

УДК 551.581

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НАД ОКЕАНАМИ, НА ОСНОВЕ НОВОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

© 2017 г. М. П. Александрова, А. В. Синицын, С. К. Гулев

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия**e-mail: marina@sail.msk.ru, sinitsyn@sail.msk.ru, gul@sail.msk.ru*

Поступила в редакцию 22.09.2015 г.

В работе описывается создание новой глобальной климатологии приходящей к поверхности океана коротковолновой радиации, которая основывается на новой параметризации коротковолновых потоков. Преимуществами новой параметризации являются учет нелинейности зависимости фактора пропускания атмосферы от высоты Солнца при чистом небе и учет различных морфологических типов облаков при большом количестве облачности. Показано, что учет этих факторов приводит к существенным различиям в потоках коротковолновой радиации по сравнению с существующими параметризациями.

DOI: 10.7868/S0030157417020010

ВВЕДЕНИЕ

Потоки тепловой энергии на границе океана и атмосферы являются ключевыми в понимании глобальных климатических и океанологических процессов и изменениях климата. Основными источниками данных о глобальных полях потоков энергии в системе океан–атмосфера являются долговременные адаптивные анализы (ре-анализы), спутниковые данные и оценки, рассчитанные по данным судовых наблюдений на основе интегральных параметризаций. Поверхностные потоки тепла из ре-анализов обеспечивают глобальное покрытие и высокое разрешение, однако существенно зависят не только от параметризаций, используемых в атмосферных моделях, но и от метеорологических параметров (в первую очередь облачности), также диагностируемых моделью. Данные по облачности в реанализах [5] могут характеризоваться существенными погрешностями, характерными и для климатических моделей [3]. Основная проблема при работе со спутниковыми данными заключается в том, что ряды наблюдений достаточно коротки и не позволяют эффективно оценивать долгопериодные изменения потоков. Вследствие этого климатологии потоков энергии океан–атмосфера, построенные на основе судовых наблюдений, пока остаются одним из важнейших реальных источников глобальной долговременной информации о радиационных потоках на границе двух сред.

Последние десятилетия характеризовались существенным прогрессом в развитии методов расчета потоков тепла на поверхности океана. Однако основные усилия были направлены на улучшение параметризаций турбулентных потоков

явного и скрытого тепла, поскольку с 1980-х гг. считалось, что именно недостаточная точность параметризаций турбулентных потоков препятствует достоверному оцениванию теплового баланса океана. Результатом этих работ стала параметризация COARE-3 [8], обеспечивающая расчет турбулентных потоков с точностью ± 5 Вт/м² для большинства условий. В то же время развитие параметризаций коротковолновой радиации практически остановилось на рубеже 1980-х и 1990-х гг. [2, 7, 10], когда был достигнут своего рода предел точности параметризаций, основанных на учете балла облачности. В итоге, в 2000-х гг. именно потоки коротковолновой радиации (коротковолновой солнечной радиацией считается радиация с длиной волны в диапазоне 0.1–4 мкм) на границе океан–атмосфера оказались наименее точными по сравнению с турбулентными.

Известно, что глобальные оценки взаимодействия океана и атмосферы [6] характеризуются систематическими и случайными погрешностями в тепловом балансе, достигающими до 30 Вт/м². Учитывая относительно высокую точность расчета турбулентных потоков и невозможность возникновения таких погрешностей за счет ошибок репрезентативности [9], радиационные потоки становятся наиболее вероятным источником неточностей.

ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ ЛВОАМКИ

В конце 1990-х гг. было проведено существенное обновление архива ICOADS [11], который

представляет собой данные наблюдений за метеорологическими и океанологическими параметрами, проводимых на судах. В частности, в результате этого обновления в исходные данные судовых измерений были включены данные не только о балле общей облачности, но также о балле нижней облачности и о морфологических типах облаков. Это предоставило возможность учета новых характеристик в параметризациях коротковолновой радиации, однако существующие параметризации используют только балл общей облачности, как параметризация Добсона-Смита [7], или балл общей и нижней облачности, как параметризация Главной геофизической обсерватории (ГГО) [2], и не могут усваивать новые, более полные данные. Это позволило разработать в Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН (ЛВОАМКИ) новую параметризацию приходящей к поверхности океана солнечной радиации.

