

## Десятилетний ряд глобального распределения альbedo по данным ИСЗ «Метеор-М»

М. Б. Богданов, М. Ю. Червяков, А. А. Кошель

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, 410012, Россия  
E-mail: BogdanovMB@info.sgu.ru*

В состав гелиогеофизических аппаратурных комплексов ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 входили измерители потоков коротковолновой отражённой солнечной радиации ИКОР-М, работающие в диапазоне длин волн 0,3–4,0 мкм и имеющие угловой радиус поля зрения 30°. По данным этих измерений могут быть оценены значения альbedo на верхней границе атмосферы и величины потоков поглощённой солнечной радиации. Анализ значений альbedo над бесснежными пустынями, полученных по данным измерителей ИКОР-М, показывает заметный эффект старения первого прибора, проявляющийся в систематическом уменьшении его чувствительности, и стабильную работу второго. Предложена методика учёта эффекта старения и перевода показаний первого измерителя в шкалу второго, которая практически совпадает с принятой международной шкалой. Оценка среднего глобального альbedo Земли за время наблюдений в 2014–2019 гг. составляет  $0,286 \pm 0,003$  и хорошо согласуется с данными независимого космического эксперимента CERES. В результате получен однородный десятилетний ряд глобального распределения среднемесячных значений альbedo с октября 2009 г. по август 2019 г. с разрешением  $2,5 \times 2,5^\circ$ .

**Ключевые слова:** коротковолновая радиация, альbedo, радиометры, алгоритмы, шкала измерений

Одобрена к печати: 06.04.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-243-251

### Введение

Измеритель отражённой коротковолновой радиации ИКОР-М, разработанный и созданный в Саратовском государственном университете под руководством профессора Ю. А. Склярова (1931–2014), в течение пяти лет проработал в составе гелиогеофизического аппаратурного комплекса ГГAK-М искусственного спутника Земли (ИСЗ) «Метеор-М» № 1 (с октября 2009 г. до конца августа 2014 г.). Конструкция и характеристики измерителя описаны Ю. А. Скляровым с коллегами (2012a). Методика анализа измеряемых потоков уходящей коротковолновой радиации с целью получения значений альbedo на верхней границе атмосферы (ВГА) и поглощённой солнечной радиации приведена в статье (Скляров и др., 2012б).

Для представления полученных результатов вся поверхность ВГА разделялась на 72 зоны шириной  $2,5^\circ$ , а каждая зона — на ячейки.левой границей первой ячейки каждой зоны является меридиан с долготой  $180^\circ$ . Число ячеек в зонах, примыкающих к экватору, равно 144, их размеры составляют  $2,5 \times 2,5^\circ$ . При удалении к полюсам числа ячеек в зонах выбирались целыми, так чтобы их площади оставались приблизительно одинаковыми. На странице Лаборатории радиационного баланса Земли Саратовского университета в сети интернет (<https://www.sgu.ru/structure/geographic/metclim/balans>) оперативно выкладывались карты глобальных распределений на ВГА среднемесячных значений альbedo, потоков уходящей коротковолновой и поглощённой солнечной радиации.

Особенность измерителя ИКОР-М, отмеченная в работе (Скляров и др., 2013в), заключается в медленном уменьшении чувствительности, происходящем, по-видимому, под воздействием факторов космического пространства. Результат подобного воздействия обычно называют эффектом старения аппаратуры, и его возможные причины в случае измерителя ИКОР-М были рассмотрены М. Б. Богдановым с коллегами (2016). В этой же работе была предпринята попытка связи шкалы данного прибора со шкалой аналогичного измерителя,

проработавшего на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2 с августа 2014 г. по август 2019 г. Для этого использовались карты глобального распределения альbedo, полученные за почти месяц совместной работы измерителей. После завершения программы наблюдений стало возможным уточнить эти результаты и выполнить сравнение шкал измерителей по данным на всём интервале времени.

