——— ФИЗИКА МОРЯ ——

УДК 551.506.5,551.501.86

# СРАВНЕНИЕ НАТУРНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ОБ ОБЩЕМ БАЛЛЕ ОБЛАЧНОСТИ ДЛЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА В ПЕРИОД 2004–2014 гг.

© 2022 г. А. В. Синицын<sup>1,</sup> \*, С. К. Гулев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия \*e-mail: sinitsyn@sail.msk.ru Поступила в редакцию 14.10.2020 г. После доработки 18.05.2021 г. Принята к публикации 17.08.2021 г.

В работе рассмотрены вопросы сопоставления спутниковых измерений общего балла облачности с визуальными наблюдениями и влияния измерений общего балла облачности на качество параметризаций коротковолновой солнечной радиации на поверхности океана.

Ключевые слова: общий балл облачности, спутниковые данные, коротковолновые потоки **DOI:** 10.31857/S0030157422010142

#### введение

Облачность является одним из ключевых факторов, определяющих радиационный баланс поверхности Земли, в частности, Мирового океана. Информация об общем балле облачного покрытия над поверхностью океана доступна из баз данных визуальных судовых наблюдений, а также из архивов спутниковых данных как над сушей, так и над морем. В настоящее время сведения об общем балле облачного покрытия можно найти в ICOADS архиве данных (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set), получаемых с судов системы VOS (Voluntary Observing Ships) [14]. Эти данные характеризуются неравномерным покрытием океана и существенно изменяющимся количеством наблюдений во времени [8, 16] и требуют анализа различных типов неопределенностей, связанных с практикой наблюдений [12]. Для арктических регионов с относительно малым количеством судовых наблюдений важны береговые и островные наблюдения за облачностью [11]. однако в условиях открытого океана судовые визуальные наблюдения являются основным источником информации.

Другим источником информации являются спутниковые данные, в том числе данные оперативных геостационарных искусственных спутников Земли (далее "спутники"). Для Атлантического океана наиболее релевантными являются спутники семейства METEOSAT первого и второго поколений, оборудованные сканерами видимого и инфракрасного диапазонов спектра и позволяющие получать несколько изображений видимой области Земли в течение часа. Для получения данных о среднесуточных и среднемесячных величинах обшего балла облачности также могут быть использованы европейские спутники EPS/MetOP и американские спутники NOAA на средневысотных приполярных солнечно-синхронных орбитах с радиометрами AVHRR на борту. Спутниковым данным, несомненно, принадлежит ведущая роль в изучении динамики облачного покрова в будущем, однако в настоящее время они доступны только за последние несколько десятилетий и остаются недостаточно точными [5], требуя детальной валидации. Например, детальный совместный анализ спутниковых и береговых данных об облачности в районе Баренцева моря представлен в [13].

В этом аспекте важной задачей является сопоставление спутниковых измерений общего балла облачности с визуальными наблюдениями за облачностью в условиях открытого океана. Важным аспектом такого сравнения является учет пространственных масштабов, к которым отнесены данные наблюдения, поскольку характерный масштаб визуальных наблюдений с судов составляет примерно 14 км (видимость горизонта), а спутниковые наблюдения в зависимости от миссии могут иметь как большие, так и меньшие пространственные масштабы. Поэтому учет масштабов является ключевой задачей сопоставления су-



**Рис. 1.** Граница области видимости спутника Meteosat Second Generation для региона Атлантического океана (*1*). Маршруты научных рейсов 2004–2014 гг. (*2*).

довых и спутниковых наблюдений, равно как и сравнения оценок облачности по данным ре-анализов и моделей. Будучи впервые сформулированной несколько десятилетий назад (например, [3]), данная проблема не всегда адекватно учитывается в работах по сопоставлению различных данных об облачности [7, 9]. Учет этой проблемы в данной работе позволит не только сравнить данные об облачности, получаемые из независимых источников, но и оценить влияние пространственного осреднения облачности при использовании тех или иных данных на точность их представления. Кроме того, это позволит получить материал для дальнейшего развития параметризаций коротковолновой солнечной радиации на поверхности океана, используемых для массовых расчетов потоков по данным наблюдений за облачностью [4, 6].

#### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

В данной работе используется климатология среднечасовых величин общего балла облачности из массива COMET ed. 1.0, предоставленная EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). Область покрытия включает в себя Европу, Африку и значительную часть Атлантического океана и представляет собой квазиокружность с крайними точками 65° для Северного, Южного, Западного и Восточного полушарий (рис. 1, табл. 1) [18] и имеет разрешение 0.05 × 0.05 градуса.

Для сопоставления со спутниковыми данными общего балла облачности нами использовались визуальные наблюдения, полученные в рейсах НИС "Академик Сергей Вавилов", "Академик Иоффе", "Polarstern" в период с 2004 по

База данных	Период	Покрытие	Разрешение по времени	Разрешение по сетке	Тип инструмента
COMET ed.1 CFC – Fractional cloud cover	1991-01-01— 2015-12-31	65° ю.ш.–65° с.ш. 65° з.д.–65° в.д.	Среднечасовые	$0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$	MVIRI/SEVIRI на спутниках METEOSAT

**Таблица 1.** Спутниковые данные, предоставленные EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF)

2014 гг. (рис. 1). В ходе этих экспедиций проводились визуальные ежечасные наблюдения общего балла облачности в соответствии с Наставлениями по метеорологическим наблюдениям и измерениям ВМО. Следует отметить, что визуальные данные наблюдений за облачностью, входящие в архив ICOADS, характеризуются определенными погрешностями, связанными с практикой проведения наблюдений и использованием систем наблюдений [8]. В этом смысле наша работа основана на гораздо более точных визуальных данных, полученных профессиональными метеорологами. Однако дальнейшее развитие этого анализа с использованием массовых данных наблюдений архива ICOADS потребует учета случайных и систематических ошибок.

Таким образом, выполненные наблюдения составили уникальную по объему базу данных из примерно 4000 прямых визуальных наблюдений общего балла облачности, выполненных профессиональными наблюдателями при различных высотах Солнца, которые могут быть использованы для сравнения натурных и спутниковых данных. Отметим, что спутниковые наблюдения представляют собой количественные оценки доли облачного покрова, выраженные в процентах. Визуальные измерения облачности представляют собой оценки, выполненные в баллах (восьмые доли, или окты) покрытия облачности видимой полусферы неба, соответствующей примерно радиусу 13-14 км (высота наблюдений с борта судна порядка 12-13 метров над уровнем моря).

# МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАСШТАБА

Важной проблемой при анализе любых данных об облачности является учет пространственных (в общем случае также и временны́х) масштабов, которым соответствуют данные конкретного массива или типа. Это относится в равной степени к данным модельных интегрирований, визуальным наблюдениям и спутниковым данным. Проблема изначально состоит в том, что процент площади облачного покрова по отношению к общей площади рассматриваемой ячейки сетки

(в случае модельных данных) или видимой полусферы (в случае с визуальными наблюдениями) является не наблюдением in-situ, а параметризацией, важнейшей характеристикой которой служит масштаб, к которому отнесены наблюдения. В асимптотическом случае при наблюдении с Земли с использованием конуса с исчезающе малой апертурой результаты будут представлены как или "0" или "8" (в рамках окта-модели), а величины, например, "3", "4", "5" и так далее (окты из данных ICOADS), соответствующие тому же случаю, но отнесенные к большей площади, будут являться функцией самой этой площади [8]. Вероятность наблюдения исключительно чистого неба или полного закрытия неба облаками с увеличением площади будет уменьшаться, а с ее уменьшением – увеличиваться. Это в полной мере относится и к спутниковым данным, элементарным масштабом для которых является размер пикселя, при том, что данные могут быть представлены для ячеек сетки, консолидирующих десятки пикселей.