Параметризация ЛВОАМКИ основана на четырехлетних высокоточных измерениях потока приходящей коротковолновой радиации, полученных в рейсах НИС “Академик Иоффе” и НИС “Академик Сергей Вавилов” [1]. В параметризации коротковолновой радиации ЛВОАМКИ поток приходящей к поверхности океана солнечной радиации выражается как

$$Q = Q_0(a_i + b_i \ln(\sin h)), \quad (1)$$

где Q – приходящая к поверхности океана коротковолновая солнечная радиация, Вт/м²; Q_0 – солнечная постоянная, равная 1368 sin h , Вт/м²; a_i и b_i – эмпирические коэффициенты, зависящие от количества облачности; h – высота Солнца. Основными преимуществами данной параметризации по сравнению с существующими являются, во-первых, учет нелинейности зависимости фактора пропускания атмосферы от высоты Солнца при условиях чистого неба, во-вторых, учет различных морфологических типов облачности в условиях полного или почти полного закрытия неба облаками. Детали вычислительной схемы параметризации и результаты ее тестирования приведены в [1].

КЛИМАТОЛОГИЯ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ

Параметризация ЛВОАМКИ была применена нами к массиву данных судовых наблюдений ICOADS. Основной проблемой при работе с данными из этого архива является их сильная неоднородность в пространстве и времени, связанная с тем, что большинство данных сосредоточено вдоль основных трасс судов; при этом в Южном океане данные практически полностью отсутствуют. Таким образом, необходимо было разработать подходы к уменьшению ошибок, связанных с этими неоднородностями.

Для минимизации погрешностей, связанных с пространственной неоднородностью, и получения репрезентативных осредненных по времени и пространству величин была использована глобальная сетка с неоднородными размерами ячеек. В регионах, хорошо обеспеченных данными, потоки коротковолновой радиации осреднялись на сетке $2 \times 2^\circ$, а в Южном океане сетка была увеличена до $4 \times 10^\circ$. Это не вносит существенных погрешностей в крупномасштабные оценки, поскольку масштабы пространственной корреляции облачности и радиационных потоков в Южном океане значительно больше, чем в средних широтах Северного полушария, что проверялось по альтернативным данным. Тем не менее, даже использование такой неоднородной сетки приводит к наличию ячеек, не обеспеченных наблюдениями. Для заполнения таких ячеек применялся метод объективной интерполяции, основанный на методе локальных процедур [4]. Для получения окончательных среднемесячных полей потоков радиации на всей акватории Мирового океана рассчитанные значения коротковолновой радиации в Южном океане гладко интерполировались на сетку $2 \times 2^\circ$, используя ту же методологию [4].

Вторая проблема при работе с данными ICOADS – их неоднородность во времени. Это особенно принципиально при использовании так называемых “срочных” параметризаций, к которым относится и разработанная нами [1]. Проблема состоит в том, что “срочные” параметризации не могут применяться к данным попутных наблюдений, поскольку они неравномерно распределены во времени, не обеспечивая адекватного разрешения суточных и годовых изменений астрономических условий. Для решения этой проблемы к каждому индивидуальному наблюдению из архива данных ICOADS применялся метод “виртуального вращения часовой стрелки”. В рамках этого подхода средняя величина суточной суммарной часовой солнечной радиации для каждого наблюдения рассчитывалась как

$$Q_{cc} = \frac{\sum_{i=1}^{48} Q_0(a + b \sin h_i)}{48}, \quad (2)$$

где Q_{cc} – среднесуточное значение радиации, h_i – высота Солнца, которая рассчитывается в зависимости от координат и времени, а время меняется с шагом 30 минут. Так как телеграммы ICOADS относятся к разным дням месяца, все расчеты среднесуточной радиации проводились для астрономических данных для срединного дня месяца. Использование такого подхода может вносить небольшую погрешность, связанную с возможной корреляцией облачности и температуры в суточном ходе, однако эта погрешность значительно меньше той, что связана с неоднородностью наблюдений. Используя такой под-

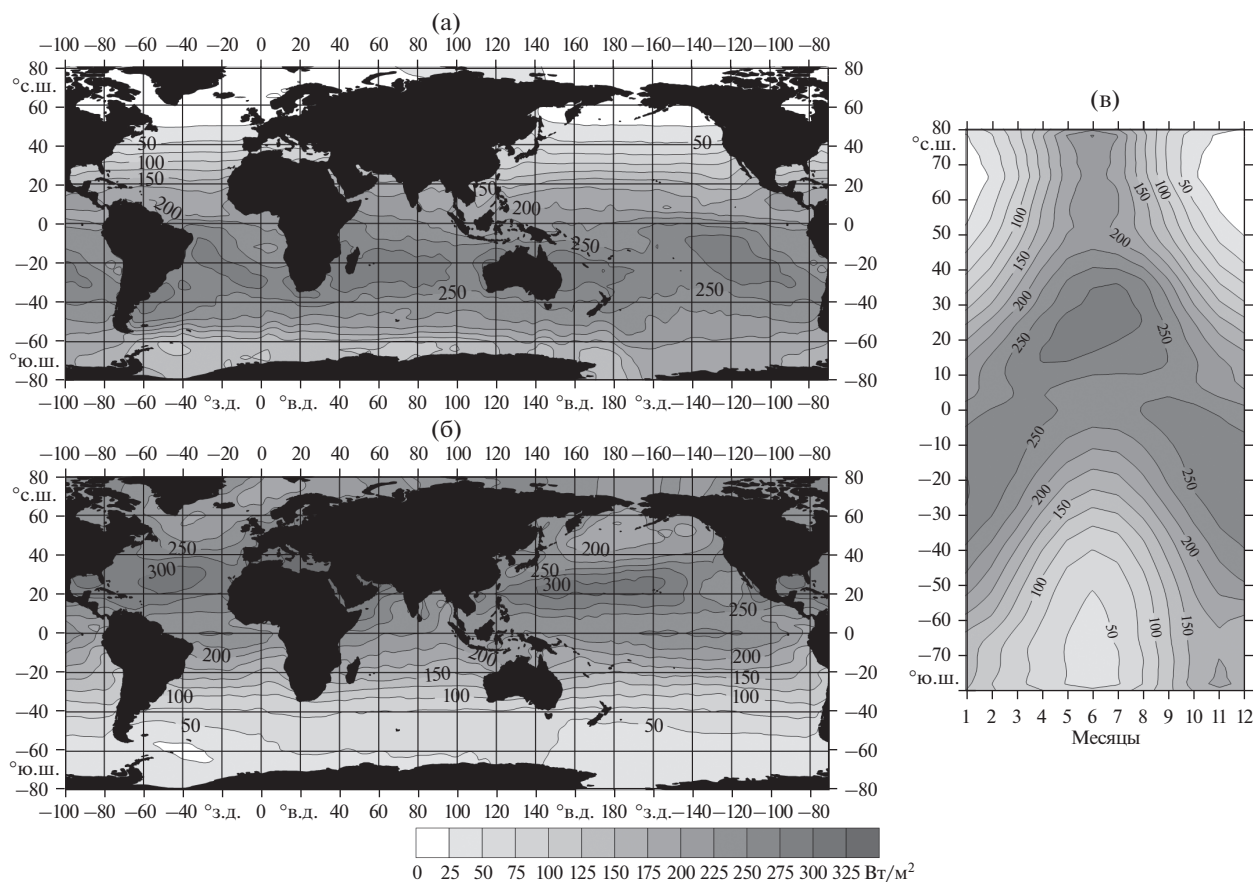


Рис. 1. Среднемесячные значения коротковолновой радиации, осредненные за период 1950–2014 гг. (а) – В декабре, (б) – в июне, (в) – широтноосредненный сезонный ход радиации, Вт/м².

ход, срочные данные наблюдений и соответствующие “срочные” параметризации можно применять для создания климатологии приходящей к поверхности океана солнечной радиации.

Вышеизложенный метод расчета был применен к базе индивидуальных наблюдений за облачностью из архива ICOADS для периода с 1950 по 2014 гг. Затем расчетные значения радиации были осреднены для каждого месяца для ячеек сетки, описанных выше, и в результате были получены поля среднемесячных величин приходящей солнечной радиации для каждого месяца за выбранный период времени. На рис. 1 представлены поля приходящей к поверхности океана коротковолновой солнечной радиации в июне и декабре и сезонный ход осредненных по широте величин коротковолновой солнечной радиации. Как можно видеть, карты и сезонный ход достаточно хорошо отражают основные климатические закономерности с максимумом радиации, превышающим 300 Вт/м², который отмечается в тропической зоне летнего полушария.

Следующим этапом работы было сравнение климатологий, полученных с использованием параметризации ЛВОАМКИ [1] и параметризации Добсона-Смита [7] и ГГО [2], для которых были

проведены аналогичные расчеты полей коротковолновой радиации. Сравнение показало, что значения коротковолновой радиации, полученные с применением новой параметризации ЛВОАМКИ, в большинстве районов Мирового океана ниже, чем в параметризации Добсона-Смита, а разница в летние месяцы достигает 50 Вт/м². Это соответствует выводам, сделанным в [1] при валидации параметризации Добсона-Смита с использованием натуральных данных, свидетельствующим о систематическом завышении оценок радиации при использовании параметризации [7]. В то же время значения радиации, рассчитанные с применением параметризации ЛВОАМКИ, несколько выше рассчитанных по параметризации ГГО: разница в летние месяцы достигает 20 Вт/м². Эти различия можно считать существенными, так как требуемая точность оценки различных компонентов тепловых потоков на сегодняшний день составляет 5 Вт/м².

