

Барометрический эффект в ШАЛ с энергиями $10^{17} - 10^{19}$ эВ

Е. С. Никифорова¹⁾

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера Сибирского отделения РАН
677980 Якутск, Россия

Поступила в редакцию 28 апреля 2005 г.

После переработки 16 мая 2005 г.

Рассматриваются сезонные вариации широких атмосферных ливней (ШАЛ), зарегистрированных на Якутской установке ШАЛ. Значительно выражена зависимость вариаций от атмосферного давления. При росте давления на 1 мм рт. ст. интенсивность ШАЛ уменьшается на 2%. Зависимость от температуры воздуха не обнаружена.

PACS: 96.40.Pq, 96.85.Ry

На Якутской установке ШАЛ наземные станции расположены в виде сетки из правильных треугольников со сторонами 500 м – малый “мастер” и 1000 м – большой “мастер”. Ливни регистрируются установкой при совпадении сигналов от трех станций, образующих мастерный треугольник. Летом установка обычно выключается. В данной работе анализировались ливни с осями, расположенными в пределах периметра установки, с зенитными углами $\theta < 60^\circ$ и с плотностями заряженных частиц в мастерных станциях $\rho > 0.8$ частиц/м².

На рис.1 приводятся максимальная и минимальная температуры в течение суток, среднее давление за сутки и количество зарегистрированных в течение суток ливней для двух периодов регистрации с 18 октября 1999 г. по 14 июня 2000 г. и с 12 сентября 2000 г. по 14 июня 2001 г. Вначале, при включении установки после летнего перерыва, видно постепенное увеличение количества ливней, зарегистрированных в течение суток. Затем просматривается корреляция в расположении локальных экстремумов давления и числа ливней. При уменьшении давления растет количество ливней.

Частично флуктуации количества ливней вызваны неизбежным выходом из строя и ремонтом отдельных детекторов. В более ранние периоды регистрации столь выраженная барометрическая зависимость не обнаружена. Последняя модернизация установки, касающаяся мастерных станций, была произведена в 1990 г., за истекшее время происходило стабильное увеличение числа зарегистрированных ливней, за 10 лет – в три раза. Периоды регистрации, разумеется, в три раза не увеличивались, увеличение статистики могло быть достигнуто за счет повы-

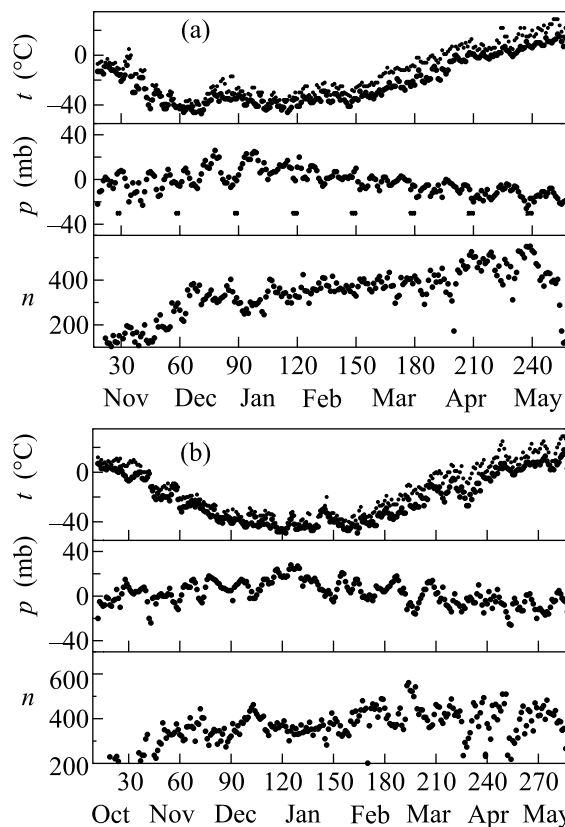


Рис.1. Максимальная (·) и минимальная (●) температуры в течение суток, среднее давление за сутки в мбар, количество зарегистрированных в течение суток ливней для двух периодов регистрации: (а) с 18 октября 1999 г. по 14 июня 2000 г. и (б) с 12 сентября 2000 г. по 14 июня 2001 г.

шения надежности, стабильности работы установки. А при стабильной работе проявила себя зависимость вариаций от атмосферного давления.

Температура, в отличие от давления, со временем меняется с гораздо меньшим количеством выражен-

¹⁾e-mail: nikiforova@ikfia.ysn.ru

ных экстремумов. Корреляция между числом ливней и температурой на рис.1 не просматривается.

На рис.2 показаны средние за несколько лет зависимости температуры, давления, числа ливней от месяцев года при разбиении года на 24 равные час-

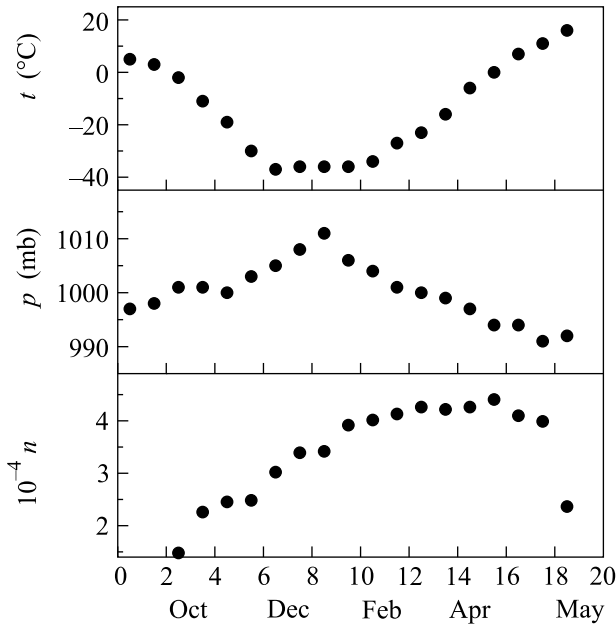


Рис.2. Зависимость средней температуры, среднего давления, количества ливней за несколько лет от месяцев года

ти. Осеннее увеличение числа ливней вызвано постепенным включением установки после летнего перепада. Видно падение давления и рост числа ливней при переходе от холодных к теплым месяцам. С ростом температуры растет количество ливней, но для разных диапазонов температуры количество ливней растет по-разному. Кроме того, в январе при постоянной температуре происходит рост количества зарегистрированных ливней, при том, что установка считается равномерно работающей с декабря по май. Таким образом, увеличение числа ливней при переходе от холодных к теплым месяцам объясняется падением давления, а не ростом температуры. И по средним характеристикам вывод тот же, что и для отдельных периодов. По средним характеристикам с января по апрель падение давления на 1 мбар приводит к увеличению числа ливней на 1.5%, или на 1 мм рт. ст. – к 2%.

Изменение числа ливней в зависимости от энергии показано на рис.3а. Черные значки соответствуют январю, а белые – апрелю. Видно, что в диапазоне энергий от 10^{17} до 10^{19} эВ изменение числа ливней не зависит от энергии.

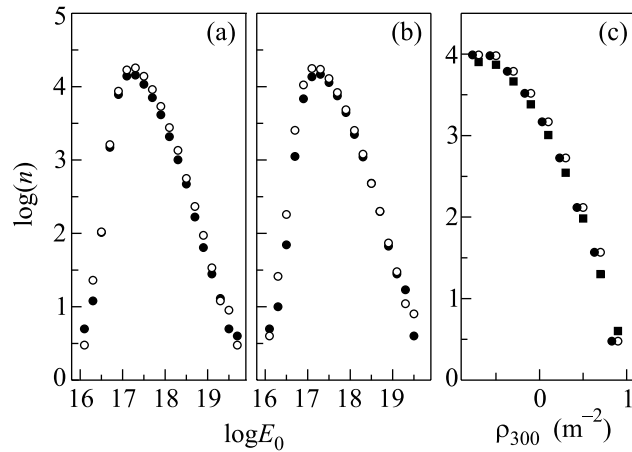


Рис.3. Зависимость числа ливней, зарегистрированных в январе – ● и апреле – ○, от энергии: (а) без пересчета мольеровского радиуса, (б) с пересчетом мольеровского радиуса (E_0 измеряется в электронвольтах), (с) – зависимость числа ливней с $\cos \theta > 0.9$, зарегистрированных малым “мастером”, от плотности заряженных частиц на расстоянии 300 м от оси ρ_{300} : ■ – в январе, ○ – в апреле, ● – в апреле, сдвинутая на 0.07 частиц/м² влево

На Якутской установке ШАЛ для устранения влияния вариаций атмосферного происхождения на интенсивность ливней поступают следующим образом. Функция пространственного распределения описывается формулой

$$\rho(R/R_i) \sim (R/R_i)^{-1} \cdot (1 + R/R_i)^{b-1}, \quad (1)$$

где R – расстояние от оси, R_i – мольеровский радиус из электромагнитной каскадной теории. Считается, что изменение температуры и давления приводит к перераспределению заряженных частиц в ливне, при этом меняется мольеровский радиус:

$$R_i = 75 \cdot \frac{1000}{p} \cdot \frac{T}{273}, \quad (2)$$

где температура в градусах Кельвина и давление в мбар [4]. Полное же число частиц в ливне не меняется. Исходя из этого, плотность частиц на расстоянии 300 и 600 м для малого и большого мастеров пересчитывается к мольеровскому радиусу $R_o = 68$ м по формуле

$$\rho_*(R_o) = \rho_*(R_i) \cdot \left(\frac{R_o}{R_i}\right)^{b-2} \cdot \left(\frac{r + R_i}{r + R_o}\right)^{b-1}. \quad (3)$$

Здесь $r = 300$ или 600 м для параметров ρ_{300} и ρ_{600} , соответственно, b – параметр функции пространственного распределения.

Изменение числа ливней, пересчитанных по формулам (2) и (3), в зависимости от энергии показано

для января и апреля на рис.3б. Как видно из графика при таком пересчете число ливней при энергиях $E_0 > 10^{17}$ эВ не меняется в зависимости от сезона. Различия при энергиях, меньших 10^{17} эВ, считают следствием влияния порога регистрации. В формуле (1) мольеровский радиус R_i сильнее зависит от температуры, чем от давления. При переходе от января к апрелю R_i меняется на 14% в зависимости от температуры и на 2% – от давления. Как видно из рис.2, сезонные изменения температуры и давления в некоторой степени коррелируют, или, точнее говоря, антикоррелируют, так что, учитывая в формулах (1) и (2) в основном изменения температуры, мы косвенно учитываем изменения давления.

Изменение числа ливней в зависимости от плотности на расстоянии от оси 300 м ρ_{300} для малого мастера при $\cos \theta > 0.9$ показано на рис.3с. Черные значки соответствуют январю, белые – апрелю. Для совмещения образуемых ими кривых значки надо сдвинуть на 0.07 частиц/м² по горизонтали. Пробег поглощения параметра λ при изменении атмосферного давления можно оценить по двум значениям давления, используя формулу

$$\rho_{300}(Apr) = \rho_{300}(Jan) \exp\left(\frac{1.02 \cdot (p_{Jan} - p_{Apr})}{\lambda}\right). \quad (4)$$

Полученный таким образом пробег поглощения составляет $\lambda = 110$ г/см², в то время как пробег поглощения параметра ρ_{300} , полученный при фиксированных значениях интегральной интенсивности для ливней под разными зенитными углами, составляет $\lambda_{300} = (310 \pm 20)$ г/см² [2] или в уточненном виде $\lambda_{300} = (434 \pm 15) - (62 \pm 9) \times \log(\rho_{300}(0^\circ))$ г/см² [3]. Полученные значения λ и λ_{300} отличаются раза в три. Возможно, $\lambda = 110$ г/см² определяется составляющими ШАЛ электронно-фотонными каскадами, которые почти не перекрываются, не суммируются друг с другом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России.

-
1. И. В. Васильев, О. С. Диминштейн, Т. А. Егоров и др., *Космические лучи с энергией выше 10^{17} эВ*, Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983, с. 19.
 2. А. В. Глушков, Т. А. Егоров, Н. Н. Ефимов и др., *Широкие атмосферные ливни с энергией выше 10^{17} эВ*, Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987, с. 3.
 3. A. V. Glushkov, A. A. Ivanov, S. P. Knurenko et al., *Proc. 28-th ICRC*, 1, Tsukuba, 2003, p. 393.