

Снежный покров центра Европейской части России по данным AMSR-E и SSM/I

О.А. Носенко¹, Н.А. Долгих¹, Г.А. Носенко²

¹ Центр космических информационных систем и технологий наблюдений,
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: nosenko@cpi.space.ru;

² Институт географии РАН
109017 Москва, Старомонетный пер., 29
E-mail: gnosenko@mail.ru

Для значительной территории центра Европейской части России проведена валидация ежедневных карт водного эквивалента AE_DySno (AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids) за 2004 и 2005 г.г. и осуществлен анализ поведения разности радиоярких температур на 19 ГГц и 37 ГГц по данным SSM/I для тех же участков. Выявлены факторы, оказывающие решающее влияние на поведение разности. Анализ полученных результатов показывает, что модель, положенная в основу глобального алгоритма, неадекватно отражает значения водного эквивалента на Европейской части России, подтверждая лишь наличие снежного покрова, если температура у поверхности отрицательна. Увеличение разности ярких температур на 18 ГГц и 36 ГГц в течение зимы в безлесной зоне происходит скачкообразно и связано не с постепенным увеличением SWE (snow water equivalent) за счет роста высоты снежного покрова, а с резкими дискретными изменениями рассеяния микроволн вследствие изменения стратиграфии снега из-за циклов оттаивания-промерзания. К моменту максимального снегонакопления модель дает завышенное в 2 и более раз значение SWE для степных и лесостепных районов.

Введение

Относительная прозрачность атмосферы в микроволновом диапазоне делает эти данные чрезвычайно перспективными для определения параметров снега, особенно для малонаселенных территорий, где другие источники данных отсутствуют. Основная цель данной работы – пространственно-временной анализ доступных микроволновых данных и моделей и оценка их применимости для территории России. Эта работа осуществляется в связи с подготовкой к запуску российского спутника “Канопус-Вулкан” с пассивным микроволновым радиометром на борту и необходимостью оценки качества его данных в свете имеющегося мирового опыта.

Общие положения, используемые модели

При сухом снеге и отрицательных температурах появление снежного покрова на поверхности земли приводит к падению канальных температур из-за увеличения рассеяния. В микроволновом диапазоне снегу свойственен отрицательный спектральный градиент, поэтому при увеличении высоты снежного покрова в канале 18-19 ГГц температура падает медленнее, чем в канале 36-37 ГГц. Положительное значение разности температур между 19 ГГц и 37 ГГц является индикатором появления снега на поверхности, а с ростом снежного покрова разность температур должна пропорционально увеличиваться. Определение параметров снега во время оттепели при наличии жидкой фазы в толще снега в микроволновом диапазоне невозможно, поскольку влажный снег ведет себя как абсолютно черное тело и разность становится отрицательной. Поэтому микроволновые приборы могут использоваться в процессе становления снежного покрова и для оценки его максимальных запасов и не могут применяться в период таяния.

Первоначально модель восстановления значения водного эквивалента была предложена в 1982 году [1] для данных SSMR:

$$SWE = 4.8 (T_{18H} - T_{37H}) \quad (1),$$

где T_{18H} и T_{37H} – радиояркие температуры яркости [К] в каналах 18 ГГц и 37 ГГц на горизонтальной поляризации.

Для SSM/I в связи с использованием других каналов выражение (1) было скорректировано следующим образом:

$$SWE = 4.8 ((T19_H - 5) - T37_H) \quad (2),$$

Значения SWE в ежедневных картах водного эквивалента вычислены по формуле:

$$SWE = 4.8 (T18_H - T36_H) / (1 - 0.2f) \quad (3),$$

Эмпирический коэффициент 4.8 во всех выражениях (1)-(3) соответствует снегу с плотностью 0.3 г/см³ и с размером зерна 0.3мм. В знаменателе формулы (3) присутствует коэффициент f, назначение которого состоит в частичной коррекции влияния леса.

Ежедневные карты AE_DySno (AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids) строятся с шагом 25 км для всего Земного шара и представляют собой сетки EASE-grid 720x720 в стандартном формате HDF. Для представления данных используется азимутальная проекция, напоминающая проекцию Ламберта, однако используется не общепринятый эллипсоид с параметрами Datum, а сфера с радиусом R = 6371.228 км, площадь поверхности которой равновелика площади эллипсоида. Этот нюанс делает невозможным прямое трансформирование сеток в геоинформационных продуктах с целью совместного пространственного анализа с другими данными. Авторы алгоритма Chang, A.T.C. and Rango, A. 2000 Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the AMSR-E snow water equivalent algorithm, NASA/GSFC, по которому строятся карты AE_DySno, декларируют среднюю точность восстановления водного эквивалента около 25%, что вполне приемлемо для глобальных климатических оценок. Традиционно считается [2], что наибольшие расхождения модельных и реальных значений водного эквивалента должны иметь место в лесных регионах из-за дополнительного рассеяния в кронах. В работах Р. Келли [3] предпринимаются попытки учета влияния постепенного метаморфизма снежного покрова в течение зимы на поведение восстановленных значений высоты снежного покрова.

Методика валидации и результаты анализа

Для валидации ежедневных карт водного эквивалента нами была создана аналогичная сетка с шагом 25 км в стандартной картографической проекции (азимутальная равновеликая проекция Ламберта), что позволило выполнить уникальный пространственно-временной анализ восстановленных значений водного эквивалента для территории центра Европейской части, Полярного Урала и некоторых других районов. Поведение значений SWE и разностей радиоярких температур SSM/I для тестовых участков рассмотрено в сравнении с наземными данными за две зимы 2003/2004 и 2004/2005.

Здесь и ниже представлены результаты анализа AE_DySno и данных SSM/I на примере одного из тестовых полигонов, куда входит правобережье Оки и верховья Дона. Территория практически безлесная (3-5% леса в каждой ячейке сетки). В ее пределах находится несколько работающих метеостанций, с наземными данными которых мы производим сравнение. Независимо от измерений на метеостанциях мы проводили наблюдения за изменением стратиграфии снежного покрова.

Сравнение восстановленных значений SWE с наземными данными для дней, когда производятся измерения на метеостанциях, показало, что именно в безлесной зоне к моменту максимального снегонакопления модель дает завышенное в 2 и более раз значение SWE [4].

Зима 2004/2005 была нестандартной. 4-6 января началась оттепель с дневными температурами до +5°C - +6°C, которая продолжалась до 15 января, захватила почти всю Европейскую часть и привела к полному исчезновению снега в Калужской, Смоленской, Тульской и других областях. В январе вскрылись реки и прошел ледоход. Новый снег начал ложиться после 20 января.

На рис. 1 представлено среднее по территории полигона значение водного эквивалента, на рис. 2 – среднее значение разности SSM/I по его территории. На рис.3 показано монотонное изменение наземных значений водного эквивалента по метеостанциям, расположенным на изучаемой территории. На рис. 4 – сравнение значений водного эквивалента по данным AMSR (модель 3), SSM/I (модель 2) и наземных метеостанций для территории тестового участка.

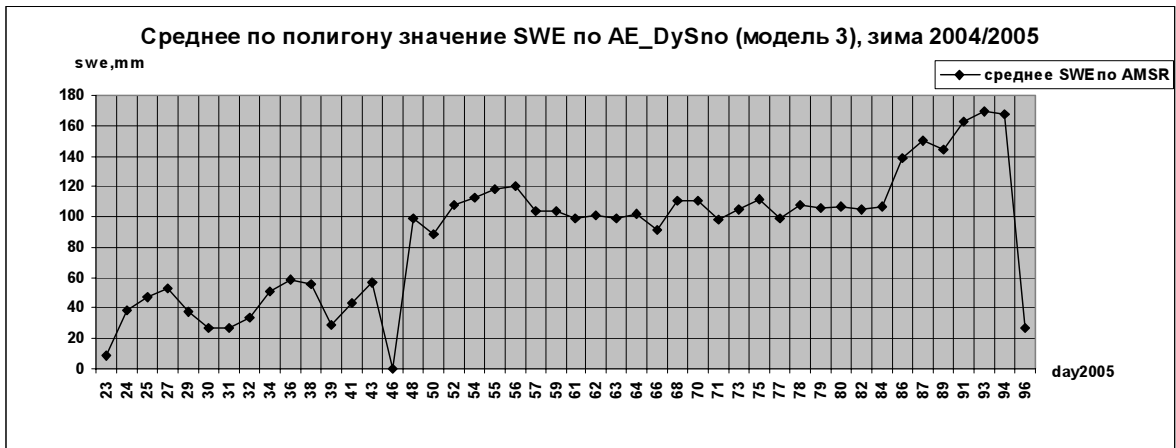


Рис. 1. Среднее по тестовому полигону значение водного эквивалента по ежедневным картам AE_DySno в течение зимы 2004/2005



Рис. 2. Среднее по тестовому полигону значение разности радиояростных температур SSM/I 19h-37h в течение зимы 2004/2005

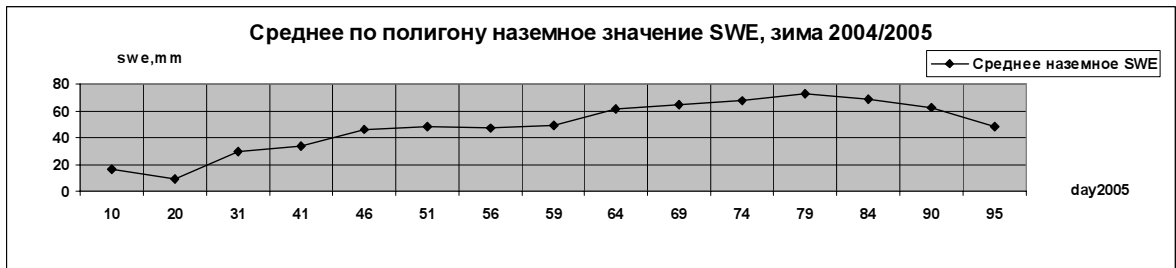


Рис. 3. Среднее по тестовому полигону значение наземного водного эквивалента в течение зимы 2004/2005



Рис. 4. Сравнительный анализ средних по тестовому полигону значений водного эквивалента по ежедневным картам AE_DySno - модель (3), SSM/I - модель (2) и наземных данных в течение зимы 2004/2005

Значения $SWE=0$ на графиках соответствуют оттепелям. В начале зимы при незначительной величине снежного покрова нулевые значения могут возникать из-за ливневых снегопадов. В середине зимы локальные минимумы ($SWE>0$) в значениях SWE вызываются чаще всего ледяным дождем, снежной крупой и иногда ливневым снегом. Две захватившие всю Европейскую часть оттепели (46-47 и 85 дни) сопровождались дождем. Существенного выпадения снега и, соответственно, увеличения водного эквивалента в эти дни не было. Однако оттаивание и последующее замерзание снега привело к резкому скачку дистанционных значений SWE . Повсеместно образовалась снежная доска (рис.5), причем наиболее плотная и протяженная она была в безлесных районах и, вероятно, именно ее возникновение привело к изменению рассеяния и резкому превышению восстановленных значений по сравнению с наземными. Поэтому именно в безлесных районах это превышение оказалось наиболее значительным. Средняя величина скачка SWE после оттепели 46-47 дня составила 40мм, почти такой же дискретный скачок наблюдается в 85 день. В начале зимы при понижении температуры после первых снегопадов – еще одна ступенька такого же рода. В результате максимальное среднее значение SWE по полигону на конец зимы по наземным данным составляет 73 мм, а по восстановленным 169 мм.



Рис. 5. Снежная доска после оттепели

Мы считаем, что увеличение восстановленных в рамках реализованной модели (3) значений SWE для зимы с оттепелями происходит в основном после оттепели и не связано с увеличением количества снега в этот момент, что особенно наглядно видно в лесостепной зоне Европейской части России. В районах с более холодной зимой аналогичные скачки наблюдаются в начале и конце зимы, пока есть оттепели. Холодный отрезок зимы дает постепенное увеличение водного эквивалента.

Анализ полученных результатов показывает, что модель, положенная в основу глобального алгоритма, неадекватно отражает изменение значения водного эквивалента на Европейской части России, подтверждая лишь наличие снежного покрова, если температура у поверхности отрицательна. Увеличение разности яркостных температур на 18 ГГц и 36 ГГц в течение зимы происходит скачкообразно и связано не с постепенным увеличением SWE за счет роста высоты снежного покрова, а резкими дискретными изменениями стратиграфии снега и рассеяния в нем из-за циклов «оттаивания-промерзания». В общем виде поведение разности в моделях (2) и (3) можно представить в виде следующего графика (рис. 6):

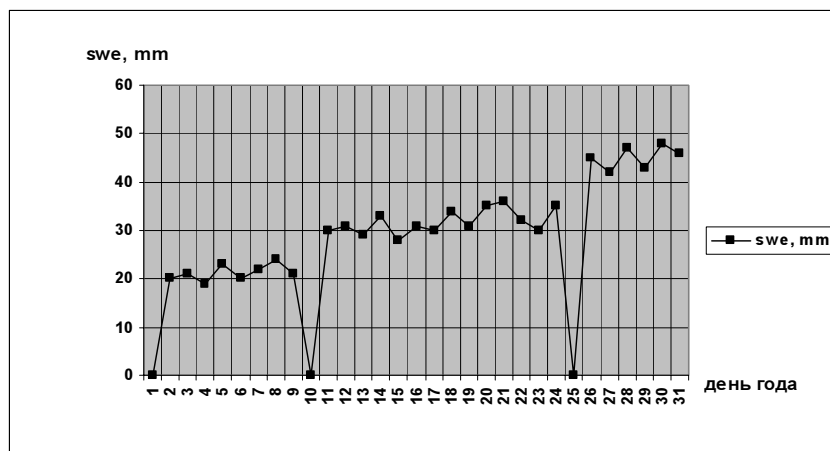


Рис. 6. Характер изменения восстановленных по микроволновым данным значений водного эквивалента для зимы с оттепелями

Скачкообразные изменения в поведении разности из-за образования снежных досок на поверхности снега могут быть определены и скорректированы для каждого региона. Если имеет место устойчивое увеличение значений разности между оттепелями в регионе или имеется достаточно протяженный период зимы без положительных температур, то модели (2)-(3) могут быть локализованы в регионах с относительно одинаковыми климатическими условиями и использоваться при оценке водного эквивалента. Как показывает проведенный к настоящему времени анализ зим 2003/2004 и 2004/2005 г.г., в центре Европейской части России промежутки между оттепелями короткие и говорить об устойчивом положительном тренде разности (2) и (3) можно с большой натяжкой. В то же время, в лесных районах процессы образования корок не столь интенсивны и поэтому вносят меньше искажений. Для развития и адаптации модели к различным условиям необходимо получение данных о региональной стратиграфии снега в течение зимы, то есть, необходима организация полевых исследований для получения этих данных по достаточно большой территории, охватывающей несколько элементов разрешения съемочной аппаратуры (150-200 км).

Выводы

- в настоящий момент ежедневные карты водного эквивалента, строящиеся в NSIDC по данным AMSR-E, имеют расхождение с наземными данными в 2 и более раз для территории Европейской части России, причем наиболее существенные расхождения между восстановленными и наземными значениями имеют место в безлесных районах из-за образования снежной доски после оттепелей;
- одним из возможных путей повышения точности модели является ее районирование и адаптация для достаточно однородных по климатическим условиям и ландшафтным характеристикам территорий;
- существенный вклад в проблему валидации космических микроволновых данных могли бы внести синхронные наземные измерения характеристик снега с описанием стратиграфии снежной толщи в различных регионах России в рамках специально организованных подспутниковых экспериментов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №05-05-64983.

Литература

1. *Chang A.T.C., J.L. Foster, D. Hall, A. Rango and B.Hartline.* Snow water equivalence determination by microwave radiometry // *Cold Regions Science and Technology*, 5, 1982. pp.259-267.
2. *Кренке А.Н., Кумаев Л.М., Кадомцева Т.Г.* Межгодовые изменения снежного покрова на территории СНГ // *Материалы метеорол. исслед.*, 1997. №16, С. 6-24.
3. *Kelly R.E., Chang A.T., Leung Tsang, Foster, J.L.* A prototype AMSR-E global snow area and snow depth algorithm // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*. Vol. 41, no 2, 2003.
4. *Носенко Г.А., Долгих Н. А, Носенко О.А.* О возможности практической реализации существующих алгоритмов восстановления характеристик снежного покрова по данным микроволновых съемок из космоса для мониторинга водных ресурсов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник научных статей. Том II.* М.: "GRANP polygraph", 2005. с.150-156.