

**А.А. Караханян, Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко,
С.И. Молодых, Л.А. Васильева**

Долговременные изменения характеристик влажности воздуха на территории Северного полушария во второй половине XX в.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 26.03.2007 г.

Исследуются долговременные вариации температуры, удельной и относительной влажности воздуха на стандартных изобарических поверхностях в умеренных и высоких широтах Северного полушария по данным NCAР/NCER Reanalysis во второй половине XX в.

Введение

Наличие водяного пара в атмосфере оказывает существенное влияние на тепловые условия атмосферы и земной поверхности. Водяной пар интенсивно поглощает длинноволновую радиацию, которую излучает земная поверхность. В свою очередь и сам он излучает подобную радиацию, большая часть которой возвращается земной поверхности. Это уменьшает ночное охлаждение земной поверхности и нижних слоев воздуха [1, 2].

По этой причине изменение содержания водяного пара может быть одним из основных факторов, определяющих наблюдаемые изменения климата на планете. Поэтому особый интерес представляет временная динамика изменчивости содержания водяного пара в атмосфере. Решение данной задачи усложнялось отсутствием многолетних рядов данных.

В последние годы ситуация изменилась, развитие и усовершенствование численных методов способствовали созданию баз данных, которые позволяют проанализировать изменение содержания водяного пара в атмосфере, происходящее в течение нескольких десятков лет.

Количественно содержание водяного пара в атмосфере выражают с помощью характеристик влажности. К числу основных характеристик влажности относятся: парциальное давление водяного пара, абсолютная и относительная влажность, массовая доля водяного пара (удельная влажность). В данной статье рассмотрим распределение удельной и относительной влажности воздуха.

Спектральный анализ вариаций характеристик влажности и температуры воздуха

Для исследования пространственной структуры долговременных вариаций характеристик влажности воздуха на стандартных изобарических поверхностях в умеренных (50–65° с.ш.) и высоких (> 65° с.ш.) широтах Северного полушария использовались данные NCAР/NCER Reanalysis (<http://www.cdc.noaa.gov/>) за период с 1948 по 2005 г. Область умеренных широт разделена на секторы: Атлантический (60–01° з.д.), Европейский (0–59° в.д.), Сибирский (60–119° в.д.), Дальневосточный (120–169° в.д.), Тихоокеанский (170° в.д. – 121° з.д.), Американский (120–61° з.д.).

В качестве примера на рис. 1 приведены вариации температуры воздуха, относительной и удельной влажности на стандартных изобарических поверхностях в высокоширотном секторе для зимнего и летнего сезонов.

Разделение на сезоны необходимо, во-первых, потому, что имеется значительный годовой ход, во-вторых, многолетние колебания рассматриваемых характеристик имеют достаточно большую амплитуду в зимний период, в то время как для летнего периода характерна небольшая изменчивость.

Анализ вариаций температуры воздуха, удельной и относительной влажности позволяет предположить, что они состоят из двух компонент: высокочастотной и низкочастотной. Для проверки этого предположения был проведен спектральный анализ вариаций температуры воздуха и характеристик влажности (рис. 2).

В полученных спектрах хорошо выражено наличие двух компонент в рассматриваемых вариациях: первый — это высокочастотные квазипериодические вариации (квазидвухлетние) и второй — долговременные вариации с характерным временем больше 8 лет.

Вполне логично предположить, что эти компоненты обусловлены различными процессами, поэто-

му дальнейшее исследование проводилось отдельно для каждого компонента.

