

УДК 551.571

МЕХАНИЗМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В АТМОСФЕРЕ

А.А. Караханян, Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых

THE MECHANISM FOR REGULATION WATER CONTENT IN THE ATMOSPHERE

A.A. Karakhanyan, G.A. Zherebtsov, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh

Водяной пар является наиболее важным парниковым газом в атмосфере. Поэтому изменение содержания водяного пара может быть одним из важных факторов, определяющих наблюдаемые изменения климата. На основе данных NCEP/NCAR Reanalysis (<http://www.cdc.noaa.gov/>) проведен комплексный анализ характеристик влажности и температуры воздуха на стандартных изобарических поверхностях в умеренных и высоких широтах Северного полушария. Показано, что основной причиной изменений содержания водяного пара в атмосфере являются вариации температуры воздуха и изменения радиационного баланса. Предложен механизм регулирования количества водяного пара в атмосфере, который позволяет объяснить наблюдаемые закономерности в изменении содержания водяного пара в атмосфере.

A water vapor is the most important greenhouse gas in the atmosphere. Therefore, variations of the water vapor content can be one of the important factors determining observable changes of a climate. Based on NCEP/NCAR Reanalysis data (<http://www.cdc.noaa.gov/>), a complex analysis of humidity and air temperature is carried out at standard isobaric levels at middle and high latitudes in the Northern hemisphere. It is shown that the atmospheric water vapor variations are produced, for the most part, by variations of the air temperature and radiation balance. The regulation mechanism of the water vapor amount in the atmosphere which explains the observable peculiarities in the water vapor content variations is proposed.

Введение

Испарение воды с земной поверхности является практически единственным процессом, обеспечивающим поступление водяного пара в атмосферу. Водяной пар является наиболее важным парниковым газом в атмосфере, поскольку имеет довольно высокую концентрацию и обладает мощными полосами поглощения в ближней, средней и дальней ИК-областях спектра. Поэтому изменение содержания водяного пара может быть одним из важных факторов, влияющих на наблюдаемые изменения климата.

Количественно содержание водяного пара в атмосфере выражают с помощью характеристик влажности. К числу основных характеристик влажности относятся: парциальное давление водяного пара, относительная влажность, массовая доля водяного пара (удельная влажность) [1, 2].

Содержание водяного пара в воздухе у земной поверхности имеет суточный и годовой ход. Выделяют два типа суточного хода парциального давления водяного пара и удельной влажности. Первый тип – простой, вполне аналогичный ходу температуры воздуха: влажность больше днем, когда температура выше. Этот тип проявляется при незначительном вертикальном обмене и при интенсивном испарении. Такой суточный ход обычно имеет место над обширными водными поверхностями (морями) и над континентами в зимнее время.

Второй тип суточного хода давления водяного пара и удельной влажности имеет вид двойной волны и характеризуется двумя максимумами: около 9–10 и 20–21 ч – и двумя минимумами: рано утром и в период наиболее развитой турбулентности в послеполуденные часы. Такой суточный ход обычно наблюдается на континентах в летнее время. Причиной двойного суточного хода влажности воздуха является развитие конвекции над сушей летом в дневные часы, которое сопровождается уменьшением содержания водяного пара в приземном слое из-за недостаточной скорости его поступления из почвы.

Годовой ход парциального давления пара и удельной влажности параллелен годовому ходу температуры: летом они больше, зимой меньше.

Суточный ход относительной влажности воздуха вблизи поверхности противоположен суточному ходу температуры. Амплитуда суточных колебаний относительной влажности велика на материках, особенно летом, и гораздо меньше над водными поверхностями. В горах и в свободной атмосфере суточный ход относительной влажности параллелен суточному ходу температуры.

В годовом ходе относительная влажность меняется противоположно температуре. Величины годовых амплитуд также в общем соответствуют значениям амплитуд температуры. С высотой годовые колебания влажности уменьшаются, и в верхней тропосфере они незначительны.

С высотой влажность убывает: уменьшение удельной влажности идет медленнее, чем парциального давления водяного пара. Относительная влажность в среднем также убывает с высотой [3, 4].

Целью работы является установление основного фактора, определяющего наблюдаемые изменения содержания водяного пара в атмосфере Северного полушария.

На основе данных NCEP/NCAR Reanalysis (<http://www.cdc.noaa.gov/>) проведен анализ характеристик влажности и температуры воздуха на стандартных изобарических поверхностях в умеренных и высоких широтах Северного полушария.

Результаты анализа

Проведенные нами исследования в работе [5] показали, что любое возрастание температуры приводит к увеличению количества водяного пара, так как при возрастании температуры увеличивается давление насыщающих паров (уравнение Клаузиуса–Клапейрона [4]), а испарение и дальнейший подъем, как правило, обеспечивают необходимое поступление пара.

