	–0,1	0,49	0,03	–0,03
3	–0,1	0,41	0,15	–0,09
4	–0,08	0,38	–0,01	–0,16
5	–0,05	–0,03	–0,09	0,07
6	–0,15	0,04	0,2	–0,31
7	0,12	0,17	–0,03	–0,3
8	0,11	0,08	–0,1	–0,45
9	0,42	–0,26	0,07	–0,2
10	0,42	–0,16	–0,15	0,01
11	0,3	0,12	0,05	0,07
12	0,05	0,00	–0,23	–0,05
Год	–0,09	0,17	–0,08	–0,24

Из таблицы видно, что значимая положительная, хотя и не очень тесная, связь усредненной зональной компоненты ветра на оси струйного течения с индексами NAO существует в сентябре–ноябре. В Европейском секторе эта связь имеет место в октябре–январе. Южное колебание значимо связано с $[u]$ в период с января по апрель, причем в Тихоокеанском секторе теснота связи существенно (до 0,62) повышается.

На рис. 3, а показана связь вариаций зональной компоненты скорости ветра на оси струйного течения $\delta u = (u - \bar{u})/\sigma_u$ (σ_u – стандартное отклонение) и значений индексов NAO для последовательности январей 1948–2005 гг. в Европейском секторе. На рис. 3, б подобная связь представлена для пар значений δu – индекс SOI также для январей 1948–2005 гг. в Тихоокеанском секторе.

Из рис. 3, а следует, что в Европейском секторе в холодный сезон продолжительная фаза NAO связана с возрастанием скорости ветра на оси ССТ. Известно [11], что при этом происходит углубление Исландского минимума, усиление Азорского максимума, а траектории циклонов смещаются на север Европы, вызывая режим мягких зим в этом регионе. В отрицательной фазе NAO скорость ветра на оси ССТ снижается, при этом происходят заполнение Исландского минимума и ослабление Азорского максимума, траектории циклонов приобретают зональный характер, зимы в Северной Европе становятся суровее.

В Тихоокеанском секторе в холодный период года скорость ветра на оси СТ возрастает в положительной фазе индекса SOI (рис. 3, б) и уменьшается в отрицательной фазе. Известно, что этим фазам отвечают события Эль-Ниньо и Ла-Нинья соответственно, при которых температура поверхности восточной экваториальной части Тихого океана повышается (Эль-Ниньо) и понижается (Ла-Нинья) примерно на 2–5 °С от климатической нормы.

Соответствующее повышение или понижение температуры воздуха над поверхностью океана увеличивает или снижает термический градиент «экватор–полюс», что и приводит к изменениям скорости ветра на оси ССТ, представленным на рис. 3, б.

Подобная зависимость для индексов циркуляции вдоль круга широты была отмечена в [12]. Таблица показывает отсутствие корреляции скорости ветра на оси ССТ с числами Вольфа, характеризующими изменения солнечной активности.

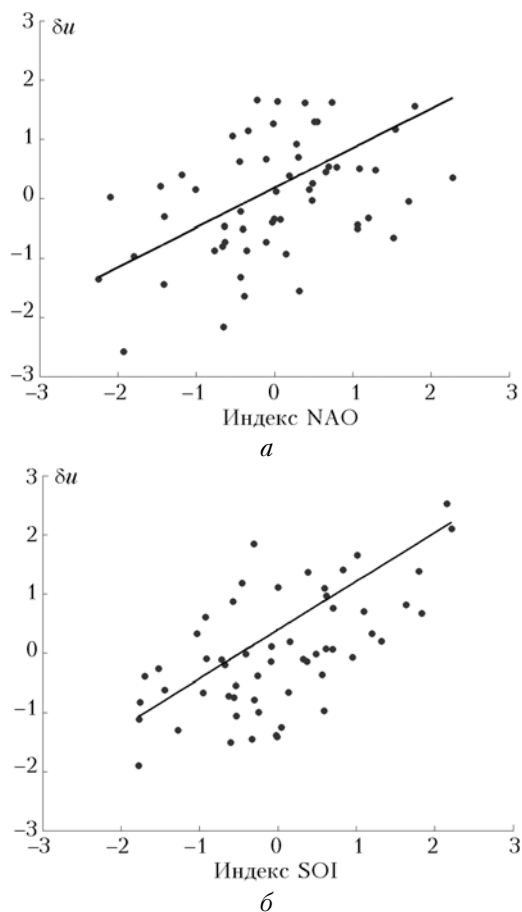


Рис. 3. Связь между вариациями среднемесячных значений зональной компоненты скорости ветра и среднемесячными значениями геофизических индексов. Январь: *a* — δu — NAO, Европейский сектор; *b* — δu — SOI, Тихоокеанский сектор

