

УДК 551.5

*К.А. Дубаренко, С.В. Авакян, Л.А. Баранова,  
Н.А. Воронин, Г.А. Никольский*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С УЧЕТОМ СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ**

*K.A. Dubarenko, S.V. Avakyan, L.A. Baranova,  
N.A. Voronin, G.A. Nikolskiy*

## **THE ABILITY OF FORECASTING THE WEATHER AND CLIMATIC PARAMETERS SUBJECT TO SOLAR GEOMAGNETIC ACTIVITY**

При анализе данных спутниковой регистрации глобального распределения полной (общей) облачности выявлена положительная корреляция между площадью облачности и всплесками величины солнечной постоянной, а также отрицательная корреляция с числом солнечных пятен. На основе полученных результатов рассмотрены возможности учета активности Солнца в среднесрочных (недельно-месячные) прогнозах таких основных погодных характеристик, как площадь (балльность) полного облачного покрова и аномалии температуры приземного воздуха.

**СОЛНЕЧНО-ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ; ВАРИАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ; ПРОГНОЗЫ ОБЛАЧНОСТИ И АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ.**

The analysis of the registered satellite data of the distribution of the full (general) cloudiness has shown positive correlation between the cloudiness area and the burst of solar constant as well as the negative correlation with the number of sunspots. On the basis of the received results the article demonstrates the possibility of taking into account the solar activity in medium-term prospects of such major weather characteristics as full cloudiness area and the anomalies of the ground air temperature.

**SOLAR-GEOMAGNETIC ACTIVITY; THE VARIATIONS OF CLOUDINESS; PREDICTIONS OF THE CLOUDINESS AND TEMPERATURE ANOMALIES.**

Одной из сложных и важных проблем практической метеорологии является расширение возможности прогноза погодных характеристик за тот примерно двухнедельный срок, который считается современными метеорологами реальным ограничением. Это связано с существующей методикой предсказания физических условий в тропосфере, формирующих погоду. Очевидно, что реальным путем увеличения периодов заблаговременности предсказания

погодных характеристик может быть учет солнечной вариабельности, а именно — факторов солнечно-геомагнитной активности. Целью работы было определение путей прогноза погоды в этом случае.

### **Учет активности Солнца в среднесрочных прогнозах погодных характеристик**

В статье [1] мы представили результаты исследований корреляций изменения распростра-

ненности облачного покрова в глобальном масштабе с вековым ходом солнечно-геомагнитной активности, а в [2] дано объяснение наличия периодов 2–5,5 лет в вариациях температуры приземного воздуха и осадков (при отсутствии 11-летней изменчивости). В настоящей статье рассматриваются эффекты солнечно-тропосферных связей на временной шкале в несколько месяцев.

Из рис. 1 следует, что внутри последнего 11-летнего цикла активности Солнца наблюдается положительная корреляция между площадью облачности и всплесками величины солнечной постоянной ( $TSI$ ) и отрицательная корреляция с числом солнечных пятен ( $R$ ). Следует констатировать, что по количеству пятен, появляющихся на диске Солнца, и факельным полям в солнечной фотосфере можно заблаговременно (до нескольких месяцев) прогнозировать изменение площади облачного покрова (балльность облачности), а следовательно, и теплорадиационный баланс Земли (исходя из известной статистики времени жизни этих образований в фотосфере Солнца).

Сведения о связи всплесков в величине солнечной постоянной с факельными полями (всплески величины  $TSI$  связаны с факельным УФ-излучением атмосферы Солнца) и роль пятенной активности в фотосфере Солнца обсуждались в [3]. Интересно двойственное проявление

пятен в вариациях  $TSI$ . Долговременные изменения  $TSI$  в течение цикла активности Солнца имеют тот же знак, что и изменения числа пятен: чем меньше пятен, тем меньше  $TSI$ . Наоборот, кратковременные и хорошо понятные корреляции  $TSI$  с прохождением пятен имеют противоположный знак, т. е. чем больше пятен, тем меньше величина  $TSI$ . Отдельные большие пятна (группы) уменьшают мгновенные значения  $TSI$ , особенно при появлении этих групп. В [3] получено наличие примерного баланса избытка и недостатка излучения объектов — «факелы — пятна», хотя время жизни факельной составляющей — более двух оборотов Солнца, тогда как пятна в среднем существуют около одного оборота. Таким образом, факельная составляющая генерируется структурами, у которых время жизни гораздо больше, чем типичное время жизни пятна. В целом пятна не блокируют УФ-излучение факелов, так как они блокируют видимое и ИК-излучения диска Солнца.

