

УДК 551.576

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ

А.В. Чернокульский, И.И. Мохов

### COMPARATIVE ANALYSIS OF SATELLITE DATA ON CLOUD COVER

A.V. Chernokulsky, I.I. Mokhov

В работе проведен анализ современного состояния облачного покрова Земли с использованием широкого набора спутниковых данных (ISCCP D2, UW HIRS, PATMOS-х, MODIS, CERES, PARASOL, AIRS-LMD, CALIPSO-GOCCP, MISR). Также привлекались данные наземных наблюдений EECRA. Доля покрытия облаками Земли по данным наблюдений составляет около 2/3, достигая по отдельным данным 3/4. Доля покрытия облаками суши находится в диапазоне от 1/2 до 3/5. Доля покрытия облаками Мирового океана больше – около 7/10. В Южном полушарии доля облаков больше, чем в Северном. В обоих полушариях, как над сушей, так и над океаном, отмечен максимум в летнее время и минимум в зимнее. Максимальные значения облачности проявляются в областях восходящих ветвей меридиональных ячеек, минимальные значения – в областях нисходящих ветвей. Наибольшие различия данных наблюдений отмечены в регионах с высоким альбедо подстилающей поверхности, в частности над полярными широтами и пустынями субтропического пояса. Существенные различия между данными отмечены в ночное время над экваториальными широтами Южной Америки. Среди причин отмеченных различий выделены следующие: различия в алгоритмах определения облачности, различия во времени суток, когда проводятся наблюдения (до 15% над сушей и до 7% над океаном), различия в периоде осреднений (1–3 % при глобальном осреднении).

Cloud cover plays the key role in the climate system by regulating radiation budget of the Earth through reflecting solar radiation and detaining longwave radiation. Probably the largest uncertainty in the climate change estimates is associated with uncertainties of cloud's amount estimation and its changes. An analysis was carried out to intercompare global, zonal and regional values of cloudiness from several up-to-date cloudiness satellite datasets including ISCCP D2, UW HIRS, Patmos-X, MODIS, CERES, PARASOL, AIRS-LMD, CALIPSO-GOCCP, MISR. The amount of global annual mean cloudiness ( $n$ ) from different observations is about 2/3 in average. It reaches 3/4 for certain data. The amount of  $n$  is estimated between 1/2 and 3/5 over land and about 7/10 over ocean. According to all observations clouds amount in the Southern Hemisphere is larger than in the Northern Hemisphere with maximum in summer and minimum in winter. The largest distinctions between different satellite data are noted over regions with high albedo, in particular over polar regions and subtropical deserts.

Облачность, безусловно, является одним из главных регуляторов радиационного режима атмосферы и подстилающей поверхности и является важнейшим фактором формирования климата [Марчук и др., 1986; Мазин, Хргиан, 1989; Мохов, 1993]. Изменения облачного покрова могут усилить и ослабить глобальные климатические изменения [Мохов, 1981], служить важным индикатором изменения «экстремальности» климата [Chernokulsky et al., 2011]. В то же время остается существенная неопределенность в вопросах получения адекватных данных для глобального поля облачности [Mokhov, Schlesinger, 1994; Чернокульский, Мохов, 2009; Чернокульский, Мохов, 2010a]. Поле облачности не является непрерывным, поэтому относительно редкая наземная сеть визуальных наблюдений (особенно над океаном) не позволяет получить достоверную информацию о пространственном распределении облаков. Спутниковые данные обладают глобальным охватом, однако на сегодняшний день ряды спутниковых наблюдений короткие и зачастую неоднородные. До сих пор остается неоднозначность в определении одной из ключевых характеристик облачности – общего количества облаков [Чернокульский, Мохов, 2009; Чернокульский, Мохов, 2010a].