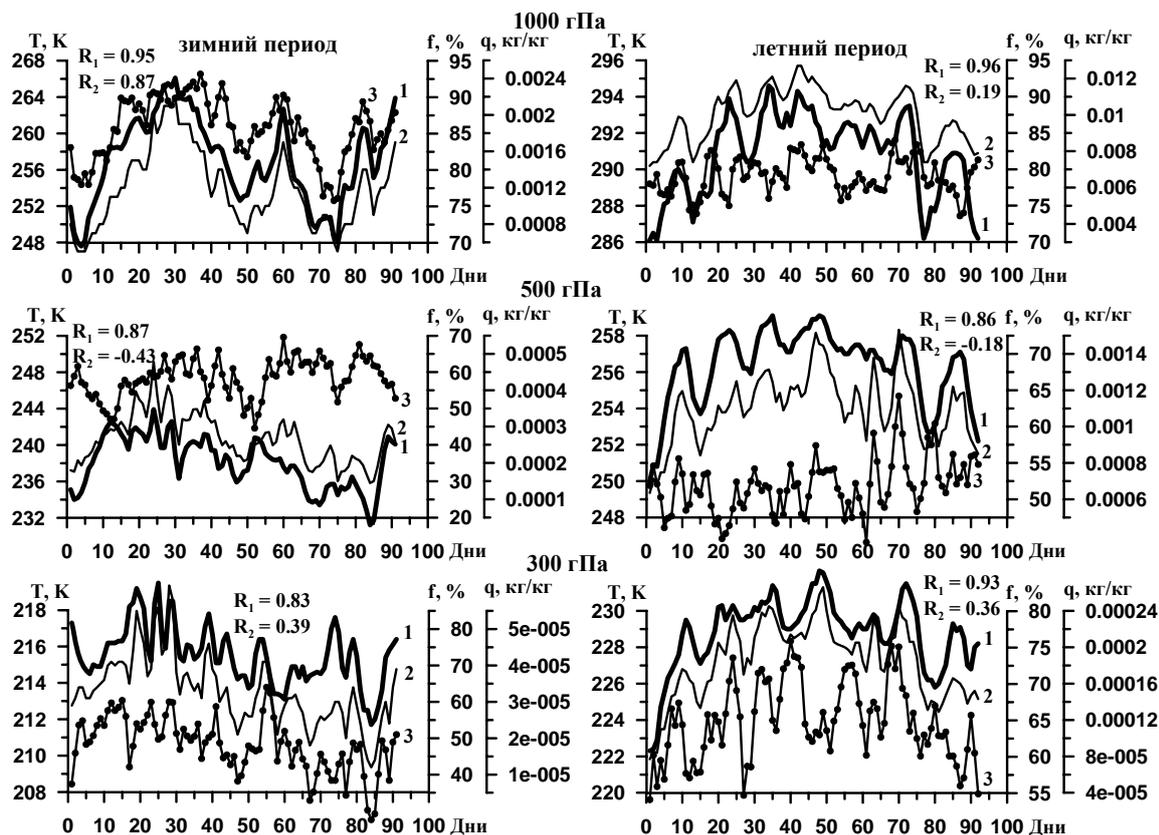


Рис. 1. Изменение температуры воздуха (1), удельной влажности (2) и относительной влажности (3) на стандартных изобарических поверхностях в сибирском секторе ($50-65^{\circ}$ с. ш., $60-119^{\circ}$ в.д.) для зимнего и летнего сезонов 1976 г.; R_1 – коэффициент корреляции между температурой воздуха и удельной влажностью, R_2 – коэффициент корреляции между температурой воздуха и относительной влажностью.