Статистические данные по продолжительности пятенной и факельной активности Солнца приведены в [4]. Время жизни средней группы пятен — 6 суток, а для больших групп, определяющих изменение солнечной активности, — 1,5 месяца. Для большого пятна время уменьшения площади в  $e$  раз составляет примерно 11 суток. Время жизни среднего факела — 15 суток, а время жизни больших факелов,

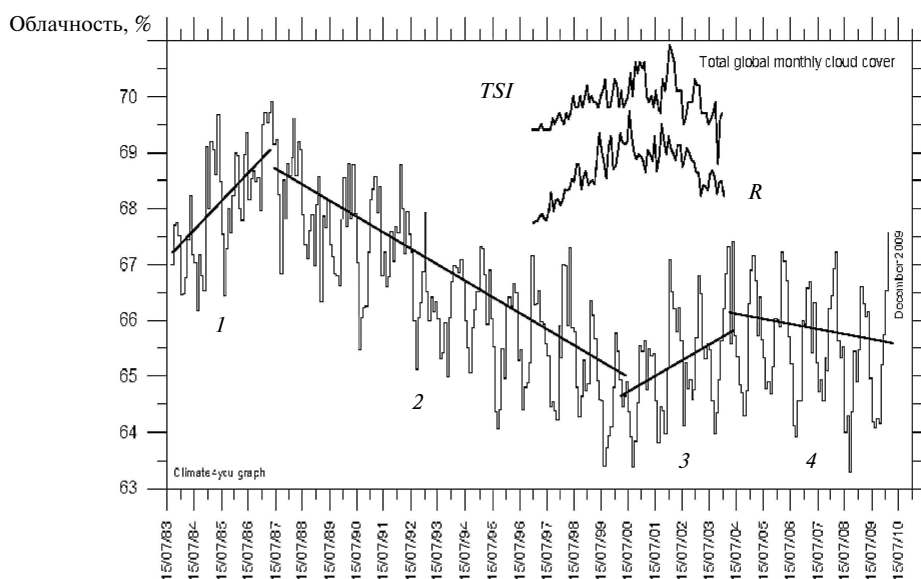


Рис. 1. Изменение глобальной облачности по наблюдениям со спутников по данным сайта <http://isccp.giss.nasa.gov/climanal7.html>

определяющих изменения солнечной активности, — 2,7 месяца. Таким образом, действительно, факельная составляющая генерируется структурами, у которых время жизни гораздо больше, чем типичное время жизни пятна. Приведенные данные о временах релаксации пятенной и факельной структур на Солнце определяют (в рамках предложенного нами способа учета активности Солнца в среднесрочных прогнозах погодно-климатических характеристик) те минимальные (от недели) и максимальные (до 2,7 месяца) периоды прогнозирования вариаций площади полного облачного покрова в той части, которая связана с проявлением пятенной (она дает уменьшение площади облачности, что равносильно уменьшению балльности облачности) и факельной (которая приводит к приросту балльности облачного покрова) активностей Солнца.

На основе банка данных по температурным аномалиям, созданного ГУ ВНИИ Гидрометеорологической информации — Мировым центром данных, по совокупности измерений всеми метеорологическими станциями Российской Федерации с 1966 года получено [5], что в холодное полугодие тепляющий эффект облачности определяет около 50 % общей изменчивости температуры. В теплое полугодие охлаждающий эффект облачности определяет около 25 % общей изменчивости. А в апреле и октябре (месяцы смены полугодий) доля вариации температуры, объясненной облачностью, составляет только около 5 %. Там же приведены соотношения между изменениями количества полной (общей) облачности (в виде вариаций балльности облачности) и температурой в абсолютных значениях по аномалиям, полученные на основе обобщения по всем метеостанциям России в широтной зоне 50–70° с.ш. по восьмисрочным (то есть, через каждые три часа) суточным наблюдениям с 1966 года. В качестве норм взяты средние значения за 1966–1990 годы, а аномалии температуры и количества облачности по пятидневкам вычислялись за 1991–2004 гг. В среднем во всех случаях изменение количества облачности на 0,1 балла сопровождалось изменением температуры приземного воздуха примерно на 0,4–0,5 °С. Из зависимостей на рис. 1 следует, что вариации площади полной облачности, обусловленные заметными изменениями пятен-