В данной работе проведен сравнительный анализ общего количества облаков по различным спутниковым наблюдениями. Также привлекались данные наземных наблюдений, данные реанализа и расчеты с использованием глобальных климатических моделей. Для анализа использовались среднемесячные значения общего количества облаков. Краткая характеристика используемых баз данных приведена в таблице

([Чернокульский, Мохов, 2010б; Chernokulsky, Mokhov, 2012] и ссылки там).

Среднегодовое значение глобальной облачности (рис. 1), согласно большинству данных спутниковых и наземных наблюдений, составляет около 2/3 (от 0.65 до 0.68) [Чернокульский, Мохов, 2009; Чернокульский, Мохов, 2010a], меньшее количество облаков отмечено по данным CERES (0.6) и PARASOL-POLDER (0.56), большее – по данным UW HIRS (0.75). Среднегодовое значение глобальной облачности над сушей находится в широком диапазоне от 0.41 (MISR) до 0.69 (UW HIRS) (в среднем близко к 0.54). Над океаном среднегодовое значение глобальной облачности близко к 0.7 (оценивается диапазоне от 0.6 (PARASOL-POLDER) до 0.77 (UW HIRS)).

По данным реанализа, как и по глобальным климатическим моделям, отмечается меньшее количество облаков, главным образом, за счет облачности над океаном. Среднее по ансамблю моделей CMIP3

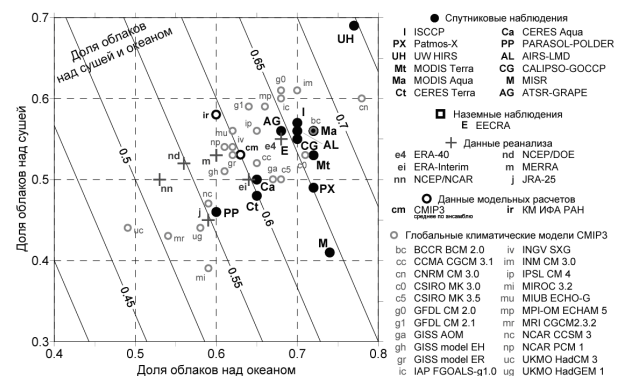


Рис. 1. Среднегодовое глобально-осредненное количество облаков по различным данным.