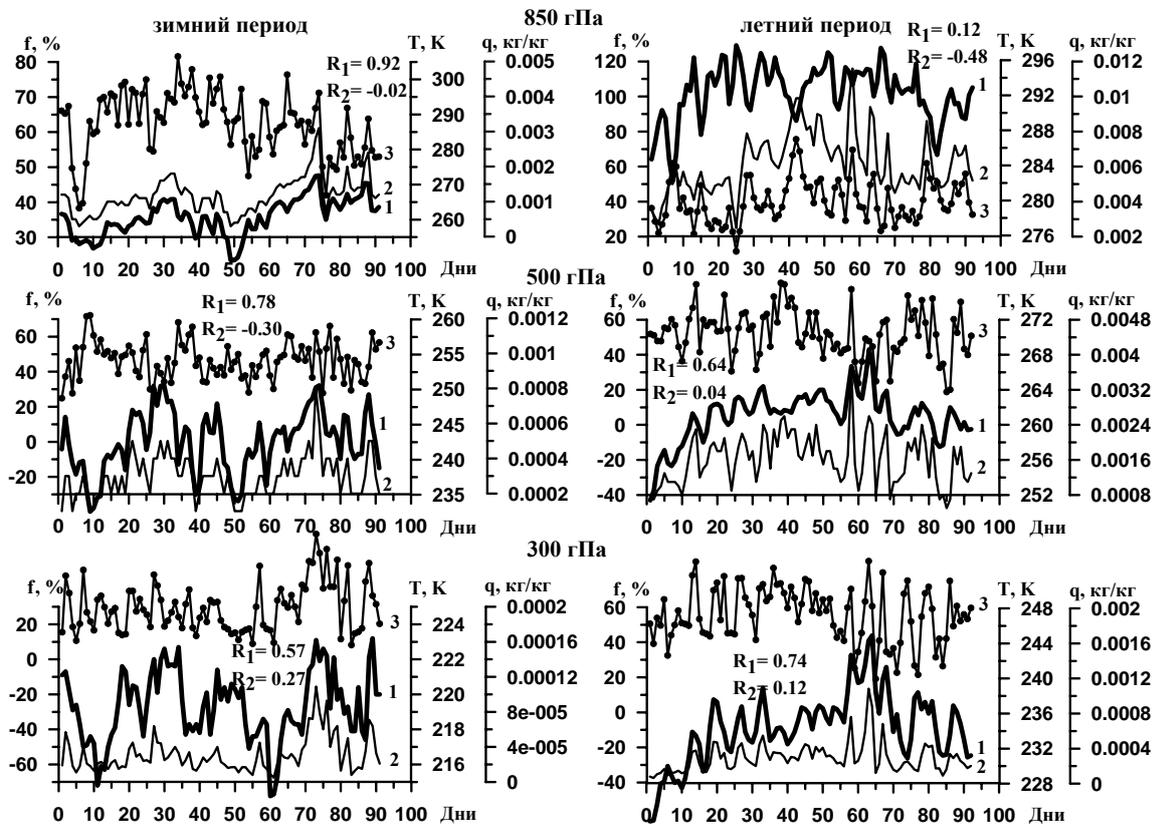


Рис. 2. Изменение температуры воздуха (1), удельной влажности (2) и относительной влажности (3) на стандартных изобарических поверхностях в пустыне Гоби для зимнего и летнего сезонов 1976 г.; R_1 – коэффициент корреляции между температурой воздуха и удельной влажностью, R_2 – коэффициент корреляции между температурой воздуха и относительной влажностью.

Изложенный выше механизм поступления водяного пара в атмосферу характерен в основном для приземного слоя. Анализ данных наблюдений показывает, что выше приземного слоя данный механизм нарушается и происходит смена механизма регулирования содержания водяного пара в атмосфере.

Поскольку водяной пар является парниковым газом, то при увеличении его содержания в данном объеме происходит усиление поглощения длинноволновой радиации, а следовательно, возрастание температуры. Таким образом, атмосфера с водяным паром обладает положительной обратной связью, и любое возрастание температуры будет приводить к увеличению содержания водяного пара и последующему возрастанию температуры.

Этот процесс остановится только тогда, когда либо содержание пара достигнет насыщения, либо радиационные потери энергии из данного объема компенсируют приток энергии в объем, вследствие чего остановится повышение температуры. Произвольное же уменьшение температуры будет приводить к тому, что пар станет насыщенным, а выделение скрытой теплоты при конденсации остановит дальнейшее охлаждение.

Изложенная выше особенность атмосферы, содержащей водяной пар, и несимметричность процессов, останавливающих неустойчивость, приводят к тому, что содержание водяного пара стремится достичь состояния насыщения, но в большей части атмосферы радиационные потери будут ограничивать содержание пара ниже уровня насыщения. В качестве иллюстрации описанных выше особенностей атмосферы на рис. 1 приведены вариации температуры воздуха, удельной и относительной влажности на стандартных изобарических поверхностях в сибирском (50 с. ш.–65 с. ш., 60° в. д.–119° в. д.) секторе Северного полушария для зимнего и летнего сезонов. Анализ рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что в основном именно условия радиационного баланса определяют содержание водяного пара в средней и верхней тропосфере.

Следует заметить, что нарушение работы данного механизма могут наблюдаться при быстрых изменениях радиационного баланса вблизи поверхности земли, когда скорость поступления пара в атмосферу будет оказываться недостаточно высокой: пустыни и некоторые внутриконтинентальные регионы в летний период. Рисунок 2 иллюстрирует отмеченную выше особенность связи между температурой и влажностью воздуха. Так, нарушение положительной корреляции между температурой воздуха и удельной влажностью действительно наблюдается в летний период над пустыней Гоби в слое от 1000 гПа до 600 гПа.

Заключение

Таким образом, содержание водяного пара и температура зависят от притока энергии в данный объем, если скорость поступления пара достаточно высока. В этом случае изменения удельной и относительной влажности будут коррелировать с температурой.

При быстрых изменениях радиационного баланса вблизи поверхности земли содержание водяного пара будет ограничиваться недостаточно высокой скоростью поступления пара в атмосферу (пустыни и некоторые внутриконтинентальные регионы в летний период). В этом случае удельная влажность будет коррелировать с температурой, относительная влажность – антикоррелировать.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, Программы ОНЗ РАН № 7.11.2 и проекта РФФИ № 06-05-81011-Бел_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др. Климатология. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 568 с.
2. Зуев В.Е., Титов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск.: Спектр, 1996. 272 с.
3. Хромов С.П., Петросянец М.А. Метеорология и климатология. М.: МГУ, 2001. 528 с.
4. Тверской П.Н. Курс метеорологии. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 700 с.
5. Караханян А.А., Жеребцов Г.А., Коваленко В.А. и др. Долговременные изменения характеристик влажности воздуха на территории Северного полушария во второй половине XX века // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 6. С. 559–566.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск