

УДК 551.590.2

О проблеме реконструкции среднегодовых значений альbedo Земли

Н.Н. Завалишин*

ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт»
630099, г. Новосибирск, ул. Советская, 30

Поступила в редакцию 28.02.2012 г.

Рассмотрена проблема восстановления многолетнего ряда значений сферического альbedo Земли. Построенная модель реконструирует среднегодовые значения альbedo на основе среднегодовой температуры приземной тропосферы и тепловой инерции гидросферы. Доказана устойчивость модели к вариациям начальных данных, что подтверждается на практике с 1880 г. Оценивается точность воспроизведения альbedo на интервале 1984–1999 гг.

Ключевые слова: геосферы, энергетический дисбаланс, сферическое альbedo, измерения альbedo, модель, реконструкция альbedo; geospheres, energy imbalance, spherical albedo, albedo measurements, model, reconstruction of albedo.

Введение

Вывод об антропогенной причине современного потепления, сделанный в [1], основан на учете лишь приходящего к Земле потока солнечной радиации. В [2, 3] построена модель изменения температуры приземной атмосферы на основе учета дисбаланса между приходящим и уходящим потоками энергии. На вековых интервалах времени этот дисбаланс регулируется аномалиями альbedo Земли.

Проблема в том, что ряд инструментальных измерений альbedo насчитывает менее 30 лет. На столь малом интервале сложно понять вклад различных факторов в изменения альbedo Земли, как земных, так и космических. Например, трудно разделить изменения альbedo, вызванные космическими лучами [4], вулканизмом [5], вырубкой лесов и другими факторами [6, 7 и др.]. Альbedo — глобальный, многофакторный параметр, следовательно, его моделирование возможно только глобальными моделями, в комплексе учитывающими основные процессы в геосферах. Основную роль в понимании факторов и механизмов формирования альbedo играют различные гидродинамические модели, представленные, например, в обзоре [8]. Из всего многообразия моделей нам ближе те из них, объектом изучения которых является межгодовая изменчивость радиационного баланса Земли, который, вообще говоря, не считается нулевым, например модель Винникова–Гройсмана [9], модель В.И. Будового [10]. В более широком плане отметим исследования по изменчивости не только баланса, но и его составляющих [11–15 и др.].

Верификация моделей, учитывающих изменчивость годовой уходящей коротковолновой радиации, сталкивается с дефицитом данных относительно альbedo Земли. Что делать?

Во-первых, естественно, продолжать накопление архива инструментальных измерений альbedo и совершенствовать методику оценки сферического альbedo Земли. В частности, измерять альbedo не только по отраженному свету Луны, но и с помощью приборов, установленных непосредственно на Луне [16]. Рис. 1 иллюстрирует один из возможных проектов: аппаратура устанавливается в двух точках, находясь в районе экватора у противоположных краев диска Луны, со сдвигом от краев диска к центру примерно на 8° , с учетом оптической либрации Луны по долготе. На освещенной Солнцем стороне Луны (1) измеряются интегральный поток солнечной радиации и отдельно ультрафиолетовая часть спектра как наиболее изменчивая. В это же время на неосвещенной стороне (2) приборы будут фиксировать уходящую от Земли коротковолновую и длинноволновую радиацию. Полученные данные, в сочетании со спутниковыми измерениями на высокоширотных орбитах, создадут основу для эффективной оценки сферического альbedo и радиационного баланса Земли с высоким разрешением по времени. Это сложная техническая проблема, но ее можно решить объединенными усилиями.

И во-вторых, реконструировать временной ряд альbedo Земли, т.е. решить обратную к [2] задачу, а именно: построить модель изменения альbedo в зависимости от изменений состояния геосфер — температуры гидросферы и атмосферы, объема и площади криосферы, уровня Мирового океана. Ряды инструментальных измерений по геосферам насчитывают сотни лет, и это предоставляет возможность настолько же увеличить ряд по альbedo Земли.

* Николай Николаевич Завалишин (znn@sibnigmi.ru).

