

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОМЕТРАМИ ИКОР-М В 2009–2019 гг.

М.Ю. Червяков, А.А. Спирихина, Я.В. Суркова, Я.А. Нейштадт

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
Саратов, Россия
chervyakovmu@mail.ru

VARIABILITY OF EARTH RADIATION BALANCE COMPONENTS ACCORDING TO SATELLITE MEASUREMENTS OF IKOR-M RADIOMETERS IN 2009–2019

M.Yu. Chervyakov, A.A. Spiryakhina, Ya.V. Surkova, Ya.A. Neishtadt

Saratov State University, Saratov, Russia
chervyakovmu@mail.ru

Аннотация. В работе сообщаются некоторые итоги 10-летней работы радиометров ИКОР-М, установленных на борту гидрометеорологических спутников серии «Метеор-М». Описываются основные характеристики и принципы работы радиометров. Приводятся результаты расчетов потоков поглощенной солнечной радиации и величин альbedo для различных регионов Земли, на примере тропической части Тихого океана.

Ключевые слова: радиационный баланс Земли, радиометр, ИКОР, коротковолновая радиация, альbedo, поглощенная солнечная радиация.

Abstract. The article describes some of 10-year work results of the radiometers IKOR-M which were installed on meteorological satellites «Meteor-M». The basic characteristics and principles of radiometers operation are described. Results of calculations of the absorbed solar radiation fluxes and albedo value are given for different areas of Earth especially tropical part of the Pacific Ocean.

Keywords: Earth radiation balance, radiometer, IKOR, short-wave radiation, albedo, absorbed solar radiation.

ВВЕДЕНИЕ

Компоненты радиационного баланса Земли (РБЗ) не только оказывают воздействие на климатическую систему, но и показывают, как система реагирует на это воздействие.

Для исследования изменений в климатической системе особенно важно получение данных о составляющих РБЗ в глобальном масштабе, а это возможно, прежде всего, с искусственных спутников Земли.

В 2009 г. в России стартовал спутниковый проект по измерению составляющих РБЗ на верхней границе атмосферы с использованием радиометра ИКОР-М (измеритель коротковолновой отраженной радиации), установленный на гидрометеорологическом спутнике «Метеор-М» № 1. Данный прибор был сконструирован профессором Ю.А. Складовым (1931–2014 гг.) [Складов и др., 2012].

Позже, в 2014 г., был запущен в космос спутник «Метеор-М» № 2, на борту которого установлен второй радиометр ИКОР-М. В настоящее время, результаты спутниковых измерений сперва поступают в Научный центр оперативного мониторинга Земли, затем в Лабораторию исследования составляющих РБЗ СГУ им. Н.Г. Чернышевского. За годы почти десятилетней работы измерителей собран обширный массив данных по отдельным элементам РБЗ, который позволил провести ряд исследований изменчивости земной климатической системы. Оценивались пространственно-временные вариации величин альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПСР) для различных регионов Земли, таких как Амазонская низменность, район воздействия Юго-Восточного азиатского муссона, пустыни Сахара и др. [Складов и др., 2013].

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ АЛЬБЕДО И ПСР

Для изучения пространственно-временных вариаций составляющих РБЗ использовались данные измерений двух радиометров ИКОР-М. Эти приборы предназначены для измерения потоков отраженной коротковолновой солнечной радиации в диапазоне 0.3–4 мкм, в который входят: часть ультрафиолетовой радиации, весь видимый спектр и часть ближней инфракрасной радиации. Результаты регистрации такого спектра отраженной солнечной радиации позволяют получать величины альbedo и ПСР, отнесенные к верхней границе атмосферы (ВГА).

В результате работы первого радиометра ИКОР-М возникла необходимость провести анализ возможного изменения его способности корректного измерения потоков отраженной солнечной радиации. Оказалось, что в течение времени приемный элемент радиометра уменьшает свою чувствительность. Такое изменение могло возникнуть в результате снижения прозрачности стеклянного фильтра из-за загрязнения его поверхности пылью или другими мелкими частицами.

Относительно малая величина изменения чувствительности позволила учесть ее во время обработки измерений радиометра. Для оценки изменения чувствительности подходят безоблачные участки земной поверхности. В качестве подобного тестового участка был выбран район в пустыне Сахара. В результате анализа величин альbedo для этого участка был выявлен линейный тренд, который был учтен при дальнейших расчетах [Богданов и др., 2016].

Как уже отмечалось ранее, с 2014 г. и по сей день на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2 работает измеритель

ИКОР-М, аналогичный запущенному в 2009 г. Он функционирует уже примерно пять лет, в течение которых не возникло никаких существенных проблем с регистрацией потоков отраженной коротковолновой солнечной радиации. Информация со спутника передается в штатном режиме и оперативно пополняет базы данных о составляющих РБЗ.

Радиометры ИКОР-М, установленные на гидрометеорологических спутниках серии «Метеор-М» идентичны. Оба прибора являются надирами, со скоростью регистрации потоков отраженной коротковолновой радиации 1 раз/с. Так как, оба измерителя были установлены на гелиосинхронных спутниках, с похожими параметрами орбиты, то алгоритм и методика обработки результатов у них одинаковы.

В августе 2014 г. «Метеор-М» № 1 и 2 проработали совместно, что позволило установить соответствие шкал этих приборов. В результате сравнения данных был рассчитан коэффициент для приведения величин потоков отраженной коротковолновой радиации и значений альbedo, полученных по измерениям ИКОР-М первого спутника, к шкале измерителя второго, таким образом, непрерывные наблюдения составляющих РБЗ длятся уже примерно 10 лет. Это самый продолжительный ряд спутниковых наблюдений в России, и один из самых продолжительных в мире.

Основной результат обработки данных наблюдений представлен в виде глобальных карт распределения альbedo, потоков отраженной и поглощенной солнечной радиации. В качестве примера, приведена карта распределения альbedo в марте 2014 г. (рис. 1).

Изучение составляющих РБЗ в тропической части Тихого океана, позволяет производить мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья), которые хорошо проявляются в поле величин альbedo и ПСР [Спирягина, Червяков, 2017]

Анализ карт среднемесячных распределений величин альbedo на верхней границе атмосферы обнаруживает резкий контраст между значениями альbedo в высоких и средних широтах северного и южного полушарий. К примеру, в тропиках наиболее высокие значения альbedo наблюдаются над пустынями, такими как Сахара и Аравийская (30–40 %). В зонах конвективной облачности над акваториями океанов, например, во внутритропической зоне конвергенции, величины альbedo также велики. Так, в восточной части Тихого океана севернее экватора альbedo 25–35 %. В южном полушарии наблюдается зональ-

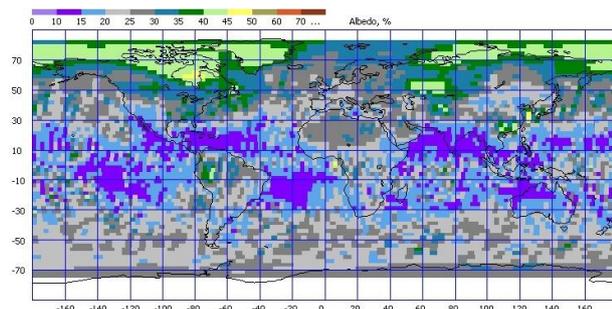


Рис. 1. Карта распределения альbedo (март 2014 г.)

ный ход распределения альbedo вследствие преобладания здесь океана. Наиболее высокие значения альbedo находятся в полярных широтах северного и южного полушарий, где расположены снежные и ледяные поля. Наибольшие значения альbedo в тропической зоне в летнее время наблюдаются над регионом Юго-Восточной Азии, где они достигают 50 %. Эта область характеризуется постоянством высоких значений альbedo в течение летних месяцев. Данный феномен можно объяснить регулярным действием Азиатского летнего муссона, во время которого развивается мощная кучево-дождевая облачность.

Используя данные поглощенной солнечной радиации и альbedo, полученные с помощью радиометров ИКОР-М, была оценена возможность обнаружения явления Эль-Ниньо (ЭН) в Тихом океане. Для анализа был использован ряд спутниковых данных альbedo и ПСР с января 2010 по январь 2019 г.

Анализ имеющегося архива карт распределения среднемесячных величин альbedo выявил хорошо прослеживающийся годовой ход значений альbedo в экваториальной части Тихого океана. Зимой наблюдается повышение значений альbedo до 15–20 % — в центре Тихого океана, до 30 % — на западе, а летом прослеживается уменьшение в этих областях. На востоке океана годовой ход величины альbedo противоположен: в январе–феврале значения понижаются до 15–20 %, летом в данном регионе наблюдаются высокие значения — до 35 %.