### Оценка стабильности измерителей

Возможные долговременные изменения чувствительности радиометров ИКОР-М должны проявляться в регулярных изменениях альbedo ячеек на ВГА над участками поверхности Земли, для которых величина этой характеристики может считаться фиксированной. Подобными участками поверхности выступают бесснежные пустыни, для которых сезонные изменения отражательной способности и влияние облачности также должны быть минимальными. В первом приближении долговременные изменения альbedo над пустынями, вызванные нестабильностью радиометров, будут иметь вид линейных трендов.

Для проверки стабильности радиометров были выбраны среднемесячные значения альbedo  $a(t)$  ячеек сетки, расположенных над двумя пустынями Южного полушария (Атакама и Намиб) и двумя пустынями Северного полушария (Аравия и Сахара). В обоих приблизительно пятилетних интервалах времени наблюдений  $t$ , измеряемого в годах с долями года, эти значения представлялись линейными трендами:

$$a(t) = bt + c, \tag{1}$$

параметры  $b$  и  $c$  которых определялись методом наименьших квадратов. Для каждого тренда оценивался также коэффициент детерминации  $R^2$ .

Известно, что случайная величина

$$F(k-1, n-k) = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-k}{k-1}, \tag{2}$$

где  $k$  — число параметров модели (в случае линейного тренда  $k = 2$ );  $n$  — объём выборки, имеет распределение Фишера с числами степеней свободы равными  $k - 1$  и  $n - k$ . Гипотеза отсутствия статистически значимого тренда соответствует случаю  $R^2 = 0$ . Эта гипотеза отвергается на уровне значимости  $\alpha$  при выполнении неравенства  $F > F_c(\alpha, k - 1, n - k)$ .

На рис. 1 (см. с. 245) кружками показано альbedo на ВГА ячеек над выбранными пустынями по данным измерений на ИСЗ «Метеор-М» № 1 (в дальнейшем обозначаемыми как  $a_1(t)$  и М1), а прямыми линиями проведены линейные тренды. Во всех случаях хорошо заметен эффект старения измерителя, проявляющийся в уменьшении его чувствительности и соответствующем уменьшении значений альbedo. Поскольку поверхности этих пустынь практически лишены растительности, отклонения альbedo от трендов вызваны главным образом флуктуациями облачности. В этих отклонениях проявляется годичный цикл, происходящий в противофазе для пустынь, расположенных в разных полушариях Земли.

Таблица 1. Данные для проверки гипотезы о наличии в показаниях измерителя ИКОР-М М1 линейного тренда

Пустыня	$R^2$	$n$	$F$	$F_c$	$b/c, \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$	Среднее значение альbedo $a_1$
Атакама	0,5370	58	65,0	7,11	-4,9377	0,2741±0,0037
Намиб	0,2321	56	16,9	7,13	-4,9267	0,2460±0,0046
Аравия	0,6339	58	97,0	7,11	-4,9158	0,3282±0,0021
Сахара	0,6198	59	92,9	7,10	-4,9218	0,3512±0,0025

Наличие линейных трендов подтверждается и статистическими тестами. Данные для проверки гипотез и оценки статистической значимости трендов приведены в табл. 1.

Критические значения критерия  $F_c$  рассчитаны для уровня значимости  $\alpha = 0,01$ . Поскольку во всех случаях  $F > F_c$ , гипотеза отсутствия трендов и, следовательно, неизменности чувствительности радиометра отвергается с вероятностью 0,99.