ной и факельной солнечной активности (в величинах  $R$  и  $TSL$ ), составляют не более 2–3 %, что меняет балльность облачного покрова на 0,2–0,3 балла (поскольку по определению сто-процентное покрытие небосвода облачным покровом соответствует десяти баллам облачности), а соответственно в среднем такое изменение площади облаков сопровождается вариациями в температуре воздуха примерно на 0,8–1,5 °С.

В отдельные месяцы и пятидневки изменения температуры (в градусах Цельсия), связанные с вариациями площади облачного покрова (в баллах облачности), оказываются в несколько раз выше. Соответствующие коэффициенты пересчета можно получать из графиков ВНИИГМИ (рис. 2 и 3) [5] (эти графики позволяют по изменениям в балльности полной (общей) облачности определять аномалии температуры с увеличением скважности до пяти суток). В январе—феврале за 1991–2004 годы сравнительно большое увеличение количества облачности (на 0,5–1,0 балл) сопровождалось повышением температуры воздуха над Россией в эти же месяцы на 3–5 °С, а в октябре, начале ноября и во второй половине декабря — на 0,3–0,4 балла с повышением температуры на 1–2 °С. Уменьшение количества облачности во второй половине ноября и начале декабря на 0,4 балла сопровождалось понижением температуры воздуха над Россией на 2 °С.

В теплую часть года (с 21 по 59 пятидневку) отрицательные аномалии количества облачности сопровождаются повышением температуры, а положительные — понижением. При отрицательных аномалиях количества облачности от –0,21 до –0,26 баллов наблюдаются положительные аномалии температуры от +1,1 до +1,4 °С, а отрицательная аномалия температуры (–0,2 °С) наблюдается только в 52-ю пятидневку (сентябрь) при самой большой положительной аномалии количества облачности (0,51 балла).

#### **Наблюдения реакции метеорологических параметров на мощные солнечно-магнитосферные события**

На рис. 4 приведены изменения приземного давления  $P$  и температуры воздуха  $T$  по трехчасовым данным метеостанции Шаджатмас (вблизи Кисловодска) для октября 2003 года, а также изменения солнечной постоянной в обращен-

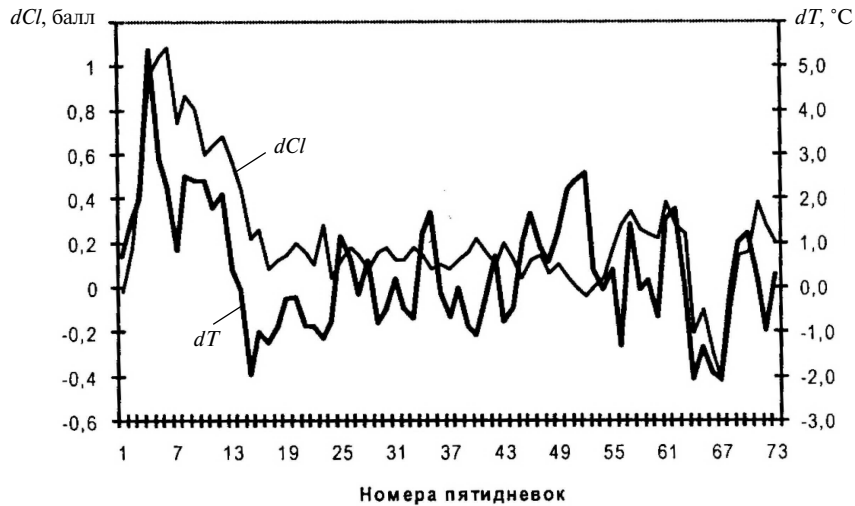


Рис. 2. Годовой ход (по пятidineвкам) аномалий температуры воздуха ( $dT$ ) и количества полной (общей) облачности ( $dCl$ ) за 1991–2004 годы относительно средних за 1966–1990 годы:  
 — —  $dCl$ ; — —  $dT$