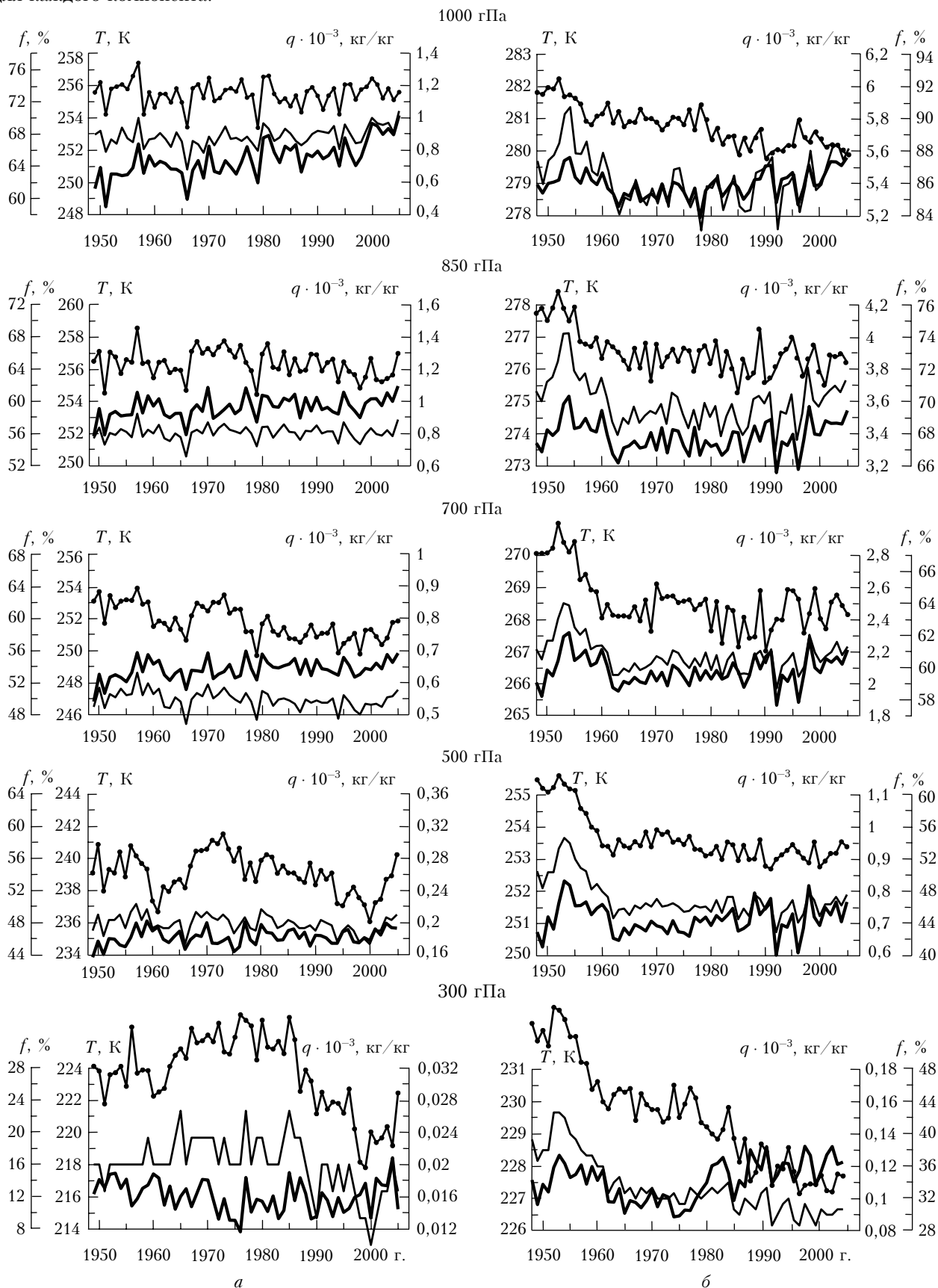


Рис. 1. Изменение температуры (—●—), относительной (—) и удельной (—○—) влажности воздуха для зимнего (а) и летнего (б) периодов (с 1948 по 2005 г.)