Характеристики использовавшихся баз данных для облачности

База данных	Период/разрешение	Информация о базе данных
Спутниковые наблюдения		
ISCCP	07/1983–06/2008, 2,5°	Сочетание наблюдений на геостационарных и полярноорбитальных спутниках (ПС), 1 видимый (В) и 1 инфракрасный (ИК) канал, 8 наблюдений в сутки, инструментальное разрешение (ИР): 4–7 км
PATMOS-x	01/1982–05/2008, 1°	Наблюдения на ПС NOAA, 1 В + 1 ближний ИК (БИК) + 3 ИК-канала, 4 наблюдения в сутки, ИР: 1–4 км
UW HIRS	01/1979–12/2001, 1°	Наблюдения на ПС NOAA, 6 ИК-каналов, 2 наблюдения в сутки, ИР: 19–35 км; без полярных областей выше 84°
MODIS Terra, Aqua	02/2000–12/2009, 07/2002–12/2009, 1°	Наблюдения на ПС Terra/Aqua, 2 В + 4 БИК + 8 ИК-каналов, 2 наблюдения в сутки, ИР: 0.25–1 км
CERES Terra, Aqua	02/2000–12/2009, 07/2002–12/2009, 1°	Наблюдения на ПС Terra/Aqua, 1 В + 1 БИК + 3 ИК-канала, 2 наблюдения в сутки, ИР: 0.25–1 км
PARASOL-POLDER	03/2005–10/2009, 10'	Наблюдения на ПС PARASOL, 2 В + 3 БИК-канала (поляризационные + под разным углом обзора), 1 наблюдение в сутки, ИР: 6 км; без областей с условиями полярной ночи
AIRS-LMD	01/2003–12/2008, 1°	Наблюдения на ПС Aqua, 6 ИК каналов, 2 наблюдения в сутки, ИР: 13.5 км
CALIPSO-GOCCP	07/2006–06/2009, 1°	Наблюдения на ПС CALIPSO, активные наблюдения лидаром CALIOP, 2 наблюдения в сутки, ИР: 0.3–1 км
MISR	01/2001–12/2008, 1°	Наблюдения на ПС Terra, 3 В + 1 БИК-канал (под разным углом обзора), 1 наблюдение в сутки, ИР: 0.3 км; без областей с условиями полярной ночи и без полярных областей выше 84°
ATSR-GRAPE	06/1995–12/2000, 1°	Наблюдения на ПС ERS-2, 2 В + 1 БИК + 4 ИК-канала, 1 наблюдение в сутки, ИР: 1 км; без областей с условиями полярной ночи
Данные наземных наблюдений		
EECRA	01/1971–12/1996, 5°	Визуальные наблюдения на метеорологических станциях на суше (каждые 3 часа) и на рейсовых кораблях в океане (каждые 6 часов)
Данные реанализа		
ERA-40	01/1957–08/2002, 2,5°	Модель ECMWF CY13R4 (120 км, 31 слой)
ERA-Interim	01/1989–12/2009, 1,5°	Модель ECMWF CY29R1 (50 км, 60 слоев)
NCEP/NCAR	01/1948–12/2008, 1,9°	Модель NCEP T62L28 (210 км, 28 слоев)
NCEP/DOE	01/1979–01/2008, 1,9°	Модель NCEP T62L28, проведены некоторые изменения в схемах
MERRA	01/1979–03/2009, 0,5°	Модель GMAO GEOS-5 (50 км, 72 слоя)
JRA-25	01/1979–12/2009, 2,5°	Модель JMA/CRIEPI T160L40 (120 км, 40 слоев)
Данные расчетов с использованием глобальных климатических моделей		
CMIP3	XX в., 1–5°	22 глобальные климатические модели и среднее по ансамблю
КМ ИФА РАН	XX в., 4,5×6°	модель промежуточной сложности

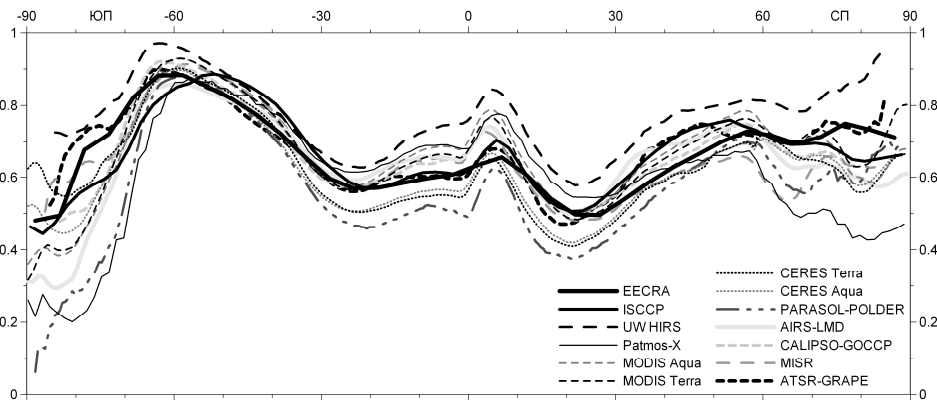


Рис. 2. Зонально-среднее среднегодовое количество облаков по данным наблюдений.

для Земли в целом составляет 0.60. Количество облаков в модели КМ ИФА РАН оценивается около 0.59 для Земли в целом, около 0.56 над сушей и около 0.6 над океаном.