ной шкале ее значений. «Спокойный» ход синоптических вариаций в первой половине месяца (когда фактически отсутствовали солнечно-геомагнитные возмущения, включая вспышки на Солнце и мировые магнитные бури) в последующие недели нарушается. Вторая половина среднего «статистического» октября на Северном Кавказе характеризуется установлением глубокого антициклона с давлением, примерно показанным прямой «Тенденция». Анализ текущего синоптического процесса показывает, что уже с 16 октября под воздействием повышения сначала только геомагнитной активности, а с 19 октября и вспышечной активности Солнца начинается деструкция естественного термобарического соотношения в воздушной массе над станцией.

Наш анализ по вариациям  $P$  с учетом приведенной в нижней части рис. 4 ситуации с изменениями параметров наиболее известных характеристик солнечно-геомагнитной активности в октябре 2003 года (поток мягкого рентгеновского излучения Солнца и величина  $K_p$  — индекс магнитной активности) подтверждает известное влияние основных проявлений такой активности — солнечных вспышек и магнитных бурь — на величину  $P$ .

Рассмотрим эти эффекты более подробно. Изменения давления на высоте 2100 м при воздействии солнечных вспышек (групп вспышек)

полностью соответствуют экспериментальным данным [6], где по измерениям на высокогорной станции Юнгфрауйох (3475 м) обнаружено, что вспышка вызывает уменьшение атмосферного давления, а Форбуш-эффект падения интенсивности всенаправленного потока галактических космических лучей (ГКЛ) в окрестности Земли приводит к росту  $P$ . Что касается эффекта Форбуша, то он, причем аномально сильный, в рассматриваемый период наблюдался один раз — с начала суток 29 октября — и имел максимум

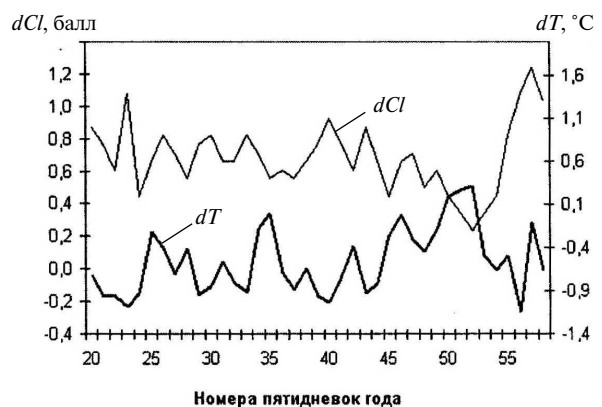


Рис. 3. Изменения в теплую часть года (по пятidineвкам) аномалий температуры воздуха ( $dT$ ) и количества полной (общей) облачности ( $dCl$ ), в баллах, за 1991–2004 гг. относительно средних за 1966–1990 гг. Станции России в широтной зоне 50–70°:  
 — —  $dCl$ ; — —  $dT$

падения интенсивности ГКЛ по данным нейтронного монитора на ст. Апатиты — более 20 % в 14–16 часов (UT). Такого уровня выраженный минимум закончился к началу суток 30 октября, и это действительно сопровождалось (см. рис. 4) резким всплеском атмосферного давления  $P$ . Столь выраженный пик давления связан, возможно, и с вкладом двух мощных событий — прибытия к земной поверхности потока солнечных космических лучей (СКЛ) 28 октября в 12–20 UT и 29 октября в 00–03 UT. СКЛ способны воздействовать на тропосферу так же, как и солнечные коротковолновые (рентгеновские) вспышки [7], увеличивая общую облачность, а значит, как правило, приводить к спа-

ду давления  $P$ . Эти два события действительно сопровождалось резкими спадами  $P$  в конце суток 28 и 29 октября. Согласно [8] при Форбуш-эффекте уменьшается количество перистых облаков, а по данным публикации при появлении таких облаков (они генерируются после солнечных вспышек и геомагнитных бурь и являются, как правило, разогревающими) уменьшается давление на 5–6 гПа и одновременно идет небольшой рост температуры воздуха. Таким образом, в период Форбуш-эффекта следует ожидать уменьшения температуры воздуха, что и наблюдается на зависимости рис. 4 (до достижения уровня абсолютного температурного минимума за весь октябрь 2003 г.).