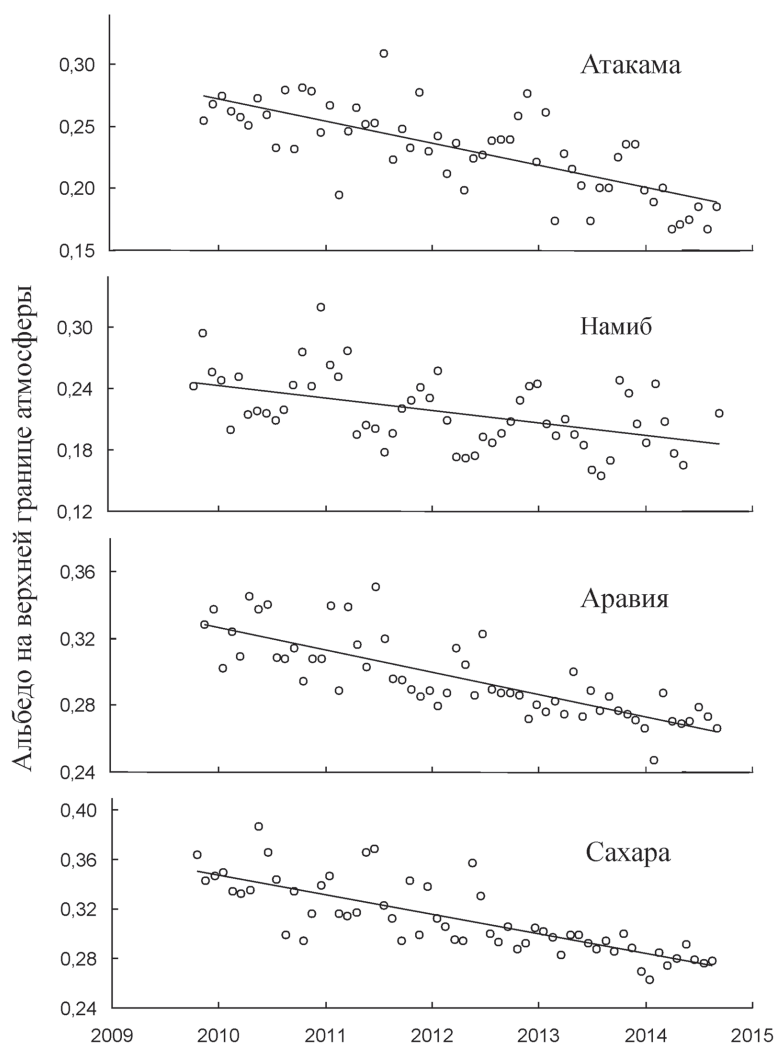


Рис. 1. Альbedo над разными пустынями по данным измерителя ИКОР-М на борту ИСЗ «Метеор-М» № 1 (кружки). Сплошными линиями показаны линейные тренды

Значения альbedo на ВГА, полученные по данным ИКОР-М на ИСЗ «Метеор-М» № 2 (в дальнейшем обозначаемыми как  $a_2(t)$  и  $M2$ ), вместе с линейными трендами показаны на рис. 2. В отклонениях альbedo также проявляется годичный цикл, происходящий в противофазе для разных полушарий Земли, однако линии трендов идут практически параллельно осям абсцисс.

Таблица 2. Данные для проверки гипотезы о наличии в показаниях измерителя ИКОР-М  $M2$  линейного тренда

Пустыня	$R^2$	$n$	$F$	$F_c$	Среднее значение альbedo $a_2$
Атакама	0,0027	48	0,125	2,818	$0,2838 \pm 0,0035$
Намиб	0,0023	49	0,108	2,815	$0,2709 \pm 0,0032$
Аравия	0,0099	52	0,500	2,809	$0,3572 \pm 0,0040$
Сахара	0,0027	50	0,130	2,813	$0,3781 \pm 0,0040$