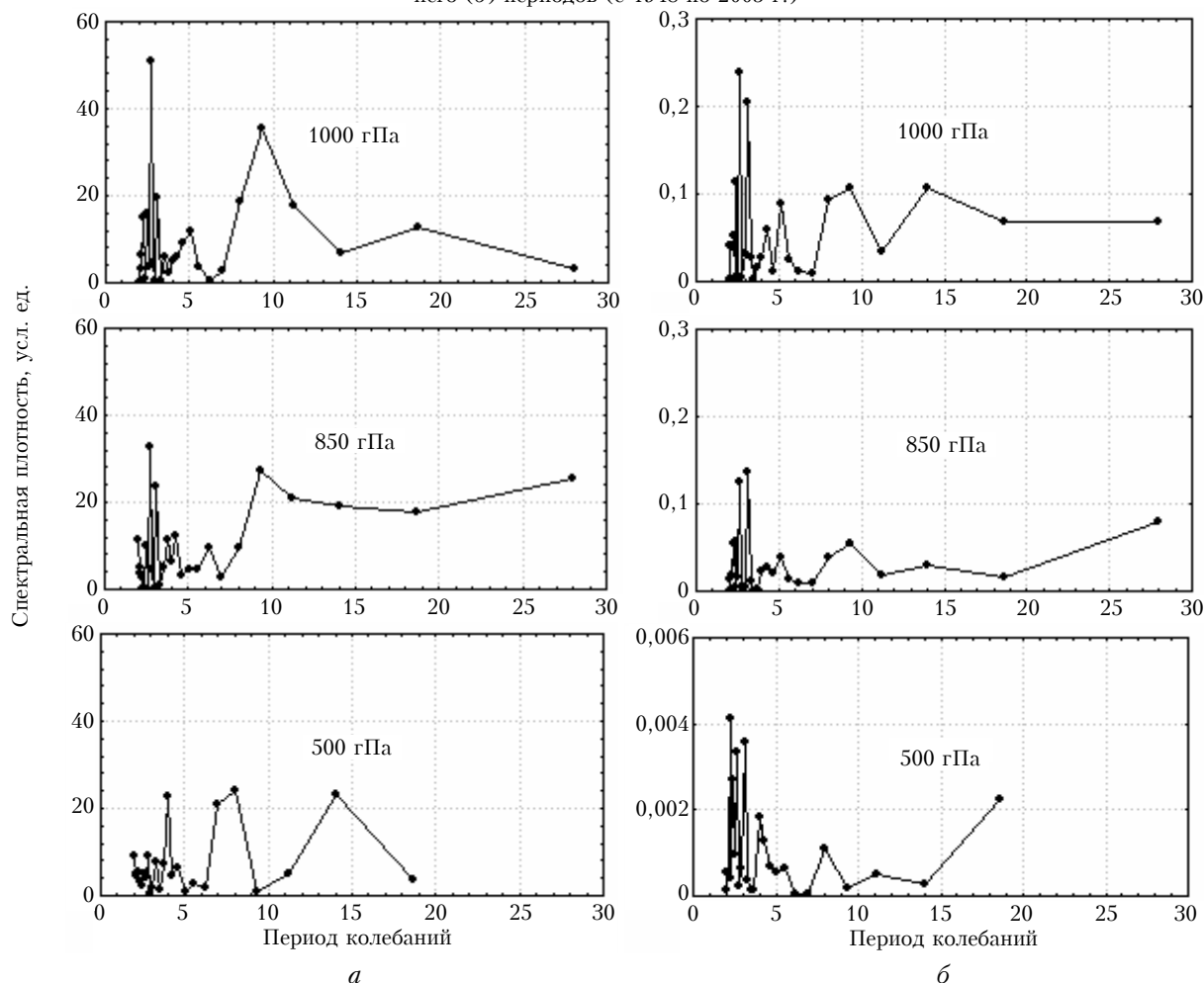


Рис. 2. Спектральная плотность относительной (а) и удельной влажности воздуха (б) в зимний сезон в Сибирском секторе (60–119° в.д.) с 1948 по 2005 г.

Короткопериодические вариации характеристик влажности и температуры воздуха

Одним из основных индикаторов происходящих климатических изменений на планете являются вариации температурного режима. В результате проведенного исследования связи между вариациями

температуры воздуха, удельной и относительной влажности на стандартных изобарических поверхностях методом линейной корреляции были получены коэффициенты корреляции, которые представлены в табл. 1 и 2.

Корреляционный анализ связи изменений температуры воздуха с вариациями удельной влажности показал, что квазидвухлетние (короткопериодические) изменения содержания водяного пара (удельной

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между короткопериодическими вариациями удельной влажности и температуры воздуха для зимнего и летнего сезонов

Сектор	Сезон									
	зимний					летний				
	Стандартные изобарические поверхности, гПа									
	1000	850	700	500	300	1000	850	700	500	300
Атлантический	0,88	0,88	—	0,86	0,77	0,96	0,84	0,81	0,90	0,85
Европейский	0,98	0,93	0,86	0,82	0,68	0,57	0,89	0,77	0,81	0,85
Сибирский	0,95	0,95	0,93	0,90	0,51	0,78	0,89	0,84	0,76	0,80
Дальневосточный	0,93	0,93	0,94	0,93	0,61	0,88	0,82	0,73	0,75	0,93
Тихоокеанский	0,96	0,92	0,87	0,91	0,60	0,97	0,91	0,79	0,76	0,90

Американский	0,95	0,93	0,91	0,91	0,56	0,93	0,89	0,87	0,79	0,84
Полярный	0,80	0,85	0,81	0,73	0,52	0,94	0,90	0,87	0,85	0,59

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции между короткопериодическими вариациями относительной влажности и температуры воздуха для зимнего и летнего сезонов