В нашем случае пространственное разрешение спутникового снимка составляет 0.05 × 0.05 градуса широты, что соответствует ячейке примерно 5 × 5 километров для широты экватора с уменьшением по мере удаления от экватора. Кроме того, область, видимая с палубы при проведении наблюдений, представляет круг радиусом около 14 километров (при высоте площадки наблюдения, примерно, 12–13 метров над уровнем моря). Исходя из этих условий, нами был разработан алгоритм расчета общего балла облачности над поверхностью Атлантического океана по спутниковым данным с учетом масштаба области, для которой выполнена оценка. Этот алгоритм позволяет поставить в прямое соответствие спутниковые данные и данные визуальных наблюдений с учетом пространственного масштаба, к которому они отнесены. Согласно этому алгоритму, приведение данных спутниковых наблюдений к виду, сопоставимому с судовыми наблюдениями, должно осуществляться по нескольким ячейкам размером 0.05 × 0.05 градуса. Центральная ячейка соответствует положению судна в текущий момент. В северном и южном направлениях берется

по две соседних ячейки, что дает протяженность области 0.25 градуса широты, или около 25 км. Аналогично выстраивается конфигурация с запада на восток, где, в соответствии с текущей широтой места, учитывается сходимость меридианов при расчете длины в километрах. Далее получившаяся сумма величин общего балла облачности в каждом квадрате, измеренная со спутника, осредняется по количеству ячеек. залействованных в расчете, что дает осредненную величину общего балла облачности для данного масштаба осреднения. Алгоритм учитывает также расположение судна у границ области покрытия спутником в центральной ячейке и пропушенные или некорректные данные в спутниковых измерениях. Данный алгоритм позволяет непосредственно сопоставлять данные судовых и спутниковых измерений для заданного пространственного масштаба.

В результате применения данного алгоритма был сформирован массив данных, которые были одновременно получены при визуальных наблюдениях с борта судна и спутником. Этот массив составил около 3000 срочных значений общего балла облачности, выполненных в часовые сроки по Всемирному координатному времени.

Также нами для исследования масштабируемости пространственного осреднения общего балла облачности был исследован диапазон масштабов от размера ячейки, непосредственно включающей положение судна, до 15, 25, 35, 45, 55 км (исходя из кратности и симметричности количества ячеек, доступных для осреднения). Кроме того, мы исследовали и существенно большие масштабы осреднения, которые встречаются в ре-анализах и модельных интегрированиях, а также для сеточных массивов спутниковых данных — 1.5° и 2.5°. Для этих масштабов количество пар для сравнения составило примерно 4000 значений. После того как массивы пар наблюдений были сформированы, нами анализировались различия между оценками балла облачности - соответствующими пространственному масштабу визуальных наблюдений (14-15 км) с другим масштабам осреднения. В качестве метрик для сопоставления использовались средние разности между оценками величин балла общей облачности, соответствующими пространственному масштабу визуальных наблюдений и другим масштабам осреднения. Разность рассчитывалась вычитанием из значения балла общей облачности, осредненного для масштаба визуальных наблюдений, значений балла общей облачности, осредненного для других рассматриваемых масштабов. В качестве метрики рассчитывалось также среднеквадратическое отклонение (СКО) значений

оценки общего балла облачности для сравниваемых величин балла общей облачности.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты сравнения характеристик облачности для различных пространственных масштабов представлены в таблице 2 и на рис. 2. На рис. 2 представлены кривые, которые соответствуют значениям (в %) облачного покрытия по спутниковым данным в зависимости от масштаба пространственного осреднения. Точками показаны значения соответствующих им судовых визуальных наблюдений в октах (шкала справа). Для примера взяты крайние случаи: когда в срок наблюдения на небе фиксировалась небольшая облачность и когда в срок наблюдения облачность была близка к сплошной. Видно (рис. 2), что по мере увеличения пространственного осреднения величина облачного покрытия приближается к некоторой асимптотической величине. Существующие обобщенные оценки показывают, что в целом увеличение масштаба пространственного осреднения должно асимптотически приводить к оценке количества облачности, близкой к 50%, или 4 октам величины облачного покрытия [3].

