

УДК 551.576.2

## Повторяемость облачных ситуаций и оптические толщи облаков над Западно-Сибирской низменностью по данным спутника ENVISAT

Д.Н. Трошкин<sup>1</sup>, М.В. Кабанов<sup>2</sup>, В.Е. Павлов<sup>1</sup>, А.Н. Романов<sup>1</sup>, И.В. Хвостов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН  
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

Поступила в редакцию 20.01.2012 г.

Выполнен статистический анализ данных (2008–2011 гг.) измерений оптических толщ облаков над Западно-Сибирской низменностью с Европейского спутника ENVISAT с пространственным разрешением изображения 4,5 км/пиксель. Территория низменности условно разделена на северную и южную зоны. Для каждой из них вычислен среднемесячный балл облачности и сопоставлены данные для зимнего и летнего периодов наблюдений. Приведены сведения о виде функции распределения оптических толщ облаков по числу пикселей для территорий, покрытых облаками, и составлены таблицы параметров распределений для каждой из зон.

*Ключевые слова:* балл облачности, оптическая толщина облаков, спутниковое зондирование, статистическая функция распределения; cloud amount, cloud optical thickness, satellite sounding, statistical distribution function.

### Введение

Облачность относится к числу тех климаторегулирующих факторов, которые в настоящее время вносят наибольшую неопределенность при моделировании климата в том или ином регионе планеты [1–3]. Эта неопределенность связана с трудностями одновременного учета всей совокупности физических процессов, формирующих облачность и в конечном итоге влияющих на радиационные процессы и температурный режим в регионе. Один из перспективных путей преодоления этих трудностей состоит в установлении возможных эмпирических закономерностей для мезомасштабных характеристик облачности по спутниковым наблюдениям.

Спутниковые наблюдения широко применяются в современной метеорологии. Они существенно дополняют данные наземных станций. Особенно велика их роль для огромных пространств, где плотность расположения наблюдательных пунктов невелика. Помимо океанов, морей, Антарктиды, Гренландии и т.п. к таковым, безусловно, следует отнести и Западную Сибирь.

Динамика влаги в атмосфере реализуется в форме переноса водяного пара и облаков. Общеизвестно,

что частицы в облаках имеют капельную, кристаллическую и смешанную структуры, причем последняя наиболее типична для облаков верхнего яруса и часто реализуется даже в тропических широтах. Капельные облака в летних условиях обычно сосредоточиваются в среднем и нижнем ярусах. Облака и водяной пар играют ведущую роль в регуляции потоков коротковолнового и длинноволнового излучений в атмосфере и, следовательно, в формировании регионального климата [4–9].

В настоящей статье рассматриваются два вопроса. *Во-первых*, оценивается весовой вклад суммы площадей участков, покрытых облаками, в общую площадь изучаемого региона, т.е., по сути, определяется балл облачности, осредненный по большому пространству в течение месяца. Статистические выводы базируются на данных 4-летних измерений интенсивности восходящего рассеянного излучения с Европейского спутника ENVISAT (аппарат MERIS) с 2008 по 2011 г. [10], по которым на основе теории переноса излучения определяются оптические толщ облаков  $\tau$  [11, 12]. Пространственное разрешение изображения составляет 4,5 км/пиксель. *Во-вторых*, ниже приводятся данные о параметрах распределения логарифмов оптических толщ облаков  $\lg\tau$  по суммарному числу пикселей  $N$  для облачных участков над Западно-Сибирской низменностью в летние периоды. Предварительные сведения о виде функции распределения  $F(\lg\tau)$  за 2-летний период 2008–2009 гг. были опубликованы в статье [13]. Ниже представлены аналогичные данные, но с уточненными параметрами

\* Дмитрий Николаевич Трошкин (dtroshkin@iwer.asu.ru); Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru); Владимир Евгеньевич Павлов (pavlov@iwer.asu.ru); Андрей Николаевич Романов (ran@iwer.asu.ru); Илья Владимирович Хвостов (mikon@iwer.asu.ru).

полученных функций распределения оптических толщ облаков по итогам обработки спутниковых данных за 4-летний период 2008–2011 гг.