Сектор	Сезон									
	зимний					зимний				
	Стандартные изобарические поверхности, гПа									
	1000	850	700	500	300	1000	850	700	500	300
Атлантический	0,41	-0,12	-0,40	-0,26	0,39	0,09	-0,26	-0,25	-0,17	0,32
Европейский	0,72	0,47	0,21	0,12	0,18	-0,32	-0,71	-0,42	-0,49	-0,24
Сибирский	0,93	0,58	-0,35	-0,36	0,34	0,04	-0,29	-0,23	-0,29	-0,01
Дальневосточный	0,70	0,67	-0,01	-0,01	0,29	-0,31	-0,51	-0,41	-0,31	0,08
Тихоокеанский	0,56	0,32	-0,31	-0,26	0,22	-0,17	-0,38	-0,29	-0,08	0,38
Американский	0,68	0,13	-0,26	-0,23	0,34	-0,52	-0,67	-0,69	-0,51	0,10
Полярный	0,82	0,63	0,24	0,06	-0,26	-0,42	-0,28	-0,12	-0,06	-0,05

влажности) довольно хорошо соответствуют вариациям температуры воздуха в данной области, коэффициент корреляции выше 0,7. Анализ связи между вариациями температуры воздуха и изменениями относительной влажности не выявил аналогичной закономерности. Так, если хорошая корреляция между вариациями температуры воздуха и удельной влажности наблюдается во всех рассмотренных областях и на высотах вплоть до 300 гПа, то относительная влажность коррелирует с температурой воздуха только в зимний период вблизи подстилающей поверхности, причем отметим, что в Тихоокеанском и Атлантическом регионах корреляция выражена наиболее слабо.

Во всех рассмотренных регионах корреляция между относительной влажностью и температурой воздуха быстро нарушается при удалении от поверхности. В качестве иллюстрации описанных выше закономерностей на рис. 3 приведены короткопериодические вариации удельной и относительной влажности, температуры воздуха в Полярном регионе на различных изобарических поверхностях в зимний и летний сезоны.

Поскольку коэффициент корреляции характеризует только степень связи между характеристиками, рассмотрим коэффициент линейной регрессии (тангенс угла наклона), характеризующий скорость изменения удельной влажности при изменении температуры воздуха. На рис. 4 представлены диаграммы рассеяния точек и линии регрессионной связи между короткопериодическими вариациями удельной влажности и температуры воздуха на различных изобарических поверхностях в высокоширотном регионе.

Кроме того, на рис. 4 приведены коэффициенты корреляции и скорости изменения удельной влажности при изменении температуры воздуха. Проведенный анализ показал, что отклик изменения удельной влажности на вариации температуры воздуха с увеличением высоты проявляется сильнее в летний период, чем в зимний.

Данный эффект, скорее всего, связан с изменением высотного профиля средней температуры воздуха в рассматриваемой области, т.е. вариации температуры воздуха сопровождаются большими изменениями удельной влажности при более высоких сред-

них температурах воздуха. Пространственный анализ изменения отклика удельной влажности на изменение температуры воздуха показал, что содержание водяного пара с увеличением температуры возрастает быстрее в регионах с большей средней температурой воздуха. Таким образом, можно сделать вывод о том, что скорость изменения удельной влажности при изменении температуры воздуха связана, в основном, со средней температурой и возрастает при ее увеличении.

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме определения причин наблюдаемых климатических изменений. Все чаще, наряду с внутренними причинами изменчивости климатической системы, рассматривают и внешние по отношению к системе процессы [3]. Одним из внешних факторов, обуславливающих вариации климата, может быть изменчивость солнечной активности [4].