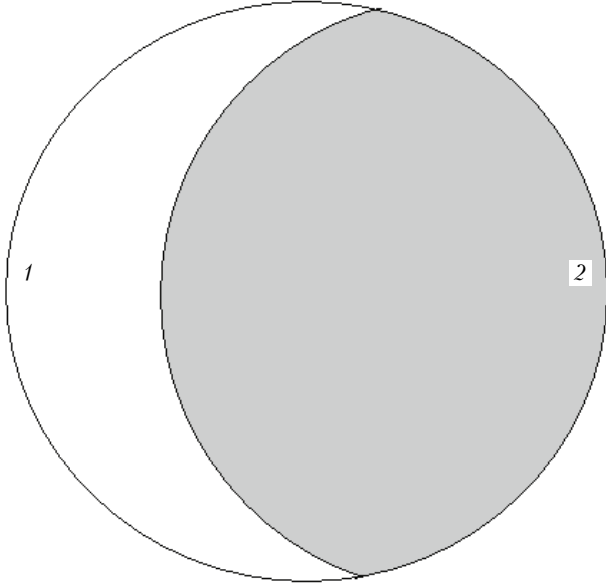


Рис. 1. Схема установки комплексов приборов на Луне для измерения элементов радиационного баланса Земли

Модели реконструкции могут быть различными в зависимости от предположений, положенных в их основу. Здесь важна не только реконструкция ряда, но и оценка точности восстановления альbedo. Цель работы – постановка, обсуждение проблемы и получение первых результатов по реконструкции среднегодовых значений сферического альbedo Земли.

Модель

В работах [2, 3] построена модель, связывающая годовые аномалии температуры приземной атмосферы со среднегодовыми значениями альbedo Земли:

$$\frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N} = \frac{(A_N - A_k)}{4(1 - A_N)} + \frac{Z_0}{4} \sum_{j=1}^L e_j \frac{(A_k - A_{k-j})}{(1 - A_k)}, \quad (1)$$

где Θ_k , Θ_N – среднегодовая температура (в кельвинах) приземной атмосферы в k -м году и ее норма. Под нормой понимается среднее значение за 1951–1980 гг. Обоснование дано в [3]; A_k , A_N – сферическое альbedo (Bond albedo) Земли в k -м году и среднегодовая норма альbedo соответственно. Под нормой альbedo понимается такое его значение, при котором обеспечивается нулевой годовой баланс тепла между верхним и глубинным слоем Мирового океана [3]; L – глубина тепловой инерции Мирового океана в годах; e_j – положительные числа, сумма которых равна единице. Они показывают долю тепла (от переданного в глубинный слой тепла при $j = 0$), которое будет возвращено в j -м году из глубинного слоя в верхний слой Мирового океана. Константа Z_0 характеризует интенсивность теплообмена между верхним и глубинным слоями Мирового океана ($0 \leq Z_0 < 1$).

Введем обозначения:

$$\bar{A} = 1 - A, \quad p_k = \frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N}, \quad x_k = \frac{\bar{A}_k}{\bar{A}_N},$$

$$b_k = \frac{1 + Z_0}{2} + 2 \frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N}, \quad c_k = Z_0 \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}}{\bar{A}_N}, \quad (2)$$

и перепишем (1)

$$p_k = \frac{(\bar{A}_k - \bar{A}_N)}{4\bar{A}_N} + \frac{Z_0}{4\bar{A}_k} \sum_{j=1}^L e_j (\bar{A}_{k-j} - \bar{A}_k).$$

Умножим обе части последнего уравнения на $4\bar{A}_N\bar{A}_k$:

$$4\bar{A}_N\bar{A}_k p_k = (\bar{A}_k - \bar{A}_N)\bar{A}_k + \bar{A}_N Z_0 \sum_{j=1}^L e_j (\bar{A}_{k-j} - \bar{A}_k).$$

Раскрываем скобки и, учитывая, что сумма e_j равна единице, получим

$$\bar{A}_k\bar{A}_k - \bar{A}_N\bar{A}_k + \bar{A}_N Z_0 \sum_{j=1}^L e_j \bar{A}_{k-j} - \bar{A}_N Z_0 \bar{A}_k - 4\bar{A}_N\bar{A}_k p_k = 0,$$

$$\bar{A}_k^2 - (\bar{A}_N + 4\bar{A}_N p_k + \bar{A}_N Z_0)\bar{A}_k + \bar{A}_N Z_0 \sum_{j=1}^L e_j \bar{A}_{k-j} = 0.$$

Разделим последнее уравнение на \bar{A}_N^2 и перепишем его с учетом ранее введенных обозначений (2):

$$x_k^2 - 2b_k x_k + c_k = 0. \quad (3)$$

Решением уравнения (3) будут корни

$$x_k = b_k \pm \sqrt{b_k^2 - c_k}. \quad (4)$$

Будем считать, что $b_k^2 \geq c_k$, и для определения знака перед корнем положим $A_k = A_N$ для всех значений индекса k . В этом случае из (1), (2) для всех значений k

$$\Theta_k = \Theta_N, \quad b_k = \frac{1 + Z_0}{2}, \quad c_k = Z_0$$

и из (4) получим условие

$$1 = \frac{1 + Z_0}{2} \pm \left| \frac{1 - Z_0}{2} \right|.$$

С учетом того, что $Z_0 < 1$, перед корнем должен быть знак плюс. Следовательно:

$$\frac{\bar{A}_k}{\bar{A}_N} = b_k + \sqrt{b_k^2 - c_k},$$

или в развернутом виде

$$\frac{\bar{A}_k}{\bar{A}_N} = \frac{1 + Z_0}{2} + 2 \frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{1+Z_0}{2} + 2\frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N}\right)^2 - Z_0 \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}}{\bar{A}_N}}. \quad (5)$$

По найденной рекуррентной формуле (5) можно вычислить значение альbedo в k -м году A_k , если известны L предшествующих значений альbedo A_{k-1} , A_{k-2} , ..., A_{k-L} , среднегодовая температура приповерхностной атмосферы в k -м году Θ_k , нормы альbedo и температуры A_N , Θ_N , константа Z_0 и набор коэффициентов e_1, e_2, \dots, e_L .

Если не учитывать тепловую инерцию гидросферы ($Z_0 = 0$), то формула (5) примет симметричный и красивый вид:

$$\frac{\bar{A}_k - \bar{A}_N}{\bar{A}_N} = 4 \frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N}. \quad (6)$$

Устойчивость модели

Чтобы начать счет по рекуррентной формуле (5), необходимо знать значения альbedo за L предшествующих лет. Так как регулярные измерения альbedo проводятся с 1984 г., то для более ранних периодов не существует данных для начального (разгонного) участка в (5). Поэтому заменим в (5) фактические значения альbedo их оценками

$$\bar{A}_{k-1}, \bar{A}_{k-2}, \dots, \bar{A}_{k-L} \Rightarrow \bar{A}_{k-1}^*, \bar{A}_{k-2}^*, \dots, \bar{A}_{k-L}^*$$

и посмотрим, насколько эта замена повлияет на результат вычисления альbedo в k -м году:

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \frac{\bar{A}_k^*}{\bar{A}_N} - \frac{\bar{A}_k}{\bar{A}_N} = \\ &= b_k \sqrt{1 - \frac{Z_0}{b_k^2} \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}^*}{\bar{A}_N}} - b_k \sqrt{1 - \frac{Z_0}{b_k^2} \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}}{\bar{A}_N}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Обозначим

$$\tilde{y}_k = \frac{Z_0}{b_k^2} \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}^*}{\bar{A}_N}, \quad y_k = \frac{Z_0}{b_k^2} \sum_{j=1}^L e_j \frac{\bar{A}_{k-j}}{\bar{A}_N}.$$

Величины y_k , \tilde{y}_k положительные по определению и не больше единицы из-за корней в (7):

$$0 \leq \tilde{y}_k, \quad y_k \leq 1. \quad (8)$$

Перепишем (7) в новых обозначениях и разложим корни в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} \Delta_k &= b_k \sqrt{1 - \tilde{y}_k} - b_k \sqrt{1 - y_k} = \\ &= b_k \left(1 - \frac{\tilde{y}_k}{2} - \frac{\tilde{y}_k^2}{8} - \frac{\tilde{y}_k^3}{16} - 1 + \frac{y_k}{2} + \frac{y_k^2}{8} + \frac{y_k^3}{16} + o(1) \right). \end{aligned}$$

Пренебрегая разностью остатков рядов Тейлора, получим

$$\frac{\Delta_k}{b_k} = \frac{y_k - \tilde{y}_k}{2} + \frac{y_k^2 - \tilde{y}_k^2}{8} + \frac{y_k^3 - \tilde{y}_k^3}{16} =$$

$$= \frac{y_k - \tilde{y}_k}{2} \left(1 + \frac{y_k + \tilde{y}_k}{4} + \frac{y_k^2 + y_k \tilde{y}_k + \tilde{y}_k^2}{8} \right),$$

$$|\Delta_k| \leq b_k \left| \frac{y_k - \tilde{y}_k}{2} \right| \left(1 + \frac{2}{4} + \frac{3}{8} \right) =$$

$$= 0,9 \frac{Z_0}{b_k} \sum_{j=1}^L e_j \frac{|\bar{A}_{k-j} - \bar{A}_{k-j}^*|}{\bar{A}_N} \leq 0,9 \frac{Z_0}{b_k} \max |\bar{A}_{k-j} - \bar{A}_{k-j}^*|.$$

Следовательно, ошибка в оценке A_k не превосходит

$$|\bar{A}_k - \bar{A}_k^*| = |A_k - A_k^*| \leq 0,9 \frac{Z_0}{b_k} \max |A_{k-j} - A_{k-j}^*|,$$

где максимум берется по $j = 1, \dots, L$. Отсюда получаем условие устойчивости алгоритма оценки альbedo к сбою в начальных данных:

$$0,9 \frac{Z_0}{b_k} < 1. \quad (9)$$

Из графика, представленного в отчете ВМО [17], видно, что за период 1850–2011 гг. $\max |\Theta_k - \Theta_N| < 1$ К, следовательно

$$\left| b_k - \frac{1+Z_0}{2} \right| = 2 \left| \frac{\Theta_k - \Theta_N}{\Theta_N} \right| \leq \frac{2}{287} = 0,007.$$

Поэтому условие (9) выполняется для всех $0 \leq Z_0 < 1$.

Осталось установить, при каких условиях выполняется неравенство (8). Отклонения среднегодовых значений альbedo от нормы не превышали 0,01 даже в период наиболее значительных современных изменений температуры [18]. Из этого эмпирического факта и из определения y_k следует, что

$$y_k < \frac{Z_0}{b_k^2} \frac{\max A_{k-j}}{A_N} < \frac{Z_0}{b_k^2} \frac{A_N + 0,01}{A_N} <$$

$$< \frac{4Z_0}{(1+Z_0 - 0,014)^2} (1 + 0,033) < 1.$$

Последнее неравенство выполняется для всех $Z_0 < 0,63$. Это же ограничение относится и к \tilde{y}_k , но при условии, что оценка альbedo на разгонном участке не будет превышать норму альbedo на 0,01. Отсюда очевидно, что на разгонном участке следует взять $A_j^* = A_N$.

Итак, ошибка среднегодового альbedo будет уменьшаться со скоростью, определяемой параметром (9), при условии

$$Z_0 < 0,63. \quad (10)$$

Факт устойчивости модели (5) к сбою в данных на разгонном участке иллюстрирует рис. 2, где представлены результаты модельного расчета реконструкции альbedo при следующих начальных данных:

$$L = 80 \text{ лет}; \quad Z_0 = 0,5; \quad e_k = \frac{2}{L} \left(1 - \frac{k}{L+1} \right);$$

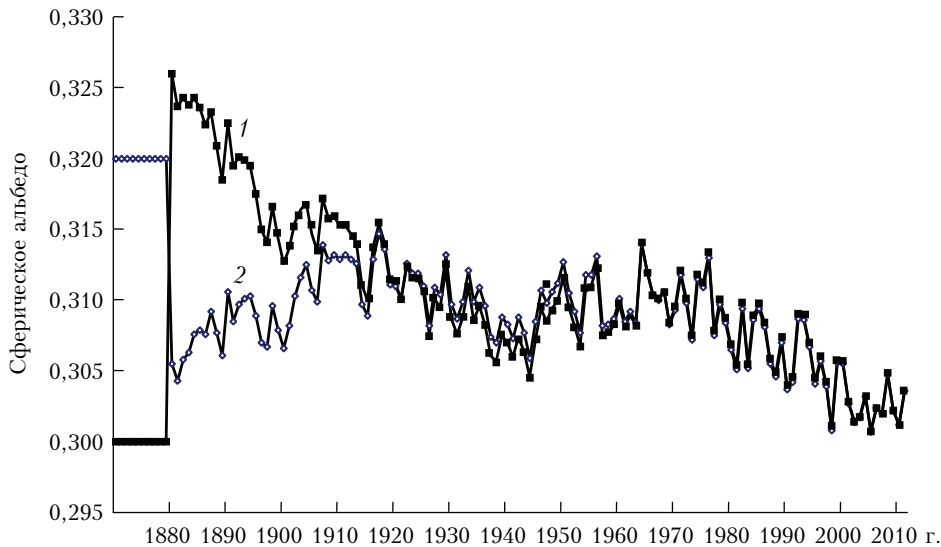


Рис. 2. Устойчивость модели реконструкции сферического альбедо Земли (5) к сбою данных на разгонном участке с параметрами: $L = 80$; $Z_0 = 0,5$; $A_N = 0,31$; $A_0^* = 0,30$ (1), 0,32 (2)

$$\Theta_N = 287; A_N = 0,31,$$

и двух вариантов значений альбедо на разгонном участке — 0,30 и 0,32, которые для наглядности представлены на десятилетнем интервале. Видно, что через 40 лет оценки альбедо сходятся, а через 80 лет практически совпадают.

Этот факт подтверждает полученные выше теоретические оценки: через L лет после разгонного участка оценка альбедо практически не зависит от значений альбедо на этом участке, конечно при соблюдении условия (10).

Реконструкция и оценка альбедо

Регулярные измерения сферического альбедо Земли начались 30 лет назад и продолжаются по настоящее время. Основной метод — измерения со спутников, которые дополняются в последние годы измерениями отраженного света Луны. К сожалению, пока что нет единого выверенного многолетнего ряда значений сферического альбедо Земли. В таких условиях восстанавливать альбедо по модели (5), отдавая предпочтение какому-либо из опубликованных рядов значений альбедо, было бы преждевременно. Поэтому последующие оценки надо понимать лишь как демонстрацию возможностей модели.

Счет по формуле (5) требует ответа на ряд вопросов.

1. Выбор ряда среднегодовых значений альбедо Земли. Здесь есть варианты. Возьмем ряд с 1984 по 1999 г. [19], который создан авторами на основе фундаментальной зависимости альбедо от облачности, имеет глобальный характер, годовое разрешение и представлен в абсолютной форме.

2. Что понимать под нормой сферического альбедо? В литературе по этому вопросу существует значительный разброс мнений: от 0,306, по оценке NASA [20], и до 0,39. Если предположить, что ряд

из [19] не имеет смещения, то, при определенных ниже условиях, получим оценку $A_N = 0,313$, которую и будем применять в расчетах.

3. Многолетний ряд среднегодовых аномалий приповерхностной температуры атмосферы и его норма. В цитированном отчете ВМО [17] представлены 3 графика аномалий среднегодовой приповерхностной температуры атмосферы Земли, рассчитанные ведущими климатическими центрами. Выбираем ряд из [21], так как норма этого ряда $T_N = 13,9$ °C считается относительно периода 1951–1980 гг., который рекомендован в [3].

4. Выбор типа функции многолетнего возврата тепла из глубинного в верхний слой Мирового океана. Учитывая вышесказанное, ограничимся наиболее простым линейным типом.

5. Как выбрать значения параметров A_N , L и Z_0 ? Для этого потребуем, чтобы оценка этих параметров была эффективной, т.е. разница между вычисленными годовыми значениями альбедо по (5) и фактическими значениями из [19] на интервале 1984–1999 гг. должна быть:

- а) несмещенной (сумма отклонений равна нулю);
- б) с минимальной дисперсией (или СКО — среднеквадратическим отклонением).

При указанных условиях расчет по (5) привел к следующим выводам:

— лучшие результаты характеризуются значением СКО, равным 0,003, что составляет треть часть от размаха альбедо в конце XX в.;

— решение — не единственное: минимум СКО достигается на различных парах значений параметров L и Z_0 . При увеличении глубины тепловой инерции L уменьшается параметр Z_0 , характеризующий годовую долю передачи тепла в глубинный слой;

— при соблюдении требования несмещенности оценки параметра Z_0 не превосходили значения 0,5.

Заканчивая, покажем работу модели на прогнозе среднегодового альбедо. Так как ряд [19] пред-

ставлен 16 годами, положим $L = 16$ и вычислим по (5) оценку альbedo на 2000 г. для значения параметра $Z_0 = 0,0$ (без учета тепловой инерции Мирового океана — линейная модель) и $Z_0 = 0,5$ (с учетом тепловой инерции — нелинейная модель).

Приняв полученную оценку за фактическое значение альbedo в 2000 г., сделаем аналогичные вычисления для 2001 г. и далее по этому алгоритму вплоть до 2011 г. Результаты представлены на рис. 3.

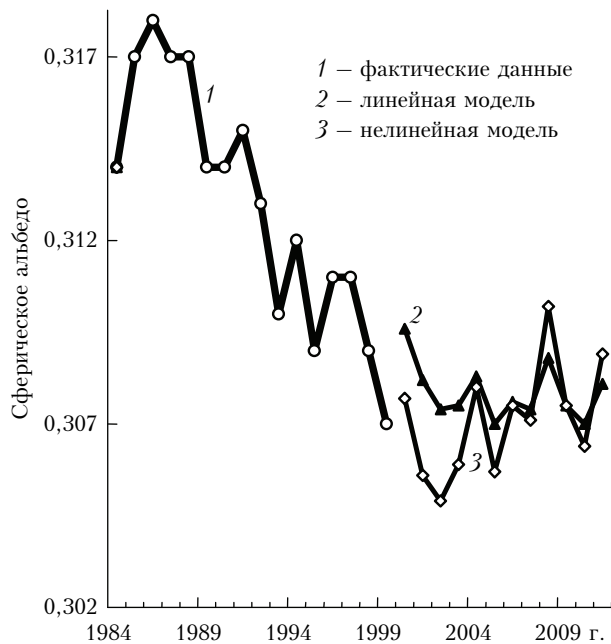


Рис. 3. Оценка сферического альbedo Земли по модели (5); $L = 16$; $A_N = 0,313$

Видно, что линейная модель имеет тренд на уменьшение альbedo, а нелинейная показывает тренд на увеличение альbedo. В статье [22] установлено, что в период 1999–2007 гг. имел место положительный тренд альbedo, что подтверждает большую адекватность нелинейной модели по сравнению с линейной моделью.

Заключение

Пока нет достаточного объема данных по элементам радиационного баланса Земли, актуальной является проблема реконструкции сферического альbedo Земли как основного регулятора радиационного дисбаланса на интервалах десятков и сотен лет.

Существует множество вариантов реконструкции среднегодовых значений альbedo Земли на основе различных комбинаций таких элементов, как температура поверхности океана, запасы тепла в океане, площадь и объем криосферы, приземная температура воздуха и др. При любых алгоритмах реконструкции нужно знать и меру точности восстановления.

Для успешной реконструкции альbedo, кроме эффективного алгоритма восстановления, надо иметь выверенный многолетний участок ряда инструментальных измерений альbedo.

Необходима международная кооперация в проектировании и создании системы инструментальных наблюдений за элементами радиационного баланса Земли на основе комплекса измерений со спутников, Луны и Земли.

1. Четвертый доклад МГЭИК. Изменение климата 2007 г. Обобщающий доклад. Женева: МГЭИК, 2008. 104 с.
2. Завалишин Н.Н. Модель зависимости температуры приземной атмосферы от альbedo Земли и тепловой инерции гидросферы // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 480–484.
3. Завалишин Н.Н. Перспективная оценка температуры нижней тропосферы моделью «альbedo–температура» // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 47–51.
4. Sveinmark H., Fris-Christensen E. Variations of cosmic ray flux and global cloud coverage — a missing link in solar-climate relationship // Atmos. Sol.-Terr. Phys. 1997. V. 59. P. 1225–1232.
5. Зуев В.В., Зуева Н.Е. Вулканогенные возмущения стратосферы — главный регулятор долговременного поведения озоносферы в период с 1979 по 2008 г. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 30–34.
6. Hansen J., Sato M., Kharecha P., von Schuckmann K. Earth's energy imbalance and implications // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11. P. 13421–13449. DOI: 10.5194/acp-11-13421-2011.
7. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Закономерности климатических изменений в XX в. и основные физические процессы, ответственные за эти изменения // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле». 2011. Т. 4, № 1. С. 87–108.
8. Bender F.A.-M., Rodhe H., Charlson R.J., Ekman A.M.L., Loeb N. 22 views of the global albedo — comparison between 20 GCMs and two satellites // Tellus. A. 2006. V. 58, N 3. P. 320–330.
9. Переведенцев Ю.П. Теория климата. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 504 с.
10. Будовый В.И., Хорозов С.В., Inacio M.M., Медведев В.А., Белоголов В.С. Долгосрочный прогноз параметров Южного колебания и климатических параметров Южной Америки и некоторые особенности их корреляций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.irc.phys.spbu.ru/msar06/rep2.doc>
11. Soon W.W.-H. Variable solar irradiance as a plausible agent for multidecadal variations in the Arctic-wide surface air temperature record of the past 130 years // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32, L16712. DOI: 10.1029/2005GL023429.
12. Kato Seiji. Interannual Variability of the Global Radiation Budget // J. Climate. 2009. V. 22, N 18. P. 4893–4907. DOI: 10.1175/2009JCLI2795.1.
13. Murphy D.M., Solomon S., Portmann R.W., Rosenlof K.H., Forster P.M., Wong T. An observationally based energy balance for the Earth since 1950 // J. Geophys. Res. 2009. V. 114, D17107. P. 14. DOI: 10.1029/2009JD012105.
14. Sestak Ya., Hubik P., Mares J.J. Thermal analysis scheme aimed at better understanding of the Earth's climate changes due to the alternating irradiation // J. Therm. Anal. Calorim. 2010. V. 101, N 2. P. 567–575. DOI: 10.1007/s10973-010-0861-2.
15. de Jager C. Solar forcing of climate // Surv. Geophys. DOI: 10.1007/s10712-012-9193-z.
16. Pallé E., Goode P.R. The Lunar Terrestrial Observatory: Observing the Earth using photometers on the Moon's surface // Adv. in Space Res. 2009. V. 43, N 7. P. 1083–1089.

17. URL: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_3.php
18. *Bender F.A.-M.* Planetary albedo in strongly forced climate, as simulated by the CMIP3 models // *Theor. Appl. Climatol.* 2011. V. 105. P. 529–535. DOI: 10.1007/s00704-011-0411-2.
19. URL: <http://solar.njit.edu/preprints/palle2002c.pdf>
20. URL: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>
21. *Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K., Lea D.W., Medina-Elizade M.* Global temperature change // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2006. V. 103. P. 14288–14293. DOI: 10.1073/pnas.0606291103. URL: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/fig.A2.txt
22. *Pallé E., Goode P.R., Montacés-Rodríguez P.* Interannual variations in Earth's reflectance 1999–2007 // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 114, D00D03. 7 p. DOI: 10.1029/2008JD010734.

N.N. Zavalishin. Reconstruction of mean annual values of the Earth's albedo.

The paper discusses the problem of reconstruction of long-term series of values of the Earth's spherical albedo. The developed model reconstructs mean values of albedo based on mean annual surface air temperature and thermal inertia of the hydrosphere. Stability of the model to initial data variations is proved and confirmed by a practical example from 1880 series. The accuracy of reconstruction of the albedo is assessed over the interval since 1984.