## Среднемесячный балл облачности

Территория Западно-Сибирской низменности, по аналогии с предложениями в статье [14], была условно разбита на 4 зоны. Названия и широтно-долготные границы зон таковы: северо-западная (62–72° с.ш., 66–76,5° в.д.), северо-восточная (62–72° с.ш., 76,5–87° в.д.), юго-западная (52–62° с.ш., 66–76,5° в.д.) и юго-восточная (52–62° с.ш., 76,5–87° в.д.). Предварительный подсчет интегрального балла облачности, т.е. отношения  $M = 10S/S_0$  сумм площадей, покрытых облаками  $S$  с оптическими толщинами  $\tau \geq 1$  внутри каждой зоны, к интегральной площади этой зоны  $S_0$  показал следующее. При месячном осреднении результатов определения  $M$  существенных различий в их годовом ходе для западных и восточных зон за 4-летний период не обнаружено. Это позволило осуществить последующий анализ балла облачности по упрощенной схеме для двух объединенных зон: северной (62–72° с.ш., 66–87° в.д.) и южной (52–62° с.ш., 66–87° в.д.).

На рис. 1 изображены годовой ход  $M$  в обеих зонах и соответствующие среднеквадратические отклонения.

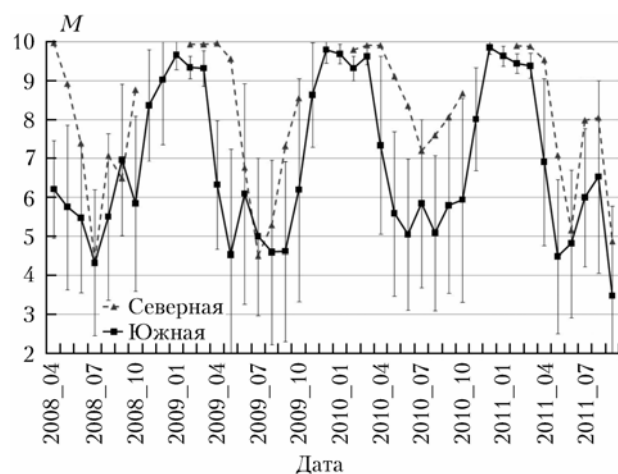


Рис. 1. Временной ход среднемесячного интегрального балла облачности для северной и южной зон Западной Сибири

В северной зоне с ноября по март на ломаных возникают вынужденные разрывы, поскольку исходные данные по  $\tau$  для данного промежутка времени на FTP-сервере Европейского космического агентства (ESA) не выставляются. Возможно, это связано с большими погрешностями восстановления толщ облаков из наблюдений интенсивности уходящего излучения из-за низких положений Солнца над горизонтом. Тем не менее, судя по графику, отсутствующие участки годового хода  $M$  интерполируются достаточно уверенно. Чтобы судить о вариациях значений  $M$ , в качестве примера на рис. 1 приведены

соответствующие среднеквадратические отклонения  $\Delta M$  для южной зоны. В летние месяцы смена безоблачной погоды на облачную и наоборот происходит довольно часто, вследствие чего дисперсии велики. Они убывают при переходе к зимним условиям, когда общее число безоблачных пикселей резко сокращается. Заметим, в июне–сентябре балл облачности с учетом  $\Delta M$  редко бывает меньше 3.

Если говорить о климатологическом аспекте выполняемых исследований, то несомненный интерес представляет обобщение приводимых выше данных с расчетами средних за весь срок наблюдений. На рис. 2 представлены такие осредненные результаты 4-летнего определения  $\bar{M}$  и соответствующие среднеквадратические отклонения.

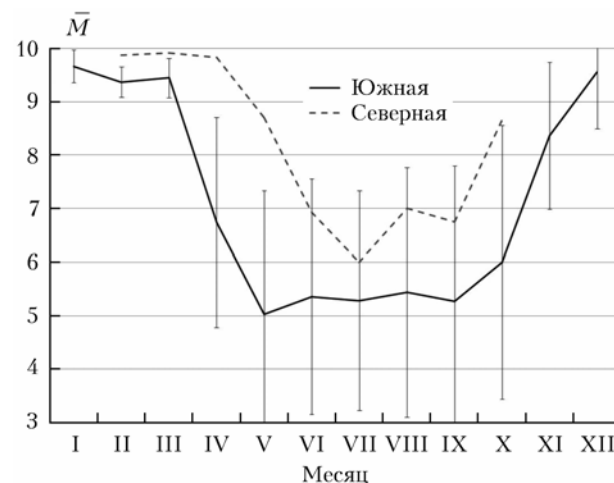


Рис. 2. Годовой ход среднего интегрального балла облачности для северной и южной зон Западной Сибири

Поскольку экстремальные величины флуктуаций летних  $\bar{M}$  в разные годы возникают в различные месяцы (см. нижнюю часть рис. 2), то при их осреднении картина существенно сглаживается и появляется характерное плато с малыми вариациями математических ожиданий  $\bar{M} \sim 5,3$  с мая по сентябрь для южной зоны и менее четко выраженное с июня по сентябрь — для северной. Из рис. 2 также следует, что средний балл облачности в зимний период заметно выше, чем в летний.