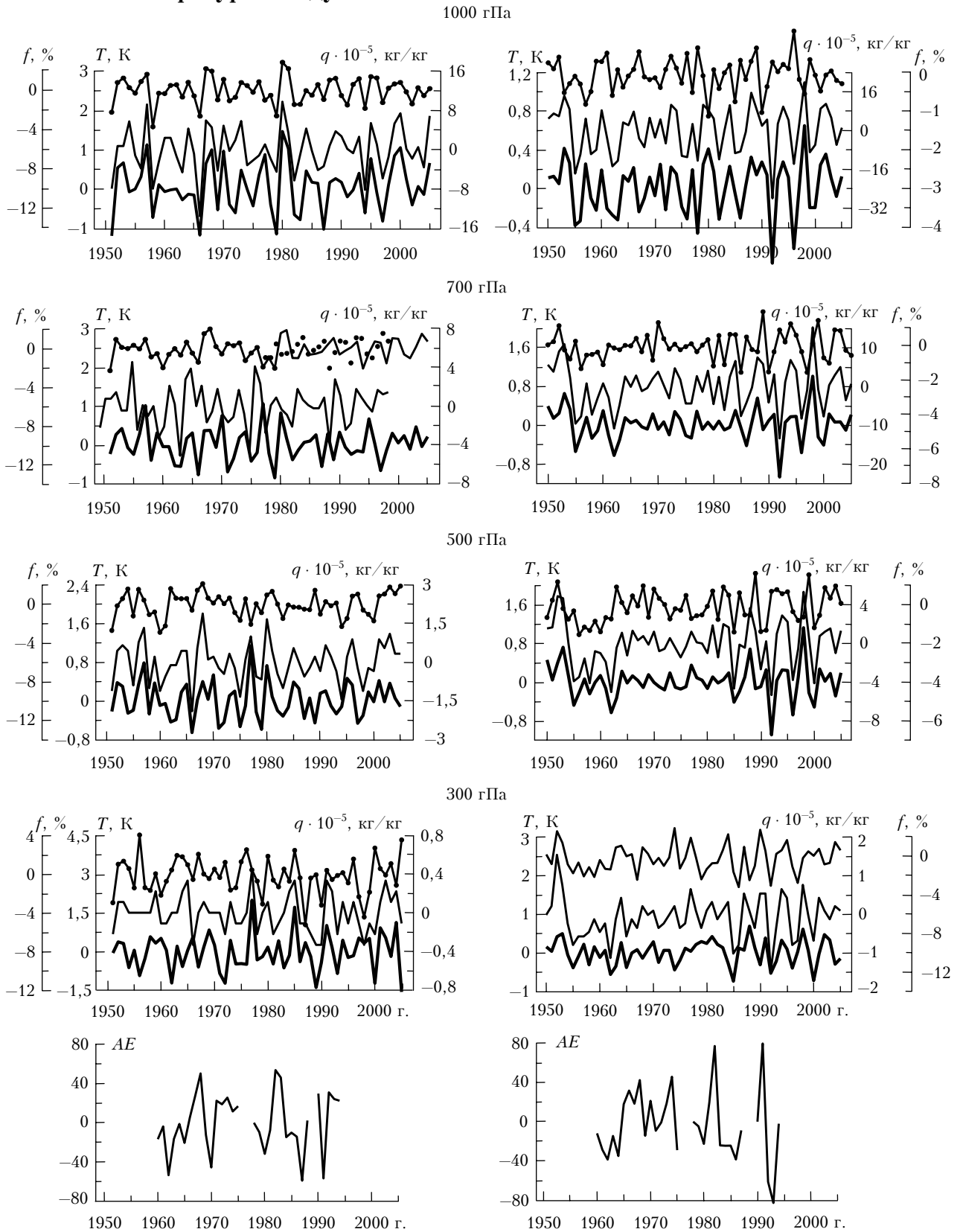
В этой связи рассмотрим поведение короткопериодических вариаций температуры воздуха, удельной и относительной влажности в зависимости от вариаций геомагнитной активности на стандартных изобарических поверхностях. Для описания флуктуаций геомагнитного поля использован планетарный индекс геомагнитной активности AE .

Результаты анализа связи короткопериодических вариаций удельной и относительной влажности, температуры воздуха с геомагнитной активностью показали, что простая линейная связь вариаций удельной и относительной влажности, температуры воздуха в рассмотренных регионах с вариациями геомагнитной активности отсутствует на временных масштабах в несколько лет (см. рис. 3).

Таким образом, проведенный выше анализ короткопериодических вариаций температуры воздуха, удельной и относительной влажности позволяет сделать вывод о том, что изменения удельной влажности в основном определяются изменениями температуры воздуха, тогда как вариации относительной влажности могут быть обусловлены изменением других факторов, в частности, неустойчивостью циркуляции атмосферы вследствие влияния внешних воздействий.

Долговременные вариации характеристик влажности и температуры воздуха

Анализ связи долговременных вариаций удельной и относительной влажности с температурой воздуха



а

б

Рис. 3. Аномалии температуры (—), удельной (—), относительной (—) влажности воздуха и индекса геомагнитной активности AE на стандартных изобарических поверхностях в высокоширотном секторе в зимний (а) и летний (б) периоды (с 1950 по 2005 г.)

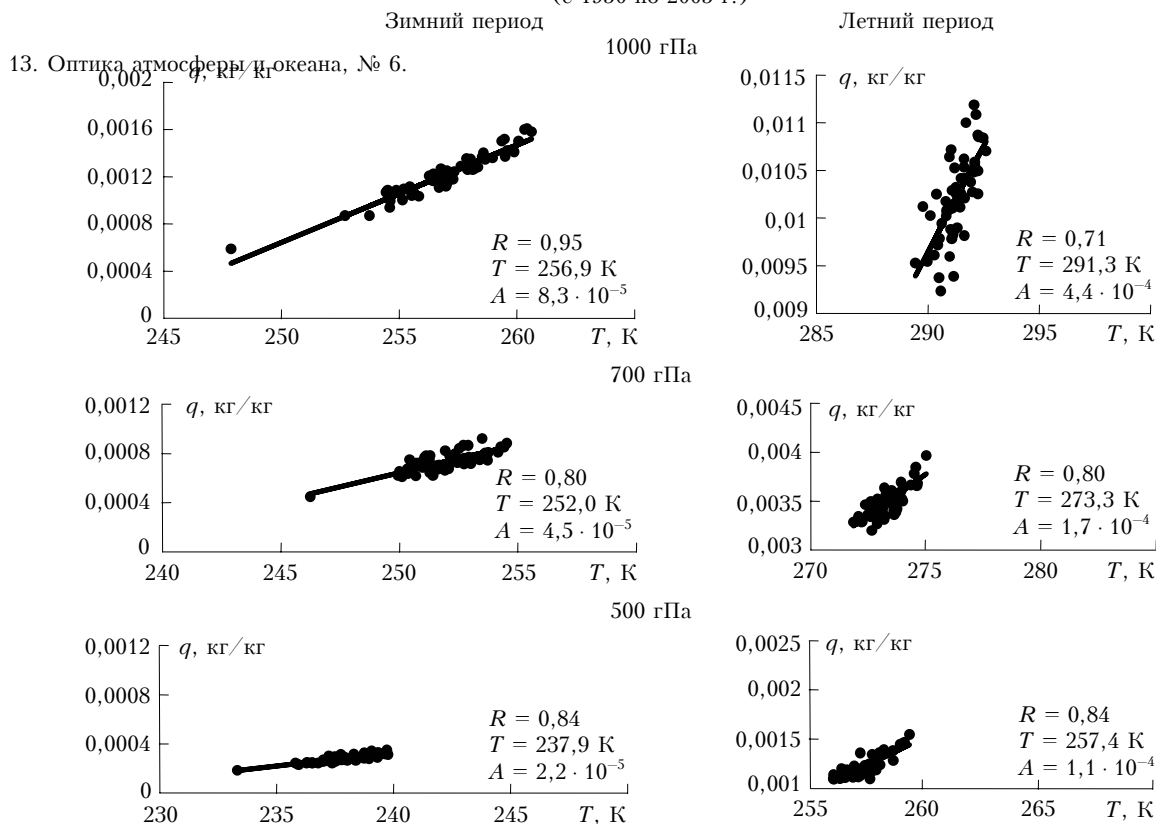


Рис. 4. Изменение отклика удельной влажности на изменение температуры воздуха на стандартных изобарических поверхностях в Сибирском секторе в зимний и летний периоды (с 1948 по 2005 г.) (R – коэффициент корреляции; T – средняя температура воздуха; A – коэффициент в уравнении регрессии)

показал, что закономерности связи удельной влажности с температурой воздуха, наблюдаемые для короткопериодических вариаций, сохраняются и для долговременных. Наиболее тесная связь между долговременными вариациями удельной влажности и температуры воздуха наблюдается вблизи подстилающей поверхности, с удалением от поверхности коэффициент корреляции уменьшается, т.е. связь ухудшается. Над океанами связь между долговременными вариациями удельной влажности и температуры воздуха наблюдается до больших высот, чем над сушей, и сохраняется вплоть до высот 300 гПа. Следует отметить, что в верхних слоях тропосферы (выше 700 гПа) наблюдается долговременное уменьшение удельной влажности, особенно в Полярной области. Данная особенность согласуется с выводами, полученными в работе [5].

