

В. П. АНТОНОВА¹, С. В. КРЮКОВ¹, Қ. Е. НҮРФАЛИЕВА², Н. Т. ОРАЗЫМБЕТОВА²

¹ДТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан,

²КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

ВЛИЯНИЕ СПОРАДИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ВЫСОКОГОРНОЙ ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ СТАНЦИИ

Аннотация. В работе исследовалось воздействие спорадических проявлений солнечной активности (выбросы корональных масс, солнечные вспышки) на атмосферное давление на основе экспериментальных данных высокогорной Тянь-Шаньской станции за 23-й цикл солнечной активности в рамках современных представлений о физических процессах в околоземном космическом пространстве, включающих солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, магнитосферу. Установлено, что главным звеном в механизме влияния солнечной активности на изменение циркуляции в нижней атмосфере являются космические лучи. Определено, что ~ 80% форбуш-понижений галактических космических лучей (ГКЛ) сопровождается понижением атмосферного давления на высокогорной станции спустя 1-3 суток независимо от геомагнитных условий. Изучение проблемы влияния солнечной активности на состояние нижней атмосферы (атмосферное давление) имеет практическую значимость, поскольку конечным результатом является возможность прогнозирования погоды с целью предупреждения ее негативных последствий.

Ключевые слова: солнечно-земные связи, выбросы корональных масс, космические лучи, атмосферное давление.

Тірек сөздер: күн-жер байланыстары, тәждік массаның шығарылуы, ғарыштық сәулелер, атмосфера қысымы.

Keywords: solar-terrestrial relations, coronal mass ejections, cosmic rays, atmospheric pressure.

Введение. За последние десятилетия наши знания продвинулись далеко вперед в понимании проблемы связи крупномасштабных атмосферных возмущений в нижней атмосфере, в частности, в атмосферном давлении с состоянием ближнего космоса, с солнечной активностью и вариациями потока космических лучей [1]. Эта проблема вызвала оживленную дискуссию вследствие того, что мощность атмосферных процессов на несколько порядков превышает поток энергии, вносимой в околоземное космическое пространство солнечным ветром [2]. Предложенные современные механизмы передачи и трансформации энергии от Солнца к атмосфере Земли устраняют это главное противоречие, и в настоящее время уже нет сомнений о реальности воздействия солнечной активности на нижнюю атмосферу и погоду [3-8]. Однако они не объясняют всего многообразия экспериментальных данных и взаимно противоречивы. До сих пор ни один механизм передачи возмущений от Солнца в нижнюю атмосферу Земли не признан всеобъемлющим, не получено универсальных зависимостей атмосферных параметров от космофизических факторов, региональных условий, орографии. Поэтому исследования в этом направлении являются актуальными. Несомненный интерес представляет воздействие спорадических проявлений солнечной активности (выбросы корональных масс и солнечные вспышки) на атмосферное давление на уровне гор, которое является целью проводимого исследования.

Экспериментальные данные, результаты исследования. Выброс корональных масс, СМЕ (от английского Coronal Mass Ejection), связан с мощным энерговыделением на Солнце. Это взрывное спорадическое явление, возмущающее состояние межпланетной среды (космическую погоду) и околоземного космического пространства может вызвать резкое понижение интенсивности галактических космических лучей (форбуш-эффект), развитие сильной геомагнитной бури и сопутствующие им события.

Для исследования воздействия СМЕ на изменение атмосферного давления использовались следующие экспериментальные данные: скорость солнечного ветра и состояние межпланетного магнитного поля (ММП) из архивов NASA SPDF (Space Physics data facility), интенсивность нейтронной компоненты космических лучей (КЛ) и атмосферное давление, измеряемые на высокогорной станции космических лучей Института ионосферы (3340 м над уровнем моря),

значения геомагнитного поля (ГМП) в течение 23 цикла солнечной активности (1997-2008 гг.). Из аналитического обзора исследований последних лет следует, что наиболее вероятным путем воздействия солнечной активности на тропосферные процессы является модуляция потока галактических космических лучей, способных проникать глубоко в атмосферу, вплоть до поверхности Земли. Поэтому основным критерием отбора событий для комплексного исследования являлось наличие форбуш-эффекта в интенсивности нейтронной компоненты космических лучей с величиной понижения равной или выше 3%. Таких событий было зафиксировано 62. Рассмотрим некоторые из них. На рисунке 1 (сверху вниз) представлены значения межпланетного и геомагнитного полей, интенсивность нейтронной компоненты КЛ, атмосферное давление в ноябре 1997 г. и в октябре–ноябре 2003 г.

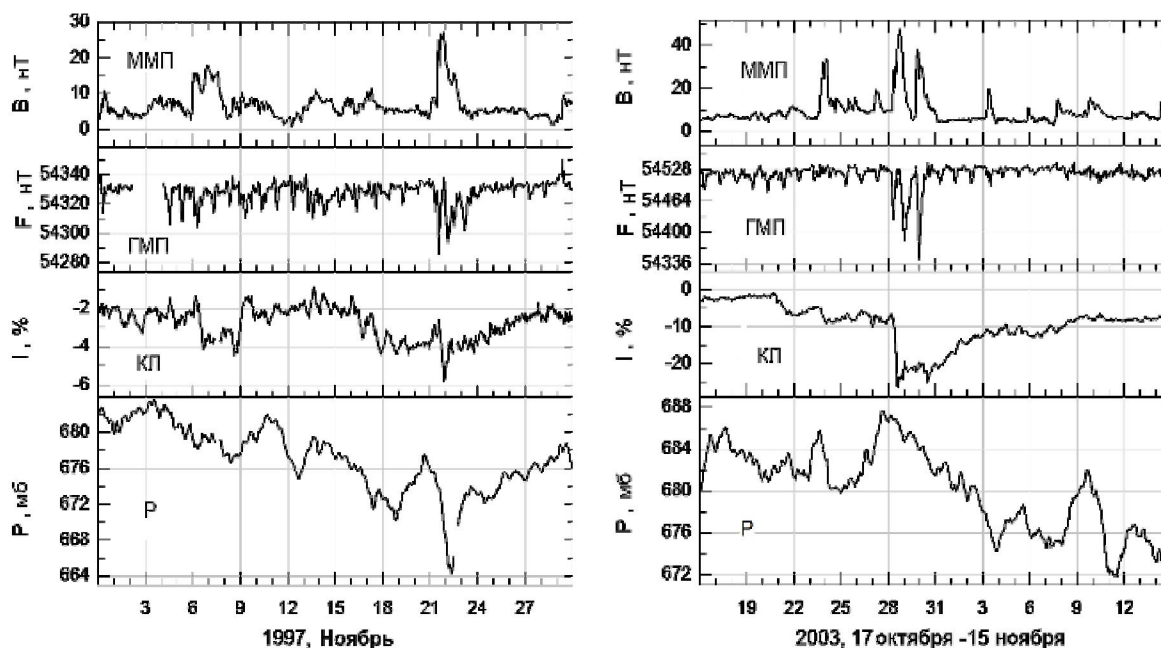


Рисунок 1 – Значения межпланетного и геомагнитного полей, интенсивность нейтронной компоненты КЛ, атмосферное давление

Во второй половине ноября 1997 г. на фоне медленного уменьшения интенсивности космических лучей происходит ее резкий спад 22-го ноября. Скорость солнечного ветра повышается до 600 км/с, а напряженность ММП до 28 нТл. Вариации атмосферного давления имеют положительную корреляцию с интенсивностью космических лучей. Минимум в давлении запаздывает относительно минимума в космических лучах на 12 часов. Глубина падения давления за двое суток составила 14 мб.

Период наибольшей концентрации вспышечной активности 23-го цикла солнечной активности наступил в октябре-ноябре 2003 г., когда через видимый диск Солнца проходили сразу три больших вспышечно-активных групп солнечных пятен: одна в южном полушарии и две – в северном [9]. Скорость солнечного ветра в отдельные периоды превышала 1200 км/с, а напряженность межпланетного поля достигала 48 нТл. Наземная сеть нейтронных мониторов зарегистрировала 3 наземных возрастания солнечных космических лучей, самую значительную серию форбуш-эффектов в солнечном цикле, включающую гигантский эффект 29 октября, представленный на рисунке 1 справа. В атмосферном давлении на высокогорной станции после форбуш-эффекта наблюдается устойчивое понижение с 686 до 676 мб и ниже. Столь значительные изменения атмосферного давления сравнимы с мощными тропосферными процессами.

Интересны для исследования солнечно-земных связей и воздействия активных процессов на Солнце на нижнюю атмосферу Земли апрель и ноябрь 2001 г, январь 2005 г. и другие события исследуемого цикла солнечной активности. Нами проанализированы все форбуш-эффекты в космических лучах, зарегистрированные на высокогорной станции Института ионосферы в 23 цикле

солнечной активности с амплитудой модуляции $\geq 3\%$. В 80% спустя $0.5 \div 2$ суток после понижения в космических лучах наблюдалось падение атмосферного давления.

Если ключевым звеном в механизме воздействия спорадических проявлений солнечной активности на приземное атмосферное давление являются космические лучи, то солнечные вспышки должны вызывать повышение атмосферного давления на высокогорной станции. Однако в подавляющем числе солнечных вспышек на географической широте высокогорной станции, 43.02N, амплитуда наземных возрастаний интенсивности нейтронной компоненты космических лучей значительно меньше 1%. Жесткость геомагнитного обрезания частиц для Алматы равна 6.7 ГВ. Магнитосфера является препятствием для солнечных космических лучей для географической широты станции, поскольку их энергетический спектр гораздо мягче галактических. Исключением является вспышка 29 сентября 1989 г. 22-го цикла солнечной активности с жестким спектром. По данным мировой сети мониторов он был определен до 15 ГВ. На высокогорной станции амплитуда возрастания солнечных космических лучей составила 151%. В динамике атмосферного давления на высокогорной станции после этой уникальной солнечной вспышки, как и ожидалось, наблюдается устойчивое повышение на ~ 10 мб вплоть до 4 октября, рисунок 2. Устойчивое понижение атмосферного давления после значительного ($\sim 10\%$) форбуш-эффекта 20 октября, также представленного на этом рисунке, подтверждает сделанное выше заключение.

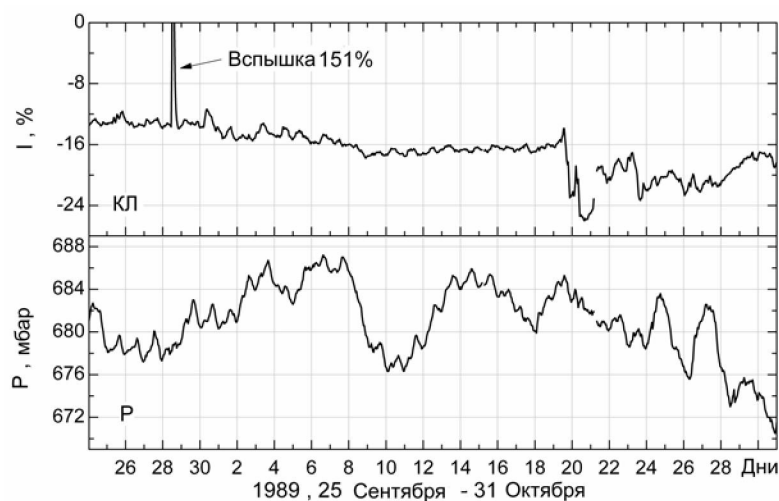


Рисунок 2 – Значения интенсивности нейтронной компоненты КЛ и атмосферного давления после вспышки 29.09.1989г.

Геомагнитные бури с внезапным началом и форбуш-эффекты являются следствием одних и тех же источников возмущений межпланетной среды – выбросов корональных масс. Поэтому зачастую в научных публикациях эти явления рассматривают неразрывно друг от друга, и возникает неоднозначность в оценке главного звена в механизме воздействия спорадических явлений солнечной активности на атмосферное давление; геомагнитные бури или космические лучи. Известно достаточно много работ, в которых обосновывается связь магнитных бурь и изменений в циркуляции нижней атмосферы [10, 11]. В отклике магнитосферы и космических лучей на возмущения солнечного ветра есть общие черты, но есть и существенные различия [12]. Самое существенное различие в том, что форбуш-эффект определяется условиями в протяженной гелиосферной области, тогда как геомагнитная активность зависит от локальной ситуации вблизи Земли. Коэффициент корреляции величины форбуш-эффекта и максимального Кр-индекса $\sim 0,42$, а с Dst-индексом еще меньше. То есть далеко не всегда геомагнитные бури и форбуш-эффекты регистрируются на земной поверхности одновременно. В нашем каталоге форбуш-эффектов величиной $\geq 3\%$ в 23 цикле солнечной активности только 53% сопровождалось геомагнитными бурями и 80% понижением атмосферного давления.

Мы рассмотрели динамику вариаций атмосферного давления в 23 цикле солнечной активности во время и после больших (БМБ) и очень больших магнитных бурь (К-индекс ≥ 6), когда форбуш-эффект в космических лучах отсутствовал, либо его величина была меньше 3%. Таких событий

было 12. Закономерности, характерной для событий с форбуш-эффектами в космических лучах в этой выборке не установлено, рисунок 3. На рисунке вертикальные пунктирные линии соответствуют началу и концу магнитных бурь: в начале октября 2000 г была большая буря с К-индексом 7, 19-20 марта 2001 г – очень большая буря с К-индексом 8.

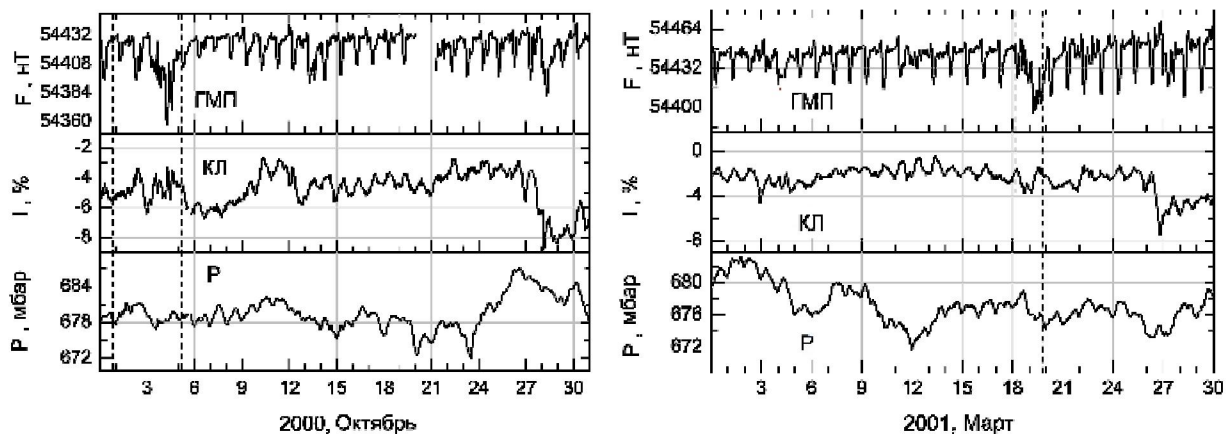


Рисунок 3 – Значения геомагнитного поля, интенсивности нейтронной компоненты КЛ и атмосферного давления в течение периодов, включающих БМБ и ОБМБ.

Выводы. Таким образом, в результате экспериментального исследования на основе экспериментальных данных высокогорной Тянь-Шаньской станции за 23-й цикл солнечной активности установлено, что главным звеном в механизме влияния спорадических проявлений солнечной активности (выбросы корональных масс, солнечные вспышки) на приземное атмосферное давление и на изменение циркуляции в нижней атмосфере являются космические лучи.

В отличие от заключений в научных источниках, сделанных на основе анализа экспериментальных данных главным образом равнинных станций (отрицательная корреляция), вариации атмосферного давления на высокогорной станции имеют положительную корреляцию с интенсивностью космических лучей. Понижением атмосферного давления на высокогорной станции спустя 1-3 суток сопровождалось ~ 80% форбуш-эффектов галактических космических лучей независимо от геомагнитных условий. Уникальная солнечная вспышка 1989.09.29 сопровождалась повышением атмосферного давления.

Изучение проблемы влияния солнечной активности на состояние нижней атмосферы (атмосферное давление) имеет практическую значимость, поскольку конечным результатом является возможность прогнозирования погоды с целью предупреждения ее негативных последствий.

Работа выполнялась по проекту «Исследовать воздействие нестационарных явлений на среднеширотные атмосферу и ионосферу».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Веретененко С.В., Пудовкин М.И. Эффекты вариаций космических лучей в циркуляции нижней атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 1993. Т. 33. № 6. С. 35-40.
- 2 Пудовкин М.И., Раслопов О.М. Механизмы воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т.32.№5. С. 1-22.
- 3 Morozova A.L., Pudovkin M.I., Thejll P. Variations of atmospheric pressure during solar proton events and Forbush-decreases for different latitudinal and synoptic zones // Intern. J. Geomagn. Aeron.2002. V.3. №2. P.181-189.
- 4 Авдопин С.И., Данилов А.Д. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40. №5. С. 3-14.
- 5 Tinsley B.A. Solar wind modulation of the global electric circuit and apparent effect on cloud microphysics, latent heat release, and tropospheric dynamics // J. Geomagn. Geoelectr. 1996. V.48.P.165.
- 6 Раслопов О.М., Веретененко С.В. Солнечная активность и космические лучи: влияние на облачность и процессы в нижней атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т.49. №2. С. 147-145.
- 7 Богданов М.Б., Сурков А.Н., Федоренко А.В. Влияние космических лучей на атмосферное давление в высокогорных условиях // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46. №2. С.268-274.
- 8 Тимофеев В.Е., Григорьев В.Г., Морозова Е.И., Скрыбин Н.Г., Самсонов С.Н. Воздействие космических лучей на скрытую энергию атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. №5. С.683-687.

9 Ishkov.V.N.Properties of the current 23rd solar-activity cycle//Solar System Research. 2005. T. 39. №6. С. 453-461.

10 Авдошин С.И., Михневич В.В., Смирнов Р.В. Солнечно-атмосферные связи и геомагнитная активность // Гидрометеоздат, 1984. 138 С.

11 Danilov A.D., Lastovichka J. Effects of geomagnetic storms on the atmosphere and ionosphere// Intern. J. Geomag. And Aeron. 2000. V.2. № 3. С.

12 Белов А.В., Ерошенко Е.А., Оленева В.А., Струминский А.Б., Янке В.Г. Чем обусловлены и с чем связаны форбуш-эффекты. // Изв.РАН. Сер.Физ. 2001, Т. 65. № 3. С. 373–376.

REFERENCES

1 Veretenenko S.V., Pudovkin M.I. Effekty variatsii kosmicheskikh luchej v tsirkulatsii nizhnei atmosfery. Geomagnetizm i aeronomiia. **1993**. T. 33. № 6. S. 35-40. (in Russ.).

2 Pudovkin M.I., Raspopov O.M. Mehanizmy vozdeystviya solnechnoj aktivnosti na sostojanie nizhnej atmosfery i meteoroparmetry. Geomagnetizm i aeronomiia. **1992**. T.32.№5. S. 1-22. (in Russ.)

3 Morozova A.L., Pudovkin M.I., Thejll P. Variations of atmospheric pressure during solar proton events and Forbush-decreases for different latitudinal and synoptic zones. Intern. J. Geomag. Aeron.**2002**. V.3. №2. P.181-189.

4 Avdjushin S.I., Danilov A.D. Solnce, pogoda i klimat: segodnjashnij vzgljad na problemu (obzor). Geomagnetizm i aeronomiia. **2000**. T.40. №5. S. 3-14. (in Russ.).

5 Tinsley B.A. Solar wind modulation of the global electric circuit and apparent effecton cloud microphysics, latent heat release, and tropospheric dynamics. J. Geomagn. Geoelectr. **1996**. V.48.P.165.

6 Raspopov O.M., Veretenenko S.V. Solnechnaja aktivnost' i kosmicheskie luchi: vlijanie na oblachnost' i processy v nizhnej atmosphere. Geomagnetizm i aeronomiia. **2009**. T.49. №2. S. 147-145. (in Russ.).

7 Bogdanov M.B., Surkov A.N., Fedorenko A.V. Vlijanie kosmicheskikh luchej na atmosfernoe davlenie v vysokogornyh uslovijah. Geomagnetizm i aeronomiia. **2006**. T. 46. №2. S.268-274. (in Russ.).

8 Timofeev V.E., Grigor'ev V.G., Morozova E.I., Skrjabin N.G., Samsonov S.N. Vozdeystvie kosmicheskikh luchej na skrytuju jenergiju atmosfery. Geomagnetizm i aeronomiia. **2003**. T. 43. №5. S.683-687. (in Russ.).

9 Ishkov.V.N. Properties of the current 23rd solar-activity cycle. Solar System Research. **2005**. T. 39. №6. С. 453-461.

10 Avdjushin S.I., Milnevich V.V., Smirnov R.V. Solnechno-atmosfernye svjazi i geomagnitnaja aktivnost'. Gidrometeoizdat, **1984**. 138 S. (in Russ.).

11 Danilov A.D., Lastovichka J. Effects of geomagnetic storms on the atmosphere and ionosphere. Intern. J. Geomag. And Aeron. **2000**. V.2. № 3. S.

12 Belov A.V., Eroshenko E.A., Oleneva V.A., Struminskij A.B., Janke V.G. Chem obuslovleny i s chem svjazany forbush-jeffekty. Izv.RAN. Ser.Fiz. **2001**, T. 65. № 3. S. 373–376. (in Russ.).

Резюме

В. П. Антонова¹, С. В. Крюков¹, Қ. Е. Нұрғалиева², Н. Т. Оразымбетова²

¹Ионосфера институты ЕЖШС, Алматы, Қазақстан,

²эл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан)

БИК ТАУЛЫ ТЯНЬ-ШАНЬ СТАНЦИЯСЫНДА АТМОСФЕРА ҚЫСЫМЫНА КҮН ҚАРҚЫМДЫЛЫҒЫНЫҢ КЕЗДЕЙСОҚ ҚҰБЫЛЫСТАРЫНЫҢ ӘСЕРІ

Жұмыста жермаңы ғарыш кеңістігіндегі физикалық құбылыстарға қазіргі заманғы түсініктер төңірегінде (күн желі, планетааралық магнит өрісі, магнитосфера т.б.), күн қарқымдылығының 23-ші циклінде биік таулы Тянь-Шань станциясында алынған эксперимент мәндері негізінде атмосфера қысымына күн қарқымдылығының кездейсоқ құбылыстарының (тәждік массаның шығарылуы, күн жаркылдары) әсері зерттелді. Ғарыштық сәулелер – күн қарқымдылығының төменгі атмосфера циркуляциясының өзгерісіне әсері механизмінің негізгі түйіні болып табылатыны анықталған. Галактикалық ғарыштық сәулелердің Форбуш-әсерінің ~80%-ында, геомагниттік жағдайға тәуелсіз түрде, 1-3 тәуліктен кейін биік таулы станциядағы атмосфера қысымының төмендейтіні анықталды. Күн қарқымдылығының атмосфераның төменгі күйіне (атмосфера қысымына) әсерін зерттеудің практикалық маңызы бар, себебі соңғы қорытындыда ауа райын болжауға және оның кері зардаптарын алдын ала білуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: күн-жер байланыстары, тәждік массаның шығарылуы, ғарыштық сәулелер, атмосфера қысымы.

Summary

V. P. Antonova¹, S. V. Kriukov¹, K. E. Nurgalieva², N. T. Orazymbetova²

(¹Ionosphere institute, Almaty, Kazakhstan,

²Al-farabi kazakh national university, Almaty, Kazakhstan)

IMPACT OF SPORADIC EVENTS OF SOLAR ACTIVITY ON THE ATMOSPHERIC PRESSURE AT HIGH-ALTITUDE TIEN-SHAN STATION

The impact of sporadic events of solar activity (coronal mass ejections , solar flares) on the atmospheric pressure based on experimental data of high-altitude Tien Shan station studied. Found that the main link in the mechanism of the impact of solar activity on the change in the circulation in the lower atmosphere are cosmic rays . It is defined that ~ 80% of forrush- decreases of galactic cosmic rays are accompanied by a decrease in atmospheric pressure at high altitude station after 1-3 days independently of geomagnetic conditions.

Keywords: solar-terrestrial relations, coronal mass ejections, cosmic rays, atmospheric pressure.

Поступила 14.01.2014 г.