Что касается связи скорости ССТ с угловой скоростью вращения Земли, то она показала значимую антикорреляцию в течение июня–августа, т.е. того периода, когда положение струи смещено в более высокие широты. Возмущающее воздействие неравномерности вращения Земли на атмосферную циркуляцию рассмотрено в работе [13]. В ней показано, что изменение скорости вращения Земли вызывает изменение скорости вращения атмосферы и, как следствие, перераспределение воздушных масс между полярными и тропическими широтами. При этом с увеличением скорости вращения Земли давление уменьшается в умеренных и полярных областях и возрастает в областях субтропического максимума. При замедлении скорости вращения Земли наблюдается противоположная картина. Дополнительный межширотный барический градиент вследствие многолетних квазиперио-

дических изменений угловой скорости вращения Земли составляет 6,7 гПа [13].

Для сравнения можно привести величины барических градиентов приземного давления, полученные из стандартной среднеширотной модели атмосферы Северного полушария [14]. Согласно этой модели разность давления между 30 и 60° с.ш. составляет в декабре–январе 7 гПа, а в июне–июле 4 гПа. Из этих оценок видно, что в летний период происходит ослабление термически-обусловленного градиента давления «экватор–полюс», а это облегчает проявление в изменении скорости ССТ дополнительного градиента давления, например, обусловленного вариациями скорости вращения Земли. При этом направленность изменений дополнительного градиента обеспечивает антикорреляцию [u] и Ω .

Корреляционный анализ вейвлет-спектров

Известно [15], что реальные климатические ряды в некоторых полосах частот содержат колебания, которые приближенно можно рассматривать как гармонические либо на всем протяжении ряда, либо на отдельных временных интервалах. Области частот, в которых такие колебания проявляются, можно установить с помощью преобразования Фурье. Однако гораздо более эффективным для этой цели является метод вейвлет-преобразования, позволяющий проследить эволюцию колебаний на всей временной оси.

Мы использовали этот метод для анализа низкочастотных колебаний в рядах скорости ветра на оси ССТ, геофизических индексов и выявления статистических связей между этими колебаниями. Процедура анализа заключалась в следующем. Временные ряды скорости ветра на оси ССТ, индексов NAO и SOI, чисел Вольфа и угловой скорости вращения Земли за 1948–2005 гг. подвергались вейвлет-преобразованию с использованием в качестве материнского вейвлета Морле [16].

С помощью полученных матриц коэффициентов вейвлет-преобразования рассчитывались матрицы когерентности, отображающие временную динамику связи колебаний в рядах скорости ветра с колебаниями в рядах других индексов. Из этих матриц рассчитывались шкально-усредненные значения коэффициентов когерентности [17], представляющие собой средние значения коэффициентов по всему временному ряду. При этом интегрирование проводилось в узких областях, центрированных на масштабах колебаний 5, 7, 11, 15, 22 и 30 лет. Выбор этих масштабов связан с тем, что они наиболее часто проявляются при спектральном анализе различных климатических рядов [17]. Вейвлет-спектр зонально-усредненной скорости ветра на оси ССТ показывает наличие колебаний во всей области масштабов 5–30 лет, причем наиболее стабильно выделяются квазидесятилетние колебания и колебания масштабов 20–25 лет. В целом же спектр свидетельствует о нестационарном характере

колебательных процессов, что проявляется в существовании циклов колебаний на отдельных временных интервалах, а также в смещении частот с течением времени.

На рис. 4 показаны матрицы когерентности, характеризующие связи между колебаниями в рядах чисел Вольфа и зонально-усредненной скорости ветра на оси ССТ для января (а) и июля (б).

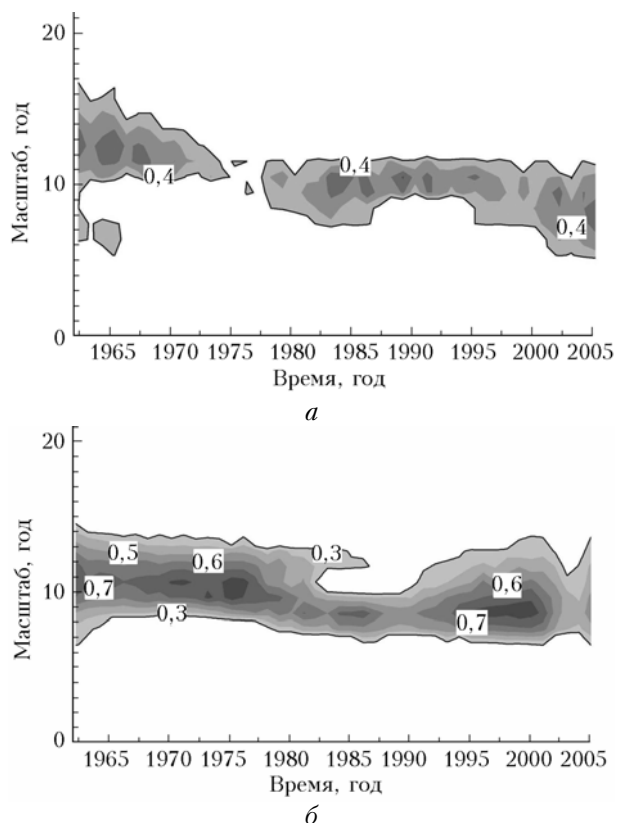


Рис. 4. Матрицы коэффициентов когерентности между колебаниями одного масштаба в рядах чисел Вольфа и зонально-средней скорости ветра на оси струйного течения: а – январь, б – июль

Видно, что хотя корреляция исходных рядов (см. таблицу) никак не проявляется, корреляция «внутренних» 11-летних структур в обоих рядах является достаточно высокой во все сезоны года со значениями средних (вдоль 11-летнего масштаба, см. рис. 4) коэффициентов когерентности, меняющихся в различные месяцы от значений 0,3 до 0,63. Локальные значения коэффициентов когерентности, как показывает рис. 4, могут быть существенно выше. Связь между 11-летним циклом солнечной активности и внутренней колебательной структурой такого масштаба в скорости ССТ не поддается простому объяснению.

В настоящее время рассматриваются различные механизмы, позволяющие объяснить проявления солнечно-тропосферных связей [18]. В исследуемом нами случае наиболее подходящим можно считать динамический механизм, впервые предложенный в работе [19]. Суть его состоит в том, что энергия, возникающая в тропосфере во время ме-

теорологических явлений, распространяется вверх посредством гравитационных волн и при определенных условиях отражается от верхних слоев атмосферы. При этом отраженные волны будут интерферировать с волнами, идущими вверх, что приводит к их усилению или ослаблению и, соответственно, к усилению или ослаблению источника волн. Таким образом, верхняя атмосфера играет роль модулятора тропосферных процессов.

В рассматриваемом нами случае источником энергии волн (волны Россби) может служить кинетическая энергия струйного течения. Часть ее переносится волнами вертикально вверх и, если в стратосфере в ходе 11-летнего цикла солнечной активности будут периодически возникать условия, способствующие пропусканию либо отражению волн, связь, представленная на рис. 4, может быть объяснена.

Принципиальная возможность такого механизма подтверждается результатами численного моделирования циркуляции зимней стратосферы, полученными авторами [20]. Оказывается, что при ослаблении вихря в нижней стратосфере распространение волн вверх прекращается, а при восстановлении вихря – возобновляется, так что нижняя стратосфера действует как клапан, пропускающий, то закрывающий волновой поток в стратосферу в зависимости от состояния вихря.

Связи внутренних колебаний скорости струи с колебаниями в рядах индексов NAO и SOI носят более сложный характер. Для NAO эти связи имеют более тесный характер ($r > 0,4$) для колебаний масштабов 7, 15, 22 года, для SOI – для колебаний 5, 7 и 15 лет.

Заключение

Таким образом, изменчивость характеристик субтропического струйного течения оказывается связанной с изменчивостью климатически значимых планетарных геофизических индексов. Объединяющим механизмом такой связи является деформация термобарического поля на различных уровнях в тропосфере и стратосфере, возникающая при различных видах рассмотренных связей и приводящая к изменениям горизонтальных барических градиентов. Для связей с Северо-Атлантическим и Южным колебаниями такая деформация, вызванная изменением характеристик центров действия атмосферы, достаточно очевидна. Что касается воздействия на характеристики ССТ изменений в солнечной активности и угловой скорости вращения Земли, то детальные механизмы соответствующих связей еще предстоит разработать.

