

О.А. Рубцова, В.А. Коваленко, С.И. Молодых

Проявление изолированных гелиогеофизических возмущений в высокоширотной тропосфере

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 3.12.2007 г.

Приведены результаты исследования отклика климатических характеристик высокоширотной тропосферы на изолированные гелиогеофизические возмущения (ГВ) (солнечные космические лучи, геомагнитные бури). Показано, что эти возмущения сопровождаются закономерным изменением динамики термобарического поля. Обнаружено, что после ГВ происходит изменение типичного зонального переноса, которое проявляется в том, что возникает «стабилизация» отдельных движущихся структур. Именно области стабилизации являются областями максимального отклика тропосферы на ГВ. Установлено, что после гелиогеофизических возмущений в отдельных высокоширотных областях нижней и средней тропосферы наблюдается значительное (до 15°) возрастание температуры, в то время как в верхней тропосфере — понижение. Изменение теплосодержания на широтах выше 50°, связанное с отдельными ГВ, может достигать нескольких процентов от амплитуды годового хода.

Введение

Вопрос о вкладе солнечной активности в изменение климатических характеристик до настоящего времени остается открытым. В большинстве работ, посвященных изучению влияния солнечной активности на климат, предполагается, что энергия, необходимая для изменения климатических характеристик тропосферы, должна обеспечиваться извне. В то же время известно, что изменения потока энергии, достигающего тропосферы Земли, за счет изменения солнечной активности малы по сравнению с запасом энергии в тропосфере и даже с энергией одного барического образования, например циклона. Таким образом, сигнал от гелиогеофизических характеристик приходится выделять на фоне мощных естественных возмущений.

В соответствии с предложенным авторами [1–3] физическим механизмом влияния солнечной активности на термобарические характеристики высокоширотной тропосферы связующим звеном между ними является атмосферное электричество. С одной стороны, параметры атмосферного электричества высокоширотных областей тропосферы подвержены влиянию солнечной активности, с другой — они могут посредством воздействия на высотное распределение метеорологических аэрозолей и, соответственно, на формирование облачности оказывать влияние на радиационный баланс в определенных областях атмосферы [4].

Отметим, что величина энергии, необходимая для такого влияния, может быть достаточно малой и не имеет принципиального значения.

Основными агентами солнечной активности, оказывающими влияние на погодно-климатические

характеристики тропосферы, являются параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, которые определяют геомагнитную активность и влияют на изменение электрического поля высокоширотной атмосферы. Кроме того, определенный вклад в изменение электрического поля высокоширотной тропосферы вносят большие потоки солнечных космических лучей (СКЛ), генерируемые во время солнечных вспышек.

Как СКЛ, так и геомагнитные бури приводят к изменению напряженности электрического поля в высокоширотной тропосфере и увеличению разности электрического потенциала ионосфера — Земля, вследствие этого происходят перераспределение по высоте заряженных ядер конденсации, образование облачности и изменение радиационного баланса.

Наиболее эффективно данный механизм работает в высокоширотных областях, в темное время суток или полярной ночью, когда отсутствует проходящий радиационный поток от Солнца. При этом образование облачности любого яруса будет приводить к увеличению температуры воздуха ниже уровня облакообразования и понижению температуры выше данного уровня вследствие уменьшения потока тепла от нижележащих слоев атмосферы.

Необходимо подчеркнуть, что на особенности проявления в конкретных региональных областях значительное влияние будут оказывать топография, характеристики подстилающей поверхности и атмосферная циркуляция.

В данной статье представлен комплексный анализ отклика термобарических характеристик тропосферы на отдельные гелиогеофизические возмущения.

Анализ пространственно-временного распределения отклика термобарических характеристик тропосферы на изолированные гелиогеофизические возмущения

На основе архива данных NCEP/NCAR Reanalysis был проведен анализ отклика тропосферы на вторжение anomalно больших потоков солнечных космических лучей в период 1968–2005 гг. Следует отметить, что, как правило, через 1–2 сут после вторжения СКЛ наблюдаются значительные геомагнитные бури и суббури.

Для каждого события на основе данных NCEP/NCAR Reanalysis были построены ежедневные карты аномалий средней температуры слоя тропосферы (925–450 гПа) для Северного полушария. На основе этих карт был проведен анализ изменений поля давления и температуры для стандартных уровней высокоширотной тропосферы в период anomalных гелиогеофизических возмущений (ГГВ). В предыдущей работе [5] обнаружено, что после ГГВ наблюдается изменение типичного зонального переноса, которое проявляется в том, что

возникает «стабионирование» отдельных движущихся структур. Кроме того, оказалось, что именно области «стабионирования» являются областями максимального отклика тропосферы на ГГВ.

В качестве примера на рис. 1 представлены характеристики одного из типичных событий. Anomalно большой поток СКЛ наблюдался 31.01.1982 г. В качестве реперной даты (0-й день) выбран день прихода потока СКЛ. В этот период также наблюдалась умеренная геомагнитная буря. Это можно видеть по данным индексов геомагнитной активности Ae и Dst.

Этот случай соответствует суммарному воздействию двух составляющих гелиогеофизической возмущенности, которые оказывают влияние на электрическое поле высокоширотной тропосферы — потока солнечных космических лучей и магнитосферной конвекции. Различия отклика на эти события заключается лишь в локализации областей максимального проявления. Для СКЛ область максимального проявления — район геомагнитного полюса, в то время как для геомагнитных бурь — это область аврорального овала.

Последовательные изменения высотного профиля отклонений температуры воздуха на стандартных изобарических уровнях приведены на рис. 2.

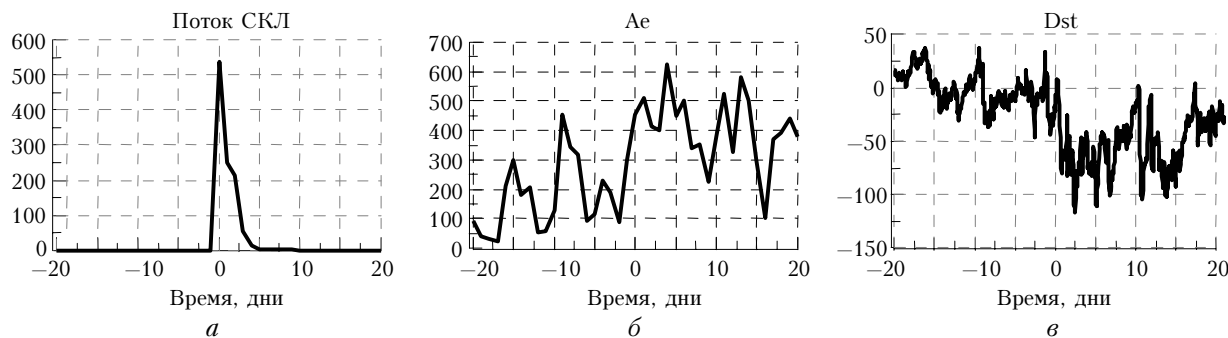


Рис. 1. Характеристики гелиогеофизического возмущения: *a* — поток солнечных космических лучей; *б* — индекс Ae; *в* — индекс Dst

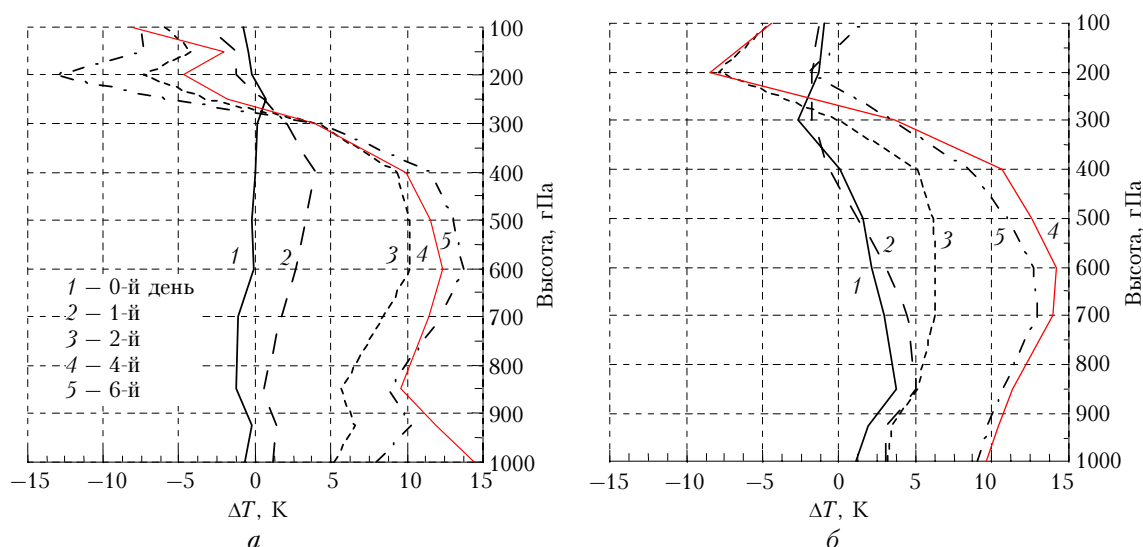


Рис. 2. Высотный профиль отклонений температуры воздуха от дня, предшествующего началу ГГВ, в области «стабионирования» для двух событий anomalно больших потоков СКЛ: *a* — в период с 31 января по 06 февраля 1982 г. в области 60–70° с.ш., 140–160° з.д.; *б* — в период с 07 по 12 ноября 2004 г. в области 55–65° с.ш., 140–150° з.д.

По данным, приведенным на рис. 2,а, можно видеть, что в первый же день после ГГВ начинается некоторое возрастание температуры воздуха от поверхности Земли до уровня 300 гПа, которое достигает максимальной величины на 4-й день (до 15°), в то время как выше уровня 300 гПа наблюдается понижение температуры.

Аналогичные закономерности изменений высотного профиля температуры после ГГВ характерны и для другого случая (07 ноября 2004 г., 0-й день), рис. 2,б. В отличие от предыдущего события экстремальная магнитная буря последовала на 2-й день после прихода потока СКЛ. Так же как и в первом случае, наблюдаются возрастание температуры воздуха от поверхности Земли до уровня 300 гПа и уменьшение температуры выше этого уровня. Максимальный рост температуры воздуха в области стационарирования наблюдается на 4-й день в слое 500–700 гПа.

Значительное влияние на особенности проявления в конкретных областях оказывает подстилающая поверхность. Наблюдается существенное различие отклика над сушей и океаном, проявляющееся, прежде всего, в изменении температуры вблизи подстилающей поверхности: над океаном возрастание температуры практически не заметно, в то время как над сушей температура возрастает значительно, превышая средний уровень. Это различие обусловлено тем, что баланс энергии высокоширотных областей в холодный период времени в значительной степени обеспечивается меридиональным потоком тепла (притоком тепла от низкоширотных областей). В период воздействия ГГВ в областях проявления, вследствие облакообразования в верхней тропосфере, уменьшается радиационное выхолаживание, изменяется радиационный баланс, при этом возрастает температура средней и нижней тропосферы и возрастает поток тепла к Земле, который и определяет увеличение приземной температуры воздуха. Значительное различие теплоемкости океана и суши приводит к тому, что приземная температура воздуха над океаном изменяется незначительно.

Изменения циркуляции в высокоширотной тропосфере в период ГГВ

Изменения в распределении температуры в тропосфере сопровождаются соответствующими изменениями циркуляции тропосферы. Подробный анализ карт термобарических полей в период воздействия ГГВ показывает, что после события происходят нарушение зонального переноса и изменение профиля высотной фронтальной зоны.

Процессы блокирования, проявляющиеся в виде сильных тропосферных гребней тепла, наиболее выражены в районе северной части Тихого океана (рис. 3).

Кроме того, в этой области в широтной зоне 40–70° с.ш. после ГГВ происходит уменьшение ме-

ридиональных градиентов температуры. До ГГВ разность температур на уровне 500 гПа между широтами 40–70° составляла 15–20° в области проявления. На 4-й день после ГГВ эта разность уменьшилась до 5°.

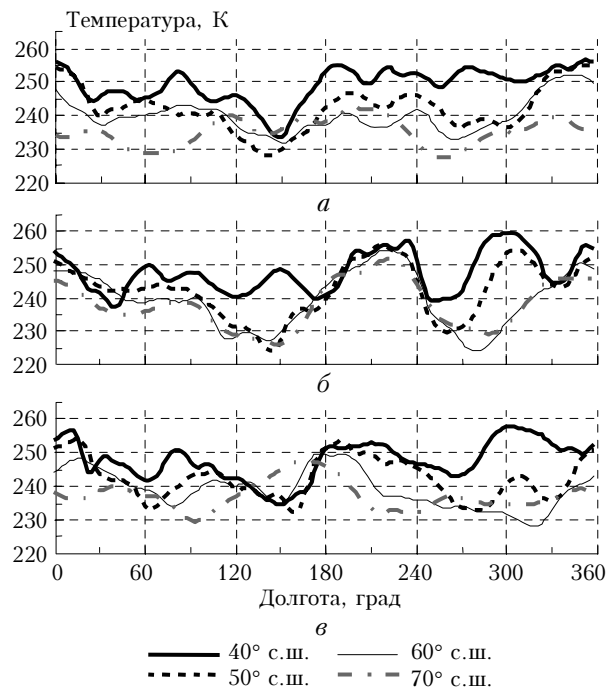


Рис. 3. Зональное распределение температуры воздуха на поверхности 500 гПа: а – в день, предшествующий ГГВ 30.01.1982; б – на 4-й день после ГГВ 04.02.1982; в – на 10-й день после ГГВ 10.02.1982 г.

В целом, процесс блокирования длится от 3 до 5 дней. После того как меридиональный обмен воздушными массами достигнет максимума, происходят смена типов циркуляции и восстановление зонального переноса.

Таким образом, наблюдаемые закономерности изменений циркуляции в полярных широтах полностью соответствуют ожидаемым в рамках рассматриваемой модели воздействия ГГВ на термобарическое поле тропосферы.

Особенности изменения теплосодержания высокоширотной тропосферы после отдельных ГГВ

Анализ изменения теплосодержания тропосферы 925–500 гПа в областях проявления и для всей широтной зоны 50–90° с.ш., вызванного отдельными ГГВ, показал, что наблюдается возрастание теплосодержания, которое может достигать нескольких процентов от амплитуды сезонного хода.

На рис. 4 представлен график изменения аномалий среднего зонального теплосодержания в зоне 50–90° с.ш., полученный методом наложенных эпох для 13 событий. Очевидно, что после ГГВ наблюдается значительное увеличение теплосодержания (до 2%).

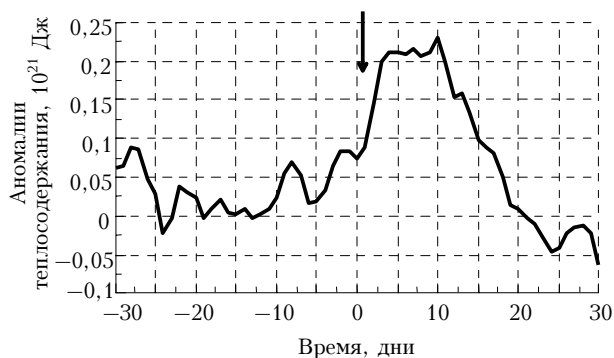


Рис. 4. Отклонения среднего зонального теплосодержания в интервале 50–90° с.ш. для 13 ГГВ (метод наложенных эпох)

Необходимо отметить, что реальное увеличение теплосодержания климатической системы будет значительно большее, так как здесь не были учтены потоки тепла в подстилающую поверхность (особенно в океан), а также скрытое тепло.

Основные результаты

Комплексный анализ отклика термобарических характеристик тропосферы на отдельные гелиогеофизические возмущения показал, что эти возмущения сопровождаются закономерным изменением динамики термобарического поля.

Установлено, что после ГГВ происходит изменение типичного зонального переноса, которое проявляется в том, что возникает «стабилизация» отдельных движущихся структур.

В отдельных высокоширотных областях нижней и средней тропосферы наблюдается значитель-

ное (до 15°) возрастание температуры, в то время как в верхней тропосфере – понижение.

Выявлено возрастание теплосодержания слоя атмосферы 925–500 гПа в областях «стабилизации» и широтной зоне 50–90° с.ш., достигающее нескольких процентов от амплитуды годового хода.

Выявленные закономерности находят полное объяснение в рамках модели и механизма воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы, предложенных авторами [1–4].

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

1. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1042–1050.
2. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. The effect of solar activity on the Earth's climate changes // Mem. Soc. astron. ital. 2006. V. 76. N 4. P. 1076–1079.
3. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Радиационный баланс атмосферы и климатические проявления солнечной переменности // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 12. С. 1003–1017.
4. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere // Adv. Space Res. 2005. V. 35. N 8. P. 1472–1479.
5. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А., Васильева Л.А., Микуцкий В.С. Воздействие солнечной активности на тропосферу Земли // Солнечно-земная физика. 2007. Вып. 10. С. 5–9.

O.A. Rubtsova, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh. Manifestation of isolated heliogeophysical disturbances in the high-latitude troposphere.

The results are presented of the research into the response of high-latitude troposphere climatic characteristics to isolated heliogeophysical disturbances (HGD) (solar cosmic rays, geomagnetic storms). It is shown that these disturbances are accompanied by regular changes of the thermobaric field dynamics. It has been found that the typical zonal transfer disturbance, which manifests itself in appearance «quiesce» of isolated moving structures, takes place after HGD. It is precisely these stationary regions which are of maximal troposphere response to HGD. It has been established that after heliogeophysical disturbances in the isolated high-latitude regions of the lower and middle troposphere, there can be observed a significant (up to 15°) temperature increase, while in the upper troposphere – its decrease. Heat content change in latitudes over 50° related to isolated HGD can reach several percents of the annual variation amplitude. The revealed regularities are totally explicable on the basis of the model and mechanism of the solar activity influence on the troposphere climatic characteristics previously suggested by the authors.