Как видно из табл. 2, средняя величин общего балла облачности не очень сильно зависит от масштаба пространственного осреднения. Разность составляет менее 1%. При этом обнаруживается существенная зависимость точности определения общего балла облачности от масштаба осреднения. При уменьшении и увеличении масштаба относительно масштаба, видимого с верхней палубы корабля, растет вариативность конечных значений облачного покрытия в % для соответствующих масштабов осреднения.

На рис. 3 показаны гистограммы распределения разностей спутниковых наблюдений за облачностью для разных масштабов пространственного осреднения и данных осреднения, соответствующих пространству, видимому с верхней палубы корабля в момент визуальных наблюдений. Интересно рассмотреть крайние случаи. Первый – соответствующий значениям разностей величин общего балла облачности для основного масштаба осреднения и наблюдениям в точке положения корабля. И второй – соответствующий значениям разностей величин общего балла облачности для основного масштаба осреднения и осреднению по 2.5° сетке (на рисунке представлены огибающими столбцов распределения величин разностей – зеленый и синий соответственно). Распределение величин разностей для этих случаев симметрично, так как разность



**Рис. 2.** Зависимость величины облачного покрытия от масштаба пространственного осреднения, рассчитанной по спутниковым данным для небольшой и близкой к сплошной облачности (синие треугольники и зеленые круги соответственно). Правая шкала — величина облачного покрытия в октах по данным визуальных наблюдений в эти моменты времени (красные квадраты).

величины облачного покрытия, видимого с верхней палубы судна, может быть как больше, так и меньше значения облачного покрытия в точке или на пространстве в 2.5° (рис. 2). Для величин разностей, соответствующих точке положения корабля и визуальному масштабу наблюдения, пик распределения близок к нулю слева. Это должно соответствовать случаям, близким к безоблачному небу, когда спутниковое значение в точке покрытия облачности близко к значению "0", а пространственное осреднение на масштабе визуальных наблюдений увеличивает эту величину за счет соседних пикселей, где могут наблюдаться отдельные облака. Точно так же можно рассмотреть и случай осреднения с масштабом 2.5° по сравнению с масштабом визуальных наблюдений. Тут пик распределения располагается близко к нулю справа, когда пространственное осреднение с масштабом 2.5° может уменьшать наблюдаемую величину облачного покрытия за счет соседних пикселей. Сравнение гистограмм данных осреднения для масштаба визуальных наблюдений и данных, соответствующих масштабам, характеризующимся наименьшей вариативностью значений, показывает, что модальные значения плотности вероятности различий между двумя типами наблюдений характеризуются быстрым спаданием до нулевых повторяемостей. Это дает право говорить, что данные, осредненные для масштаба в несколько десятков километров, или в пределах 0.5°, могут считаться эквивалентными данным визуальных наблюдений с точки зрения зависимости характеристик облачности от пространственного масштаба.

Для сравнения с натурными наблюдениями за общим баллом облачности спутниковые данные, осредненные на масштабе визуальных наблюдений, были пересчитаны, согласно рекомендаци-

Масштаб осреднения	Средняя разность, %	СКО, %	
1 точка	0.24	9.38	
15 км	-0.05	5.04	
25 км	-0.04	3.77	
35 км	-0.12	4.46	
45 км	-0.17	5.62	
55 км	-0.19	6.35	
1°	-0.35	11.26	
2.5°	-0.68	17.63	

**Таблица 2.** Средняя разность и среднеквадратическое отклонение значений общего балла облачности между спутниковыми наблюдениями в зависимости от масштабов пространственного осреднения и основным масштабом осреднения (28 км)



**Рис. 3.** Гистограмма разностей для спутниковых данных об облачном покрытии для различных пространственных масштабов осреднения. На рисунке представлены огибающими столбцов значений разностей: зеленая – для сравнения с данными в точке наблюдения по спутниковым данным, синяя – для масштаба осреднения 2.5°. Красные столбцы соответствуют масштабу 25 км – с наименьшей вариативностью значений общего балла облачности.

ям ВМО по наблюдению за общим баллом облачности, в окты. Оценки статистических характеристик результатов такого сопоставления дают среднюю разность 1.1 окты. То есть наблюдатели систематически завышают показания общего балла облачности. Среднеквадратическое отклонение при этом было равно 2-м октам. Эти результаты потребовали более детального сопоставления визуальных и спутниковых данных. В первую очередь в массиве данных для сравнения была рассмотрена каждая пара значений визуальных и спутниковых данных (для основного пространственного масштаба). Доля случаев, когда наблюдатель определял более высокий общий балл облачности по сравнению со спутниковыми данными, при общем балле облачности в 6-8 окт, оказалась исчезающе малой по сравнению с массивом данных и, в основном, относится к случаям наблюдения на границе видимости спутника. При этом величина общего балла облачности по спутниковым данным возрастала с увеличением масштаба осреднения. Аналогичные результаты

получены и для случаев, когда разность в определении общего балла облачности составляла 3— 5 окт и при этом по спутниковым данным определялся более высокий общий балл облачности по сравнению с визуальными наблюдениями. В случаях наблюдения облачности в диапазоне, близком к границе видимости спутника, величина общего балла облачности по спутниковым данным убывала с масштабом осреднения. Эти случаи были исключены из рассмотрения.

Отдельный анализ при сравнении разности общего балла облачности по визуальным и спутниковым наблюдениям был выполнен для величин, составляющих 3–5 окт (таких случаев – порядка 10% от всего массива сравнения). Эти наблюдения, как правило, располагаются в широтном поясе от 35° с.ш. до 35° ю.ш. и связаны со случаями наблюдений так называемой кучевой облачности хорошей погоды. В этом случае, часто из-за пространственных размеров облачности и ее низкого расположения, наблюдатель ошибочно завышает общий балл облачности, тогда как

ОКЕАНОЛОГИЯ том 62 № 1 2022

точность спутниковых наблюдений не отличается от других случаев. Эти случаи также были исключены из рассмотрения.

В результате мы уменьшили массив сравнения до 2500 парных значений визуальных и спутниковых осредненных значений общего балла облачности и рассчитали статистические характеристики попарного сравнения. Оценка средней разности составила 0.54 окты, что свидетельствует о том, что наблюдатели систематически несколько завышают показания общего балла облачности. При этом среднеквадратическое отклонение составило чуть больше 1 окты. Это дает возможность заключить, что полученные оценки близки по значениям к точностным характеристикам визуального определения общего балла облачности для морских наблюдений.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами предложен и методологически обоснован алгоритм для сравнения визуальных и спутниковых наблюдений за облачностью над морем. основанный на учете пространственного масштаба, связанного с наблюдениями. Применение данного алгоритма показало, что анализ масштабов пространственного осреднения спутниковых данных об облачности позволяет существенно улучшить количественное сопоставление судовых и спутниковых данных об облачности. Наилучшее согласование спутниковых данных с данными визуальных наблюдений обнаруживается для пространственных масштабов от нескольких десятков километров до примерно пространственного разрешения сеточных массивов, соответствующего 0.5°.

Результат сравнения корабельных измерений и соответствующих им спутниковых наблюдений показывает, что спутниковые данные об облачности в целом могут эффективно использоваться для оценки динамики облачного покрова и расчетов радиационных потоков с помощью интегральных параметризаций, а также сравниваться с расчетами по судовым данным при масштабах осреднения [4], сопоставимых с видимым пространством с верхней палубы корабля, порядка 25–30 км.

