

А.В. Веницкий, В.В. Казанцева

Взаимосвязь изменений параметров нижней атмосферы, характеристик ионосферы и геомагнитного поля на Северо-Востоке России

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
п. Паратунка Камчатской обл.*

Поступила в редакцию 17.09.2001 г.

Рассмотрены взаимосвязи изменений параметров тропосферы, нижней стратосферы с характеристиками ионосферы, геомагнитного поля, их зависимость от уровня солнечной и геомагнитной активности на границе центров действия атмосферы. Показана значимая статистическая связь изменений приземного давления с уровнем геомагнитной активности, причем знак связи меняется в зависимости от времени года. Температура тропосферы, нижней стратосферы меняется согласованно с вариациями околополуночной высоты нижней части области *F*-ионосферы, тесно связанными со значениями горизонтальной составляющей и склонения геомагнитного поля в максимумах их суточного хода.

Полученные связи могут быть использованы для решения проблем долгосрочного и краткосрочного прогнозов погодных условий на Северо-Востоке России.

Мнение о необходимости использования информации об изменении параметров околоземного космического пространства, солнечной активности для характеристики состояния нижних слоев земной атмосферы высказывалось давно и доказывается в настоящее время многими исследователями. Основой для этого служит соответствие между изменениями атмосферных параметров на различных высотах и их связь с процессами на Солнце, в межпланетном пространстве, с геомагнитной активностью [1–18].

Выполненные на большом статистическом материале исследования последних лет [2, 4, 6, 10, 14, 18] показали существенное воздействие солнечных и галактических космических лучей на термобарические характеристики нижней атмосферы, особенности ее циркуляционного режима, условия формирования облачности, концентрацию озона. Анализ изменений приземного барического поля в периоды геомагнитных возмущений, по данным за период с 1890 по 1966 г. [16], подтвердил неоднородную пространственную картину вариаций давления [13], достигающих в некоторых долготных интервалах 10 гПа. Причем в [13] были исключены из рассмотрения случаи вторжения в атмосферу высокоэнергичных солнечных протонов.

В [12, 17] показано, что на температурный и циркуляционный режимы нижней и средней атмосферы влияет изменение параметров солнечного ветра. Также установлено, что воздействие солнечной активности на атмосферные процессы зависит от состояния самой атмосферы, в частности от фазы квазидвухлетнего цикла [2, 12].

Недавний обзор результатов отечественных и зарубежных исследований по данной проблеме [19] позволил сделать вывод, что корреляционные связи между изменениями параметров тропосферы и индексами солнечной, геомагнитной активности для различных областей земного шара могут отсутствовать или быть статистически значимыми, но различными по знаку. Даже в одном месте связи могут менять знак в зависимости от фазы квазидвухлетних вариаций.

Многообразие установленных связей, их зависимость от региональных условий делают актуальным продолжение исследований поведения атмосферы на различных высотах в тех районах земного шара, где можно ожидать более рельефное проявление влияния космических факторов. В настоящей статье представлены результаты исследования связи поведения атмосферы, ионосферы с солнечной и геомагнитной активностью в условиях Северо-Востока России. Условия данного региона позволяют надеяться на получение четких закономерностей по следующим причинам.

Во-первых, с точки зрения ситуации в приземном слое атмосферы, где ее состояние формируется под влиянием двух пар мощных центров действия: азиатского антициклона и алеутской барической депрессии зимой, азиатской барической депрессии и северотихоокеанского антициклона летом. Регион находится, как правило, на границе этих образований.

Во-вторых, вследствие экстремальных условий и в верхней тропосфере в зимний период над рассматриваемым регионом расположена развитая барическая ложбина.

В-третьих, данная долготная зона находится в околополуночном и околополуночном секторах при максимальном развитии магнитной активности в соответствии с УТ-вариацией в летний и зимний сезоны соответственно, что дает возможность эффективно исследовать процессы передачи энергии с высоких широт на средние.

Для анализа использовались данные аэрологического зондирования атмосферы в г. Магадане и вертикального радиозондирования ионосферы, наблюдений вариаций геомагнитного поля в п. Стекольный, расположенном в 72 км к северу (обсерватория «Магадан» $\varphi = 60^{\circ}07'$ с.ш.; $\lambda = 151^{\circ}01'$ в.д.; $\Phi = 50,2^{\circ}$; $\Lambda = 210,8^{\circ}$), за период 1966–1987 гг.

Среднемесячные значения давления *P* на высоте 120 м над уровнем моря (рис. 1) показывают существование особенностей среднего хода *P* в нижней тропосфере, оно наибольшее весной – в начале лета и наименьшее в

первую половину зимы. В конце зимы – весной над рассматриваемым регионом объединяются разрушающийся азиатский антициклон и усиливающийся северотихоокеанский барический максимум, а в первую половину зимы он находится в зоне действия камчатско-алеутского циклонического очага. В некоторые годы формируется полугодовая вариация P с дополнительным минимумом в конце лета и максимумом осенью, что говорит о резком смещении в августе на регион северотихоокеанского антициклона.

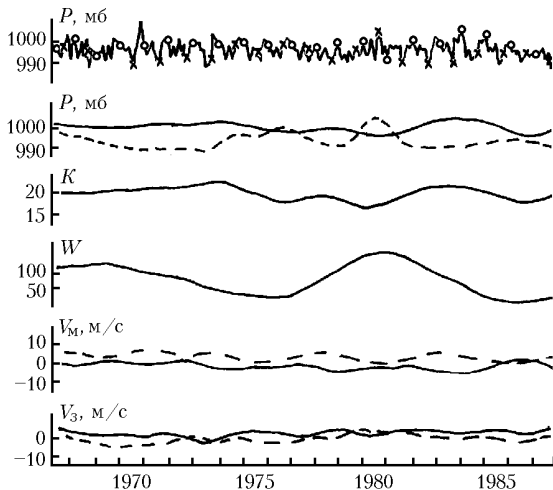


Рис. 1. Временные изменения среднемесячных значений P (○ – апрельские, × – декабрьские, средние за апрель–май значения P – сплошные линии, за ноябрь–декабрь – пунктирные); среднегодовых значений K -индекса и чисел Вольфа; меридиональной и зональной скоростей ветра на уровне 500 мб (сплошная линия – средние за апрель–май, штриховая – за ноябрь–декабрь)

Наблюдаются существенные изменения характера годового хода от года к году. В периоды 1971–1974 и 1982–1984 гг. в ноябре–декабре давление достигало очень низких значений, в то время как весенне-летние значения P были наибольшими. В эти годы размах годового хода давления был максимальным. Наряду с этим существуют периоды (1969, 1975–1977, 1980–1981, 1986–1987 гг.), когда размах изменений P в течение года существенно уменьшается. В 1980 г. характер годового хода давления стал иным: в декабре значения P превышают значения давления во все другие месяцы года. Эти изменения характера годового хода P от года к году хорошо прослеживаются по средним за ноябрь–декабрь и апрель–май значениям P (см. рис. 1).

Сопоставление указанной закономерности с изменениями солнечной и геомагнитной активности позволяет сделать вывод, что имеет место тенденция к увеличению разницы значений P в конце зимы и начале лета в периоды повышенных значений K -индекса. В годы с низким уровнем геомагнитной активности наблюдается их небольшое различие или даже превышение зимних значений над летними (в период очень низкой магнитной активности 1980 г.).

Расчет коэффициентов корреляции показал, что среднее за ноябрь–декабрь давление антикоррелировано со среднегодовым значением K -индекса с коэффициентом корреляции 0,83, а в конце весны – начале лета имеет место прямая корреляция с коэффициентом 0,76. Геомагнитная активность обычно имеет два максимума: меньший – на фазе роста 11-летнего цикла солнечной активности и больший – на фазе спада.

Полученные результаты хорошо согласуются с выводами о двойной волне в вариациях приземного давления в зимний период в области азиатского антициклона в течение 11-летнего цикла [5] и показывают, что такая двойная волна наблюдается и в летний период, только обратного знака.

При увеличении геомагнитной возмущенности происходит смещение на Тихоокеанское побережье России зимой алеутской барической депрессии, а летом тихоокеанского антициклона. В работах [5, 16] также показано, что в периоды повышенной геомагнитной активности в зимнее время изменения давления в нижней тропосфере в различных регионах северного полушария происходят согласованно, причем уменьшение P наблюдается на Северо-Востоке России, над Восточной Сибирью и северной частью Западной Европы, область повышенных значений P охватывает Западную Сибирь и европейскую территорию России.

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что, по-видимому, смещение центров действия атмосферы в зависимости от геомагнитной активности имеет глобальный характер как в зимний, так и в летний период и надежно фиксируется по изменению давления на границах. Описанные выше смещения барических образований над регионом проявляются и в изменении динамического режима.

На рис. 1 представлены изменения зональной (V_Z) и меридиональной (V_M) компонент ветра на уровне 500 мб, причем положительные значения соответствуют переносу с запада и юга. При понижении давления над пунктом наблюдения происходит усиление южного ветра и уменьшение западного переноса, или перемена ветра на восточный.

Анализ вариаций температуры на высотах тропосферы–нижней стратосферы показал существование больших длиннопериодных ее изменений (рис. 2, 3).

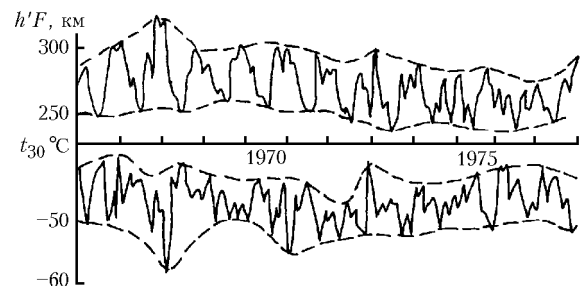


Рис. 2. Вариации среднемесячных значений действующей высоты $h'F$ и температуры на уровне 30 мб за период 1966–1977 гг.

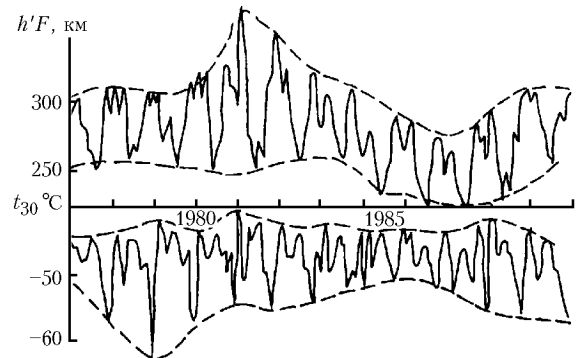


Рис. 3. Те же параметры, что и на рис. 2, за период 1978–1989 гг.

Среднемесячные значения температуры на уровне 30 мб (t_{30}) испытывают увеличение размаха годовой вариации в районе максимумов 11-летнего цикла солнечной активности. В еще большей степени он возрастает вблизи максимумов геомагнитной возмущенности. Годовая вариация усиливается в основном за счет понижения низких температур, наблюдающихся в конце года и являющихся особенностью регулярного годового хода t_{30} . Особенности такого регулярного годового хода проявляются устойчиво в течение всего рассматриваемого периода наблюдений. Достигая наименьших значений в конце года, t_{30} резко возрастает к началу следующего и далее, в течение года, в среднем понижается. Часто весной формируется резкий, но менее глубокий по сравнению с основным минимумом. Соотношение сформировавшихся экстремумов сильно меняется от года к году в связи с солнечной и геомагнитной активностью, что хорошо иллюстрируют штриховые кривые, проведенные по наибольшим и наименьшим в течение года значениям.

Дисперсия значений температуры является наименьшей в 1974, 1977–1985 гг. и увеличивается в 1967–1968, 1978–1983, 1989 гг. Таким образом, в температурных изменениях проявляется суперпозиция влияния W и K -индекса.

На рис. 2, 3 представлены также вариации среднемесячных значений действующей высоты отражения радиоволн от F -области ионосферы $h'F$ при вертикальном зондировании для ночного временного интервала 22–02 ч. Данный параметр имеет четкий годовой ход с максимумом в зимнее время и минимумом в летнее. В некоторые годы формируется сравнительно неглубокий зимний минимум, тогда максимальные значения $h'F$ наблюдаются в периоды, близкие к весеннему и осеннему равноденствиям. Соотношение экстремумов $h'F$ сильно изменяется от года к году. Наибольшая амплитуда вариаций $h'F$ в течение года была в 1967–1968, 1970–1973, 1978–1983, 1989 гг. и уменьшалась в 1974, 1977, 1986 гг.

Сопоставление хода огибающих $h'F$ и t_{30} показывает их соответствие с коэффициентом корреляции $\sim 0,7$. Существует тенденция к уменьшению значений t_{30} в периоды высоких значений $h'F$. В обоих рассматриваемых параметрах проявляется совокупное влияние солнечной и геомагнитной активности. Наибольшие значения $h'F$ и наименьшие значения t_{30} наблюдаются в периоды, близкие к максимумам 11-летних циклов солнечной активности на фазе спада в годы наиболее высокой геомагнитной активности. Сравнительно слабая 11-летняя вариация выражена в огибающей наибольших за год значений t_{30} , хотя в минимальных значениях $h'F$ она проявляется достаточно сильно.

Многофакторный регрессионный анализ показал, что $\sim 50\%$ межгодовой изменчивости декабрьских значений $h'F$ и t_{30} связано с изменениями W и $\sim 30\%$ обусловлено геомагнитной активностью.

В [20] была построена единая схема движений на высотах стратосферы-термосферы, основанная на существующих экспериментальных данных и объединяющая доминирующие течения на различных высотах. Было показано, что описанные выше изменения $h'F$ тесно связаны со значениями горизонтальной составляющей и склонения геомагнитного поля в максимумах их суточного хода, характеризующими интенсивность S_{q2} -вихря S_q -токовой системы. Последнее определяется динамическим режимом на высотах мезосферы – нижней термосферы.

Рассматриваемые изменения t_{30} с коэффициентом корреляции $\sim 0,8$ связаны с зональной скоростью ветра на уровне 30 мб. Увеличению $h'F$, охлаждению нижней стратосферы соответствуют усиление западного переноса, а также нагрев в нижней тропосфере. Изменение зональной компоненты ветра на 30 мб имеет циклическую вариацию, соответствующую $h'F$, в которой экстремумы смещены относительно максимумов 11-летнего цикла солнечной активности вследствие влияния геомагнитной активности.

Интересно отметить, что меридиональная компонента ветра в нижней стратосфере изменяется синхронно с ее вариациями на уровне 500 мб и, как описано выше, связана с уровнем геомагнитной возмущенности.

Полученные результаты хорошо согласуются с выводами [9] о преобладающем влиянии 11-летнего цикла солнечной активности на зональный перенос в стратосфере и геомагнитной активности на меридиональный, основанными на данных ракетного зондирования в американском долготном секторе.

Для изучения соответствия вариаций ночных значений $h'F$ с атмосферными характеристиками с большим временным разрешением были рассмотрены отклонения средних декадных значений атмосферных и ионосферных параметров от среднего многолетнего годового хода.

На рис. 4 представлены данные об отклонениях действующих высот отражения от ионосферы ($\Delta h'F$) и температуры на уровне 500 мб (Δt_{500}), приведены также средние за декаду значения K -индекса. Наблюдаются значительные отклонения ионосферных и атмосферных параметров от среднего многолетнего хода. Чаще положительные отклонения $h'F$ и t_{500} увеличиваются в периоды, близкие к осеннему и весеннему равноденствиям, и уменьшаются или становятся отрицательными при переходе к зимнему и летнему солнцестояниям.

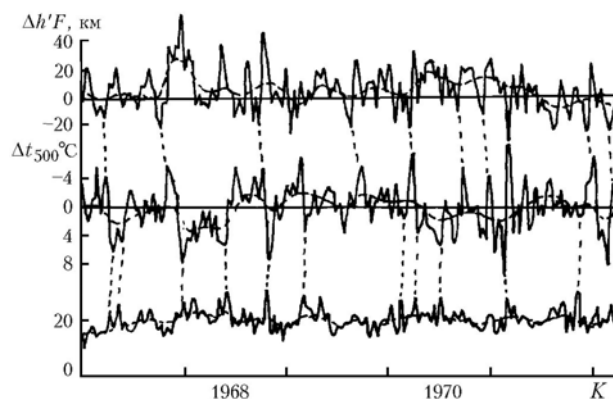


Рис. 4. Изменение среднедекадных отклонений $\Delta h'F$, Δt_{500} и среднедекадных значений K -индекса. Пунктирная линия – скользящее среднее

Такая же закономерность хорошо прослеживается в изменениях декадных значений K -индекса. Наблюдается соответствие между вариациями среднедекадных отклонений $\Delta h'F$, Δt_{500} и K -индекса. Увеличение геомагнитной возмущенности сопровождается ростом ночных значений $h'F$ и затем относительным потеплением на уровне 500 мб. Наибольшие значения коэффициента корреляции 0,79 между временными рядами $\Delta h'F$ и K -индекса получены при нулевом временном сдвиге, аналогичная величина, расчи-

танная для временных рядов $\Delta h'F$ и Δt_{500} , дает значение 0,65 в случае запаздывания вариаций Δt_{500} на декаду.

Полученные связи могут быть использованы для долгосрочного и краткосрочного прогнозов погодных условий в рассматриваемом регионе и поиске аналогичных связей в других климатических районах.

1. *Колебания климата за последнее тысячелетие* / Под ред. Е.П. Борисенкова. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 408 с.
2. *Беспрозванная А.С., Оль Г.И., Трошичев О.А., Сазонов Б.И., Щерба И.А., Шука Т.Н.* Влияние космофизических факторов на возмущения барического поля полярной стратосферы / Геомагнетизм и аэрон. 1995. Т. 35. № 3. С. 137–140.
3. *Веретенко С.В., Пудовкин М.И.* Вариации общей облачности в ходе всплесков солнечных космических лучей / Геомагнетизм и аэрон. 1996. Т. 36. № 1. С. 153–156.
4. *Веретенко С.В., Пудовкин М.И.* Влияние вариаций галактических космических лучей на поступление солнечной радиации в нижнюю атмосферу / Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 2. С. 55–60.
5. *Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И.* Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 351 с.
6. *Вовк В.Я., Егорова Л.В., Москвин И.В., Ульянов В.А.* Эффекты вариаций космического излучения в характеристиках атмосферного давления в районе южного геомагнитного полюса / Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 3. С. 163–167.
7. *Герман Д.Р., Гольдберг Р.А.* Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 319 с.
8. *Логонов В.Ф., Сазонов В.И.* Солнечно-атмосферные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 115 с.
9. *Логонов В.Ф., Ракипова Л.Р., Сухомазова Г.И.* Эффекты солнечной активности в стратосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 80 с.
10. *Либин И.Я., Гущина Р.Т., Лейва А., Перес-Пераза Х., Юдахин К.Ф., Яани А.Э.* Изменения солнечной активности и их возможное влияние на долговременные вариации приземной температуры // Геомагнетизм и аэрон. 1996. Т. 36. № 5. С. 115–119.
11. *Мак-Норман Б., Селиги Т.* Солнечно-земные связи, погода и климат. М.: Мир, 1982. 380 с.
12. *Макарова Л.Н., Широков А.В., Григорьева Ю.А., Волобуев Д.М.* Связь вариаций теплового режима средней атмосферы высоких широт с процессами в солнечном ветре // Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 3. С. 158–162.
13. *Мустель Э.Р.* О реальности воздействия солнечных корпускулярных потоков на нижние слои земной атмосферы // Науч. информ. Астроном. Совета АН СССР. 1972. Вып. 24. С. 6–55.
14. *Пудовкин М.И., Распопов О.М.* Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрон. 1992. Т. 32. № 5. С. 1–22.
15. *Ракипова Л.Р.* Динамика верхних слоев атмосферы и солнечно-атмосферные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 103 с.
16. *Смирнов Р.В., Кононович Э.В.* Проявление гелио-геомагнитной активности в преобразованиях циркуляционных форм в тропосфере // Изв. вузов. Радиофиз. 1996. Т. 39. № 10. С. 1335–1341.
17. *Сытинский А.Д., Оборин Д.А.* Воздействие возмущений межпланетной среды на сейсмичность и атмосферу Земли / Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 2. С. 138–141.
18. *Шушилов О.И., Касаткина Е.А., Распопов О.М., Хенриксен К.* Воздействие форбуш-понижений галактических космических лучей на озоновый слой / Геомагнетизм и аэрон. 1997. Т. 37. № 1. С. 24–31.
19. *Авдюшин С.И., Данилов А.Д.* Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) / Геомагнетизм и аэрон. 2000. Т. 40. № 5. С. 3–14.
20. *Виницкий А.В.* Единство циркуляции на высотах стратосферы–термосферы вследствие объединения доминирующих воздушных течений / Исследования по геомагнетизму, аэронеми и физике Солнца. 1999. Вып. 109. Ч. II. С. 54–61.

A.V. Vinitzky, V.V. Kazantseva. **The relationships of low-atmospheric parameters with ionospheric and geomagnetic characteristics in the North-East of Russia.**

The relationships between tropospheric, low-stratospheric, ionospheric, and geomagnetic characteristics and their dependence on solar and geomagnetic activity at the boundary of atmospheric centers of action are considered. Significant correlation of the ground level pressure with geomagnetic activity is obtained. Its sign changes during a year. Tropospheric and low-stratospheric temperature variations are in accordance with near-midnight value of the height of the ionospheric F -region bottom. The later agrees to variations of the horizontal component and declination of geomagnetic field in their maximum during the day. The obtained relations may be used in solving the problem of long-range and short-range weather forecast in the North-East Russia.