

L-MEB. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, Vol. 49, 2011, pp. 1177–1189.

3. Natural Resources Conservation Service. U. S. Department of Agriculture. (2013). [Online]. Toolik Soil Climate Station. Available: <http://soils.usda.gov/survey/srst/alaska/Toolik/>.

4. Mironov V. L., De Roo R. D., Savin I. V. Temperature-Dependable Microwave Dielectric Model for an Arctic Soil. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, Vol. 48, 2010, pp. 2544–2556.

5. Golub G. H., Van Loan C. F. Matrix Computations. Johns Hopkins University Press 3rd edition, 1996.

© Музалевский К. В., Миронов В. Л., Швалева А. А., 2013

УДК 504.064.3 + 528.88

ОЦЕНКА ВЛАГОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

К. Ю. Березин, А. В. Дмитриев, В. В. Дмитриев

Омский государственный педагогический университет
Россия, 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14. E-mail: vdmitriev@omgpu.omsk.edu

Приведены результаты валидации алгоритмов восстановления влагозапаса снежного покрова для степных районов Западной Сибири. Источником исходных данных служили СВЧ радиометры AMSU-A и AMSR-E, установленные на спутниковых платформах NOAA и Aqua. Показано, что для двухчастотных алгоритмов, коэффициент корреляции между реальными и восстановленными значениями влагозапаса меняется от 0,06 до 0,5 при среднем значении 0,3. Статистическая значимость полученных оценок невелика и соответствует случаю сильного пространственного усреднения (около 50 км в пикселе), что также снижает репрезентативность результатов. Показано, что практически применимая точность (лучше 40 %) достигается при значительном усреднении – более 40 точек. Это соответствует временному усреднению до уровня среднемесячных показателей или пространственному усреднению по элементу площадью 280×280 км².

Ключевые слова: снежный покров, дистанционное зондирование, спутниковые данные.

ESTIMATION OF SNOW WATER EQUIVALENT BY USE OF SATELLITE RADIOMETRY FOR THE STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA

K. Ju. Berezin, A. V. Dmitriev, V. V. Dmitriev

Omsk State Pedagogical University
14 Tukhachevsky st., Omsk, 644099, Russia. E-mail: vdmitriev@omgpu.omsk.edu

In the work the authors present the results of validation of algorithms of restoration of snow water equivalent for steppe regions of Western Siberia. Microwave data from AMSU-A and AMSR-E radiometers installed on the satellite NOAA and Aqua platforms were a source of basic data. It is shown that for two-frequency algorithms, the correlation coefficient between the real and restored values of moisture content changes from 0,06 to 0,5 at average value 0,3. The statistical importance of the received estimates is insignificant and corresponds to a case of strong spatial averaging (about 50 km in pixel) that also reduces a value of results. It is shown that almost applicable accuracy (it is better 40 %) is reached at considerable averaging – more than 40 points. It corresponds to temporary averaging to level of average monthly indicators or to spatial averaging on an element of 280×280 sq. km.

Keywords: snow cover, remote sensing, satellite data.

Снежный покров является естественным природным образованием и оказывает существенное воздействие на климат, условия жизни и хозяйственную деятельность человека. Поэтому задача построения системы мониторинга снежного покрова по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является

актуальной и практически значимой. Данная работа посвящена исследованию методов восстановления влагозапаса снежного покрова. Влагозапас или водный эквивалент снега (SWE), представляет собой толщину слоя воды, образующейся в результате растапливания снега.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 12-05-98082-р_сибирь_a.

На сегодняшний день известны несколько алгоритмов оценки влагозапаса снежного покрова. К сожалению, радиометр AMSR-E на спутниковой платформе Aqua вышел из строя, и алгоритмы, использующие эти данные, имеют только ретроспективный интерес. В данной работе анализ по 2009 г. проводился с использованием данных AMSU-A и AMSR-E, аналогичное исследование по 2012 г. проводилось и использованием данных AMSU-A.