Кроме того, в долговременных вариациях рассматриваемых характеристик довольно отчетливо прослеживается значительное уменьшение относительной влажности во всех рассмотренных регионах, наиболее ярко выраженное в верхней части тропосферы, особенно в летний период (10–15% на уровне 300 гПа). Отметим, что наблюдаемое долговременное умень-

шение относительной влажности всего лишь вдвое меньше амплитуды годового хода относительной влажности в данном регионе.

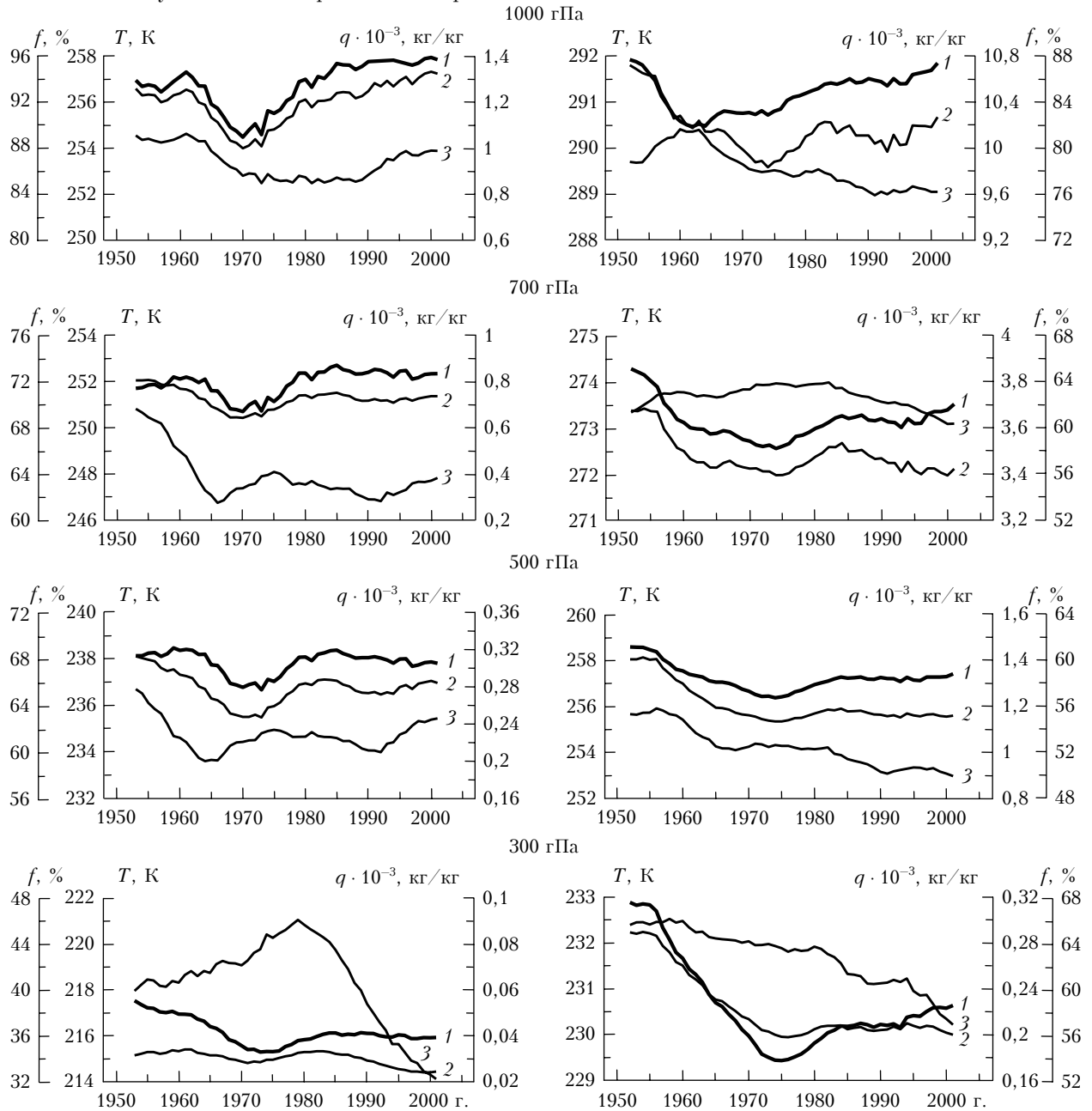
Рассмотрим поведение долговременных вариаций характеристик влажности и температуры воздуха в зависимости от вариаций AE на стандартных изобарических поверхностях (рис. 5).