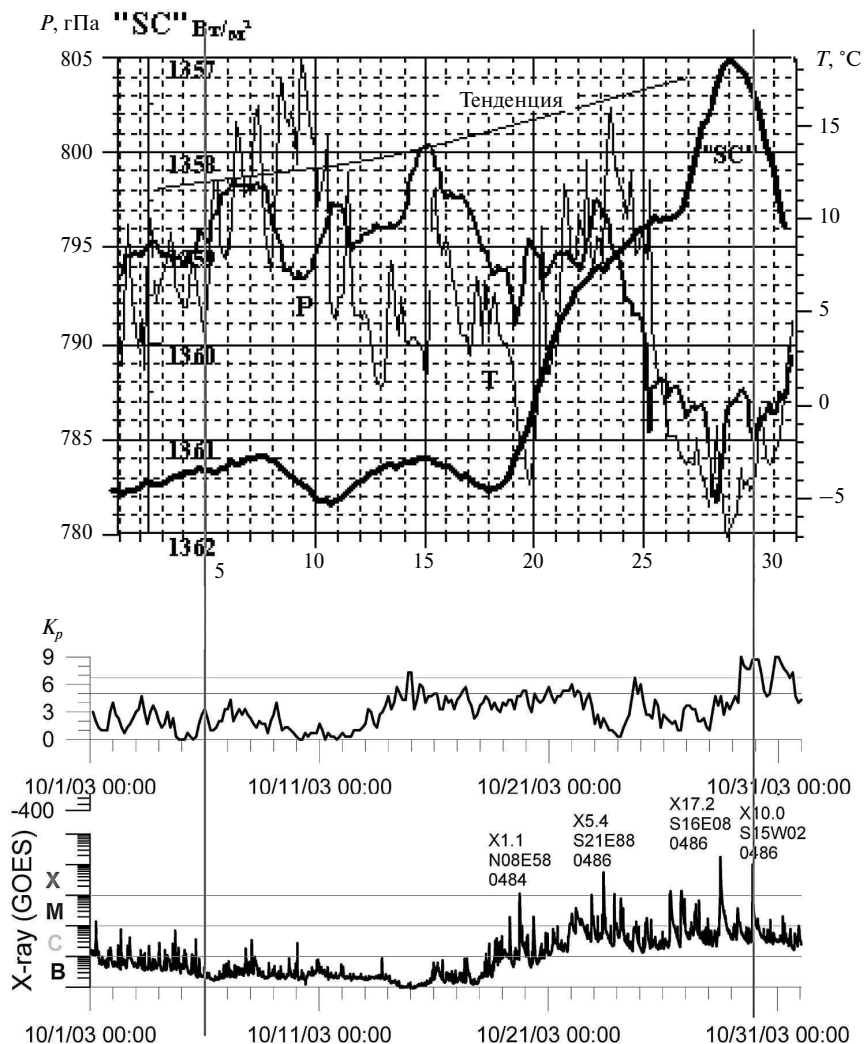


Рис. 4. Изменения приземного давления  $P$  и температуры воздуха  $T$  по трехчасовым данным метеостанции Шаджатмас для октября 2003 года

Сравним картину появления рентгеновских солнечных вспышек (по данным КА GOES — нижняя кривая на рис. 4) с вариациями величины давления  $P$ . Учитываем только вспышки средней и высокой интенсивности (класса  $M$  — их число больше 4). Таких вспышек в октябре 2003 года было 11 (все — после 19 октября) из них 4 — класса  $X$ . Как правило, наисильнейшим вспышкам предшествовало более чем за 10 часов по несколько вспышек в интервале классов от  $M1$  до  $X1$ . Следует напомнить, что эффективность проявления рентгеновских вспышек в тропосфере (согласно радиооптическому механизму) зависит от того, как освещена Солнцем вышележащая ионосфера, на высотах более 100 км, т. е. в областях генерации микроволнового излучения между ридберговскими (высоково возбужденными) состояниями.

