

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВЫСОКИХ ШИРОТ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ*

А. А. ФОМЕНКО, Л. И. КУРБАЦКАЯ

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия*

e-mail: foma@climate.sscs.ru

The results of mathematical modeling, which demonstrate the response of the temperature conditions in the atmosphere of the Northern Hemisphere to the changes of the solar activity are presented. The calculations were carried out with the help of the ECSib climatic model (ICM&MG of SB RAS). In the course of calculations, the influence of the solar activity was examined on the basis of the model accounting for the effects of the solar activity on the climatic features of the troposphere. According to this model, the intensification of the solar activity increases the difference of the electrical potential between the ionosphere and the Earth that leads to the subsequent vertical redistribution of the charged nuclei of condensations across the troposphere, changing of the water vapor state and formation of cloudiness. The resulting cloudiness changes the radiation balance. Analysis of the results has the emphasis on the troposphere response to helio-geophysical perturbations in high latitudes for the cold period. It is shown that this mechanism may affect the temperature conditions of the troposphere in high latitudes.

Введение

В настоящее время изучению воздействия различных физических механизмов на природу атмосферной циркуляции, ее изменчивость уделяется большое внимание. Понимание физических механизмов, влияющих на происходящие природные процессы, позволяет не только понимать суть вещей, но и оценивать перспективы природных изменений. В работе [1] изложена концепция построения модели воздействия солнечной активности на изменение тропосферных характеристик атмосферы Земли. Основная идея учета влияния солнечной активности заключается в следующем. Внешние факторы, связанные с солнечными космическими лучами и сопровождающими их появление магнитосферными возмущениями, способны оказывать воздействие на климатическую систему посредством управления потоком энергии, уходящей от Земли в космос. Иными словами, усиление гелиогеофизической активности (потоки солнечных космических лучей, возмущения солнеч-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 05-05-64898, № 04-05-64562), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (грант № 16).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2006.

ного ветра и межпланетного поля, геомагнитные бури и суббури) приводит к увеличению разности электрического потенциала ионосфера — Земля, что сопровождается возрастанием вертикального электрического поля, а это приводит к перераспределению по высоте в тропосфере заряженных ядер конденсации (подъему отрицательно заряженных аэрозолей на большую высоту). В областях, где ранее концентрация этих ядер была низкой, а содержание водяного пара достаточно высоким, конденсируется водяной пар и образуется облачность. Формирование облачности приводит к изменению радиационного баланса. Причем наибольшее влияние на радиационный баланс и термобарическое поле тропосферы этот механизм оказывает в высокоширотных областях, когда отсутствует приходящий поток коротковолновой радиации от Солнца. Представленная работа направлена на изучение указанного механизма с помощью численного моделирования и носит методический характер.

1. Одномерная радиационная модель

В качестве первоначального инструмента для исследования описанного механизма была использована радиационная модель [2], согласно которой радиационные процессы моделируются так, что выделяются наиболее вероятные из них, воздействующие на атмосферные потоки тепла за короткопериодные масштабы времени. К таким процессам относятся аэрозольно-облачные эффекты поглощения и эффекты рассеяния аэрозолями, облаками и газами (H_2O , CO_2 , O_3), т. е. те, при которых излучающая среда рассматривается как “серая”. Поглощение газами рассматривается как возмущение, наложенное на вычисленные радиационные потоки, обусловленные процессами рэлеевского рассеяния, рассеяния и поглощения облаками и аэрозолями. Радиационные потоки, пронизывающие атмосферу, вычисляются с помощью стандартной процедуры двухпоточковой аппроксимации для каждого рассматриваемого слоя атмосферы с привлечением метода, учитывающего эффекты рассеяния и поглощения от всех других слоев.