Проведенный анализ показал неплохую связь долговременных вариаций температуры воздуха с геомагнитной активностью вблизи поверхности, причем в Тихоокеанском секторе связь наблюдается до больших высот в зимний период. Аналогичное, однако менее выраженное, поведение температуры воздуха можно заметить в Полярной области, в Дальневосточном и в Американском секторах. Анализ долговременных изменений характеристик влажности показал, что увеличение планетарного индекса геомагнитной активности AE во второй половине XX в. сопровождается не только ростом температуры воздуха, увеличением удельной влажности, а также уменьшением относительной влажности воздуха в нижней и средней тропосфере.

Заключение

Спектральный анализ удельной и относительной влажности воздуха позволил разделить вариации рассматриваемых характеристик на две части: первая — это высокочастотные квазипериодические вариации (квазидвухлетние) и вторая — долговремен-

ные вариации с характерным временем больше 8 лет. Анализ высокочастотных квазипериодических вариаций (квазидвухлетних) температуры воздуха, удельной и относительной влажности показал, что



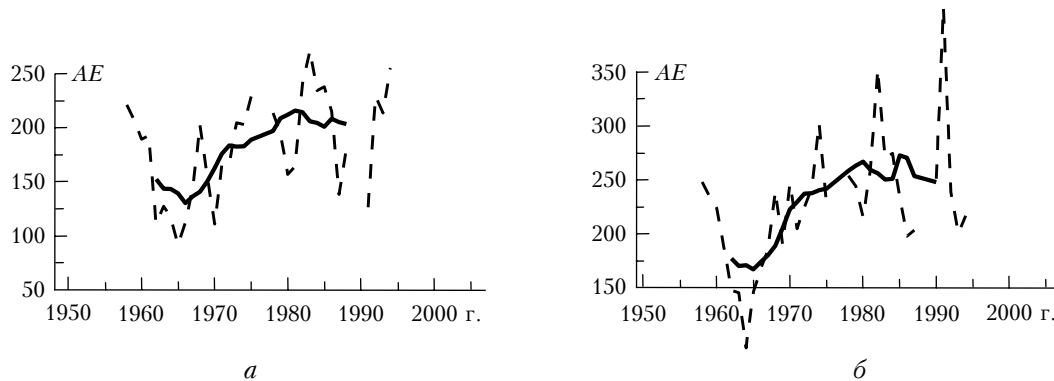


Рис. 5. Изменения температуры воздуха (1), удельной (2), относительной (3) влажности и индекса геомагнитной активности AE на стандартных изобарических поверхностях в Сибирском секторе в зимний (а) и летний (б) периоды (с 1950 по 2002 г.)

изменения содержания водяного пара (удельная влажность) в значительной степени зависят от вариаций температуры, тогда как вариации относительной влажности, возможно, являются следствием изменений циркуляции атмосферы под влиянием внешних факторов.

Регрессионный анализ связи высокочастотных вариаций удельной влажности и температуры воздуха позволил обнаружить, что скорость изменения удельной влажности при изменении температуры воздуха уменьшается с увеличением высоты, причем быстрее в летний период, чем в зимний.

Пространственный анализ изменения отклика удельной влажности на изменение температуры воздуха показал, что содержание водяного пара возрастает с увеличением температуры быстрее в регионах с большей средней температурой воздуха.

Исследование долговременных изменений рассматриваемых характеристик обнаружило, что увеличение планетарного индекса геомагнитной активности AE во второй половине XX в. сопровождается ростом температуры воздуха, возрастанием содержания

водяного пара (удельной влажности) и уменьшением относительной влажности воздуха в нижней и средней тропосфере в большинстве рассмотренных регионов. Эти закономерности наиболее отчетливо выражены в зимний период.

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 568 с.
2. Зуев В.Е., Туттов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: Спектр, 1996. 272 с.
3. Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 2. С. 253–256.
4. Коваленко В.А., Жеребцов Г.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1042–1050.
5. Майстрова В.В., Колони Р., Нагурный А.П., Макштан А.П. Долговременные тренды температуры и удельной влажности свободной атмосферы северной полярной области // Докл. РАН. 2003. Т. 391. № 1. С. 112–116.

A.A. Karakhanyan, G.A. Zherebtsov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh, L.A. Vasil'eva. Long-term variations of air humidity in the Northern hemisphere in the latter half of the XX century.

Long-term variations of the specific and relative air humidity in the latter half of the XX century at standard isobaric surfaces in moderate and high latitudes of the Northern hemisphere were studied with the use of the NCEP/NCAR Reanalysis data.