Основное внимание обращено на использовании данных AMSU. Формулы для расчета SWE по данным AMSU существуют в трех вариантах. Первый вариант, далее SWE1, для слежавшегося снега, с развитым метаморфизмом, возраст снега более двух недель [1]:

$$SWE1 = 0,60 \cdot (TB23 - TB31) + 1,71.$$

Второй вариант, далее SWE2, для свежего не метаморфизированного снега, возрастом несколько суток [1]:

$$SWE2 = 0,08 \cdot (TB31 - TB89) + 1,15.$$

Третий вариант, далее SWE3, для свежес выпавшего снега, возрастом несколько часов [1]:

$$SWE3 = 2,6 + 0,39 \cdot (TB23 - TB31),$$

где TB23, TB31 и TB89 – радиояркостные температуры на частотах 23, 31 и 89 ГГц соответственно.

На рис 1. приведен пример использовавшихся кадров AMSU. Аналогичные кадры были получены на все исследуемые даты и частоты [2]. Область исследования – степные (южные) районы Омской области. Омская область на данном рисунке расположена внизу по центру по координатам 54÷58N (с. ш.) 70÷77E (в. д.). Можно заметить, что при разрешении радиометра AMSU на местности 45 км в одном пикселе Омская область в широтном направлении умещается в 6–8 точек на снимке. Пространственное разрешение радиометра AMSR-E имеет аналогичную величину. Так как в конце февраля в области исследования снег лежит повсеместно, выделение заснеженных участков не потребовалось.

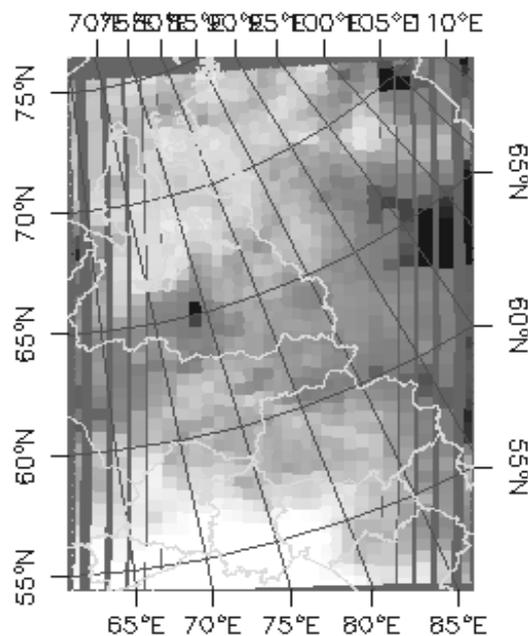


Рис. 1. Геопривязанный кадр AMSU на 29.02.2012 г., частота 23 ГГц, с наложенными границами субъектов РФ

В качестве источника наземных данных использовались результаты собственных измерений временной и пространственной динамики влажности и влагозапаса снежного покрова в окрестностях г. Омска в период снеготаяния, а также агрометеосводки [3–6] за февраль и март 2009 и 2012 гг.

В ходе исследования брались известные точки наземных данных и сравнивались с соответствующими значениями, рассчитанными по формулам для SWE на основании спутниковых данных. В графическом виде соответствие между SWE, определенными наземными методами и восстановленными по спутниковым данным, представлено на рис. 2–3. Для уменьшения объема приведены только самые характерные результаты.

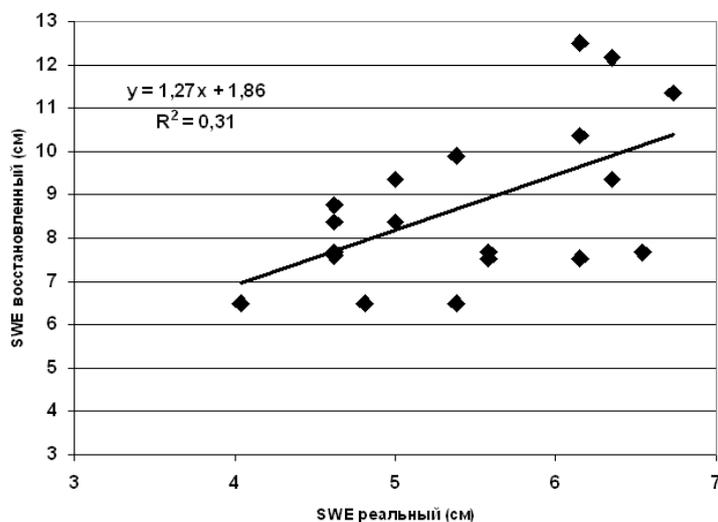


Рис. 2. Данные на 28 февраля 2009 г.

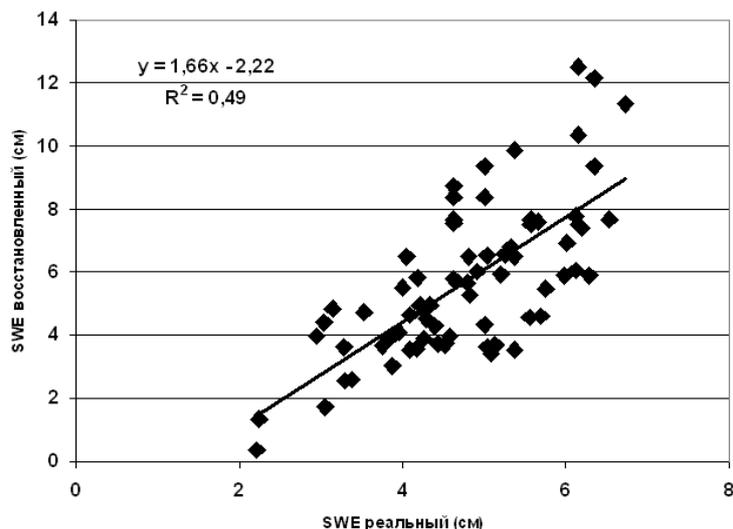


Рис. 3. Данные за февраль 2009 г.

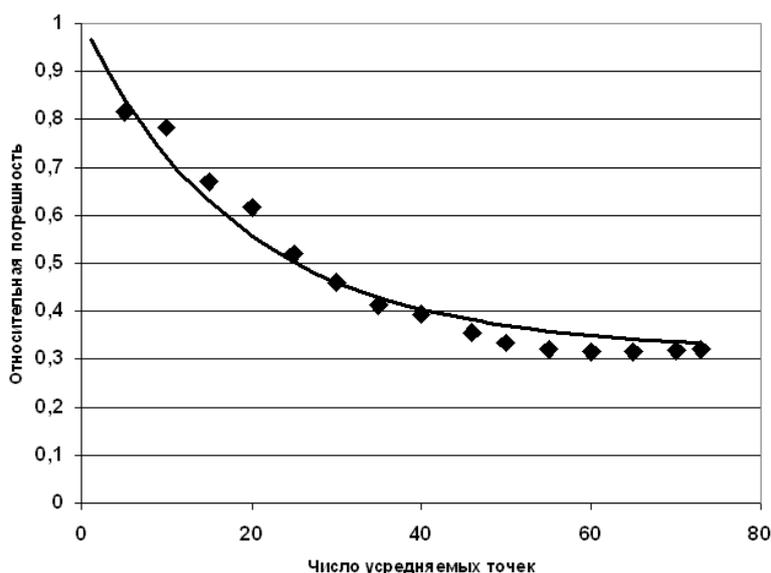


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности от числа усредняемых точек

Вычисления, пример которых приведен на рис. 2, проводились с использованием алгоритмов SWE2 и SWE3. Все остальные алгоритмы показали коэффициент корреляции менее 0,2. В ряде случаев (SWE1) зависимость носила обратный характер, т. е. неприемима в силу физической некорректности. Таким образом, не смотря на то, что к концу февраля снег был возраста более двух недель (в 2–3 декаду февраля рассматриваемых годов осадки практически не наблюдались), значения SWE, рассчитанные по алгоритмам для свежего снега дают наибольшее сходство с наземными данными. Наименьшая относительная погрешность среди 3-х использованных алгоритмов наблюдалась при использовании алгоритма 2.

Обращает на себя внимания тот факт, что с ростом числа рассматриваемых точек, статистическая значимость результатов существенно улучшается. Объяснение этому достаточно очевидно: с ростом числа

измерений уменьшается роль случайных факторов, не учтенных в простейшей двухчастотной модели. Для оценки достаточного с практической точки зрения размера используемой экспериментальной выборки, мы построили график (рис. 4), из которого следует, что относительная погрешность «выходит» на стабильный уровень менее 40 % при усреднении по 40 точкам. Это означает, что двухчастотные алгоритмы имеет смысл использовать для оценки среднемесячных значений SWE в конкретном пикселе или для элемента приблизительно 280×280 км² на конкретную дату. Суммируя результаты работы, приходим к следующим выводам.

Существующие алгоритмы оценки SWE, использующие данные СВЧ радиометров, требуют проверки на данных конкретного региона. Без этого выбор модели и ее практическое использование затруднительно.

Алгоритмы оценки SWE, нуждаются в существенном временном или пространственном усреднении.

Это ограничивает использование алгоритмов в интересах реальных хозяйствующих субъектов, размеры которых менее 300 км. Временное усреднение затрудняет использование этих методов в практике оперативного мониторинга.

Библиографические ссылки

1. Kongoli C., Ferraro R. Development and Evaluation of the AMSU-Based Snow Water Equivalent Retrieval Algorithm // 13th Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography. URL: https://ams.confex.com/ams/13SATMET/techprogram/paper_78989.htm/.
2. Документация. URL: <http://gis-lab.info/docs.html>.
3. Агрометеорологический бюллетень. № 2. Февраль 2012 г. (по оперативным данным) / Ом. ЦГМС-Р. Омск : [б. и.], 2012.
4. Агрометеорологический бюллетень. № 3. Март 2012 г. (по оперативным данным) / Ом. ЦГМС-Р. Омск : [б. и.], 2012.
5. Агрометеорологический бюллетень. № 2. Февраль 2009 г. (по телеграфным данным) / Ом. ЦГМС-Р. Омск : [б. и.], 2009.
6. Агрометеорологический бюллетень. № 3. Март 2009 г. (по телеграфным данным) / Ом. ЦГМС-Р. Омск : [б. и.], 2009.

References

1. Kongoli C., Ferraro R. Development and Evaluation of the AMSU-Based Snow Water Equivalent Retrieval Algorithm. 13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography. Available at: https://ams.confex.com/ams/13SATMET/techprogram/paper_78989.htm (accessed 12 February 2013).
2. Available at: <http://gis-lab.info/docs.html> (accessed 30 May 2012).
3. Агрометеорологический бюллетень (Агрометеорологический бюллетень). No. 2 [text]: for February, 2012 (according to operational data). Omsk. TsGMS-R. Omsk: [b. i.] 2012. 16 c.
4. Агрометеорологический бюллетень (Агрометеорологический бюллетень). No. 3 [text]: for March, 2012 (according to operational data). Omsk. TsGMS-R. Omsk: [b. i.] 2012. 15 c.
5. Агрометеорологический бюллетень (Агрометеорологический бюллетень). No. 2 [text]: for February, 2009 (according to cable data). Omsk. TsGMS-R. Omsk: [b. i.] 2009. 15 c.
6. Агрометеорологический бюллетень (Агрометеорологический бюллетень). No. 2 [text]: for March, 2009 (according to cable data). Omsk. TsGMS-R. Omsk: [b. i.] 2009. 15 c.

© Березин К. Ю., Дмитриев А. В., Дмитриев В. В., 2013

УДК 528.854+631.4

ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ИЗМЕРЕННОЙ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ SMOS, ОТ АЗИМУТАЛЬНОГО УГЛА ЗОНДИРОВАНИЯ*

П. П. Бобров¹, В. Л. Миронов², А. С. Яценко¹

¹Омский государственный педагогический университет

Россия, 644099, Омск, наб. Тухачевского, 14. E-mail: x_rays1@mail.ru

²Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук

Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50. E-mail: rsdvm@ksc.krasn.ru

Приведены основные результаты анализа угловых зависимостей радиояркостных температур почв, полученных в ходе натурного, модельного эксперимента, а также аппаратом SMOS. Обнаружено, что величина радиояркостной температуры поверхностей, имеющих периодический профиль, существенно зависит от азимутального угла измерения. Такие поверхности при определенных условиях могут иметь значение радиояркостной температуры на горизонтальной поляризации большие, чем на вертикальной. Аналогичные соотношения зачастую наблюдаются в данных SMOS. Показано, что особенности угловых зависимостей радиояркостной температуры, полученные SMOS, могут быть обусловлены как физическими процессами, так и аппаратными ошибками. Полученные результаты могут быть использованы при обработке радиометрических данных SMOS.

Ключевые слова: микроволновая радиометрия, яркостная температура, коэффициент излучения, SMOS.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки в части проведения НИР.