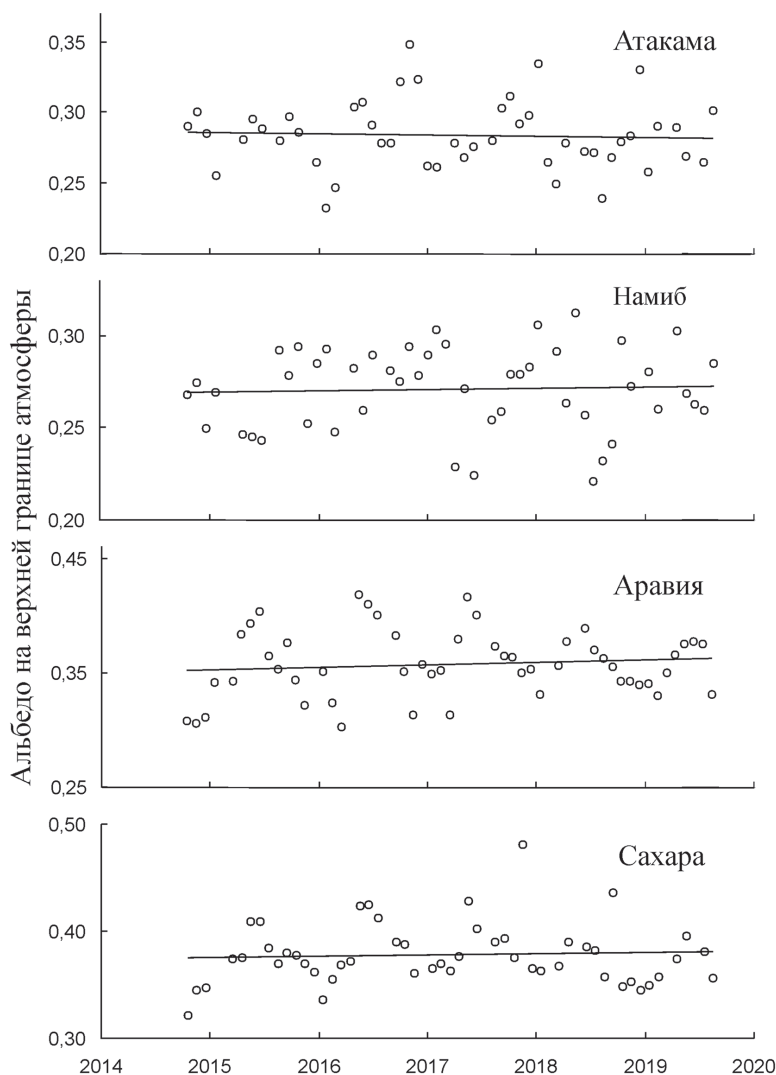


Рис. 2. Альbedo над разными пустынями по данным измерителя ИКОР-М на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2 (кружки). Сплошными линиями показаны линейные тренды

Данные для проверки гипотез о наличии трендов для этого измерителя приведены в табл. 2. Критические значения критерия  $F_c$  рассчитаны для максимального принятого уровня значимости  $\alpha = 0,10$ . Поскольку во всех случаях  $F < F_c$ , гипотеза отсутствия трендов и, следовательно, неизменности чувствительности радиометра не может быть отвергнута.

Таким образом, для данного образца измерителя эффект старения не наблюдается. Это представляется довольно странным, так как приборы изготавливались одновременно и практически идентичны. Состав аппаратуры спутников М1 и М2 был неизменным, а элементы орбит близки друг к другу. Возможным объяснением представляется предположение, что внешнее покрытие какого-то из приборов спутника М1 оказалось неустойчивым и его сублимация с последующим осаждением на стеклянном входном окне ИКОР-М привела к прогрессирующей потере чувствительности.