В зональном распределении (рис. 2) анализируемые данные наблюдений достаточно хорошо согласуются друг с другом и в общем адекватно характеризуют общие закономерности распределения зональной облачности в средних и низких широтах,

с четко выраженными минимумами в тропиках и субтропиках (в диапазоне 0.45–0.65 для Южного полушария (ЮП) и 0.4–0.6 для Северного полушария (СП) и максимумами в приэкваториальных (0.65–0.8) и умеренных широтах (0.85–0.95 для ЮП

и 0.6–0.8 для СП)). Стоит отметить, что экваториальный максимум смещен в СП (на 5–10°), что близко к положению температурного максимума Земли. В полярных широтах отмечаются существенные различия между разными данными наблюдений (а также между данными реанализа и глобальными климатическими моделями (не показано)). Различия достигают 0.5 в СП и 0.6 в ЮП: от 0.1 по данным PARASOL-POLDER (основанным только на измерениях в видимом диапазоне) до 0.7 по данным UW HIRS (основанным на измерениях в ИК-диапазоне). Особенно значительны эти различия над снежной и ледовой подстилающей поверхностью [Чернокульский, Мохов, 2010]. В Арктике в зимнее время значитель-

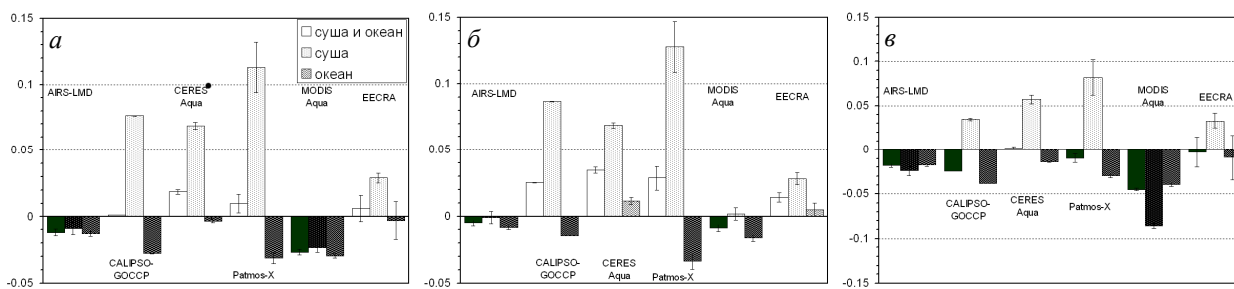


Рис. 3. Разница между количеством облаков днем и ночью по различным данным над разной подстилающей поверхностью при глобальном осреднении (а), для СП (б) и для ЮП (в).

ные различия также отмечены над регионами с сильными температурными инверсиями в тропосфере [Chernokulsky, Mokhov, in press].

Существенные различия между данными также проявляются при сравнении отдельно ночных и дневных измерений. На рис. 3 представлена разность между дневной и ночной облачностью по разным данным над сушей и океаном, отдельно над сушей и отдельно над океаном. Здесь для наземных наблюдений EECRA дневная облачность определялась как среднее по наблюдениям с 6 утра до 6 вечера, ночная – с 6 вечера до 6 утра (использовался весь период наблюдений), для спутниковых данных дневная облачность соответствует наблюдениям на восходящем витке (около 13:30–14:00 по местному времени), ночная – наблюдениям на нисходящем витке 01:30–02:00 по местному времени (использовалось среднее за период 2003–2006 гг.). Согласно всем анализируемым данным, дневная облачность меньше ночной над океаном и, согласно большинству данных, больше над сушей. Так, над сушей СП разница по данным PATMOS-x достигает 0.15. В ЮП отмечена рассогласованность данных: по данным AIRS-LMD и MODIS Aqua количество облаков над сушей в ночное время больше, чем в дневное (разница доходит до 0.08), по другим данным облаков больше днем (разница около 0.08). Эти различия обусловлены детектированием облаков ночью над экваториальными лесами Южной Америки и Африки, где некоторые алгоритмы по-видимому ошибочно фиксируют наличие/отсутствие облачности. Над океаном обоих полушарий количество облаков в целом больше ночью, чем днем, однако амплитуда меньше, чем над сушей (достигает 0.03–0.05). Суточные различия над сушей и океаном имеют различный знак, поэтому для суши и океана в целом (при глобальном осреднении) разница между ночной и дневной облачностью близка к нулю.

