

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТРАСТА ВОДОЗАПАСА ОБЛАКОВ «СУША-МОРЕ» ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПУТНИКОВОГО ПРИБОРА SEVIRI: ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Косцов В.С., Ионов Д.В., Андриюкова А.Б., Рябушко Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: v.kostsov@spbu.ru, d.ionov@spbu.ru, andryukova03@bk.ru, st095856@student.spbu.ru

Представлены результаты определения контраста водозапаса облаков (ВО) «суша-море» из спутниковых измерений ВО прибором SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager) в период 2011-2017 гг. над сушей и водными объектами на севере Европы. Обнаружены специфические временные и пространственные вариации, которые предположительно являются измерительными или алгоритмическими артефактами. Анализ внутрисезонных вариаций выявил аномальные результаты в Рижском и Финском заливах, которые проявляются в очень низких значениях контраста ВО суша-море в августе по сравнению со значениями в июне и июле. При исследовании суточного хода контраста ВО для некоторых водных объектов были обнаружены два отдельных максимума, которые представляют собой артефакт наблюдений, обусловленный так называемым «эффектом облачной радуги».

Введение

Спутниковые измерения параметров облачности прибором SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager) позволяют изучать свойства облачности в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением. Прибор представляет собой сканирующий 12-канальный радиометр, который работает в видимой и инфракрасной областях спектра и установлен на геостационарных метеорологических спутниках Meteosat. Основное положение спутника для измерений находится над экватором около нулевой долготы и позволяет вести измерения над Европой, Африкой, Атлантическим океаном, частью Южной Америки и частью Индийского океана. Пространственное разрешение в подспутниковой точке составляет 3 км. Частота сканирования обеспечивает получение данных над какой-либо точкой поверхности один раз в 15 минут. Информационные продукты прибора SEVIRI - это параметры атмосферы и облачности, которые являются результатом применения сложного алгоритма, использующего так называемые «поисковые таблицы» (lookup tables - LUT). Поисковые таблицы формируются с помощью предварительных расчетов для набора состояний атмосферы и параметров подстилающей поверхности.

Постановка задачи

Водозапас облачности (ВО), показывающий полную массу жидкокапельной фракции облака в столбе единичного сечения, является одной из важнейших переменных в наборе параметров, характеризующих облачность. Водозапас входит в перечень информационных

продуктов прибора SEVIRI. Исследование различий в значениях водозапаса над сушей и водными объектами является отдельной интересной задачей, решение которой позволяет получить новую информацию о процессах в системе атмосфера - подстилающая поверхность.

Специализированное исследование, посвященное анализу различий в значениях водозапаса облаков над сушей и морем в Северной Европе, где в качестве исходных данных использовались измерения SEVIRI, было проведено авторами настоящей работы [1]. Ниже, для обозначения этого различия мы будем использовать термин «контраст водозапаса облаков суша-море», который будем определять как разность между значением водозапаса над сушей около какого-либо водного объекта (море, залив, озеро) и значением водозапаса над этим водным объектом:

$$d = W_{\text{land}} - W_{\text{sea}}, \quad (1)$$

где d – контраст водозапаса при единичном измерении, W_{land} и W_{sea} – значения водозапаса, соответствующие одновременным измерениям в спутниковом наземном пикселе над сушей и в пикселе над водной поверхностью соответственно. В силу значительной пространственно-временной изменчивости облачности мы анализируем не отдельные измерения, а результат, полученный после усреднения достаточного количества наблюдений:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N d_k, \quad (2)$$

где D – усредненное значение контраста водозапаса облаков, N – количество наблюдений. Ниже для удобства мы будем использовать краткий термин «контраст водозапаса» или «контраст ВО». При анализе статистических распределений контраста водозапаса и его внутрисезонных вариаций авторами работы [1] был обнаружен ряд эффектов, которые были классифицированы как проявление погрешностей алгоритма, используемого для обработки исходных данных прибора SEVIRI (измерений отраженного солнечного излучения). Среди этих эффектов – резкое и одновременное уменьшение контраста ВО в начале августа каждого года в различных точках измерений в Финском и Рижском заливах, а также полное отсутствие отрицательных значений контраста в статистических распределениях для ряда точек измерений. Настоящий доклад представляет собой обобщение исследований, начатых в работе [1], которое дополнено анализом суточного хода контраста водозапаса облаков суша-море и анализом проявления эффекта облачной радуги в суточном ходе.

В качестве исходных данных были использованы информационные продукты прибора SEVIRI, полученные в период времени 2011-2017, версия обработки – номер два. Размер исследуемого географического региона составлял около 700 км × 700 км, центр региона –

город Санкт-Петербург, Российская Федерация. Горизонтальный размер наземного пиксела в измерениях SEVIRI составляет для этой области земной поверхности около 7 км. В набор исходных данных входили результаты определения водозапаса только для жидкокапельных облаков, данные для ледяных и смешанных облаков были отфильтрованы на начальном этапе. Важно отметить, что в набор данных были включены как случаи наличия облачности, так и случаи ясного неба, поскольку в фокусе нашего исследования находится не сами значения водозапаса, а их разность (контраст). Совершенно очевидно, что контраст наиболее выражен, когда в одной из точек облачность присутствует, а в другой точке небо ясное.

Обсуждение результатов и основные выводы

Подробное исследование статистики ошибочных измерений при регистрации отраженного солнечного излучения с космических платформ и причин этих ошибочных измерений было выполнено в работе [2] для спутникового прибора MODIS. Существенно подчеркнуть, что приборы MODIS и SEVIRI используют одинаковый принцип измерений и схожие алгоритмы обработки результатов, основанные на предварительно рассчитанных таблицах поиска. Причины ошибочных измерений многочисленны, перечислим только некоторые из них: неоднородность облачности на субпиксельных масштабах, оптические эффекты (солнечный блик, gloria, облачная радуга), перекрывание облачных слоев, неверная идентификация фазы облачных частиц, дождящие облака, морозящие облака, неверная оценка степени разорванности облачного покрова при наблюдении на больших углах (этот эффект значителен для точек измерений на краю общей области измерений – так называемого «диска»), 3-D эффекты при больших углах наблюдения, когда присутствуют мощные облака вертикального развития. Подробное исследование одного из вышеупомянутых оптических эффектов, а именно эффекта облачной радуги в измерениях, было проведено в работе [3].

В настоящей работе при исследовании суточного хода контраста ВО для некоторых водных объектов были обнаружены два отдельных максимума, наблюдающиеся почти симметрично относительно полудня по шкале времени UTC. Как показали расчеты угла рассеяния солнечного излучения при измерениях в этих точках, локальные максимумы совпадали с периодами, когда возможно появление эффекта облачной радуги, то есть при значениях угла рассеяния 135° - 140° . Таким образом, данные максимумы с большой степенью вероятности являются артефактом наблюдений, обусловленным этим эффектом.

Анализ условий измерений прибором SEVIRI показал, что из-за существенной пространственно-временной изменчивости облачности идентифицировать и отбраковать отдельные единичные измерения, где присутствует мешающая компонента за счет эффекта облачной радуги, не представляется возможным. После аппроксимации усредненного

суточного хода контраста ВО полиномом 7-й степени были обнаружены следующие особенности для Финского и Рижского заливов Балтийского моря в июне и июле: подъем значений с 6 до 7 часов, стабилизация значений в течение 1 часа, дальнейшее увеличение до 11 часов, затем спад до 14-15 часов, потом относительное постоянство значений до 16-17 часов и снова уменьшение.

Важным выводом работы является тот факт, что влияние эффекта облачной радуги было выявлено в июне и в июле лишь для точек измерений в заливах Балтийского моря (Рижском и Финском) и не было выявлено в точках измерений у больших и малых озер (Ладожское, Онежское, Чудское, Псковское, Ильмень, Сайма). Поскольку в предыдущей работе [1] были обнаружены артефакты измерений прибором SEVIRI именно в заливах Балтийского моря, с большой степенью вероятности можно заключить, что и в рассматриваемом случае с эффектом облачной радуги мы имеем дело с неким артефактом. Этот артефакт, предположительно, обусловлен спецификой применения алгоритма обработки исходных измерений отраженного солнечного излучения в районе Балтийского моря. Список так называемых «алгоритмических причин» появления ошибочных измерений можно найти в работе [2]: ошибки программирования, методологические ошибки выбора параметров и выбора пороговых значений различных критериев, использование неадекватной дополнительной информации. Изучение этих причин выходит за рамки настоящей работы.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00016, <https://rscf.ru/project/24-27-00016/>.

1. Kostsov V.S., Ionov D.V. Specific features of the land-sea contrast of cloud liquid water path in Northern Europe as obtained from the observations by the SEVIRI instrument: artefacts or reality? // *Meteorology*. 2023. V.2. No 4. P. 464-488. <https://doi.org/10.3390/meteorology2040027>.

2. Cho H.-M., Zhang Z., Meyer K., Lebsock M., Platnick S., Ackerman A.S., Girolamo L.Di, Labonnote L.C., Cornet C., Riedi J., and Holz R.E. Frequency and causes of failed MODIS cloud property retrievals for liquid phase clouds over global oceans // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2015. V.120. P. 4132-4154, <https://doi.org/10.1002/2015JD023161>.

3. Benas N., Meirink J.F., Stengel M., and Stammes P. Sensitivity of liquid cloud optical thickness and effective radius retrievals to cloud bow and glory conditions using two SEVIRI imagers // *Atmos. Meas. Tech.* 2019. V.12, P. 2863-2879, <https://doi.org/10.5194/amt-12-2863-2019>.