В [3] описаны эксперименты по исследованию чувствительности радиационных притоков тепла к появлению облачности. Следует отметить, что длинноволновый спектр разбивался на три интервала, а облачность представлялась как субстанция в виде капельной воды. Расчет длинноволновой радиации производился для уровней модели с учетом распределения таких характеристик, как:

- отношение смеси водяного пара;
- массовая доля насыщенного водяного пара;
- содержание углекислого газа, озона и аэрозоля;
- температура воздуха;
- облачность в слоях модели атмосферы.

При расчете потоков использовались заранее затабулированные коэффициенты для вычисления функции пропускания для каждого из трех интервалов спектра излучения. Эксперименты показали высокую чувствительность радиационной модели к появлению облачности.

За основу в проведении численных экспериментов взято некое состояние атмосферы, полученное в процессе моделирования климата на основе радиационной модели, разработанной в Институте вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН [4, 5]. Указанная модель включена в климатическую в качестве радиационного блока. Для определенности рассматривался день 22 декабря некоего модельного

года. Вертикальные профили строились для пункта, соответствующего п. Диксон (географические координаты: 80° E, 73° N). Дата и местоположение выбраны из соображений, чтобы снять влияние коротковолновой приходящей радиации и принять во внимание только длинноволновое излучение.

Известно, что эффективный радиационный поток складывается из потоков восходящей и нисходящей радиации $F_{\text{net}} = F^{\text{up}} + F^{\text{down}}$ (рис. 1). При этом изменение температуры (скорость радиационного выхолаживания) будет определяться разностью эффективных потоков на верхней и нижней границах слоя

$$\Delta T / \Delta t = \frac{1}{\rho c_p} \frac{F_{z+1} - F_z}{\Delta z}.$$

Проведена серия экспериментов по вычислению эффективных потоков и соответствующих им суточных изменений температуры (часть из них совсем “экзотическая”), но тем не менее представляющая определенный интерес с методической точки зрения. Ниже приведено их описание (цифры соответствуют номеру эксперимента).

1 — эксперимент, в котором эффективные потоки и соответствующие им суточные изменения температуры рассчитываются исходя из текущего состояния (так называемый контрольный эксперимент, относительно которого проводилось сравнение данных других экспериментов).

2 — эксперимент, в котором балл облачности на всех уровнях модели задавался равным нулю при неизменных остальных характеристиках эксперимента 1.

3 — эксперимент, в котором балл облачности принимался равным единице на всех уровнях модели с использованием остальных характеристик эксперимента 1.

4 — эксперимент, в котором рассматривается сухая атмосфера, такое задание позволяет оценить реакцию эффективного излучения на наличие газов (углекислого газа, озона) и аэрозолей.

5 — эксперимент, в котором эффективные потоки и суточные изменения температуры рассчитывались с удвоенным баллом облачности относительно эксперимента 1. Цель

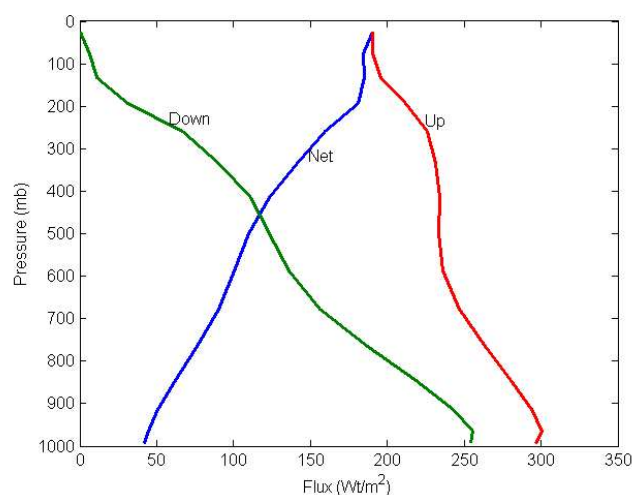


Рис. 1. Потоки длинноволновой радиации в высоких широтах в зимний период (Down — нисходящие потоки; Up — восходящие потоки; Net = Up — Down — эффективный поток длинноволнового излучения).