Работа была выполнена в рамках проекта фундаментальных исследований СО РАН на 2007–2009 гг. № 7.10.1.1 «Исследование климатообразующих атмосферных процессов с учетом воздействия глобальных и региональных факторов».

1. Хромов С.П., Петросянци М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ; изд-во «Наука», 2006. 582 с.

2. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Т. 2. Л.: Гидрометеониздат, 1978. 319 с.
3. Погосян Х.П. Струйные течения в атмосфере. М.: Гидрометеониздат, 1960. 182 с.
4. Шакина К.П. Динамика атмосферных фронтов и циклонов. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 263 с.
5. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1996. V. 77. P. 437–471.
6. Рубинштейн К.Г., Стерин А.М. Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2002. Т. 38. № 3. С. 301–315.
7. Соколичина Е.В., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Терре Л. Годовой ход и сезонная изменчивость циркуляции скорости зонального ветра по данным наблюдений и результатам моделирования // Метеорол. и гидрол. 2004. № 12. С. 15–30.
8. Strong C., Davis R.E. Temperature-related trends in the vertical position of the summer upper tropospheric surface of maximum wind over the Northern Hemisphere // Int. J. Climatol. 2006. V. 26. N 14. P. 1977–1997.
9. Koch P., Wernli H., Davis H.C. An event-based jet stream climatology and typology // Int. J. Climatol. 2006. V. 26. N 3. P. 283–301.
10. Kravtsov S., Robertson A.W. Multiple regimes and low-frequency oscillations in the Northern Hemisphere zonal-mean flow // J. Atmos. Sci. 2006. V. 63. N 3. P. 840–863.
11. *The North Atlantic Oscillation. Climatic Significance and Environmental Impact. Geophysical Monograph 134* / Ed. by J.W. Hurrell et al. Washington D.C.: American Geophysical Union, 2003. 279 p.
12. Гущина Д.Ю. Оценка воспроизведения особенностей глобальной циркуляции атмосферы и взаимосвязи между циркуляцией в тропиках и умеренных широтах моделями общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН и ARPEGE // Метеорол. и гидрол. 2003. № 8. С. 5–26.
13. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Механизм формирования направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях // Метеорол. и гидрол. 2007. № 5. С. 5–27.
14. *Атмосфера: Справочное издание*. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 510 с.
15. Монин А.С., Сонечкин Д.Н. Колебания климата. М.: Наука, 2005. 191 с.
16. Torrence C., Compo G.P. Practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. V. 79. N 1. P. 61–78.
17. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В. Связь периодичностей в рядах приземных температур и индексов атмосферной циркуляции // Геогр. и природ. ресурсы. Спец. выпуск. 2004. С. 267–271.
18. Авдюшин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнет. и аэроном. 2000. Т. 40. № 5. С. 3–14.
19. Hines C.O. A possible mechanism for the production of a sun-weather correlation // J. Atmos. Sci. 1974. V. 31. N 2. P. 589–601.
20. Scott R.K., Polvani S.V. Internal variability of the winter stratosphere. I. Time Independent Forcing // J. Atmos. Sci. 2006. V. 63. N 11. P. 2758–2776.

E.A. Dyukarev, I.I. Ippolitov, M.V. Kabanov, S.V. Loginov. Variability of the subtropical jet stream in the Northern hemisphere troposphere in the second half of XX century.

The spatiotemporal variability of the subtropical jet stream speed was studied using NCAR/NCAR reanalysis data for 1948–2005. The subtropical jet stream manifests itself as the lead wind flow in the Northern hemisphere troposphere circulation. The subtropical jet speed increases with a rate of 1 m/s per 10 years during the studied time interval. Significant tendencies in the jet latitude and height were not revealed. Correlations between the jet speed and North Atlantic and South Oscillation Indices, Wolf numbers and Earth angular rotation rate were studied. A significant impact of North Atlantic Oscillation on the jet speed exists in October–December. South Oscillation influences on the jet in January–April. Negative correlation was found between Earth angular rotation velocity and the jet speed for summer months. The correlation between wavelet spectra is higher than correlation between initial time series.