## Распределение оптических толщ облаков

Перейдем к вопросу о распределении логарифмов оптических толщ облаков  $\lg \tau$  по числу пикселей  $N$  над территорией Западно-Сибирской низменности. Как отмечалось выше, предварительно этот вопрос уже рассматривался в работе [13]. В настоящей статье ряды спутниковых данных в 2 раза длиннее.

На рис. 3 представлены результаты определения вида функции  $F(\lg \tau) = dN/d(\lg \tau)$  от  $\lg \tau$  по данным 4-летних наблюдений.

Видно, что средневзвешенные за год экспериментальные данные в течение всего временного интервала

Численные значения коэффициентов, входящих в формулу

Год	Зона	$A_1$	$\lg\tau_1$	$\sigma_1$	$A_2$	$\lg\tau_2$	$\sigma_2$	$A_3$	$\lg\tau_3$	$\sigma_3$
2008	северная	0,235	1,058	0,082	0,120	1,295	0,088	0,645	1,44	0,38
	южная	0,300	1,055	0,082	0,140	1,295	0,088	0,560	1,44	0,38
	общие	0,245	1,057	0,082	0,130	1,295	0,088	0,625	1,44	0,38
2009	северная	0,255	1,058	0,082	0,125	1,295	0,088	0,620	1,44	0,38
	южная	0,305	1,055	0,082	0,135	1,295	0,088	0,560	1,44	0,38
	общие	0,245	1,057	0,082	0,130	1,295	0,088	0,625	1,44	0,38
2010	северная	0,190	1,058	0,082	0,130	1,295	0,088	0,680	1,44	0,38
	южная	0,270	1,054	0,082	0,130	1,293	0,088	0,600	1,44	0,39
	общие	0,215	1,056	0,082	0,130	1,295	0,088	0,655	1,46	0,38
2011	северная	0,235	1,058	0,082	0,125	1,295	0,088	0,640	1,42	0,38
	южная	0,310	1,051	0,082	0,140	1,295	0,088	0,550	1,42	0,38
	общие	0,250	1,057	0,082	0,135	1,295	0,088	0,615	1,43	0,38
Общие за 4 года		0,230	1,057	0,082	0,125	1,295	0,088	0,645	1,44	0,38

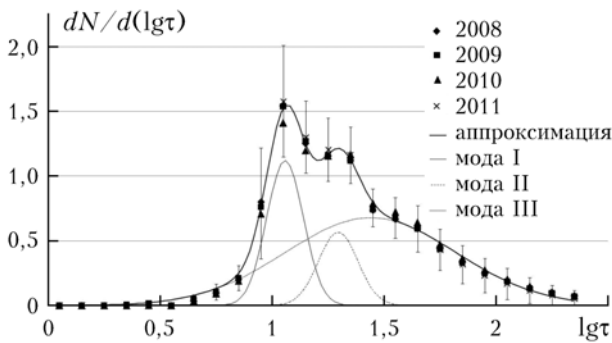


Рис. 3. Функция распределения логарифмов оптических толщ облаков по числу случаев  $F(\lg\tau) = dN/d(\lg\tau)$

2008–2011 гг. достаточно хорошо согласуются между собой. Здесь необходимо заметить, что они относятся к теплому периоду (июнь–сентябрь) и ко всей территории Западно-Сибирской низменности в целом. Такое распределение может быть представлено в виде суммы трех функций

$$F(\lg\tau) = \frac{dN}{d\lg\tau} = \frac{A_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-(\lg\tau - \lg\tau_1)^2/2\sigma_1^2\right] + \frac{A_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-(\lg\tau - \lg\tau_2)^2/2\sigma_2^2\right] + \frac{A_3}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \exp\left[-(\lg\tau - \lg\tau_3)^2/2\sigma_3^2\right],$$

каждая из которых при выполнении условия  $A_1 + A_2 + A_3 = 1$  изображена на рис. 3.

В таблице приведены значения параметров, входящих в соотношение, для северной и южной зон. Подобная детализация связана с тем обстоятельством, что, по сведениям ряда авторов, в течение последних лет намечается тенденция увеличения балла облачности в Северном полушарии [15–18]. Если это так, то в дальнейшем сведения о параметрах для северной и южной зон могут оказаться полезными при рассмотрении некоторых климатологических задач.

## Заключение

Обработаны 4-летние данные наблюдений оптических толщ облаков, выполненных с Европейского спутника ENVISAT над территорией Западной Сибири. Рассчитаны среднемесячные значения балла облачности и их вариации для южной и северной зон Западно-Сибирской низменности. Распределение логарифмов оптических толщ по числу пикселей для территорий, покрытых облаками, представлено в виде трех мод с нормальным распределением. Вычислены параметры, характеризующие эти функции для северной и южной зон Западной Сибири.

Представлены результаты без дифференциации облачности на типы и ярусы, а также без оценки соотношения между капельными и кристаллическими частицами облаков. Тем не менее отсутствие принципиальных различий в трехмодовом распределении оптических толщ облачности для обеих зон (северной и южной) указывают на общность полученных закономерностей для Западной Сибири. Более детальная интерпретация этих закономерностей требует дальнейших исследований с привлечением данных наземных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Европейского космического агентства (грант № 4747).

1. Израэль Ю.А. О состоянии современного климата и предложения о деятельности в области противодействия изменению климата // Метеорол. и гидрол. 2008. № 10. С. 5–8.
2. Покровский О.М. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 5. С. 11–18.
3. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.
4. Фейгельсон Е.М., Краснокутская Л.Д. Потоки солнечного излучения и облака. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 155 с.
5. Кондратьев К.Я., Биненко В.И. Влияние облачности на радиацию и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.

6. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 512 с.
7. Зуев В.Е., Титов Г.А. Современные проблемы атмосферной оптики. Т. 9. Оптика атмосферы и климат. Томск: Спектр, 1997. 271 с.
8. Журалева Т.Б. Статистическое моделирование распространения солнечной радиации: детерминированная атмосфера и стохастическая облачность: Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Томск, 2007. 39 с.
9. Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С. Климатология аэрозолей и облачности. СПб.: Изд-во «BBM», 2008. 555 с.
10. MERIS URIS GUIDE. Paragraph 2.7.1:1. Level 2. Cloud Albedo and Cloud Thickness. [http://envisat.esa.int/instruments/meris/pdf/atbd\\_2-01.pdf](http://envisat.esa.int/instruments/meris/pdf/atbd_2-01.pdf)
11. King M.D. Determination of the scaled Optical thickness of cloud from reflected solar radiation measurements // J. Atmos. Sci. 1987. V. 44, N 13. P. 1734–1751.
12. Nakajima T., King M.D. Determination of the optical thickness and effective particle radius of cloud from reflected solar radiation measurements // J. Atmos. Sci. 1991. V. 48, N 5. P. 728–750.
13. Трошкин Д.Н., Кабанов М.В., Павлов В.Е., Романов А.Н. Функция распределения оптических толщ облаков над Западно-Сибирской низменностью // Докл. РАН. 2011. Т. 436, № 2. С. 258–261.
14. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Пространственно-временное распределение общего влагосодержания атмосферы над территорией Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана – физика атмосферы. Томск: Изд-во СО РАН, 2009. С. 700–703.
15. Sun B.M. Cloudiness over the contiguous United States: Contemporary changes observed using ground-based and ISCCP D2 data // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30. doi: 10.1029/2002 G 10 15887.
16. Sun B.M., Groisman P.Ya., Mokhov I.I. Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in conversion over the United States and the former USSR // J. Climate. 2001. V. 14, iss. 8. P. 1864–1880.
17. Байкова И.М., Ефимова Н.А. Современное изменение облачного покрова над территорией России // Метеорол. и гидрол. 2002. № 9. С. 52–61.
18. Хлебникова Е.И., Саль И.А. Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорол. и гидрол. 2009. № 7. С. 5–13.

*D.N. Troshkin, M.V. Kabanov, V.E. Pavlov, A.N. Romanov, I.V. Khvostov.* **Repetition of cloudiness situations and cloud optical thickness over the West-Siberian plain on the basis of ENVISAT data.**

Statistical analysis of results of measurements of cloud optical thickness over the West-Siberian plain made by Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) onboard the ENVISAT are presented in this paper. Data for the 2008–2011 with a spatial resolution of 4.5 km/pixel were used. The territory was divided to south and north zones. For each of them monthly averaged cloud amount were calculated and data for the winter season compared with data for the summer time. The function of cloud optical thickness distribution by the number of pixels is shown and table of parameters of distribution for each zone is presented.