данного эксперимента — продемонстрировать возможность существования механизма изменения температурного режима при увеличении облачности за счет перераспределения аэрозольных частиц. Увеличение облачности в два раза оказалось возможным, поскольку в контрольном эксперименте балл облачности по уровням не превышает значения 0.4. Данный эксперимент дает основание предположить, что при изменении условий облакообразования вполне возможно увеличение балла облачности в два раза.

6 — эксперимент, в котором балл облачности задавался равным нулю на всех уровнях, кроме уровня ~ 500 мб поверхности, где балл облачности равен единице. Остальные характеристики те же, что и в контрольном эксперименте 1.

7 — эксперимент, в котором все характеристики, в том числе и балл облачности, на уровнях выбираются, как и в эксперименте 1, кроме уровня, соответствующего ~ 500 мб поверхности, где балл облачности равен единице. Этот эксперимент интересен тем, что позволяет на методическом уровне оценить возможное влияние образования дополнительной облачности на перераспределение тепловых характеристик.

8 — эксперимент, когда атмосфера задавалась сухой на всех уровнях, а на уровне ~ 500 мб задавалась облачность с баллом, равным единице. (Эксперимент носил исключительно методический характер.)

На рис. 2 представлены рассчитанные в соответствии с описанием экспериментов эффективные потоки длинноволнового излучения. Если исходить из цели изучения возможного влияния космического излучения на изменение электрического потенциала и перераспределение аэрозольных частиц и, как следствие, изменение облачного покрова, при этом оставаясь в рамках разумного, то наибольший интерес представляет сравнение результатов первого и пятого экспериментов. Седьмой эксперимент также не лишен смысла, так как в реалиях максимальная облачность действительно сосредоточена на уровне ~ 500 мб. Остальные эксперименты демонстрируют “экзотические” ситуации и свидетельствуют лишь о правомочности использования применяемой в расчетах радиационной модели. Крайние кривые в третьем и четвертом экспериментах, ломаные — в шестом и восьмом указывают на откровенно нереальные в природе распределения рассматриваемых характеристик. Второй эксперимент с завышенным потоком излучения связан с отсутствием

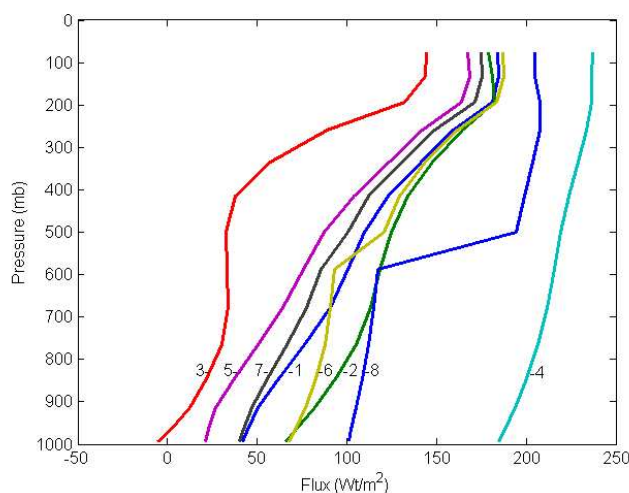


Рис. 2. Эффективные потоки длинноволнового излучения (здесь и на рис. 3 номера кривых соответствуют номеру эксперимента).

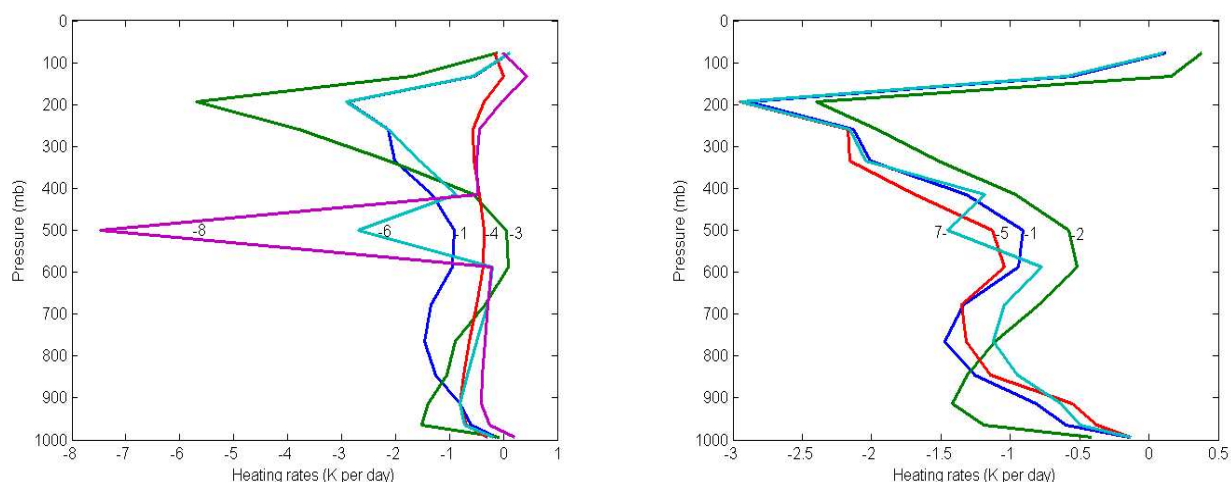


Рис. 3. Изменение температуры по вертикали.

облачности как таковой. В подтверждение сказанного на рис. 3 приведены изменения вертикального распределения температуры (скорости радиационного выхолаживания), обусловленные только наличием радиационных эффектов.

Как и следовало ожидать, увеличение балла облачности в слоях приводит к их резкому выхолаживанию за счет отражения облаками нисходящей и восходящей длинноволновой радиации. В свою очередь, длинноволновая радиация, отраженная облаками, выступает в роли дополнительной радиации вне облаков, что приводит к уменьшению радиационного выхолаживания над и под облаками. Имеют место достаточно сложные нелинейные процессы. Еще раз отметим, что все эксперименты проводились исходя из реального распределения температуры, влажности, балла облачности, которые варьировались в соответствии с тем, как было указано выше. Поскольку в данных экспериментах никоим образом не задействована глобальная климатическая модель, в которой учитываются процессы испарения, конденсации, выпадения осадков, взаимодействия с подстилающей поверхностью и пр., возникла необходимость проверки данной гипотезы в полном объеме в рамках климатической модели, разработанной в ИВМиМГ.

2. Изменение температурного режима в высоких широтах под влиянием солнечной активности

С помощью модели общей циркуляции атмосферы рассчитано несколько вариантов. Расчеты проводились с некоторого установившегося (квазиравновесного) состояния, а именно с 22 декабря. Полученные на эту дату атмосферные характеристики служили фоном для проведения первого (контрольного) расчета, с которым сравнивались методические расчеты с измененным баллом облачности. Счет для всех вариантов проводился на несколько модельных суток.

Второй вариант расчета заключался в том, что на протяжении первых модельных суток балл облачности над сушей севернее 68° N увеличивался в два раза по сравнению с исходным. Далее балл облачности вычислялся по формулам, заложенным в модель общей циркуляции атмосферы. Данный расчет позволяет учесть влияние механизма перераспределения аэрозолей и образование дополнительной облачности.

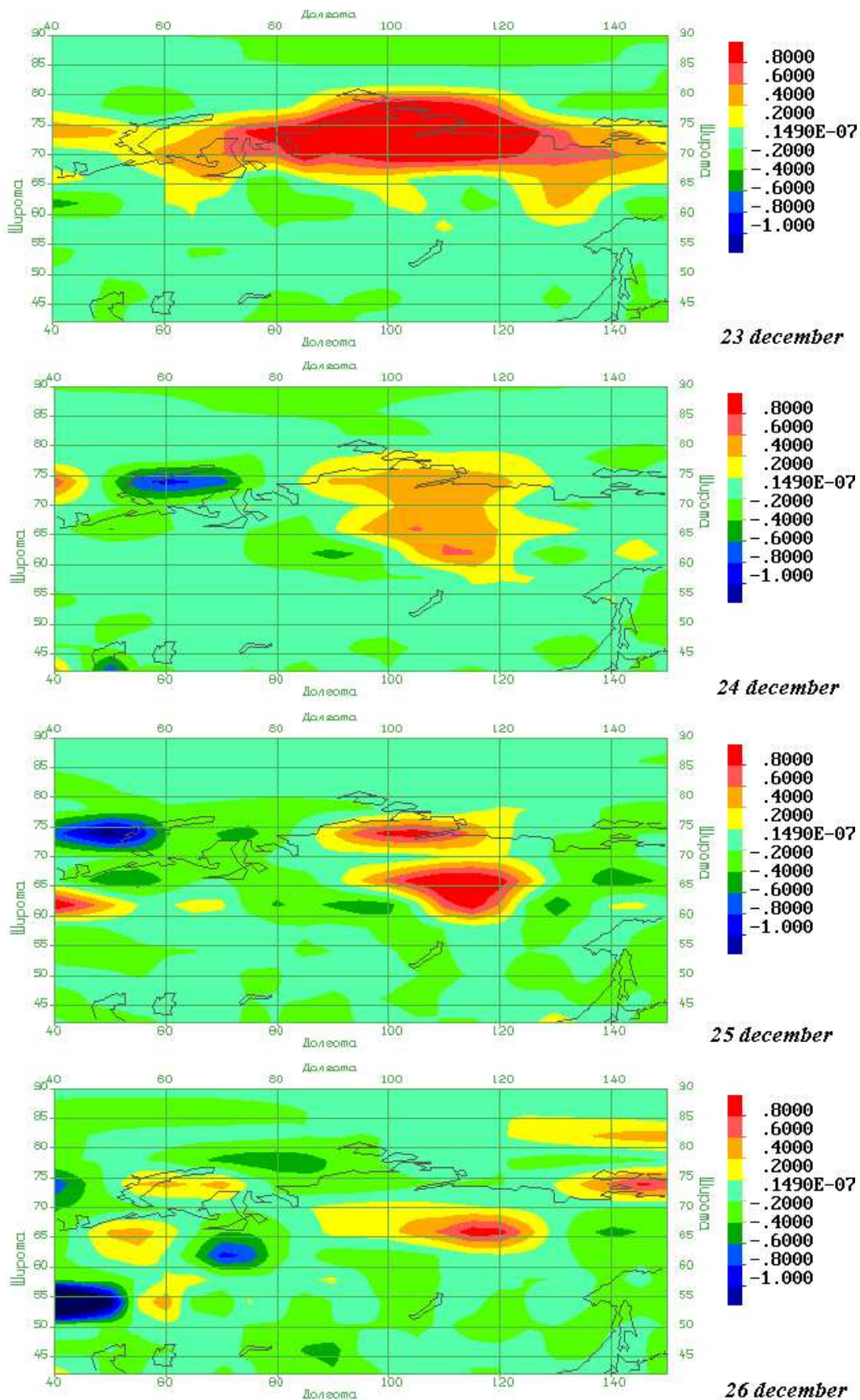


Рис. 4. Последовательное изменение температуры на уровне 1000 мб (разница между экспериментами 2 и 1).

Исходя из того, что образование дополнительной облачности возможно, например, только на нижних уровнях среднего яруса, проведен третий расчет, в котором искусственно балл облачности над сушей севернее 68°N увеличен до значения 0.8 на уровне ~ 700 мб также на протяжении первых модельных суток. Изменение балла облачности только над сушей задавалось для чистоты проведенных расчетов, поскольку было интересно исследовать изменение температуры на поверхности, где наблюдается непосредственное взаимодействие с подстилающей поверхностью, при котором температура и влажность пересчитываются на основе уравнения баланса. (В модели температура поверхности океана задана.)

На рис. 4 для примера представлены поля разностей температур между аномальным вторым и контрольным первым экспериментами на уровне 1000 мб для Сибирского региона. Если на уровне 1000 мб температура еще помнит некоторое время возникшую положительную аномалию, то на уровне 500 мб таковой вообще не возникает. Следует отметить, что происходит некоторая перестройка циркуляции атмосферы, что совершенно естественно при внесении конечных возмущений. Однако под большим сомнением остается факт, что это может отразиться на осредненных результатах долгопериодного интегрирования. Достаточно отметить, что при интегрировании на несколько последующих месяцев разница в среднемесячных значениях моделируемых характеристик не превышает естественную изменчивость.

Относительно сравнения результатов третьего и контрольного расчетов следует отметить, что в случае, если облачность увеличивается только на уровне ~ 700 мб, имеет место эффект повышения температуры также и на средних уровнях. Это опять же связано с тем, что с увеличением количества облаков возрастает встречное излучение атмосферы и уменьшается эффективное. Вопрос о том, где, на каких высотах, в каком количестве и при каких условиях возможно увеличение облачности за счет изменения солнечной активности, остается открытым.

Последнее замечание сводится к тому, что проведенные эксперименты действительно аномальны. Они призваны лишь подтвердить возможность существования механизма, описанного во введении. Нет подтверждений факту, что природа столь значимо реагирует на изменения электрического потенциала изменением облачности в таких больших масштабах. Увеличение балла облачности не в два, а в полтора раза уже значительно смягчает картину.

Заключение

На основании проведенных простых численных экспериментов показано, что механизм влияния на атмосферные характеристики в тропосфере высоких широт, основанный на гипотезе дополнительного формирования облачности за счет солнечной активности, имеет место. По меньшей мере, если действительно такой механизм существует, то это скажется на текущем термическом режиме атмосферы (погоде), что повлечет за собой перестройку всей динамики. Поскольку теплосодержание земной климатической системы за последние десятилетия заметно возросло [6], можно сделать вывод, что наблюдаемые изменения земной климатической системы обусловлены уменьшением потока энергии, излучаемого ей в космос. Но, как отмечено в [1], за последние 40–50 лет наблюдались лишь квазипериодические вариации солнечной постоянной, а значимый тренд отсутствовал. Следовательно, говорить о воздействии солнечной активности на изменение климата преждевременно.

Речь может идти лишь о внутренней изменчивости, обусловленной указанным фактором (вариациями солнечной активности). Для подтверждения значимости влияния рассмотренного механизма на изменение текущего состояния атмосферы требуется проведение дальнейших исследований, основанных на реальных данных. В случае повышения солнечной активности необходим анализ сопровождающей явление синоптической ситуации.

Список литературы

- [1] ЖЕРЕВЦОВ Г.А., КОВАЛЕНКО В.А., МОЛОДЫХ С.И., РУБЦОВА О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 12. С. 1042–1050.
- [2] GELEYN J.-F., HOLLINGSWORTH A. An economical analytical method for the computation of the interaction between scattering and line absorption of radiation contributions to atmospheric physics // Beitr. Phys. Atmosph. 1979. Vol. 52, N 1. P. 1–16.
- [3] КУРБАТКИН Г.П., КУРБАЦКАЯ Л.И. Исследование чувствительности радиационных притоков тепла к учету облачности. Новосибирск, 1986. (Препр. АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ. № 686).
- [4] FOMENKO A.A., KRUPCHATNIKOV V.N. A finite-difference model of atmospheric dynamics with conservation laws // Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., etc. 1993. Iss. 1. P. 17–31.
- [5] FOMENKO A.A., KRUPCHATNIKOV V.N., YANTZEN A.G. A finite-difference model of atmosphere (ECSib) for climatic investigations // Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., etc. 1996. Iss. 4. P. 11–19.
- [6] ЗАЙЦЕВА Н.А., ШЛЯХОВ В.И. Длинноволновая радиация в атмосфере Антарктиды // Исследование климата Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 27–33.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.