

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

**Поморцева Анна Александровна**

доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, 614990, Россия,  
Пермь, ул. Букирева, 15

**Anna A. Pomorceva**

Associate Professor, Department of Meteorology and  
Atmospheric Protection, Perm State University; 15,  
Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: smirnova@psu.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.* Исследование радиолокационных характеристик облачных систем при выпадении сильных дождей // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №3(54). С. 113–124. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-113-124.

**Please cite this article in English as:**

*Kostarev S.V., Vetrov A.L., Sivkov B.A., Pomortseva A.A.* Radar characteristics of cloud systems during heavy rain events // Geographical bulletin. 2020. №3(54). P. 113–124. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-113-124.

УДК 528.8

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-124-134

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА СИСТЕМАМИ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ****Елена Викторовна Волкова**

Web of Science ResearcherID AAB-4690-2019

e-mail: quantocosa@bk.ru

*Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Москва***Анжелика Андреевна Косторная**

SPIN код 9275-4228, Web of Science ResearcherID AAA-4044-2019

e-mail: kostornaya@rcpod.ru

*Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Новосибирск***Руслана Александровна Амикишиева**

e-mail: ruslana215w@mail.ru

*Новосибирский государственный университет,**Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Новосибирск*

Обсуждается сравнение результатов определения параметров облачного покрова, полученных по данным наблюдений с полярно-орбитальных метеоспутников (информация радиометров AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) с космического аппарата (КА) серии NOAA и МСУ-МР (многозональное сканирующее устройство малого разрешения) с КА Метеор-М №2) для европейской территории России и Западной Сибири двумя пороговыми методиками: комплексной пороговой методикой (КПМ) из европейского центра (ЕЦ) «НИЦ «Планета» и методикой дешифрирования облачного покрова (МДОП) из сибирского центра (СЦ) «НИЦ «Планета». Попиксельное сопоставление выходных продуктов разных методик проведено для близких сроков спутниковых наблюдений. Исследования авторов показали, что, несмотря на техническое сходство двух приборов и используемых методик дешифрирования и классификации, существует заметная разница в получаемых спутниковых оценках параметров облачного покрова. Так, качество классификации по данным МСУ-МР заметно (и примерно одинаково) уступает качеству оценок, выполненных разными методиками по данным AVHRR для обоих регионов: из-за частичной потери оптически тонкой перистообразной и высокослоистой облачности, по данным МСУ-МР, у многослойной облачности верхняя граница (ВГО) более теплая, низкая и менее кристаллическая, чем по данным AVHRR, независимо от



*Метеорология**Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.*

рассматриваемого региона и методики; для остальной же облачности ВГО, наоборот, более холодная, высокая и кристаллическая. Также в холодный период года по данным МСУ-МР существенно меньше детектируется облачных пикселей. Оценки же параметров ВГО (температура, высота, фаза воды в облачных частицах) КПП и МДОП по данным AVHRR являются достаточно близкими.

Ключевые слова: МСУ-МР, Метеор-М №2, AVHRR, NOAA, параметры облачного покрова, европейская территория России, Западная Сибирь

**THE DETERMINATION OF CLOUD COVER PARAMETERS USING SATELLITE DATA PROCESSING SYSTEMS****Volkova Elena Viktorovna**

Web of Science ResearcherID AAB-4690-2019

e-mail: quantocosa@bk.ru

*European Center of State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", Moscow***Kostornaya Anzhelika Andreevna**

SPIN код 9275-4228, Web of Science ResearcherID AAA-4044-2019

e-mail: kostornaya@rcpod.ru

*Siberian Center of State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", Novosibirsk***Amikishieva Ruslana Aleksandrovna**

e-mail: ruslana215w@mail.ru

*Novosibirsk State University, Novosibirsk**Siberian Center of State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", Novosibirsk*

The paper discusses the results of comparing cloud cover properties determined by using polar orbiting satellite data (AVHRR/NOAA and MSU-MR/Meteor-M No. 2) for the European territory of Russia and Western Siberia. The cloud characteristics were computed by two threshold techniques: Complex Threshold Technique (CTT) (developed at the European Centre of the State Research Center 'Planeta') and Cloud Cover Detection Technique (CCDT) (developed at the Siberian Centre of 'Planeta'). Pixel-by-pixel comparison was performed for very close in time satellite observations, and it showed that in spite of technical similarity of the two radiometers and little difference between both techniques used for the classifications, the results were not the same. The quality of the MSU-MR classification is significantly worse than that of the two AVHRR classifications. In fact, the MSU-MR derivation of cloud parameters fails in optically thin cirrus and altocumulus clouds, thus underestimating the cloud top height for multilayered clouds. As a result, the cloud top is found to be lower, warmer and less iced in comparison with both AVHRR estimates, regardless of the region and other conditions; on the contrary, the cloud top of low and middle clouds appears to be colder, higher and more iced according to MSU-MR data. The MSU-MR cloud mask is strongly underestimated at night during the cold period of the year. The CTT and CCDT's cloud top height, temperature and water phase retrieved by AVHRR data are quite close for both regions.

Key words: MSU-MR, Meteor-M No.2, AVHRR, NOAA, cloud cover parameters, European territory of Russia, Western Siberia.

**Введение**

Облачный покров играет важную роль в формировании баланса системы Земля – Атмосфера, теплового и водного режимов нашей планеты. Поэтому информация о его макро- и микрофизических характеристиках важна для анализа и прогноза погоды и мониторинга климата. Наземные метеонаблюдения неравномерно распределены по поверхности земного шара. Вследствие этого спутниковые наблюдения за облачностью остаются часто единственным источником информации об облачном покрове для многих регионов [1]. Полярно-орбитальные спутники позволяют получать сведения об облачном покрове для всего земного шара с высоким пространственным разрешением. Автоматизированное восстановление количественных и качественных характеристик облачного покрова по спутниковым данным значительно упрощает задачу анализа полей облачности в оперативной работе метеоподразделений. На сегодняшний день существуют различные

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

аппаратно-программные комплексы обработки спутниковых данных: как российские, так и зарубежные, позволяющие с хорошей достоверностью детектировать облачность и восстанавливать ее характеристики [2–5].

В Европейском (ЕЦ) и Сибирском (СЦ) центрах «НИЦ «Планета» разработаны методики, позволяющие в автоматическом режиме получать информацию о параметрах облачности по данным различных космических аппаратов (КА) для европейской территории России (ЕТР) и Западной Сибири: комплексная пороговая методика (КПМ) в ЕЦ и методика дешифрирования облачного покрова (МДОП) в СЦ [6–10]. Несмотря на схожий поэтапный принцип работы методик, алгоритмы детектирования, классификации и восстановления количественных характеристик облачности различны. В качестве исходной спутниковой информации методиками используются измерения радиометров со схожими техническими характеристиками (табл. 1), но установленных на разных полярно-орбитальных КА. КПМ использует измерения сканера МСУ-МР (многозональное сканирующее устройство малого разрешения), установленного на отечественном КА Метеор-М №2, а МДОП – измерения радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), установленного на КА серий NOAA и Metop-B.

В данной работе проводится количественное сравнение выходных продуктов, получаемых КПМ и МДОП для Западной Сибири по данным AVHRR/NOAA-18, AVHRR/NOAA-19, AVHRR/Metop-B и МСУ-МР/Метеор-М №2.

Таблица 1

Технические характеристики приборов МСУ-МР и AVHRR  
Technical characteristics of MSU-MR and AVHRR

| Номер канала | Спектральный диапазон, мкм |           | Вид информации              | Название предиктора |
|--------------|----------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------|
|              | МСУ-МР                     | AVHRR     |                             |                     |
| 1            | 0,51–0,67                  | 0,58–0,68 | Альbedo, %                  | A <sub>06</sub>     |
| 2            | 0,71–0,98                  | 0,73–1,1  |                             | A <sub>09</sub>     |
| 3            | 1,63–1,80                  | 1,50–1,78 |                             | A <sub>17</sub>     |
| 4            | 3,22–4,24                  | 3,55–3,93 | Радиационная температура, К | A <sub>37</sub>     |
| 5            | 10,5–11,3                  | 10,3–11,3 |                             | T <sub>108</sub>    |
| 6            | 11,5–12,5                  | 11,5–12,5 |                             | T <sub>120</sub>    |

### Сопоставление оценок по КПМ (AVHRR и МСУ-МР) для ЕТР

На основе измерений альbedo и радиационной температуры радиометром AVHRR/NOAA в ЕЦ «НИЦ «Планета» была разработана КПМ с использованием основных положений об облачном покрове и метеоявлениях из [11–14], которая в автоматическом режиме круглосуточно по косвенным признакам попиксельно пороговым методом дешифрирует и классифицирует параметры облачного покрова для ЕТР и сопредельных стран [6]. Позже КПМ была адаптирована к данным МСУ-МР/Метеор для ЕТР [7], а затем перенесена на Западную Сибирь [8]. Проведенная валидация выходных продуктов КПМ по данным AVHRR/NOAA для ЕТР [15] и по данным МСУ-МР/Метеор для ЕТР и Западной Сибири результатами наблюдений за аналогичными параметрами на наземных метеостанциях и климатическими оценками показала их хорошее качество, не уступающее зарубежным аналогам (например, получаемым в центрах EUMETSAT SAF (Satellite Application Facility) CM (Climate Monitoring) [16]) и в основном удовлетворяющее предъявляемым к ним пользователями требованиям.

Несмотря на значительную схожесть, между приборами МСУ-МР и AVHRR существуют заметные различия: используются разные спектральные аппаратные функции для соответствующих каналов, имеются погрешности бортовой калибровки МСУ-МР и др. Проведенное попиксельное сопоставление между собой исходных измерений альbedo и

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

радиационной температуры по данным приборов MSU-MR и AVHRR для ЕТР, а также получаемых на их основе выходных продуктов двух вариантов КПМ для близких сроков спутниковых наблюдений показало [17], что, в целом, выходные продукты классификации КПМ по данным MSU-MR в значительной степени похожи на аналогичные результаты классификации КПМ по данным AVHRR (рис. 1 – высота верхней границы облачности (ВГО)): в большинстве случаев (80–99,5%) расхождения оценок не превышают  $\pm 1-2$  градации (табл. 2).

Таблица 2

Совпадение (%) результатов классификаций по данным MSU-MR/Метеор и AVHRR/NOAA с ошибкой 0, 1 или 2 соседних класса/градации (примечание: НГО – нижняя граница облачности)  
Closeness of agreement (%) between MSU-MR/Meteor and AVHRR/NOAA estimated cloud parameters, with an error equal or less than 0, 1 or 2 classes/grades (Note: НГО - cloud bottom)

| Параметр                             | Весь год |       |       | Теплый период |       |       | Холодный период |       |       |
|--------------------------------------|----------|-------|-------|---------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                                      | Окл.     | ≤1кл. | ≤2кл. | Окл.          | ≤1кл. | ≤2кл. | Окл.            | ≤1кл. | ≤2кл. |
| Барич. высота ВГО (11 град.)         | 48,5     | 93,0  | 99,1  | 44,3          | 91,1  | 98,7  | 52,9            | 95,0  | 99,5  |
| Фаза воды на ВГО (4 класса)          | 52,9     | 96,1  | 99,9  | 45,7          | 93,8  | 99,7  | 60,7            | 98,5  | 99,9  |
| Водность (8 градаций)                | 39,7     | 82,6  | 97,0  | 37,9          | 81,0  | 95,8  | 41,6            | 84,3  | 98,3  |
| Высота НГО (4 градации)              | 81,6     | 96,9  | 99,9  | 81,6          | 95,7  | 99,9  | 81,6            | 98,2  | 99,9  |
| Толщина обл. слоя (14 град.)         | 33,5     | 76,1  | 91,0  | 31,1          | 73,1  | 88,2  | 36,1            | 79,3  | 94,1  |
| Водозапас (8 градаций)               | 22,7     | 70,5  | 92,3  | 23,9          | 69,4  | 91,7  | 21,4            | 71,7  | 92,9  |
| Интенсивность осадков (8 град.)      | 45,4     | 87,7  | 97,1  | 40,9          | 83,1  | 95,3  | 49,8            | 92,2  | 99,0  |
| Оптическ. плотность (11 град.)       | 33,8     | 70,4  | 85,2  | 32,0          | 68,8  | 84,7  | 35,8            | 72,2  | 85,8  |
| Оптическая толщина (14 град.)        | 27,9     | 65,8  | 83,8  | 26,7          | 63,9  | 81,6  | 29,2            | 68,0  | 86,3  |
| Эффективный радиус (8 град.)         | 37,2     | 78,4  | 92,6  | 33,6          | 73,1  | 90,1  | 41,0            | 84,0  | 95,1  |
| Интенсивность обледенения (4 класса) | 55,5     | 93,6  | 99,6  | 54,0          | 92,7  | 99,4  | 57,2            | 94,6  | 99,9  |
| Зоны осадков (2 класса)              | 71,9     | –     | –     | 68,9          | –     | –     | 75,0            | –     | –     |
| Тип осадков (12 классов)             | 45,7     | –     | –     | 41,7          | –     | –     | 49,6            | –     | –     |
| Облачная маска (2 класса)            | 65,8     | –     | –     | 75,2          | –     | –     | 48,6            | –     | –     |
| Тип облачности (13 классов)          | 89,6     | –     | –     | 89,2          | –     | –     | 90,1            | –     | –     |
| Зоны гроз (2 класса)                 | 98,0     | –     | –     | 96,3          | –     | –     | 99,8            | –     | –     |
| Интенсивность гроз (2 класса)        | 85,6     | –     | –     | 85,6          | –     | –     | –               | –     | –     |
| Зоны града в облаках (2 класса)      | 95,3     | –     | –     | 91,4          | –     | –     | 99,4            | –     | –     |
| Зоны града у земли (2 класса)        | 88,9     | –     | –     | 88,9          | –     | –     | –               | –     | –     |

Таблица 3

Сопоставление оценок по данным MSU-MR/Метеор с оценками по данным AVHRR/NOAA (dev – среднее отклонение оценок по MSU-MR от оценок по AVHRR, |dev| – среднее абсолютное отклонение, СКО – среднее квадратичное отклонение)

Comparison of MSU-MR/Meteor and AVHRR/NOAA estimates

(dev - dev=AVHRR-MSUMR, |dev| - absolute deviation, СКО - mean square deviation)

| Параметр           | Вся выборка |      |      | Теплый период года |      |      | Холодный период года |      |      |
|--------------------|-------------|------|------|--------------------|------|------|----------------------|------|------|
|                    | dev         | dev  | СКО  | dev                | dev  | СКО  | dev                  | dev  | СКО  |
| Температура ВГО, К | 1,4         | 4,3  | 6,6  | 1,5                | 5,9  | 7,7  | 1,4                  | 4,5  | 5,8  |
| Высота ВГО, км     | -0,20       | 0,71 | 1,01 | -0,21              | 0,87 | 1,19 | -0,19                | 0,70 | 0,90 |

Больших различий следует ожидать в ситуациях с перистыми (Ci) и высокослоистыми (As) облаками: как над подстилающей поверхностью, так и над другими облачными слоями значения будут тем больше, чем оптически более тонкие Ci и/или As. Так, вследствие проблем с распознаванием оптически тонких Ci и As по данным MSU-MR (из-за низкой чувствительности к ним предиктора ( $T_{108}-T_{120}$ ) – разности радиационных температур) обычно заметно хуже детектируются облачные классы, содержащие эту облачность (получается похожий класс, но без Ci и As), а также классы/градации с минимальными

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

значениями параметров облачности или осадков относительно оценок по данным AVHRR и относительно классов/градаций с более высокими значениями того же параметра (т.е. по данным МСУ-МР наблюдается переоценка параметров облачности с небольшими значениями). ВГО по данным МСУ-МР получается более кристаллической, теплой (в среднем на 1,5 К) и низкой (в среднем на 0,2 км), чем по данным AVHRR (табл. 3). Эти различия будут тем больше, чем оптически тоньше будет слой  $C_i$  и/или  $A_s$ . Так, для многослойной облачности с  $C_i$  и/или  $A_s$  расхождения оценок высоты ВГО в среднем составляют 1–1,5 км.

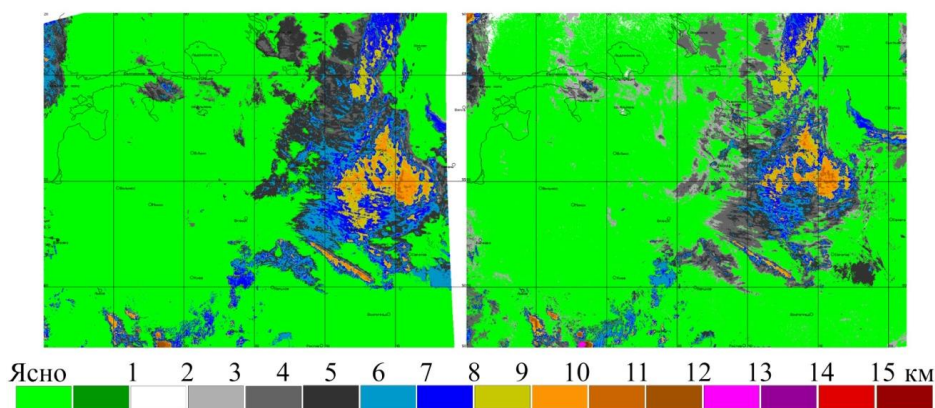


Рис. 1. Высота ВГО над уровнем моря (01.09.2019 г.), км, КТМ по данным измерений: слева – МСУ-МР/Метеор (17:39 UTC), справа – AVHRR/NOAA (17:41 UTC)

Fig. 1. Cloud top height above sea level, km (01.09.2019), Complex Threshold Technique: on the left – MSU-MR/Meteor (17:39 UTC), on the right – AVHRR/NOAA (17:41 UTC)

Для разных параметров облачности совпадение результатов классификаций двух вариантов методик получается тем выше, чем меньше классов/градаций имеет параметр облачности или осадков: например, для двух классов оно обычно не ниже 85% (кроме зон осадков (70–75%) и облачной маски (50–75%)) (табл. 2). По данным МСУ-МР облачная маска недооценивается по сравнению с информацией AVHRR: летом – из-за значительных потерь оптически неплотных  $C_i$  и  $A_s$ , а зимой и в переходные сезоны – из-за потери части низкой и средней облачности, радиационные характеристики которой оказываются близкими к характеристикам подстилающей поверхности (рис. 1).

### Сопоставление оценок по КТМ (МСУ-МР) и МДОП (AVHRR) для Западной Сибири

Главным алгоритмическим ядром МДОП – методики автоматического дешифрирования облачности и расчета ее характеристик является комплекс научных алгоритмов AWG (NOAA Algorithm Working Group), реализованных в программном комплексе CLAVR-x (the Clouds from AVHRR Extended System) [2; 18–21]. Алгоритмы, разработанные CIMSS/UW Кооперативным институтом спутниковых метеорологических исследований при университете Висконсина-Мэдисона, США (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies / University of Wisconsin-Madison, USA), позволяют использовать данные радиометров с различных КА без значительных изменений программного обеспечения. Итоговые продукты CLAVR-x сравнивались с независимыми данными для территории Сибирского региона. Анализ полученных результатов показал, что значения параметров облачного покрова имеют значительный разброс внутри классов облачности, а рассчитанные с помощью алгоритмов AWG типы облачности не включают в себя принятые морфологические классы облачности ВМО (Всемирная метеорологическая организация), используемые в синоптической практике подразделений Гидрометцентра

*Метеорология**Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.*

России. На основе результатов расчетов алгоритмов AWG была проведена подробная морфологическая классификация облачности, адаптированная под климатические особенности бореальной зоны [9]. Так, после завершения работы основных алгоритмов осуществляются подробная морфологическая классификация облачности по основным классам ВМО (Всемирная метеорологическая организация) и расчет водозапаса облачного слоя и максимальной интенсивности осадков в пределах пиксела. Проведенные оценки качества выходных продуктов МДОП при сопоставлении с аналогичными наземными наблюдениями на метеостанциях, результатами оценок метеорологического радара (Барабинск) и с данными лидара CALIOP (Cloud Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) КА CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation) над зоной Сибирского федерального округа (СФО) показали способность МДОП к обнаружению грозных ячеек, отслеживанию их перемещения, развития и трансформации, а также оценке мощности облачных образований и степени их опасности. Установлены средние значения достоверности конечных продуктов методики: для типов облачности ~97%, для высоты ВГО – ~80%. Обнаружены месяцы с наилучшим качеством восстановления параметров облачности (апрель – сентябрь). Проведен анализ синоптических условий, при которых методика имеет тенденцию к ложному обнаружению облачности [10].

Сопоставление параметров облачности для территории Западной Сибири (49–66° с.ш. и 60–95° в.д.), полученных КПМ по данным МСУ-МР и МДОП по данным AVHRR, осуществлялось попиксельно для близких (разница по времени не более 7 мин) сроков спутниковых наблюдений для апреля – августа 2019 г. За указанный период было выполнено 118 сопоставлений фазового состояния воды в облачных частицах, значений температуры и высоты ВГО, 54 сопоставления классов облачности и 85 сопоставлений градаций оптической толщины облачного слоя и эффективного радиуса частиц. Результаты сопоставления показали следующее:

1. КПМ по данным МСУ-МР заметно недооценивает облачную маску по сравнению с МДОП по данным AVHRR в ночное время весной. Летом ночью точность обеих методик примерно одинаковая, а летом днём КПМ детектирует больше облачных пикселей, чем МДОП.

2. По данным МСУ-МР (КПМ) ВГО получается немного теплее и ниже, чем по данным AVHRR/NOAA (МДОП) (табл. 4). Расхождения между методиками обычно уменьшаются в вечернее и ночное время и увеличиваются сразу после местного полудня.

3. Величины эффективного радиуса облачных частиц и оптической плотности облака в КПМ представлены в виде градаций, а в МДОП – в точных значениях. Поэтому сравнение проводилось с целью соответствия/несоответствия градации КПМ значению эффективного радиуса МДОП в каждом пикселе. Проведённое сравнение показало, что средняя величина совпадения оценок обоих параметров в зависимости от сезона и времени суток невысока и обычно не превышает 10–15% (максимальные значения соответствия для отдельных дней достигали 37% для оптической плотности и 26% для эффективного радиуса). Сроки с наименьшими расхождениями весной приходились на 04:00–06:00 UTC (11–13 ч местного времени) и около 12:00 UTC (около 19 ч местного), с наибольшими – на 02:00–04:00 и около 13:00 UTC. Летом сроки с наименьшими расхождениями приходились на 03:00–05:30 UTC (11–12 ч местного времени) и на 13:30–14:00 UTC (20–21 ч местного времени), с наибольшими – на 06:00–13:00 UTC. Интересный факт заключается в том, что меньшие расхождения отмечаются в утреннее и вечернее время, несмотря на наличие линии терминатора (линия смены дня и ночи), затрудняющей детектирование облачности на снимках и расчет ее характеристик. В дневное время, наоборот, величина расхождений возрастает;

4. При сопоставлении оценок фазового состояния воды в облачных частицах на ВГО получено, что наибольшее соответствие двух методик независимо от сезона отмечается для кристаллической облачности (в среднем 55%, максимально – до 96%), а наименьшее – у

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

капельной ВГО (в среднем 21%, максимум – до 46% (весной) и до 56% (летом)). В весенний период процентное соответствие для облачности смешанного строения немного больше (в среднем 45%, в ночные сроки в среднем на 20 процентных пунктов меньше, чем в дневные) по сравнению с летним (в среднем 33%, слабо зависит от времени суток). В целом, соответствие результатов определения фазового состояния воды в облачных частицах меньше в летний период для облачности смешанного строения и капельной, для кристаллической, наоборот, немного улучшается (рис. 2).

Таблица 4

Сопоставление оценок КПМ по данным MSU-MP/Метеор от оценок МДОП по данным AVHRR/NOAA  
Comparison of MSU-MR/Meteor (Complex Threshold Technique) and AVHRR/NOAA  
(Cloud Cover Detection Technique) (dev=AVHRR-MSUMR)

| Параметр           | Весна – лето |      |      | Весна |      |      | Лето |      |      |
|--------------------|--------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
|                    | dev          | dev  | СКО  | dev   | dev  | СКО  | dev  | dev  | СКО  |
| Температура ВГО, К | 0,9          | 11,2 | 13,1 | 0,2   | 10,7 | 12,3 | 1,3  | 11,5 | 13,6 |
| Высота ВГО, км     | 0,1          | 1,7  | 2,0  | 0,3   | 1,7  | 2,0  | -0,1 | 1,7  | 2,1  |

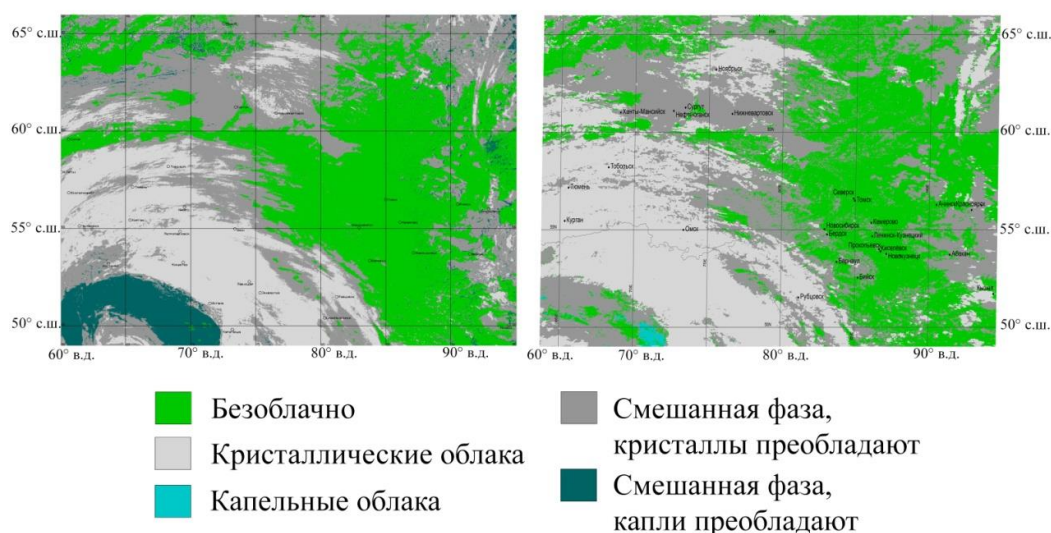


Рис. 2. Фазовое состояние воды в облачных частицах (28.03.2019 г.) по оценкам: слева – КПМ (МСУ-МР/Метеор, 14:38 ВСВ), справа – МДОП (AVHRR/NOAA, 14:39 ВСВ)

Fig. 2. Water phase at cloud top (28.03.2019): on the left – MSU-MR/Meteor (Complex Threshold Technique, 14:38 UTC), on the right – AVHRR/NOAA (Cloud Cover Detection Technique, 14:39 UTC)

5. Для кристаллической облачности КПМ по данным MSU-MP практически всегда завышает значения температуры ВГО по сравнению с МДОП по данным AVHRR/NOAA, в среднем на 9 К весной и на 7 К летом. Для облачности смешанного строения всегда, а для капельной облачности очень часто (в ~90% случаев) по данным MSU-MP недооценивается температура ВГО в среднем соответственно на 7–8 К и 2,5–5 К в зависимости от сезона. При этом независимо от сезона для смешанной и кристаллической облачности, а для капельной летом среднее абсолютное отклонение составило 8–9 К, СКО  $\approx$  9–10 К (весной для капельной облачности значения среднего абсолютного отклонения и СКО в 1,5 раза меньше). В целом, по сравнению с весенним периодом расхождения в характеристиках точности между этими тремя типами облачности летом уменьшились и сравнялись. Расхождение между методиками в темное время суток для кристаллической и капельной облачности уменьшается. Для смешанной облачности зависимость обратная – утром и днем расхождения меньше, чем вечером и ночью.

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

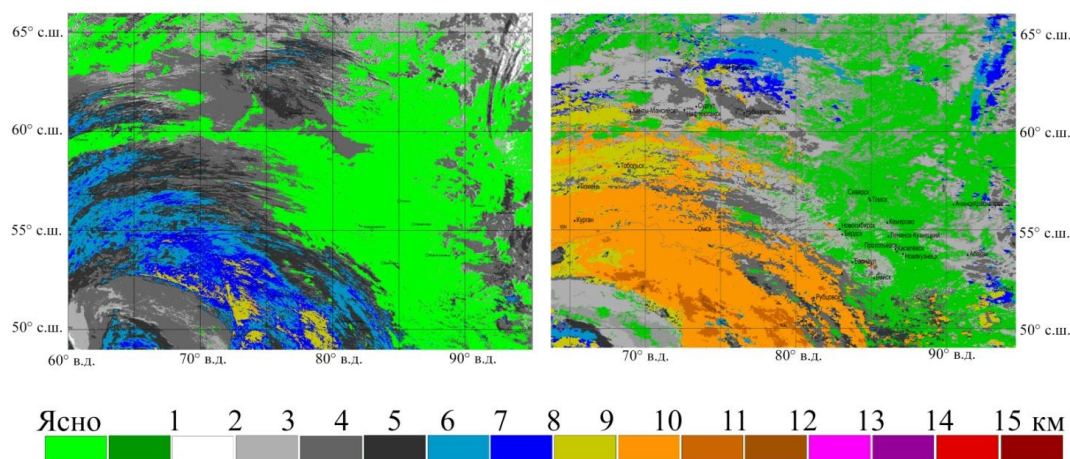


Рис. 3. Высота ВГО над уровнем моря (28.03.2019 г.) по оценкам, км: слева – КПМ (МСУ-МР/Метеор, 14:38 ВСВ), справа – МДОП (AVHRR/NOAA, 14:39 ВСВ)

Fig. 3. Cloud top height above sea level, km (28.03.2019): on the left – MSU-MR/Meteor (Complex Threshold Technique, 14:38 UTC), on the right – AVHRR/NOAA (Cloud Cover Detection Technique, 14:39 UTC)

6. По сравнению с МДОП КПМ по данным МСУ-МР занижает высоту ВГО для кристаллической облачности в среднем на 1,2–1,5 км, а высоту ВГО для смешанной и капельной облачности, наоборот, завышает соответственно на 0,9–0,8 км и 0,15–0,7 км в зависимости от сезона. У всех трёх облачных классов независимо от сезона среднее абсолютное отклонение составило 1 км, а СКО  $\approx$  1,5 км (у кристаллической облачности немного больше, чем у остальных классов). Расхождения в оценках высоты ВГО кристаллической и капельной облачности в вечернее и ночное время уменьшаются, а для облачности смешанного строения они немного меньше в дневные и утренние сроки. Расхождения в значениях температуры и высоты ВГО от весеннего сезона к летнему уменьшаются для кристаллической облачности и облачности смешанного строения и увеличиваются для капельной (рис. 3 и рис. 2).

7. Наибольшее соответствие оптической плотности отмечается у облачности смешанного строения независимо от сезона, а наименьшее – у кристаллической облачности. Однако соответствие эффективного радиуса частиц больше у кристаллической облачности, чем у смешанной, а наименьшее – у капельной. Средние значения соответствия по обоим параметрам для всех трех классов малы – в зависимости от облачного класса, параметра и сезона не более 10–25%. В целом, соответствие расчетов оптической толщины и эффективного радиуса частиц значительно ухудшается летом: величина соответствия весной в основном не превышает 30–40%, а летом – 20%.

### Заключение

Проведенное сравнение точности оценок параметров облачности тремя методиками (КПМ по данным AVHRR и МСУ-МР и МДОП по данным AVHRR) для ЕТР и Западной Сибири показывает, что выходные продукты достаточно близки по качеству, особенно оценки высоты и температуры ВГО, а также фазы воды в облачных частицах, полученных КПМ и МДОП по данным AVHRR. Аналогичные оценки, выполненные по информации МСУ-МР, заметно и в одинаковую сторону от них отличаются:

- в ночное время в холодный период года недооценивается количество облачности (преимущественно для облаков нижнего и среднего ярусов и для оптически тонких  $C_i$  и  $A_s$ );
- для облаков, содержащих оптически неплотные слои  $C_i$  и/или  $A_s$ , температура ВГО получается немного выше, высота ВГО – ниже и, соответственно, кристаллической;



## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

– для остальной облачности температура ВГО, наоборот, получается немного ниже, а высота ВГО выше и более кристаллической.

Все выводы необходимо принимать во внимание при работе с выходными продуктами, полученными по данным МСУ-МР/Метеор-М №2.

## Библиографический список

1. Толмачева Н.И. Мониторинг облачного покрова для решения задач региональной климатологии // Географический вестник. 2005. № 1–2. С. 89–99.
2. MSG Meteorological Products Extraction Facility Algorithm Specification Document / Germany: EUMETSAT, 2015. 297 p.
3. Heidinger A. The clouds from AVHRR Extended User's Guide. Version 5.4.1 // NOAA/NESDIS Center for Satellite Applications and Research (STAR). 2014. 60 p.
4. Lavanant L. MAIA AVHRR cloud mask and classification // Météo-France. CMS Lannion. 2002. 35 p.
5. Бухаров М.В., Соловьев В.И., Алексеева А.А., Лосев В.М. Оценка метеорологических параметров в облачности по спутниковым снимкам // Современные проблемы ДЗЗ. 2006. Т. 3. № 1. С. 77–82.
6. Волкова Е.В. Оценки параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным радиометра AVHRR с МИСЗ серии NOAA круглосуточно в автоматическом режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 66–74.
7. Волкова Е.В. Оценки параметров облачного покрова и осадков по данным радиометра МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для Европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 300–320.
8. Волкова Е.В., Гиричев Д.Б. Определение параметров облачного покрова и осадков по данным МСУ-МР с полярно-орбитального метеоспутника «Метеор-М» №2 для территории Западной Сибири // Сборник тезисов Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М.: Изд-во ИКИ РАН. 2018. С. 166. ISBN 978-5-00015-018-4. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
9. Косторная А.А., Сапрыкин Е.И., Захватов М.Г., Токарева Ю.В. Метод дешифрирования облачного покрова по спутниковым данным // Метеорология и гидрология. 2017. № 12. С. 16–24.
10. Косторная А.А., Захватов М.Г., Токарева Ю.В. Результаты испытания методики дешифрирования облачного покрова по спутниковым данным // Информационный сборник. № 44. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. М.:Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017. С. 158–170.
11. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера: Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1989. 647 с.
12. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометиздат, 1965. 874 с.
13. Мучник В.М. Физика грозы. Л.: Гидрометиздат, 1974. 352 с.
14. Ясногородская М.М. Атлас облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 268 с.
15. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова и осадков по данным сканирующих радиометров полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутников // Исследования Земли из космоса. 2015. №5. С.30–43.
16. EUMETSAT SAF (Satellite Application Facility) CM (Climate Monitoring [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cmsaf.eu> (дата обращения: 25.03.2019).
17. Волкова Е.В. Сравнение двух методик определения параметров облачного покрова и осадков по данным наблюдений с полярно-орбитальных метеоспутников для Европейской территории России // Сборник тезисов Шестнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М.: Изд-во ИКИ РАН. 2018. С. 165. ISBN 978-5-00015-018-4. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
18. Heidinger A.K., Evan A.T., Foster M. J., Walther A. A naive Bayesian cloud-detection scheme derived from CALIPSO and applied within PATMOS-x // Journal of Applied Meteorology and Climatology. V. 51. I. 6. 2012. Pp. 1129–1144.
19. Pavolonis M.J., Heidinger A.K. Daytime cloud overlap detection from AVHRR and VIIRS // Journal of Applied Meteorology. 2004. V. 43. Pp. 762–778.
20. Pavolonis M.J., Heidinger A.K. Gazing at Cirrus Clouds for 25 Years through a Split-Window. Part I: Methodology in press // Journal of Applied Meteorology. 2009. V. 48. Pp. 1100–1116.

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

21. Walther A., Heidinger A.K. Implementation of the Daytime Cloud Optical and Microphysical Properties algorithm (DCOMP) in PATMOS-x // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2012. V. 51. I. 7. Pp.1371–1390.

## References

1. Tolmacheva, N.I. (2005), "Monitoring oblačnogo pokrova dlya resheniya zadach regional'noj klimatologii", *Geograficheskij vestnik*, no. 1–2, pp. 89–99.
2. *MSG Meteorological Products Extraction Facility Algorithm Specification Document* (2015), EUMETSAT, Darmstadt, Germany.
3. Heidinger, A. (2014), *The clouds from AVHRR Extended User's Guide. Version 5.4.1, NOAA/NESDIS Center for Satellite Applications and Research (STAR)*, Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS), Madison, USA.
4. Lavanant, L. (2002), *MAIA AVHRR cloud mask and classification*, Météo-France, Lannion, France.
5. Buharov M.V., Solov'ev V.I., Alekseeva A.A., Losev V.M. (2006) "Ocenka meteorologicheskikh parametrov v oblačnosti po sputnikovym snimkam", *Sovremennye problemy DZZ*, T. 3, no. 1, pp. 77–82.
6. Volkova, E.V. (2013), "Otsenki parametrov oblačnogo pokrova, osadkov i opasnykh yavlenii pogody po dannym radiometra AVHRR s MISZ serii NOAA kruglosutochno v avtomaticheskom rezhime (Day and night automatic estimation of cloud cover parameters, precipitation and weather hazards using AVHRR/NOAA data)", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, vol. 10, no. 3, pp. 66–74
7. Volkova, E.V. (2017), "Otsenki parametrov oblačnogo pokrova i osadkov po dannym radiometra MSU-MR s polyarno-orbital'nogo meteospjutnika "Meteor-M" №2 dlya Evropeiskoi territorii Rossii (Detection and assessment of cloud cover and precipitation parameters using data from the MSU-MR of the polar-orbiting Meteor-M №2 for the European territory of Russia)", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, vol. 14, no. 5, pp. 300–320.
8. Volkova E.V., Girichev D.B. (2018) "Opreделение parametrov oblačnogo pokrova i osadkov po dannym MSU-MR s polyarno-orbital'nogo meteospjutnika "Meteor-M" №2 dlya territorii Zapadnoi Sibiri (Estimation of cloud cover parameters and precipitation zones by MSU-MR/Meteor-M2 data over the Western Siberia)", *Proceedings of the XVI open conference "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa"*, Moscow, 2018, pp. 166. ISBN 978-5-00015-018-4. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
9. Kostornaya, A.A., Saprykin, E.I., Zakhvatov, M.G., Tokareva, Yu.V. (2017), "Metod deshifirovaniya oblačnogo pokrova po sputnikovym dannym (A method of cloud detection from satellite data)", *Meteorology and hydrology*, no. 12, pp. 16–24.
10. Kostornaya, A.A., Zakhvatov, M.G., Tokareva, Yu.V. (2017), "Rezul'taty ispytaniya metodiki deshifirovaniya oblačnogo pokrova po sputnikovym dannym (The results of testing an algorithm for detecting cloud cover by satellite data)", *Informatsionnyi sbornik № 44. Resul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov*. Moscow: Obninsk, IG-SOCIN, pp. 158–170.
11. Mazin, I.P., Hrgian, A.H. (1989), *Oblaka i oblačnaya atmosfera. Spravochni*. [Clouds and cloudy atmosphere. Reference book], Gidrometizdat, Leningrad, Russia.
12. Matveev, L.T. (1965), *Osnovy obshchej meteorologii. Fizika atmosfery* [Fundamentals of General Meteorology. Atmospheric physics], Gidrometizdat, Leningrad, Russia.
13. Muchnik, V.M. (1974), *Fizika grozy* [Thunderstorm physics], Gidrometizdat, Leningrad, Russia.
14. YAsnogorodskaya, M.M. (1978), *Atlas oblakov* [Atlas of clouds], Gidrometizdat, Leningrad, Russia.
15. Volkova, E.V., Uspenskii, A.B. (2015), "Otsenki parametrov oblačnogo pokrova i osadkov po dannym skaniruyushchikh radiometrov polyarno-orbital'nykh i geostatsyonarnykh meteospjutnikov (Estimation of cloud cover parameters and precipitation utilizing polar-orbiting and geostationary satellite data)", *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, no. 5, pp. 30–43.
16. EUMETSAT SAF (Satellite Application Facility) CM (Climate Monitoring) (2016) [Online], available at: <http://www.cmsaf.eu> (Accessed 25 March 2020).

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

17. Volkova, E.V. (2018), "Sравnenie dvukh metodik opredeleniya parametrov oblachnogo pokrova i osadkov po dannym nablyudenii s polyarno-orbital'nykh meteospuznikov dlya evropeiskoi territorii Rossii (Comparison of two techniques to determine cloud cover parameters and precipitation zones by polar orbiting satellite data over the European territory of Russia)", *Proceedings of the XVI Conference "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa"*. Moscow, 2018. pp. 165. ISBN 978-5-00015-018-4. doi:10.21046/2070-16DZZconf-2018a.

18. Heidinger, A.K., Evan, A.T., Foster, M. J., Walther, A. (2012), "A naive Bayesian cloud-detection scheme derived from CALIPSO and applied within PATMOS-x", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 51, I. 6, pp. 1129–1144.

19. Pavlonis, M.J., Heidinger, A.K. (2004), "Daytime cloud overlap detection from AVHRR and VIIRS", *Journal of Applied Meteorology*, vol. 43, pp. 762–778.

20. Pavlonis, M.J., Heidinger, A.K. (2009), "Gazing at Cirrus Clouds for 25 Years through a Split-Window. Part I: Methodology in press", *Journal of Applied Meteorology*, vol. 48, pp. 1100–1116.

21. Walther, A., Heidinger, A.K. (2012), "Implementation of the Daytime Cloud Optical and Microphysical Properties algorithm (DCOMP) in PATMOS-x", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 51, I. 7, pp. 1371–1390.

Поступила в редакцию: 26.03.2020

**Сведения об авторах****Волкова Елена Викторовна**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»; 123242, Россия, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7

e-mail: quantocosa@bk.ru

**Косторная Анжелика Андреевна**

младший научный сотрудник, Сибирский центр Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 630099, Россия, Новосибирск, ул.Советская 30

e-mail: kostornaya@rcpod.ru

**Амикишиева Руслана Александровна**

магистрант, Новосибирский государственный университет; 630090, Новосибирская область, Новосибирск, ул. Пирогова, 2; младший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»; 630099, Россия, Новосибирск ул.Советская 30

e-mail: ruslana215w@mail.ru

**About the authors****Elena V. Volkova**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, European Center of the State Research Center of Space Hydrometeorology 'Planeta'; 7, Bolshoy Predtechensky pereulok, Moscow, 123242, Russia

**Anzhelika A. Kostornaya**

Junior Researcher, Siberian Center of the State Research Center of Space Hydrometeorology 'Planeta'; 30, Sovetskaya st., Novosibirsk, 630099, Russia

**Amikishieva Ruslana Aleksandrovna**

Undergraduate Student, Department of Informatics Systems, Faculty of Information Technology, Novosibirsk State University; 2, Pirogova st., Novosibirsk, 630099, Russia  
Junior Researcher, Siberian Center of the State Research Center of Space Hydrometeorology 'Planeta' 30, Sovetskaya st., Novosibirsk, 630099, Russia

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А. Определение параметров облачного покрова системами автоматической обработки спутниковых данных // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №3(54). С. 124–134. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-124-134.

**Please cite this article in English as:**

Volkova E.V., Kostornaya A.A., Amikishieva R.A. The determination of cloud cover parameters using satellite data processing systems // Geographical bulletin. 2020. №3(54). P. 124–135. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-124-134.