Выполненное исследование имеет важные перспективы. Дальнейшее исследование масштабных зависимостей может включать анализ измерений функций вероятностного распределения балла облачности. В работе [8] было показано, что форма распределения может существенно меняться и эволюционировать от распределений, характеризующихся максимумами для чистого

ОКЕАНОЛОГИЯ том 62 № 1 2022

неба и полного закрытия небесной сферы, к распределениям с максимумом в области значений облачности, соответствующих величинам 3-6 окты. Степень, до которой такая эволюция может определяться масштабными зависимостями в различных районах, может быть оценена по высокоразрешающим данным спутниковых наблюдений. Это даст возможность эффективного использования аналитических функций распределения для сопоставления различных данных об облачности в зависимости от масштаба. Кроме того, предложенный алгоритм может быть эффективно применен для анализа масштабных зависимостей в модельных данных. Современные высокоразрешающие атмосферные анализы и реанализы уже доступны с пространственным разрешением 10-15 км [10, 15], что соответствует характерному масштабу судовых наблюдений. С использованием предложенного алгоритма такие данные могут быть сопоставлены с данными реанализов и климатических моделей, которые имеют пространственное разрешение от  $0.25^{\circ}$  до 2°-3°. Это позволит провести дискриминацию различий между разными моделями, связанными с различным представлением облачности в них (что связано с параметризациями) и различным пространственным разрешением. Анализируемая проблема сопоставимости наблюдений, выполненных для разных пространственных масштабов, имеет отношение и к временным масштабам, которые не исследовались в данной работе. Часовое осреднение спутниковых данных значительно превосходит временное осреднение визуальных наблюдений, формально считающееся соответствующим 10-минутному интервалу, хотя часто приводящееся как мгновенное. Это должно стать предметом дальнейших исследований, в том числе с использованием высокоразрешающих полносферных снимков облачности [17]. Проведенные предварительные исследования показывают, что изменение общего балла облачности в средних широтах происходит на 1 окту примерно за 1 час, однако разброс оценок достаточно велик.

Дальнейшее использование долговременных рядов спутниковых наблюдений в Атлантике с учетом масштабных зависимостей позволит выполнить расчеты коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации и связать эти оценки с масштабными характеристиками облачности. Такие исследования проводились только для турбулентных потоков тепла и позволили получить их долговременную динамику [16], однако аналогичный анализ радиационных потоков все еще ждет своего часа. Дальнейшие работы позволят использовать этот уникальный массив для анализа и уточнения расчетных полей коротковолновой солнечной радиации, основанных на применении балк-параметризаций [1, 6], которые в значительной степени зависят от точности определения облачности над Мировым океаном. В этом смысле использование данных об облачности из архива наблюдений EUMETSAT в совокупности с инструментальными наблюдениями [2] за облачностью и радиационными измерениями представляется крайне перспективным.

Также интересным направлением развития работы может явиться и подобный анализ для облачности разных ярусов, которая характеризуется различными характеристиками пропускания. Эта информация, доступная сейчас с некоторых спутниковых платформ, позволит оценить масштабные зависимости для разных типов облаков.

**Благодарности.** Авторы статьи благодарят рецензента Чернокульского Александра Владимировича за справедливые и полезные замечания по статье.

Источники финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-17-00139 (формирование массива наблюдений за облачностью), РФФИ 20-05-00244 (исследование масштабных зависимостей) и Министерства Науки и высшего образования РФ проект 14.W03.31.0006 (мезомасштабные и синоптические вихри океана: роль в динамике общей циркуляции и климатической изменчивости).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гирдюк Г.В., Егоров Б.Н., Малевский-Малевич С.П. Определение радиационного баланса поверхности океана // Справочное пособие. СПб.: Гидрометиздат, 1992. 148 с.
- Криницкий М.А., Синицын А.В. Адаптивный алгоритм оценки общего балла облачности по широкоугольным снимкам неба с использованием индекса степени серости // Океанология. 2016. Т. 56. № 3. С. 341–345.
- Матвеев Ю.Л., Матвеев ЈІ.Т., Солдатенко С.А. Глобальное поле облачности. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 278 с.
- 4. Синицын А.В., Александрова М.П., Гулев С.К. Уточнение параметризации коротковолновой радиации на поверхности океана на основе прямых измерений в Атлантическом океане // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 45–54.
- 5. Синицын А.В., Гулев С.К. Сравнительный анализ спутниковых баз данных приходящих коротковолновых потоков на поверхность Мирового Океана // Океанология. 2018. Т. 58. № 5. С. 689–695. https://doi.org/10.1134/S0030157418050167
- Синицын А.В., Гулев С.К. Коротковолновая радиация над океаном на основе интегральной параметризации и спутниковых данных об облачности //