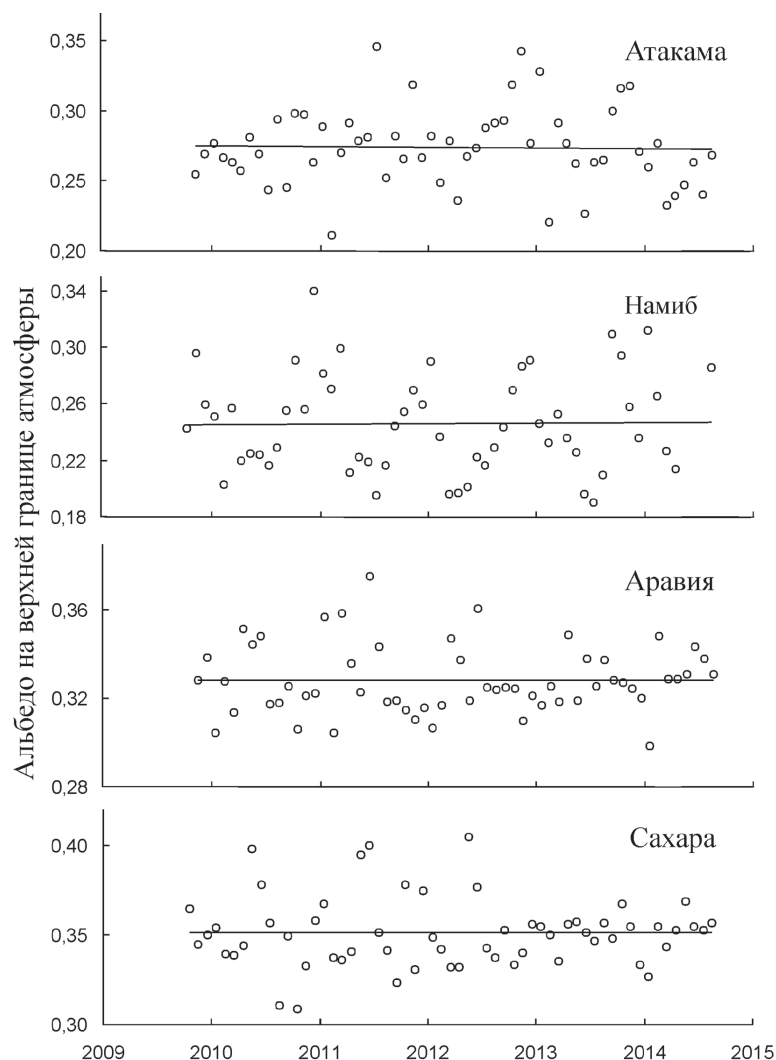
### Учёт эффекта старения и выравнивание шкал измерителей

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод, что шкала измерителя ИКОР-М спутника М2 является неизменной и при совместной обработке рядов наблюдений показания измерителя спутника М1 должны быть приведены к этой шкале. Прежде всего, необходимо учесть изменение его чувствительности, предполагая, что оно происходит по

линейному закону (1). Для альbedo ячеек ВГА над каждой пустыней  $a_{1,i}(t)$  приведение к начальному моменту  $t_0$  проводится умножением на коэффициент  $k_i(t)$ , определяемый из условия  $a_{1,i}(t)k_i(t) = a_{1,i}(t_0)$ , где индекс  $i$  определяет конкретную пустыню. С учётом выражения (1) имеем:

$$k_i(t) = \frac{(b_i/c_i)t_0 + 1}{(b_i/c_i)t + 1}, \quad (3)$$

где  $b_i$  и  $c_i$  — параметры соответствующего линейного тренда. Полученные после выполнения этой операции значения альbedo показаны кружками на *рис. 3*, на котором сплошными линиями проведены линейные тренды, построенные по исправленным данным. Рисунок демонстрирует хорошую коррекцию эффекта старения. Линии трендов для скорректированных значений альbedo идут параллельно осям абсцисс, а оценённые для каждого тренда коэффициенты детерминации  $R^2$  практически не отличаются от нуля. Для каждой ячейки были определены средние значения исправленных отсчётов альbedo, приведённые в последнем столбце *табл. 1*.



*Рис. 3.* Альbedo над разными пустынями по данным измерителя ИКОР-М на борту ИСЗ «Метеор-М» № 1 после коррекции эффекта старения (кружки). Сплошными линиями показаны линейные тренды

Очевидно, что отношения  $b_i/c_i$  должны быть равными для всех ячеек. Эти величины также приведены в *табл. 1*. Из-за погрешностей оценки параметров трендов наблюдают-

ся их небольшие различия, причём среднее значение для всех четырёх пустынь составляет  $b/c = (-4,9255 \pm 0,0046) \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ . Подстановка этого отношения в выражение (3) даёт среднее значение коэффициента, которое в дальнейшем будем обозначаться как  $k_0(t)$ . Умножение показаний ИКОР-М спутника М1, полученных в момент времени  $t$ , на коэффициент  $k_0(t)$  позволяет учесть влияние эффекта старения измерителя.

Погрешность коэффициента  $k_0(t)$  зависит как от погрешности оценки отношения  $b/c$ , так и от времени  $t$ . Для первых среднемесячных значений альbedo ячеек ВГА  $a_1(t_0)$  (октябрь 2009 г.) имеет место точное равенство  $k_0(t_0) = 1$ . С течением времени коэффициент  $k_0(t)$  увеличивается и его погрешность возрастает. Подстановка полученной оценки среднего значения отношения  $b/c$  в выражение (3) даёт для последнего месяца работы М1 (август 2014 г.) значение  $k_0 = 1,309$  с интервалом погрешности от 1,276 до 1,352, что соответствует максимальной относительной погрешности учёта эффекта старения  $\varepsilon_0 = 3,3 \%$ .

Выполнив оценку изменения чувствительности измерителя спутника М1 и получив исправленные средние значения альbedo ячеек ВГА над пустынями, можно провести сравнение его шкалы со шкалой измерителя на борту ИСЗ М2. Средние значения альbedo ячеек  $a_{2,i}$ , полученные по показаниям этого прибора, приведены в последнем столбце *табл. 2*. Поскольку по предположению альbedo пустынь неизменно, то коэффициент  $k_s$ , умножение на который приводит показания ИКОР-М М1 к шкале измерителя ИСЗ М2, может быть получен как среднее значение отношения альbedo ячеек  $a_{2,i}/a_{1,i}$  с одинаковыми индексами  $i$ . Оно оказывается равным  $k_s = 1,075 \pm 0,014$ . Коэффициент  $k_s$  и его погрешность не зависят от времени. Относительная погрешность оценки  $k_s$  оказывается равной  $\varepsilon_s = 1,3 \%$ .

Таким образом, учёт эффекта старения радиометра ИКОР-М спутника М1 и переход к шкале аналогичного измерителя на ИСЗ М2 сводится к умножению его показаний на безразмерный коэффициент:

$$k(t) = k_s k_0(t), \quad (4)$$

величина которого изменяется от  $1,075 \pm 0,014$  в первом месяце наблюдений до  $1,408 \pm 0,065$  в последнем. Его относительная погрешность  $\varepsilon(t) = \varepsilon_s + \varepsilon_0(t)$ , равная сумме соответствующих погрешностей сомножителей в выражении (4), изменяется в рассматриваемом интервале времени от 1,3 до 4,6 %. Основной вклад в  $\varepsilon(t)$  вносит погрешность оценки параметров тренда, вызванная изменением альbedo под влиянием флуктуации облачности.

## Заключение

Проведённый анализ показывает, что радиометр ИКОР-М спутника «Метеор-М» № 2 обладал высокой стабильностью и при совместном рассмотрении рядов наблюдений ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 общей продолжительностью почти в десять лет измеренные значения потоков уходящей коротковолновой радиации и связанных с ними величин альbedo и поглощённой солнечной радиации необходимо приводить к его шкале. Этот процесс включает учёт эффекта старения измерителя на борту спутника «Метеор-М» № 1 и может быть проведён достаточно просто. Средняя относительная погрешность такого перевода показаний составляет около 3 % и близка к оценённой Ю. А. Скляровым с коллегами (2012а) величине погрешности среднемесячных значений альbedo  $2,5 \times 2,5^\circ$  ячеек сетки на ВГА. Анализ *рис. 1–3* показывает, что основной вклад в погрешность оценок альbedo вносят флуктуации облачности.

Применяемый подход не может дать информации о погрешности привязки шкалы радиометра к эталону. Можно ожидать, что она будет достаточно малой. Привязка к эталону Росгидромета (Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) — пиргелиометру Ангстрема А-212, хранимому в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, проводилась аналогично привязке радиометра ИКОР-М «Метеор-М» № 1. Согласно данным работы (Скляров и др., 2012а), погрешность наземной калибровки не превышает 0,2 %. Однако при выводе спутника на орбиту его аппаратура испытывает воздействие

многих факторов, способных повлиять на чувствительность. Поэтому данное значение является только нижним пределом погрешности.

Окончательный вывод о соответствии шкалы измерения альbedo по данным радиометра ИСЗ «Метеор-М» № 2 принятой международной шкале может быть получен при сравнении с результатами независимых спутниковых экспериментов. При этом для уменьшения случайных погрешностей необходимо рассматривать большие регионы, содержащие много ячеек, и проводить осреднение за длительные интервалы времени. Наша оценка среднего глобального альbedo Земли на верхней границе атмосферы за время наблюдений в 2014–2019 гг. составляет  $0,286 \pm 0,003$ . В пределах погрешности она хорошо согласуется с данными спутниковых экспериментов ERBE (*англ.* Earth Radiation Budget Experiment) (Barkstrom, 1984) и CERES (*англ.* Clouds and Earth Radiant Energy System) (Smith et al., 2011), согласно которым среднее глобальное альbedo принимается равным 0,29 (Stephens et al., 2015).

В результате исследования и учёта эффектов старения измерителя ИКОР-М с последующим выравниванием шкал приборов получен однородный десятилетний ряд глобального распределения среднемесячных значений альbedo на ВГА с разрешением  $2,5 \times 2,5^\circ$ . С его использованием может быть получен аналогичный ряд для поглощённой солнечной радиации. Эта информация представляет интерес для решения многих важных задач метеорологии и климатологии.

Основная заслуга в создании измерителей ИКОР-М и проведении космических экспериментов на спутниках «Метеор-М» принадлежит профессору Ю.А. Складову (1931–2014). Проведённые исследования (Богданов и др., 2016; Складов и др., 2012а, б, 2013а–в; Червяков, Спирихина, 2019) в разное время финансировались Министерством высшего образования и науки России, грантами Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества.

## Литература

1. Богданов М. Б., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 252–260. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-252-260.
2. Складов Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. (2012а) Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ «Метеор-М» № 1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 173–180.
3. Складов Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. (2012б) Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 83–90.
4. Складов Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. (2013а) Некоторые результаты обработки данных поглощённой солнечной радиации и альbedo, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Изв. Саратовского ун-та. Сер.: Науки о Земле. 2013. Т. 13. Вып. 2. С. 30–33. doi.org/10.18500/1819-7663-2013-13-2-30-33.
5. Складов Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. (2013б) Особенности распределения альbedo в 2010–2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 107–117.
6. Складов Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. (2013в) Особенности распределения поглощенной солнечной радиации в 2010–2012 гг. по данным ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 272–283.
7. Червяков М. Ю., Спирихина А. А. Мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане по данным спутниковых радиометров ИКОР-М // Изв. Саратовского ун-та. Новая сер. Сер.: Науки о Земле. 2019. Т. 19. Вып. 1. С. 35–41. doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-35-41.
8. Barkstrom B. R. The Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) // Bull. American Meteorological Society. 1984. V. 65. No. 11. P. 1170–1185.

9. Smith G. L., Priestley K. J., Loeb N. G., Wielicki B. A., Charlock T. P., Minnis P., Doelling D. R., Rutan D. A. Clouds and Earth Radiant Energy System (CERES), a review: Past, present and future // *Advances in Space Research*. 2011. V. 48. No. 2. P. 254–263. doi.org/10.1016/j.asr.2011.03.009.
10. Stephens G. L., O'Brien D., Webster P. J., Pilewski P., Kato S., Li J.-L. The albedo of Earth // *Reviews Geophysics*. 2015. V. 53. P. 141–163. DOI: 10.1002/2014RG000449.

## Ten-year series of global albedo distribution from Meteor-M satellite data

M. B. Bogdanov, M. Yu. Cherviakov, A. A. Koshel

*Saratov State University, Saratov 410012, Russia*

*E-mail: BogdanovMB@info.sgu.ru*

The composition of the heliogeophysical instrumental complexes of the Meteor-M satellites No. 1 and No. 2 included IKOR-M short-wave reflected solar radiation flux radiometers operating in the wavelength range of 0.3–4.0  $\mu\text{m}$  and having an angular radius of the field of view of 30°. On the basis of these measurements, the albedo at the top of the atmosphere and the fluxes of absorbed solar radiation can be estimated. An analysis of the albedo over snowless deserts, obtained from the data of the IKOR-M radiometers, shows a noticeable effect of aging of the first radiometer manifested in a systematic decrease in its sensitivity and stable operation of the second. A method is proposed for taking into account the aging effect and converting the readings of the first radiometer to the scale of the second, which practically coincides with the accepted international scale. Estimation of the average global albedo of the Earth for the 2014–2019 period of observations is  $0.286 \pm 0.003$  that is in good agreement with the data of the independent space experiment CERES. As a result, a homogeneous ten-year series of the global distribution of monthly mean albedo values from October 2009 to August 2019 was obtained with a resolution of  $2.5 \times 2.5^\circ$ .

**Keywords:** shortwave radiation, albedo, radiometers, algorithms, measurement scale

Accepted: 06.04.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-243-251

## References

1. Bogdanov M. B., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Chervyakov M. Yu., Scaling factor between reflected short-wave radiation measured by IKOR-M on board the Meteor-M No. 1 and 2 satellites, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 252–260 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-252-260.
2. Sklyarov Yu. A., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Chervyakov M. Yu., Feigin V. M. (2012a), The measurement of the radiation balance component from “Meteor-M” No. 1 satellite. The IKOR-M radiometer, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 173–180 (in Russian).
3. Sklyarov Yu. A., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Chervyakov M. Yu., Feigin V. M. (2012b), The algorithms for the processing of outgoing shortwave radiation measurements from “Meteor-M” No. 1 satellite, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 83–90 (in Russian).
4. Sklyarov Yu. A., Chervyakov M. Yu., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Feigin V. M. (2013a), Some results of data processing of absorbed solar radiation and albedo from radiometer IKOR-M, *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser: Nauki o Zemle*, 2013, Vol. 13, Issue 2, pp. 30–33 (in Russian), doi.org/10.18500/1819-7663-2013-13-2-30-33.
5. Sklyarov Yu. A., Chervyakov M. Yu., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Feigin V. M. (2013b), Peculiarities of albedo distribution in 2010–2012 based on “Meteor-M” No. 1 satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 4, pp. 107–117 (in Russian).



6. Sklyarov Yu. A., Chervyakov M. Yu., Vorobyov V. A., Kotuma A. I., Feigin V. M. (2013c), The features of distribution of absorbed solar radiation in 2010–2012 by data from “Meteor-M” No. 1 satellite, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 272–283 (in Russian).
7. Chervyakov M. Yu., Spiriyakhina A. A., Monitoring El Nino (La Nina) Events in the Pacific Ocean According to the Satellite Radiometers IKOR-M, *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya Ser. Ser.: Nauki o Zemle*, 2019, Vol. 19, Issue 1, pp. 35–41 (in Russian), doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-35-41.
8. Barkstrom B. R., The Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), *Bull. American Meteorological Society*, 1984, Vol. 65, No. 11, pp. 1170–1185.
9. Smith G. L., Priestley K. J., Loeb N. G., Wielicki B. A., Charlock T. P., Minnis P., Doelling D. R., Rutan D. A., Clouds and Earth Radiant Energy System (CERES), a review: Past, present and future, *Advances in Space Research*, 2011, Vol. 48, No. 2, pp. 254–263, doi.org/10.1016/j.asr.2011.03.009.
10. Stephens G. L., O’Brien D., Webster P. J., Pilewski P., Kato S., Li J.-L., The albedo of Earth, *Reviews Geophysics*, 2015, Vol. 53, pp. 141–163, DOI: 10.1002/2014RG00044.