Приведенный региональный анализ подтверждается результатами интегрирования коротковолновой радиации по всей поверхности Мирового океана. На рис. 2 представлена глобальная месячная инсоляция, осредненная за период с 1950 по 2014 гг. Как видно из этого рисунка, различия глобальной инсоляции при использовании

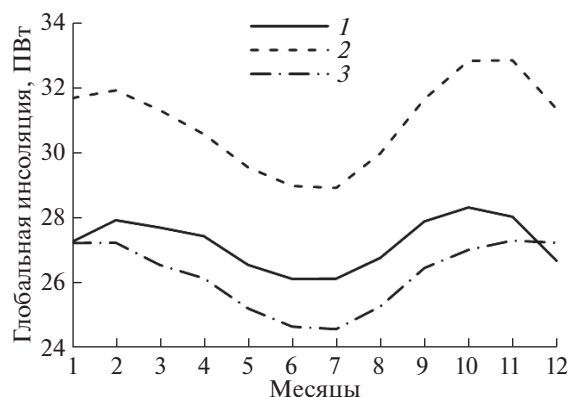


Рис. 2. Оценки глобальной месячной инсоляции над океанами (осредненной за период 1950–2014 гг.), полученные с применением различных параметризаций. 1 – Параметризация ЛВОАМКИ, 2 – параметризация Добсона-Смита, 3 – параметризация ГГО.

параметризации ЛВОАМКИ и параметризации Добсона-Смита достигают 3 ПВт (1 ПВт = 10^{15} Вт), а различия оценок, полученных с использованием параметризации ЛВОАМКИ и параметризации ГГО, – 1.5 ПВт. Столь большие различия в приходящем потоке коротковолновой солнечной радиации, которая является основным источником энергии в системе океан–атмосфера, могут оказать существенное влияние на расчеты суммарного теплового баланса и меридиональных потоков тепла в океане.

Полученные различия можно объяснить тем, что параметризация Добсона-Смита учитывает только общий балл облачности, что может приводить к завышению радиации при большом количестве плотной нижней облачности. Параметризация ГГО, в свою очередь, учитывает не только общий балл облачности, но и балл нижней облачности, однако не учитывает морфологический тип облаков. В такой ситуации при наличии большого количества нижней, но при этом неплотной или разорванной облачности вполне вероятно занижение реального потока коротковолновой радиации. В дальнейшем использование новой долгопериодной климатологии коротковолновой

солнечной радиации на поверхности океана открывает широкие перспективы для выполнения новых балансовых расчетов и исследования климатической изменчивости характеристик взаимодействия океана и атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-17-00697).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова М.П., Гулев С.К., Синицын А.В. Уточнение параметризации коротковолновой радиации на поверхности океана на основе прямых измерений в Атлантическом океане // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 45–54.
2. Гидрюк Г.В., Егоров Б.Н., Малевский-Малевич С.П. Определение радиационного баланса поверхности океана. Справочное пособие. СПб.: Гидрометиздат, 1992. 148 с.
3. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 272 с.
4. Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures // J. Assoc. Comput. Mach. 1970. V. 17. № 4. P. 589–608.
5. Bedacht E., Gulev S.K., Macke A. Intercomparison of global cloud cover fields over oceans from the VOS observations and NCEP/NCAR reanalysis // Int. J. Climatology. 2007. V. 27. № 13. P. 1707–1719.
6. daSilva A.M., Young C.C., Levitus S. Atlas of Surface Marine Data 1994 // NOAA Atlas Nesdis7, U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Washington D.C., 1994. P. 83.
7. Dobson F.W., Smith S.D. Bulk models of solar radiation at sea // Quart. J. R. Met. Soc. 1988. V. 114. № 479. P. 165–182.
8. Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E. et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm // J. Climate. 2003. V. 16. № 4. P. 571–591.
9. Gulev S.K., Jung T., Ruprecht E. Estimation of the impact of sampling errors in the VOS observations on air-sea fluxes. Part I. Uncertainties in climate means // J. Climate. 2007. V. 20. № 2. P. 279–301.
10. Reed R.K. On Estimating Insolation over the Ocean // J. Phys. Oceanogr. 1977. V. 7. № 3. P. 482–485.
11. Woodruff S.D., Worley S.J., Lubker S.J. et al. ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive // Int. J. of Climatology. 2011. V.31. №7. P. 951–967.

Climatic Patterns of Short-Wave Fluxes over the Ocean based upon New Parameterization

M. P. Aleksandrova, A. V. Sinitsyn, S. K. Gulev

This article is devoted to creation new global climatology of incoming short wave radiation based upon new parameterization of short wave radiation. Improvements of new parameterization are non-linearity dependents of atmospheric transmittance on solar altitude in case of clear sky and accounting for different cloud type categories in case of conditions close to overcast. These improvements are resulted in significant differences in new short-wave radiation fluxes compared to existing parameterization scheme.