Оказалось, что для всех мощных вспышек наблюдались в основном спады давления (9 случаев) и лишь в двух случаях подъем в величине давления  $P$  — после вспышек класса ( $X17.2$ ) и ( $X10.0$ ). Но эти исключения, как уже было сказано, обусловлены, скорее, превалирующим вкладом самых мощных в 2003 года событий СКЛ.

Теперь рассмотрим случаи, когда были сильные геомагнитные возмущения (мировые магнитные бури с планетарным индексом геомагнитной активности  $K_p = 5$  и более). Согласно радиооптическому механизму, буря в тропосфере действует так же, как и вспышка, за счет усиления ионосферного потока микроволн и, соответственно, сопровождается увеличением облачности, причем первоначально преимущественно перистой — разогревающей. Это четко проявилось в увеличениях температуры воздуха (см. рис. 4) в 16 случаях из 19 буревых событий. Сложность такого сопоставления заключается в известном отставании на 1–3 суток реакции тропосферных характеристик, прежде всего количества облачности, на буревые эффекты корпускулярных высыпаний, что отмечалось еще в [10]. Обычно буря вызывает падение давления; на рис. 4 два из этих падений следуют одновременному воздействию солнечных вспышек, обычно почти всегда вызывающих спад давления.

В целом со второй половины октября антициклон начал разрушаться под влиянием воз-

действия сильной солнечно-геомагнитной активности, и это разрушение сначала было обусловлено одиночным влиянием геомагнитных возмущений (магнитных бурь), хотя абсолютный минимум в давлении и температуре был достигнут на фоне самой мощной ( $X17.2$ ) вспышки на Солнце 28 октября в большой мере за счет наложения воздействий уникальных для всего этого года явлений — двух событий СКЛ (согласно зарегистрированному потоку солнечных протонов на земной поверхности) и самого мощного за год Форбуш-понижения галактических космических лучей (которые и в обычных случаях вызывают только рост давления [6]).

Итак, разрушению стандартного (для этого времени года в Кисловодске) антициклона в октябре 2003 года способствовала цепь событий в солнечно-земной физике (серия солнечных вспышек и геомагнитных бурь). Дополнительный вклад внесли также уникальные по силе два события в СКЛ и мощнейшее (более 20 %) Форбуш-понижение ГКЛ. Соответственно радиофизическому механизму вспышки и бури, во-первых, образуют оптически тонкую (разогревающую) облачность, обычно верхнего яруса (перистую), во-вторых, после них понижается атмосферное давление и, как следствие, антициклонический характер погоды заменяется на циклонический. Интересно, что еще М.В. Ломоносов так описывал наблюдаемые в детстве в Холмогорах полярные сияния: «Сияния чаще приходилось видеть в ветреную погоду сквозь прерывистые облака». Но это прямо соответствует гипотезе о связи циклонического типа погоды (ветер и облака) с корпускулярными высыпаниями (причиной возбуждения сияния) [11].

Следует отметить, что на поведение облачности оказывают значительное влияние солнечные космические лучи. На рис. 5 показаны случаи солнечных протонных событий, зафиксированных нейтронными мониторами на земной поверхности [12], после которых, как правило, увеличивается количество общей облачности. Это влияние требует дальнейшего анализа и исследования с учетом временной задержки после проникновения СКЛ через полярную шапку, а также их связей с характеристиками солнечной вспышки — баллом в оптическом диапазоне и классом в рентгеновском.

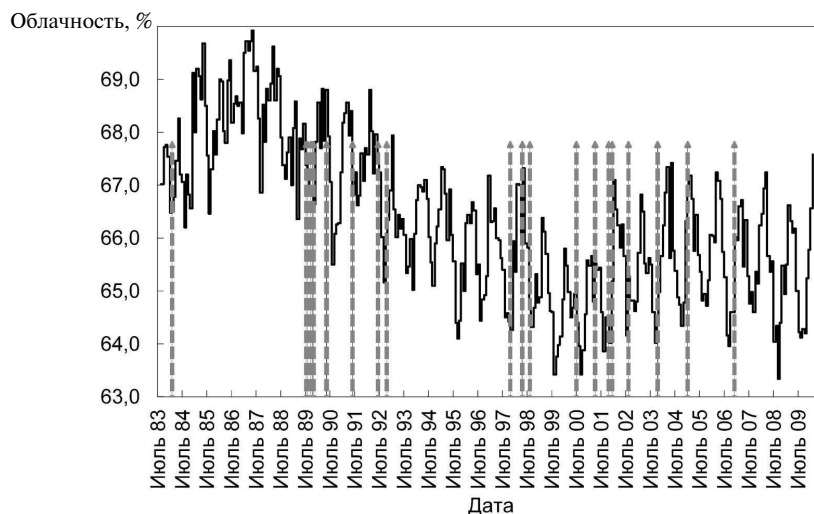


Рис. 5. Изменение глобальной облачности по данным спутников. Вертикальными стрелками показаны солнечные протонные события

При анализе данных спутниковой регистрации глобального распределения полной (общей) облачности выявлена положительная корреляция между площадью облачности и всплесками величины солнечной постоянной и отрицательная корреляция с числом солнечных пятен.

На основе полученных результатов рассмотрены возможности учета активности Солнца в среднесрочных (недельно-месячные) прогнозах таких основных погодных характеристик, как площадь (балльность) полного (общего) об-

лачного покрова и аномалии температуры приземного воздуха.

Представлены результаты сопоставления величин метеорологических параметров на высокогорной станции вблизи Кисловодска (на высоте 2100 м) с патрульными данными по мощным эффектам солнечно-геомагнитных возмущений для октября 2003 года. Получено качественное подтверждение вклада радиооптического трехступенчатого триггерного механизма солнечно-погодных связей [1, 2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян С.В. Возможные подходы к среднесрочным прогнозам погоды с учетом солнечно-геомагнитной активности // Труды XVI Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика-2012». 24–28 сентября 2012 года, Санкт-Петербург. ГАО РАН. С. 487–490.
2. Avakyan S.V. Climate as task of the ionospheric and solar-terrestrial physics. Possible approaches to the long-term weather predicting based on taking into account solar-geomagnetic activity // Proceeding of IX International Conference «Problem of Geocosmos», 8–12 October 2012, St.-Petersburg. SPbSU. P. 193–198.
3. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Физматгиз, 1991. 400 с.
4. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. С. 265–266.
5. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск, 2008. 246 с.
6. Богданов М.Б., Сурков А.Н., Федоренко А.В. Влияние космических лучей на атмосферное давление в высокогорных условиях // Геомагнетизм и аэронаука. 2006. Т. 46, № 2. С. 268–274.
7. Веретенко С.В., Пудовкин М.И. Вариации общей облачности в ходе всплесков солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэронаука. 1996. Т. 36, № 1. С. 153–156.
8. Веретенко С.В., Пудовкин М.И. Эффекты Форбуш понижения галактических космических лучей в вариациях общей облачности // Геомагнетизм и аэронаука. 1994. Т. 34, №4. С. 38–44.
9. Борисенков Е.П., Базлова Т.А., Ефимова Л.Н. Перистая облачность и ее влияние на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 119 с.
10. Дмитриев А.А., Говоров Д.В. Взаимная связь физического и гелиогеофизического экспериментов // Труды ААНИИ. 1972. Т. 311. С. 132–137.
11. Алексеева Л.М. Небесные сполохи и земные заботы. М.: Знание, 1985. 160 с.

12. **Miroshnichenko L.I., Perez-Peraza J.A.** Astrophysical aspects in the studies of solar cosmic rays // In-

ternational Journal of Modern Physics A. 2008. Vol. 23, No. 1. P. 1–141.

## REFERENCES

1. **Avakyan S.V.** Vozmozhnyye podkhody k srednedolgosrochnym prognozam pogody s uchetom solnechno-geomagnitnoy aktivnosti. *Trudy XVI Vserossiyskoy yezhegodnoy konferentsii po fizike Solntsa «Solnechnaya i solnechno-zemnaya fizika-2012»*. 24–28 sentyabrya 2012 goda, Sankt-Peterburg, GAO RAN, S. 487–490. (rus.)