Проведен анализ причин отмеченных различий между разными данными при наблюдении за облаками. В частности, отмеченные различия могут быть связаны с суточным ходом облачности [Wylie, 2008]. Наблюдения только в дневное время будут завышать значения облачности над сушей (до 20 %) и занижать значения облачности над океаном (до 5 %), а наблюдения только в утренние или ночные часы, наоборот, будут занижать значения облачности над сушей (до 10 %) и завышать над океаном (на 5–7 %) (рис. 4). Неопределенность, связанная с выбором периода осреднения, не превышает 1–2 % для глобально-осредненных значений и 5–7 % для региональных

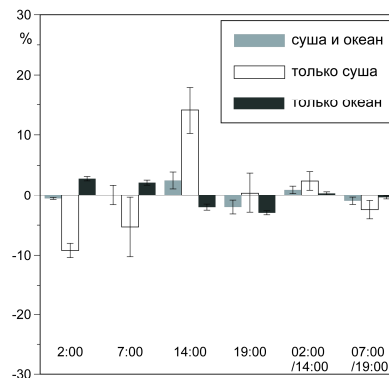


Рис. 4. Разница (в %) между одним наблюдением (1–4 столбцы) или средним за два наблюдения (5–6 столбцы) и средним за 4 наблюдения по данным PATMOS-x для глобально-осредненных среднегодовых значений.

значений (наиболее чувствительны к выбору периода осреднения экваториальные широты Тихого океана, где количество облаков существенным образом зависит от фазы явления Эль-Ниньо/Ла-Нинья) [Chernokulsky, 2007]. Точностью приборов и неоднородностью наблюдений может объясняться до 5 % различий в тропиках и до 10 % различий в полярных широтах [Rossow, Schiffer, 1999]. Основной причиной наличия столь широкого диапазона среднегодовых значений облачности и различий в пространственном распределении являются различия в алгоритмах определения характеристик облаков по данным наблюдений и различия в расчетных схемах и схемах перекрытия облаков в климатических моделях и данных реанализа. При этом в настоящее время трудно выделить эталонные наблюдения за облачностью [Чернокульский, Мохов, 2010а].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 647 с.  
 Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 512 с.  
 Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. СПб: Гидрометеиздат. 1993. 272 с.  
 Мохов И.И. О влиянии CO2 на термический режим земной климатической системы // Метеорология и гидрология. 1981. № 4. С. 24–34.  
 Чернокульский А.В., Мохов И.И. Сравнение современных глобальных климатологий облачности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Вып. 6, Т. 2. С. 235–243.

Чернокульский А.В., Мохов И.И. Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исследование Земли из космоса. 2010. № 3. С. 12–29.

Чернокульский А.В., Мохов И.И. Глобальное поле облачности: современное состояние // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты. Труды XIV Всероссийской школы – конференции молодых ученых /А.М. Фейгин. Н.Новгород: Типография ИПФ РАН. 2010. С. 157–160.

Chernokulsky A.V. Cloudiness anomalies and El Nino effects // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. J. Cote (ed.). 2007. WMO/TD. N.1397. P. 02.05–02.06.

Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // Environmental Research Letters. 2011. V. 6. P. 035202.

Chernokulsky A.V., Mokhov I.I. Cloudiness climatology in the Arctic: Intercomparison of Observations and Reanalyses // Advances in Meteorology. 2012. (in press).

Mokhov I.I., Schlesinger M.E. Analysis of global cloudiness. 2. Comparison of ground-based and satellite-based cloud climatologies // J. Geophys. Res. 1994. V.99. N D8. P. 17045–17065.

Rossow W.B., Schiffer R.A. Advances in understanding clouds from ISCCP // Bull. Amer. Met. Soc. 1999. V. 80. P. 2261–2287.

Wylie D.P. Diurnal Cycles of Clouds and How They Affect Polar-Orbiting Satellite Data // J. Climate. 2008. V. 21. P. 3989–3996.

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва*