

**В.В. Козодеров, И.И. Мохов, Т.В. Панова**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИГODOVЫХ ВАРИАЦИЙ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ И ЕГО ДЛИННОВОЛНОВОГО КОМПОНЕНТА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ**

Проведен анализ внутригодовых вариаций радиационного баланса Земли по среднемесячным спутниковым данным в узлах регулярной сетки  $2,5^\circ$  по широте и долготе для сектора северного полушария, связанного с Атлантикой. Отмечены особенности энергоактивных зон во внутригодовых дисперсиях компонентов радиационного баланса с фильтрацией годовой гармоника.

Оценена степень асинхронности достижения радиационным балансом различных фаз годового хода в разных регионах. Существенно выделяется годовой ход радиационного баланса земли над Гренландией. Отмечены особенности фазовых сдвигов годового хода для отдельных компонентов радиационного баланса.

**Введение.** С 1974 г. в Национальном управлении США по атмосфере и океану проводится регулярный сбор спутниковых данных о радиационном балансе Земли (РБЗ) и его коротко- и длинноволновых компонентах. С помощью ЭВМ данные для отдельных витков со сканирующих спутниковых устройств переводятся при среднемесячном осреднении в узлы регулярной сетки (обычно  $2,5^\circ$  по широте и долготе) для всего земного шара. Полученные таким образом данные используются для исследования глобального климата и его изменений. Для американского континента, в частности, важное значение имеет понимание влияния процессов над Тихим океаном, в том числе в его тропической части. Так, в связи с выявленной дипольной аномалией в поле уходящего длинноволнового излучения в районе Индонезии и средней части тропической зоны Тихого океана на основе существующего временного ряда спутниковых измерений (1974–1983 гг.) развита теория распространения от указанной аномалии пакета баротропных волн Россби. Влияние особенностей атмосферно-океанических процессов в тропиках проявляется в глобальных атмосферных полях. В частности, отмечена связь явления Эль-Ниньо (Южное колебание) с такими климатическими особенностями, как суровые зимы на севере США и засухи в районе Сахели.

В СССР в области спутниковой климатологии значительное место занимают исследования климатического воздействия энергоактивных зон океана (ЭАЗО), в частности, влияния Северной Атлантики на погоду и климат европейского региона. Существование ЭАЗО было выявлено по результатам численного моделирования термогидродинамических процессов в системе взаимодействующих атмосферы, океана и суши. Затем особенности этих зон были отмечены при исследовании радиационных полей по спутниковым данным, при анализе дисперсий длинноволнового компонента РБЗ в межгодовой изменчивости. Использование спутниковых данных необходимо и для дальнейших исследований особенностей структуры климатической системы типа ЭАЗО, механизмов их формирования и влияния на другие регионы. В качестве конкретных путей исследования в этом направлении можно отметить построение пространственных полей собственных векторов ковариационных матриц аномалий, анализ фазовых скоростей перемещения соответствующих климатических образований (кластеров), выделение различного рода цикличностей (в частности, квазидвухлетней периодичности), определение климатических индексов с последующим анализом на их основе структуры системы и диапазона предсказуемости различных климатических явлений.

Целью анализа пространственно-временной структуры полей коротко- и длинноволновых компонентов РБЗ является понимание диагностической и прогностической значимости спутниковых данных при соответствующих масштабах осреднения. Некоторые результаты этих исследований приведены в работах [1,2]. Не останавливаясь на них подробно, отметим, что предсказуемость метеорологических полей ограничивается сроком в две недели, ввиду эффектов стохастизации и возрастания ошибок прогноза в используемых численных моделях под влиянием случайных флуктуаций. Однако для крупномасштабных атмосферно-океанических процессов, имеющих глобальное влияние, существует возможность повышения порога предсказуемости. Наличие в климатической системе регулярных или долгопериодных процессов можно связать, в частности, и с проявлением энергоактивных зон океана и поверхности суши — зон, к изменениям физических процессов в которых повышена чувствительность режимов климатических моделей.

В [3–5] на основе анализа спутниковых данных за 1974–1977 гг. отмечены особенности межгодовой изменчивости (характеризуемой дисперсией) среднемесячных полей. В связи с этим возникает необходимость исследования внутригодовой изменчивости РБЗ с использованием спутниковых данных.

В [6] исследовался годовой ход потока уходящей длинноволновой радиации  $F$  по спутниковым данным. Были отмечены особенности годового хода  $F$  в ЭАЗО. В данной работе анализируется годовой РБЗ и его особенности сравниваются с особенностями годового хода  $F$ .

**Используемые данные.** Аналогично [3–6] использовался глобальный архив данных полярно-орбитальных спутников NOAA с июня 1974 г. по ноябрь 1977 г. для компонентов РБЗ при месячном осреднении на сетке с шагом  $2,5^\circ$  по широте и долготе [10]. Акцент сделан на анализе данных для сектора Северного полушария, связанного с Северной Атлантикой — от экватора до Северного полюса и от  $100^\circ$  з.д. до  $50^\circ$  в. д.

При указанном пространственном осреднении погрешности определения среднесуточных значений уходящего коротко- и длинноволнового излучения не превышают  $10–15 \text{ Вт/м}^2$  [1, 2] и уменьшаются при дальнейшем осреднении полученных значений по отдельным месяцам. По проведенным оценкам такие погрешности обеспечивают статистическую значимость иллюстрируемых далее аномалий (отклонений соответствующих значений от их среднегодового режима) на 90%-ном уровне доверия. Для других приложений используемых статистик, полученных по спутниковым данным, необходимы дополнительные исследования.

**Результаты.** На рис. 1 приведен годовой ход среднемесячных отклонений  $\delta F = F - \bar{F}$  длинноволнового компонента РБЗ  $F$  от среднегодового режима  $\bar{F}$  для 1975 г. в энергоактивных зонах Северной Атлантики (рис. 1, а, в, д, ж) и океанических областях вне этих зон на соответствующих широтах (рис. 1, б, г, е, з). Годовой ход приведен как для исходных полей  $\delta F$  (сплошные кривые), так и после фильтрации в них годовой гармонике (штриховые). Проявляются характерные нарушения регулярности годового хода для величины  $\delta F$  в переходные сезоны (весна, осень) для трех отмеченных ЭАЗО Северной Атлантики за исключением тропической зоны, где заметно наличие полугодовой гармонике. При достаточно плавном годовом ходе  $\delta F$  для значительной части Северной Атлантики в районе указанных трех зон отмечаются дополнительные переходы через ноль. Это отмечено и для фильтрованных значений (штриховые)  $\delta F_{\text{ф}}$ , которые сильнее осциллируют по сравнению с более плавным (почти синусоидальным) годовым ходом  $\delta F_{\text{ф}}$  вне энергоактивных зон. Аналогичные результаты получены по соответствующим данным для 1976 и 1977 гг.

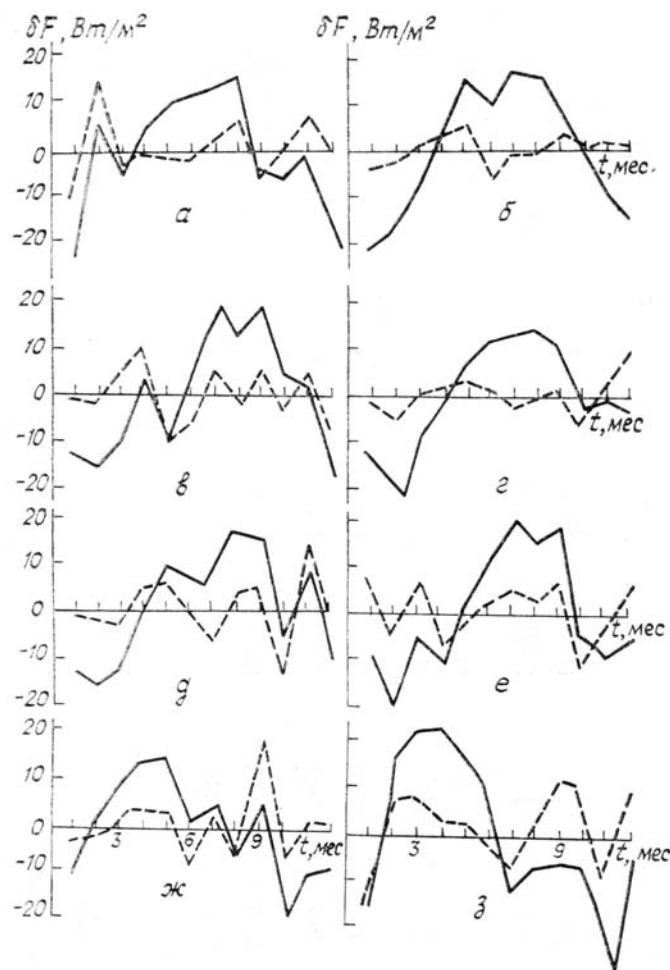


Рис. 1. Годовой ход отклонений среднемесячных полей уходящей длинноволновой радиации от среднегодового режима в 1975 г. для четырех энергоактивных зон Северной Атлантики (а, в, д, ж) и вне их (б, г, е, з): сплошная линия соответствует исходным данным, штриховая — после фильтрации годовой гармонике. Дополнительные пояснения приведены в таблице

В таблице приведены средние значения  $\bar{F}$  и дисперсии (исходных данных и фильтрованных) для четырех отмеченных на рис. 1 энергоактивных зон и вне их (на тех же широтах) в разные годы. Отметим, что при фильтрованных данных для Норвежской ЭАЗО на рис. 1, а дисперсия  $\sigma_{\phi}^2$  равна  $33 (\text{Вт}/\text{м}^2)^2$  и почти в 4 раза превышает  $\sigma_{\phi}^2 = 9 (\text{Вт}/\text{м}^2)^2$  для рис. 1, б. При нефильтрованных данных (без выделения годовой гармоники) для рис. 1, а дисперсия  $\sigma_{\text{нф}}^2$  равна  $118 (\text{Вт}/\text{м}^2)^2$ , а для рис. 1, б  $\sigma_{\text{нф}}^2 = 163 (\text{Вт}/\text{м}^2)^2$ , т.е. вне энергоактивной зоны дисперсия нефильтрованных данных больше. Соответствующие среднегодовые локальные значения  $\bar{F}$  равны  $215 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и  $210 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Анализ для других ЭАЗО Северной Атлантики (Ньюфаундлендской зоны и зоны Гольфстрима) выявил (см. табл. 1), что внутригодовые дисперсии фильтрованных данных  $\delta F_{\phi}$  в них больше, чем вне этих зон на тех же широтах независимо от соотношения дисперсий нефильтрованных данных. Исключение составляет тропическая ЭАЗО, в которой дисперсии фильтрованных данных  $\delta F_{\phi}$  меньше, чем вне ее. Из рис. 1, ж и 1, з видно, что значительный вклад вносит полугодовая гармоника.

Аналогичные выводы характерны и для данных 1976 и 1977 гг. (таблица). Это указывает на необходимость детального анализа составляющих годового хода исследуемых величин.

Отмеченные особенности проявления ЭАЗО Северной Атлантики в уходящей длинноволновой радиации оказались не столь характерными для РБЗ, определяющего суммарное воздействие на земную климатическую систему коротковолнового солнечного и длинноволнового излучения. Согласно проведенному анализу с использованием как исходных полей, так и после фильтрации годовой гармоники, не выявлено существенных различий в годовом ходе полей РБЗ в ЭАЗО и других акваториях Северной Атлантики. Это указывает на существенную роль в годовом ходе РБЗ поглощенной в системе солнечной радиации.

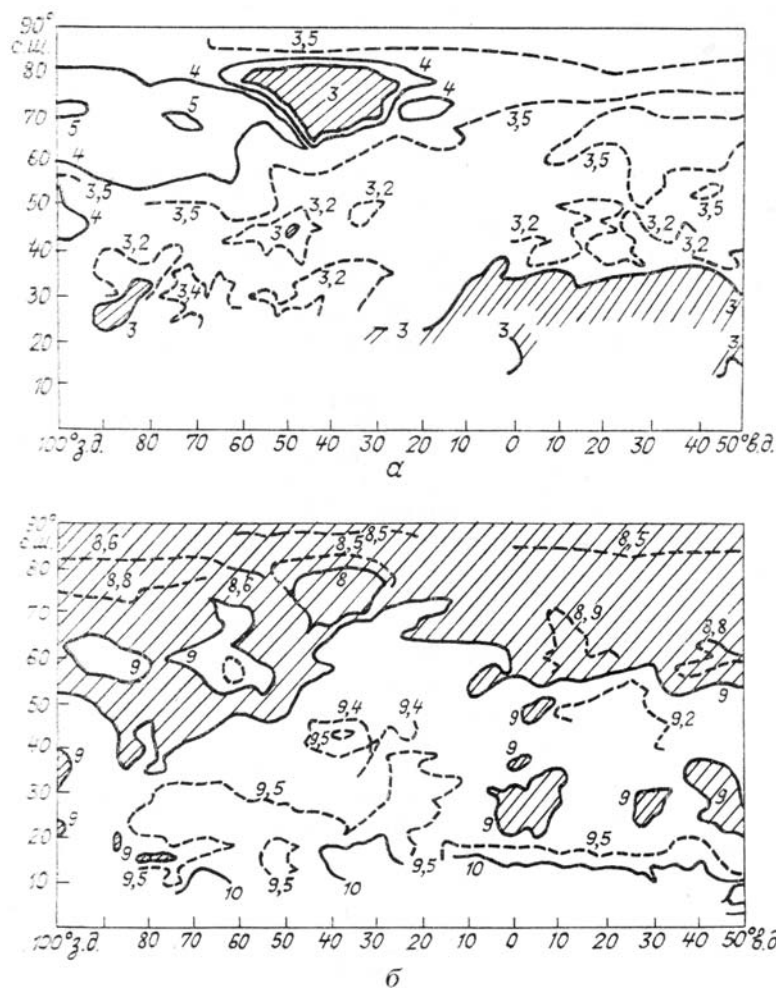


Рис. 2. Распределение изохрон 0-фазы (а) и  $\pi$ -фазы (б) годового хода радиационного баланса Земли соответственно для весеннего и осеннего сезонов 1975 г. Изохроны отмечены в месяцах, заштрихованы области с достижением 0-фазы до середины марта и  $\pi$ -фазы до середины сентября

**Среднегодовые значения потока уходящей длинноволновой радиации ( $F$ ), дисперсии исходных данных ( $\sigma_{\text{нф}}^2$ ) и дисперсии фильтрованных данных ( $\sigma_{\text{ф}}^2$ ) за 1975—1977 гг. для четырех ЭАЗО Северной Атлантики и вне их**

	$F$ [Вт/м <sup>2</sup> ]			$\sigma_{\text{нф}}^2$ [(Вт/м <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> ]			$\sigma_{\text{ф}}^2$ [Вт/м <sup>2</sup> ]		
	1975	1976	1977	1975	1976	1977	1975	1976	1977
а) Норвежская ЭАЗО, 62,5° с.ш., 2,5° в.д.	215,1	215,1	213,5	118,3	185,6	117,7	33,3	42,3	17,0
б) 62,5° с.ш., 20° з.д.	210,5	209,3	212,0	163,0	116,3	44,8	8,9	15,0	8,8
в) Ньюфаундлендская ЭАЗО, 45° с.ш., 45° з.д.	227,5	223,7	223,4	148,1	257,1	220,3	30,1	39,9	31,3
г) 45° с.ш., 20° з.д.	232,9	232,7	229,5	112,9	74,3	140,4	13,2	25,9	11,0
д) ЭАЗО Гольфстрим, 37,5° с.ш., 70° з.д.	232,7	231,9	233,0	134,4	173,6	247,4	41,4	38,2	31,4
е) 37,5° с.ш., 30° з.д.	244,9	246,1	240,4	163,6	112,7	221,0	26,6	15,6	18,2
ж) Тропическая ЭАЗО, 7,5° с.ш., 45° з.д.	251,0	248,7	249,5	105,2	40,7	95,7	28,8	37,1	43,1
з) 7,5° с.ш., 30° з.д.	244,7	242,8	238,1	236,3	241,8	385,5	41,6	68,3	64,0

Наряду с анализом дисперсий (как характеристик изменчивости) проводился анализ характеристик эволюции радиационных полей, в частности степени синхронности их годового хода в различных регионах, с использованием метода амплитудно-фазовых характеристик [7, 8]. В [6] исследование на основе этого метода времен достижения в годовом ходе  $F$  локального среднегодового режима  $\bar{F}$  в разных широтно-долготных областях выявило доминирование в северном полушарии годовой гармонике с двумя моментами достижения режима  $\bar{F} - t \uparrow$  и  $t \downarrow$  с положительной (0-фаза) и отрицательной ( $\pi$ -фаза) производной по времени. (Исключение составляют тропические широты). При этом были отмечены различия эволюции  $F$  в 0- и  $\pi$ -фазах годового хода, в том числе в ЭАЗО. Аналогичный анализ в данной работе проведен для РБЗ по данным 1975 г. (рис. 2).

Наиболее раннее (до середины марта) достижение среднегодового режима РБЗ при анализе режима 0-фазы (рис. 2, а) отмечено над Гренландией, над Северной Африкой и Ближним Востоком, в районе Флориды и Мексиканского залива, а также вблизи Ньюфаундленда. К концу марта режим этой фазы достигается над большей частью Северной Атлантики, над европейским и американским континентами (за исключением их северных частей). Можно отметить значительную область с достижением режима 0-фазы в марте, глубоко вдающуюся в Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане в пояс широт (от 60° с. ш. до 80-х широт) с более поздним достижением режима 0-фазы в апреле.

Следует отметить также некоторые особенности эволюции поля РБЗ в сравнении с эволюцией поля  $F$  в годовом ходе. Режим 0-фазы  $F$ , как и температуры поверхности океана в годовом ходе, для района Ньюфаундлендской ЭАЗО достигается позднее (в июне), чем в соседних областях [8]. Режим же 0-фазы РБЗ в этой зоне достигается раньше (в середине марта), чем в соседних. Объяснение этого эффекта можно дать согласно [9], где анализировалась взаимная эволюция зонально-осредненных полей РБЗ ( $R$ ) и его компонентов — длинноволнового излучения  $F$  и поглощенной в системе солнечной радиации  $F_S (R = F_S - F)$  в годовом ходе. В [9] отмечено, что при большей амплитуде годового хода  $F_S$  по сравнению с  $F$  (что характерно для реальных данных) фазы годового хода  $R$  тем более опережают соответствующие фазы годового хода  $F_S$  и  $F$ , чем более фазы годового хода  $F$  при этом отстают от фаз годового хода  $F_S$ . Таким образом, зоны относительной задержки годового хода  $F$  могут соответствовать зонам относительного опережения годового хода  $R$ .

Противоположные тенденции фазовых сдвигов годового хода  $F$  и  $R$  проявляются также в средних и высоких широтах. В [9] была отмечена общая особенность весенней эволюции поля  $F$  с наиболее ранним достижением режима 0-фазы в поясе субарктических и средних широт. Соответственно для годового хода РБЗ в этом поясе проявляется относительно более позднее достижение режима 0-фазы. При этом резко выделяется область Гренландии. В фазовых характеристиках годового хода  $F$  столь резкого выделения Гренландии не было отмечено.

Режим  $\pi$ -фазы (рис. 2, б) также быстрее всего (в августе) достигается над Гренландией, а к середине сентября — над значительной частью севера Канады и Канадской Арктикой, а также над северной частью Европы и европейской Арктикой. Проявляется смещение осенью последовательных изохрон  $\pi$ -фазы от полюса в более низкие широты. При этом отмечается запаздывание достижения режима  $\pi$ -фазы над Северной Атлантикой. Можно выделить особенности сравнительно раннего достижения режима  $\pi$ -фазы к середине сентября над Северной Африкой и Ближним Востоком. Более позднее (в октябре) прохождение режима  $\pi$ -фазы отмечено в тропических широтах.

В связи с выявленными с помощью метода амплитудно-фазовых характеристик особенностями эволюции поля РБЗ над Гренландией на рис. 3 приведен пример годового хода  $\delta R$  для Гренландии (а) и для сравнения — для той же широты на долготе Гринвича (б). Естественно, отличия годового хода РБЗ над Гренландией связаны с ее ледниковым щитом с большой отражательной способностью и инерционностью.

Среднее по трем годам среднегодовое значение РБЗ для рис. 3, *a* примерно на  $30 \text{ Вт/м}^2$  меньше, чем для рис. 3, *б*. При этом величины отклонений от среднегодового режима РБЗ по данным 1975, 1976 и 1977 г. на рис. 3, *a* для Гренландии не превышают  $30 \text{ Вт/м}^2$ , тогда как для рис. 3, *б* существенно превышают  $100 \text{ Вт/м}^2$ . Таким образом, Гренландия выделяется малой амплитудой годового хода РБЗ. Следует также отметить, что межгодовая изменчивость сезонных вариаций РБЗ на рис. 3, *a* относительно высокая по сравнению с рис. 3, *б*.

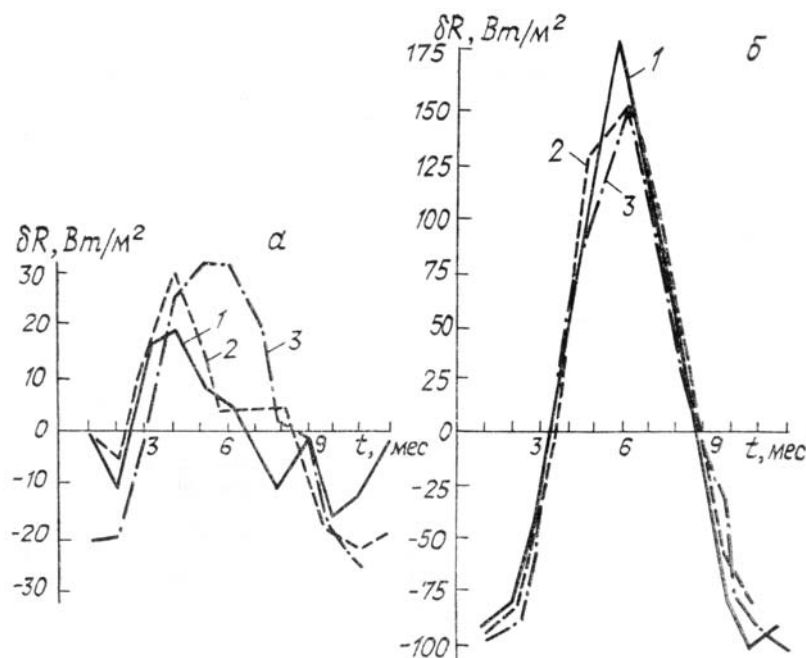


Рис. 3. Годовой ход отклонения радиационного баланса Земли от среднегодового режима для  $75^\circ$  с.ш. на долоте  $45^\circ$  з.д. (*a*) и  $0^\circ$  (*б*) в 1975 (кривая 1), в 1976 (2), в 1977 г. (3)

**Выводы.** Отмечено проявление энергоактивных зон Северной Атлантики как зон заметных отклонений от сравнительно плавного (регулярного) годового хода длинноволнового компонента РБЗ вне этих зон в весеннем и осеннем сезонах. При этом в ЭАЗО внетропических широт получены более высокие, чем для «фоновых режимов», значения внутригодовых дисперсий длинноволнового компонента после фильтрации годовой гармонике. Анализ внутригодовой изменчивости РБЗ не позволил сделать однозначный вывод об особенностях энергоактивных зон. При этом отмечена особенность годового хода РБЗ над Гренландией.

Отмечены противоположные тенденции фазовых сдвигов годового хода потока уходящей длинноволновой радиации  $F$  и радиационного баланса Земли  $R$ : для областей более раннего достижения  $F$  весенней (или осенней) фазы годового хода отмечается более позднее достижение  $R$  соответствующих фаз и наоборот. В частности, в области Ньюфаундлендской ЭАЗО с относительным запаздыванием достижения 0-фазы для  $F$  отмечено относительно раннее достижение режима 0-фазы для  $R$ .

1. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В. Радиационный баланс Земли: ключевые аспекты. М.: Наука, 1988. 224 с.
2. Кондратьев К.Я., Дьяченко Л.Н., Козодеров В.В. Радиационный баланс Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 352 с.
3. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В. //Исследование Земли из космоса. 1984. № 1. С. 3–15.
4. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Авасте О.А., Козодеров В.В., Кярнер О.Ю. Межгодовая изменчивость компонентов радиационного баланса Земли по данным спутниковых измерений //Доклады АН СССР. 1985. Т. 280. № 1. С. 65–70.
5. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 512 с.
6. Козодеров В.В., Мохов И.И., Панова Т.В. //Метеорология и гидрология. 1989. № 6.
7. Мохов И.И. Метод амплитудно-фазовых характеристик для анализа динамики климата //Метеорология и гидрология. 1985. № 5. С. 80–89.
8. Мохов И.И. Диагностика динамики температурного режима океана в годовом ходе методом амплитудно-фазовых характеристик //Океанология. 1987. Т. XXVII. Вып. 3. С. 369–376.
9. Мохов И.И. Диагноз особенностей годового хода климатических полей в атмосфере //Исследования вихревой динамики и энергетики атмосферы и проблема климата. Л.: Гидрометеоздат, 1989.
10. Winston J.S. et al. Earh-atmosphere radiation budget analyses derived from NOAA satellite data June 1974–February 1978. U. S. Depart, of Commerce, NOAA/ NESS. 1979.

V. V. Kozoderov, I. I. Mokhov, T. V. Panova. **Investigation of the Intraannual Variations of the Earth's Radiation Budget and of its Long Wave Component Based on Satellite Data.**

The paper presents the results of an analysis of the monthly variations of the Earth's radiation budget using monthly averaged satellite data obtained at the nodes of a regular network with  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  cells in a northern hemisphere sector over the Atlantic. Some peculiar features of the energetically important zones are emphasized in the monthly variances of the radiation budget components after filtering the annual harmonic. The assessments are made in the paper of the time difference between the moments at which certain phases of annual behavior of the radiation budget are reached in different regions. The essential peculiarities in the annual behavior of the radiation budget over the Greenland are discussed. It is also noted in the paper that phase shifts in annual behaviors of different components of the radiation budget have certain peculiarities.