2. **Avakyan S.V.** Climate as task of the ionospheric and solar-terrestrial physics. Possible approaches to the long-term weather predicting based on taking into account solar-geomagnetic activity. *Proceeding of IX International Conference «Problem of Geocosmos»*, 8–12 October 2012, St.-Petersburg: SPbSU. P. 193–198. (rus.)

3. **Makarova Ye.A., Kharitonov A.V., Kazachevskaya T.V.** Potok solnechnogo izlucheniya. M.: Fizmatgiz, 1991. 400 s. (rus.)

4. **Allen K.U.** Astrofizicheskiye velichiny. M.: Mir, 1977. S. 265–266. (rus.)

5. **Sherstyukov B.G.** Regionalnyye i sezonnyye zakonmernosti izmeneniy sovremennogo klimata / GU «VNIIGMI-MTsD». Obninsk, 2008. 246 s. (rus.)

6. **Bogdanov M.B., Surkov A.N., Fedorenko A.V.** Vliyaniye kosmicheskikh luchey na atmosfernoye davleniye

v vysokogornyykh usloviyakh. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 2006. T. 46, № 2. S. 268–274. (rus.)

7. **Veretenenko S.V., Pudovkin M.I.** Varia *TSI* obshchey oblachnosti v khode vspleskov solnechnykh kosmicheskikh luchey. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 1996. T. 36, № 1. S. 153–156. (rus.)

8. **Veretenenko S.V., Pudovkin M.I.** Effekty Forbush ponizheniy galakticheskikh kosmicheskikh luchey v varia *TSI*yakh obshchey oblachnosti. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 1994. T. 34, № 4. S. 38–44. (rus.)

9. **Borisenkov Ye.P., Bazlova T.A., Yefimova L.N.** Peristaya oblachnost i yeye vliyaniye na atmosfernyye protsessy. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 119 s. (rus.)

10. **Dmitriyev A.A., Govorov D.V.** Vzaimnaya svyaz fizicheskogo i geliogeofizicheskogo eksperimentov. *Trudy AANII*. 1972. T. 311. S. 132–137. (rus.)

11. **Alekseyeva L.M.** Nebesnyye spolokhi i zemnyye zaboty. M.: Znaniye, 1985. 160 s. (rus.)

12. **Miroshnichenko L.I., Perez-Peraza J.A.** Astrophysical aspects in the studies of solar cosmic rays. *International Journal of Modern Physics A*. 2008. Vol. 23, No. 1. P. 1–141.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ДУБАРЕНКО Константин Андреевич** — кандидат исторических наук доцент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: dekan\_fkb@mail.ru

**АВАКЯН Сергей Вазгенович** — доктор физико-математических наук начальник лаборатории ФГУП ВНИЦ «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова». 199034, г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 12. E-mail: avak@soi.spb.ru

**БАРАНОВА Любовь Александровна** — кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН. 194021, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26. E-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru

**ВОРОНИН Николай Анатольевич** — научный сотрудник ФГУП ВНИЦ «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова». 199034, г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 12. E-mail: avak2@mail.ru

**НИКОЛЬСКИЙ Генрик Андреевич** — кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник Санкт-Петербургского государственного университета; 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7–9. E-mail: gnik777@mail.ru

## AUTHORS

**DUBARENKO, Konstantin A.** — St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: dekan\_fkb@mail.ru

**AVAKYAN Sergey V.** — Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Research Center» Vavilov State Optical Institute. SI Vavilov». 199034, St. Petersburg, Exchange line 12. E-mail: avak@soi.spb.ru

**BARANOVA Lubov A.** — Physico-Technical Institute. Ioffe RAS. 194021, St. Petersburg, St. Polytechnique., 26. E-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru

**VORONIN Nikolay A.** — Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Research Center» Vavilov State Optical Institute. SI Vavilov». 199034, St. Petersburg, Exchange line 12. E-mail: avak2@mail.ru

**NIKOLSKIY Genrikh A.** — St. Petersburg State University. Universitetskaya emb., 7–9, St. Petersburg, Russia, 199034. E-mail: gnik777@mail.ru