ДАН. Науки о Земле. 2020. Т. 490. № 2. С. 65-70. https://doi.org/10.31857/S2686739720020140

- 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.
- Aleksandrova M., Gulev S.K., Belyaev K.P. Probability distribution for the visually observed fractional cloud cover over the ocean // J. Climate. 2018. V. 31. P. 3207–3232. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0317.1
- 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. Climatol. 2007. V. 27. P. 1707–1719. https://doi.org/10.1002/joc.1490
- Bromwich D.H., Wilson A.B., Bai L. et al. The Arctic System Reanalysis, version2 // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2018. V. 99. P. 805–828. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0215.1
- 11. Chernokulsky A.V., Esau I., Bulygina O.N. et al. Climatology and interannual variability of cloudiness in the atlantic arctic from surface observations since the late nineteenth century // J. Climate. 2017. V. 30. № 6. P. 2103–2120. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0329
- Eastman R., Warren S.G., Hahn C.J. Variations in cloud cover and cloud types over the ocean from surface observations, 1954–2008 // J. Climate. 2011. V. 24. P. 5914–5934. https://doi.org/10.1175/2011JCLI3972.1
- Esau I.N., Chernokulsky A.V. Convective cloud fields in the Atlantic sector of the Arctic: satellite and groundbased observations // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2015. V. 51. P. 1007–1020. https://doi.org/10.1134/S000143381509008X
- Freeman E., Woodruff S.D., Worley S.J. et al. ICOADS release 3.0: a major update to the historical marine climate record // Int. J. Climatol. 2017. V. 37. № 5. P. 2211–2232. https://doi.org/10.1002/joc.4775
- Gavrikov A., Gulev S.K., Markina Mio et al. RAS-NAAD: 40-year high resolution North Atlantic atmospheric hindcast for multipurpose applications (New dataset for the regional meso-scale studies in the atmosphere and the ocean) // J. Appl. Meteor. Climatol. 2020. V. 59. P. 793–817.

https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0190.1

- Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N. et al. North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales // Nature. 2013. V. 499. P. 464–467.
- 17. Krinitskiy M., Aleksandrova M., Verezemskaya P. et al. On the generalization ability of data-driven models in the problem of total cloud cover retrieval // Remote Sensing. 2021. V. 13. № 2. P. 1–28. https://doi.org/10.3390/rs13020326
- Stöckli R., Duguay-Tetzlaff A., Bojanowski J. et al. CM SAF ClOud Fractional Cover dataset from METeosat First and Second Generation – Edition 1 (COMET Ed. 1) // Satellite Application Facility on Climate Monitoring. 2017. https://doi.org/10.5676/EUM\_SAF\_CM/CFC\_ME-TEOSAT/V001.

12

ОКЕАНОЛОГИЯ том 62 № 1 2022

## Comparison of Field and Satellite Data about Total Cloud Cover for the Atlantic Ocean in the Period 2004–2014

### A. V. Sinitsyn<sup>a, #</sup>, S. K. Gulev<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia <sup>#</sup>e-mail: sinitsyn@sail.msk.ru

The aim of this work is to compare satellite measurements of the total cloud cover with visual observations of clouds. This will allow us to compare "different points of view" on cloud cover. Estimate the possible spatial averaging of clouds without loss of accuracy. And to obtain material for the further development of parametrizations of short-wave solar radiation on the ocean surface, used for mass calculations of fluxes from cloud observation.

Keywords: total cloud cover, satellite data, shortwave fluxes