Для более детального анализа пространственно-временных вариаций составляющих РБЗ были рассчитаны среднемесячные величины альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПСР) для стандартных регионов мониторинга Эль-Ниньо (Ла-Нинья), расположенных в экваториальной части Тихого океана. Обычно выделяют пять областей, для которых оценивают интенсивность этих событий, они условно называются Nino1, Nino2, Nino3, Nino4 и комбинированный регион Nino 3.4.

Для расчета среднемесячных величин по данным регионам была использована программа редактирования и анализа полей для ИКОР «IKOR Fields Editor». В случае отсутствия данных измерений производилась временная интерполяция для каждого рассматриваемого региона.

Проведенный анализ величин альbedo и ПСР для стандартных областей Nino с 2010 по 2019 г. позволил установить наиболее показательные регионы для выявления события ЭН. Такими регионами оказались Nino 4 и Nino 3.4 В качестве примера, на рис. 2 представлена изменчивость величин альbedo за рассматриваемый период для региона Nino 4. Значения среднемесячных величин альbedo в данном регионе во время событий ЭН достигали 25–30 %, при среднем значении 16 %.

Изменение значений поглощенной радиации для данного региона также ярко выражено. Наблюдается понижение до 314 Вт/м² в январе 2010 г., до 304 Вт/м² в июне 2015 года и в декабре 2015 г. (при среднем значении для данной территории — 350 Вт/м²).

Исходя из проведенного анализа можно сделать заключение о том, что среднемесячные величины альbedo

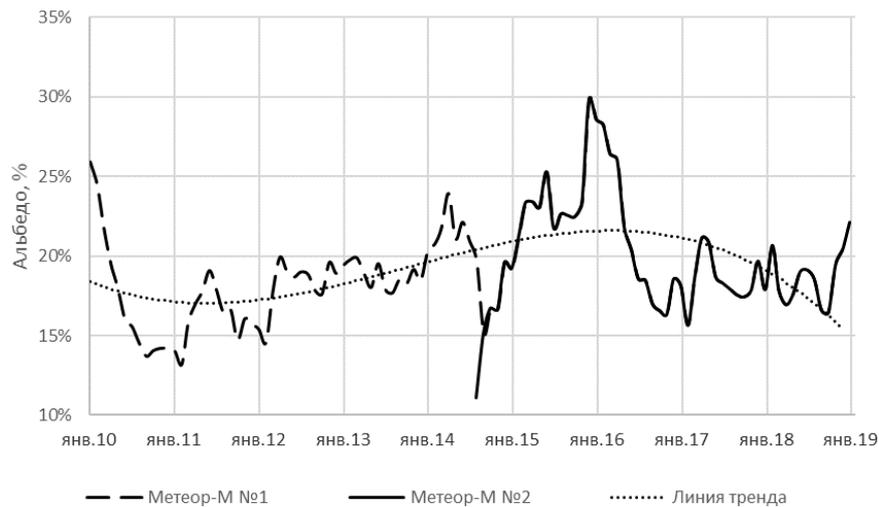


Рис. 2. Временной ход значений альbedo в регионе Niño 4 в 2010–2019 гг.

и ПСР для регионов мониторинга Эль-Ниньо могут быть использованы для определения фаз развития и интенсивности таких аномалий в Тихом океане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И. и др. 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.

Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И. и др. 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.

Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А. и др. Особенности распределения поглощенной солнечной радиации в 2010–2012 гг. по данным с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 2. С. 272–283.

Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А. и др. Особенности распределения альbedo в 2010–2012 гг. по данным с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 4. С. 107–117.

Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А. и др. Некоторые результаты обработки данных поглощенной солнечной радиации и альbedo, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 30–33.

Спиряхина А.А., Червяков М.Ю. Спутниковый мониторинг составляющих радиационного баланса Земли во время явлений Эль-Ниньо в Тихом океане // Сборник трудов XIV Конференции молодых ученых посвященная Дню космонавтики «Фундаментальные и прикладные космические исследования» / Под редакцией А.М. Садовского. М.: ИКИ РАН. 2017. С. 120–124.