

Разработка методов ассилияции спутниковой информации о характеристиках снежного покрова в моделях его формирования и таяния (на примере части территории лесостепной зоны Центральной России)

М.В. Александрович

*Институт водных проблем Российской академии наук,
117312 Москва, ул. Губкина, д.3
E-mail: m-indigo@yandex.ru*

Разработана методика построения полей характеристик снежного покрова для крупных территорий, основанная на совместном использовании созданной в ИВП РАН физико-математической модели формирования снежного покрова и снеготаяния, спутниковых данных и материалов наземных наблюдений. Исследования выполнялись для находящейся в лесостепной зоне и включающей часть бассейна р. Дон территории площадью около 330 тыс км². С помощью разработанной методики произведены расчеты покрытости территории снегом и запасов воды в снежном покрове в их динамике за сезоны весеннего снеготаяния 2002-2004гг. Достаточно высокая точность полученных оценок характеристик снежного покрова показала применимость предложенной методики их определения для обширных равнинных территорий с редкой сетью пунктов наземных наблюдений.

Ключевые слова: снегонакопление, снеготаяние, спутниковые данные, покрытость территории снегом, снегозапасы.

Введение

Процессы формирования снежного покрова и снеготаяния играют важную роль в гидрологическом цикле и теплообмене суши с атмосферой на значительной части земной поверхности. Так, речной сток в период снеготаяния в значительной мере определяется пространственным распределением снежного покрова, и качество информации об этом распределении влияет на предсказуемость характеристик весенне-летних половодий.

Данные наземных наблюдений, формируя непрерывный по времени ряд, имеют точечный характер, обусловленный разреженностью наблюдательной сети. Одним из возможных способов восполнения картины пространственного распределения снежного покрова является использование спутниковых данных, но их недостатком является отсутствие непрерывности во времени (что обусловлено параметрами орбиты и наличием облачности над территорией съемки); кроме того, точность спутниковых измерений ниже, чем наземных.

Использование наземных и спутниковых данных совместно с математической моделью процессов формирования снежного покрова и снеготаяния, использующую эти данные для задания краевых условий и калибровки параметров, позволяет получить непрерывную в пространстве и времени картину изменения характеристик снежного покрова. В данной статье рассмотрена реализация такого подхода для территории, расположенной в лесостепной зоне Европейской России. Использованная в работе модель формирования снежного покрова и снеготаяния разработана в Институте водных проблем РАН и описана в работе [3].

Территория исследования простирается от 49,5⁰ до 55⁰ с.ш. и от 35,5⁰ до 43⁰ в.д., площадью 326тыс км², лежащий главным образом в лесостепной зоне. Из этой площади

102 тыс км² занимает водосбор верхнего Дона с замыкающим створом ст. Казанская. На территории расположено 43 метеостанции, 20 из которых попадают на водосбор. Лесистость территории не превышает 30-40%, ее максимум достигается на северо-востоке. Карта расположения водосбора и метеостанций на территории исследования и карта ландшафтной классификации территории показаны на рисунке 1.

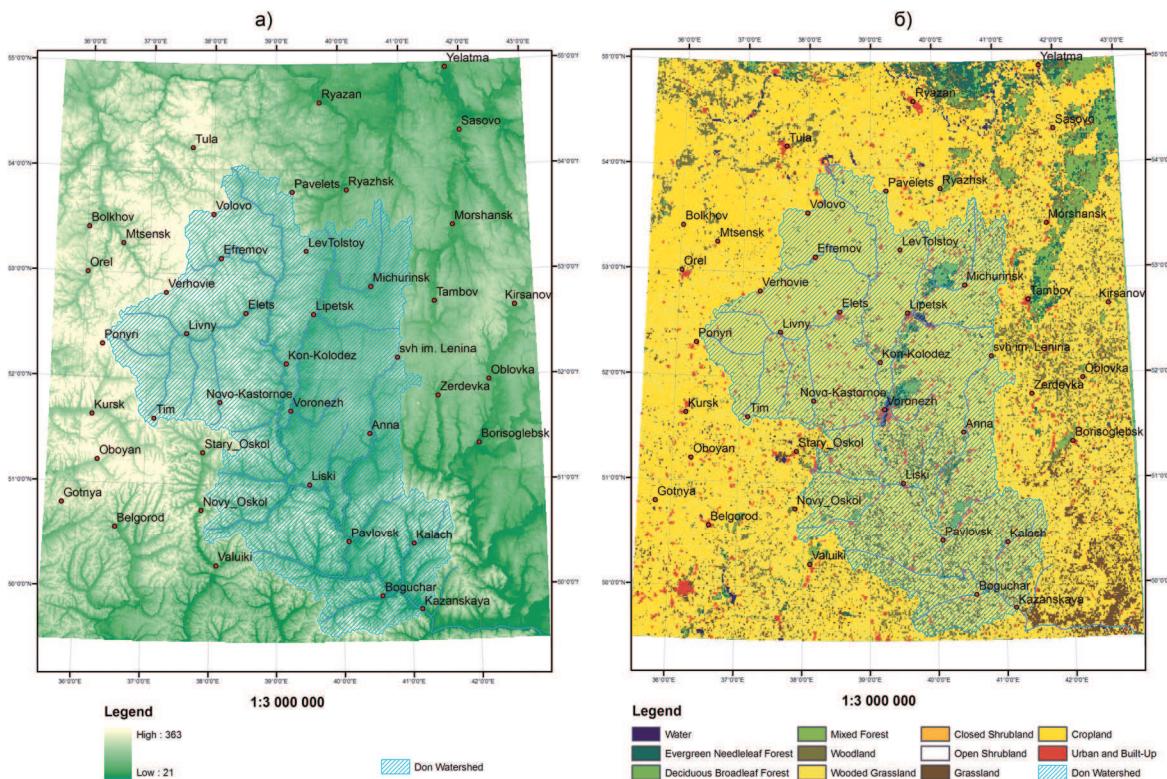


Рис. 1. Расположение водосбора и метеостанций на территории исследования, ландшафтная классификация территории

Используемые данные

По данным съемок радиометра AMSR-E со спутника Aqua NASA выпускает ежедневные карты запасов воды в снежном покрове (продукт AE DySno) на всю поверхность земного шара с шагом 0,2° по широте и долготе. При построении этих карт используется эмпирическая зависимость разности радиояркостных температур в двух каналах съемки (18 ГГц и 36 ГГц) от снегозапасов. Погрешность такого определения оценивается авторами методики в 25% [1], однако в период интенсивного снеготаяния погрешность возрастает в связи с насыщением снега талой водой и ее замерзанием внутри снежного покрова. В связи с этим, после проверки, подтвердившей низкую точность продукта AE DySno в период снеготаяния, он использовался только для задания начальных условий для моделирования формирования снежного покрова.

По данным измерений радиометром MODIS со спутников Terra и Aqua, NASA выпускает ежедневные карты покрытия территории снегом (MOD10_L2 и MYD10_L2 соответственно) с разрешением 0.01° по широте и долготе, на которых состояния поверхности суши классифицируются как «снег», «поверхность земли без снега» или «закрыто облаком». В работе использовались карты, построенные на основе измерений со спутника

Terra, поскольку они демонстрируют большую надежность в сравнении со спутником Aqua [3]; кроме того, на них меньше облачных участков.

В дополнение к ежедневной информации о снежном покрове использовались статические карты ландшафтной классификации и густоты лесной растительности, построенные по данным измерений радиометром высокого разрешения AVHRR на спутнике NOAA с разрешением $0,01^{\circ}$ [2].

Полный перечень данных спутниковых измерений, использованных в настоящей работе, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Спутниковые данные, применяемые в работе

Показатель	Спутник/ Сенсор	Пространственное разрешение	Частота изме- рений
Покрытость территории снегом, облачность	TERRA/ MODIS	$0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$	1 раз в сутки
Запасы воды в снежном покрове	AQUA/ AMSR-E	$0.20^{\circ} \times 0.20^{\circ}$	1 раз в сутки
Густота лесной растительности, ландшафтная классификация	NOAA/ AVHRR	$0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$	Статические данные

Использованные данные наземных наблюдений включали шестичасовые измерения температуры и влажности воздуха, осадков, облачности, скорости ветра на метеорологических станциях, расположенных на рассматриваемой территории.

Использование спутниковой информации для моделирования пространственных полей покрытости территории снегом и снегозапасов.

Вначале модель формирования снежного покрова и снеготаяния калибровалась и проверялась по данным наземных метеорологических наблюдений за период с 1 ноября 2001 г. по 31 мая 2004 г. Период 2001-2002 гг. использовался как калибровочный, сезоны 2002-2003 гг. и 2003-2004 гг. – как проверочные. Примеры результатов расчета хода высоты снежного покрова на некоторых метеорологических станциях за сезон 2002–2003 гг. показаны на рис. 2. Стандартная погрешность расчета по всем 43 станциям за сезон 2001–2002 гг. (калибровочный период) получилась равной 7 см, а за сезоны 2002–2003 и 2003–2004 гг. (проверочный период) – не превышала 9 см.

С помощью откалиброванной модели проводились расчеты пространственных полей покрытости территории снегом и снегозапасов по сетке $0,01^{\circ} \times 0,01^{\circ}$ за периоды с 20 января по 30 апреля 2002-2004 гг. Начальные снегозапасы задавались по данным продукта AE DySno. Наземная метеорологическая информация со станций интерполировалась в узлы сетки по методу обратных квадратов расстояний. Этот стандартный метод интерполяции был дополнен блоком проверки ячеек на наличие облачности, и, в случае ее отсутствия, в такую ячейку ни облачность, ни осадки не интерполировались. В качестве источника данных об облачности использовались карты по данным MODIS/Terra. Для проверки результатов моделирования использовались карты покрытости территории снегом MOD10_L2. Для исключения влияния погрешностей данных в отдельных пикселях сравнивались расчетные и спутниковые данные, осредненные по полигонам Тиссена (рисунок 3), тяготеющим к метеостанциям. Расчеты велись только по пикселям, свободным от леса и облачности.

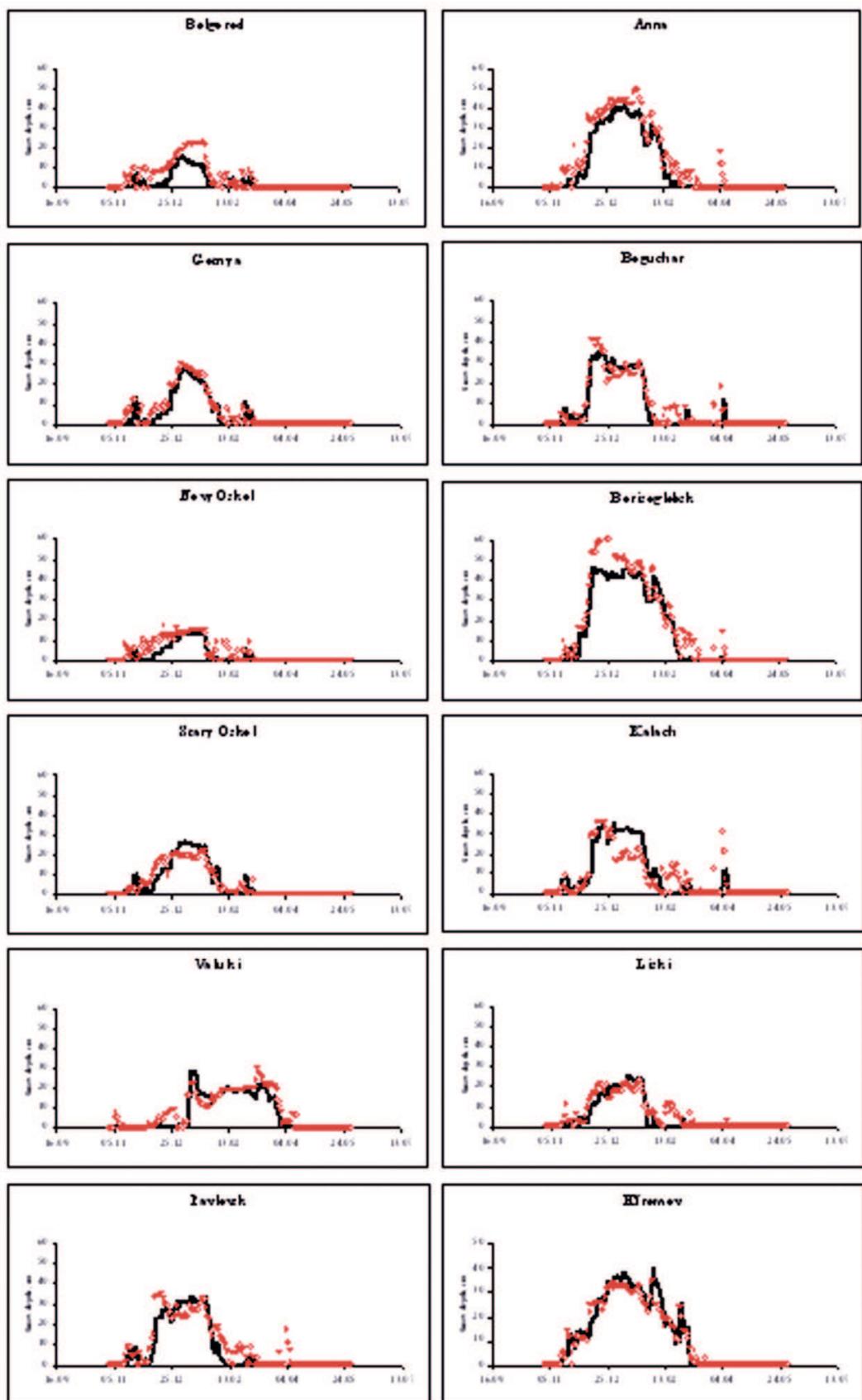


Рис. 2. Измеренная (точки) и рассчитанная (линии) высота снежного покрова на некоторых метеорологических станциях в период с 1 ноября 2002 по 30 мая 2003 г.

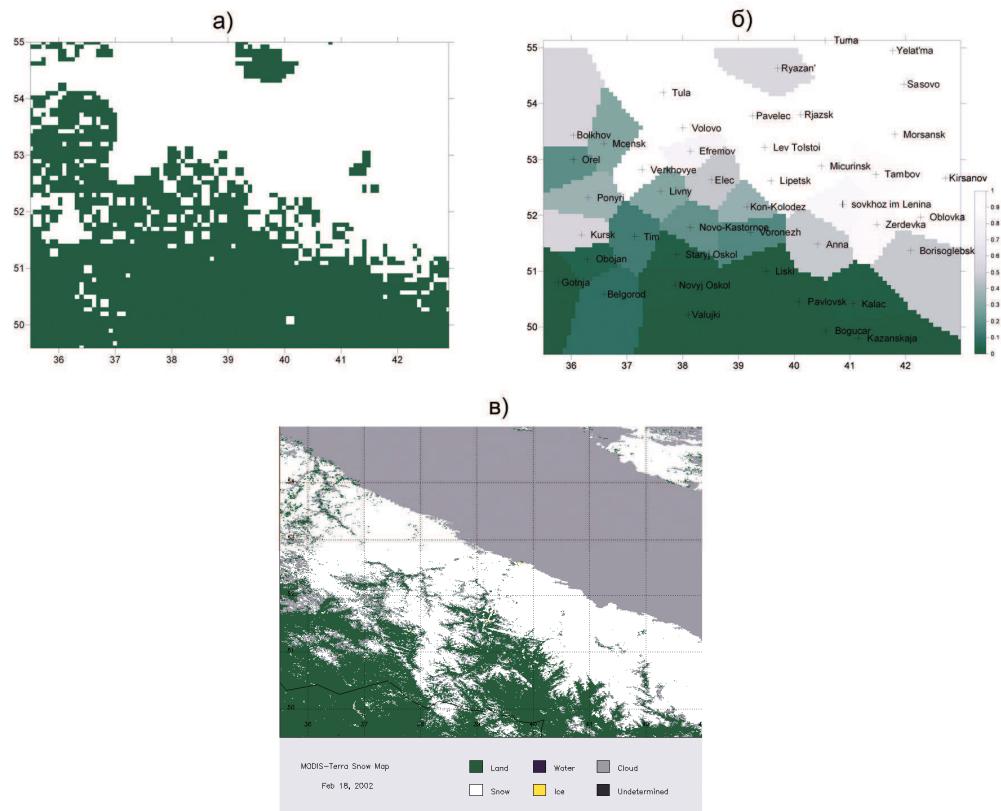


Рис. 3. Карты покрытости территории снегом: по расчетным данным (а), по расчетным данным с осреднением (б), по спутниковым измерениям (в)

Также проводилась проверка соответствия снегозапасов по данным измерений AMSR-E расчетным и наземным данным. На рисунке 4 видно, что расчет по модели и спутниковые данные дают сильно различающиеся картины пространственного распределения запасов воды в снежном покрове.

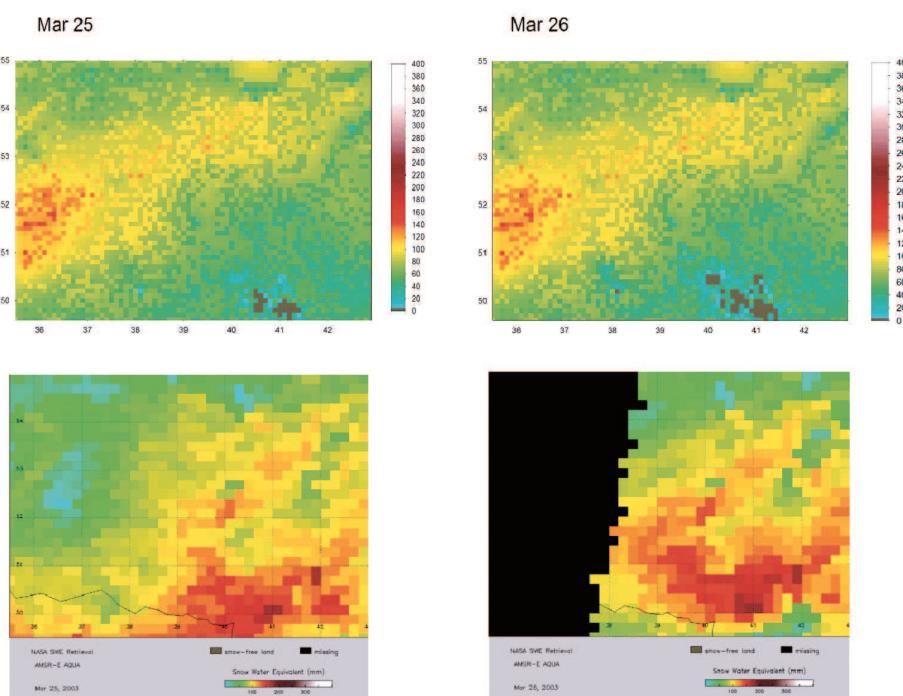


Рис. 4. Снегозапасы на полигоне за 25–26 марта 2003 г. по расчетным (верхний ряд) и спутниковым (нижний ряд) данным

Основные несовпадения приходятся на западную и юго-восточную часть территории. Для этих районов из данных наземной снегомерной съемки (во избежание влияния локальных особенностей осреднялись значения с нескольких близлежащих станций) были восстановлены значения снегозапасов, ход которых показан на рисунке 5. Сравнение соответствующих районов на расчетных и спутниковых картах с наземными значениями снегозапасов подтвердило неточность продукта AE DySno в период активного снеготаяния.

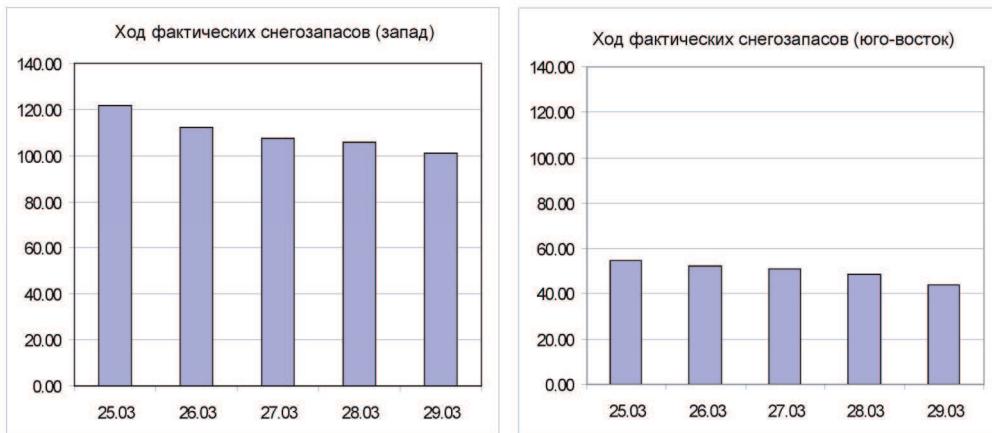


Рис. 5. Ход снегозапасов, рассчитанных по наземным снегомерным данным на метеостанциях западной (слева) и юго-восточной (справа) частей территории за 25-29 марта 2003 г.

Заключение

Предложена методика построения полей снежного покрова на основе совместного использования спутниковых и наземных измерений и модели формирования снежного покрова. Методика направлена на непрерывное слежение за покрытостью территории снегом и построение расчетных карт снегозапасов. С помощью предложенной методики произведены расчеты покрытости территории снегом и запасов воды в снежном покрове в их динамике за сезоны весеннего снеготаяния 2002-2004 гг. Методика позволяет с удовлетворительной точностью воспроизводить динамику покрытости территории снегом и снегозапасов на обширной равнинной территории с редкой сетью пунктов наземных наблюдений.

Литература

1. Chang, A.T.C., Rango A. Algorithm Theoretical Basis Document for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm. Version 3.1. //Greenbelt, MD, USA:NASA Goddard Space Flight Center, 2000.
2. Hansen, M., DeFries R., Townshend J.R.G., Sohlberg R. Global land cover classification at 1km resolution using a decision tree classifier // Int.J. Rem. Sens. 2000. № 21. P.1331–1365.
3. Кучмент, Л.С., Романов, П. Ю., Гельфанд, А. Н., Демидов В. Н. Оценка характеристик снежного покрова путем совместного использования моделей и спутниковой информации. //Исследование Земли из космоса, 2009, № 4, с. 1–10.

Development of Methods for Assimilation of Satellite Information about Snow Cover Characteristics in Snowpack Formation and Melt Models (on Example of Area in Forest-Steppe Zone of Central Russia)

M. Alexandrovich

*Water Problems Institute of RAS,
117312 Moscow, 3 Gubkin st
E-mail: m-indigo@yandex.ru*

The technique of construction of spatial fields of snow cover characteristics for large regions has been developed which is based on combined usage of physically based model of snowpack formation and melt developed in WPI RAS, satellite measurements of land surface and available ground based meteorological measurements. The technique has been verified by the example of the large region located in forest-steppe zone of European part of Russia and containing a part of Don river watershed. By means of the suggested technique spatial dynamics of snow covered area and snow water equivalent (SWE) during the spring melt periods of 2002–2004 have been simulated. Accuracy of simulated fields has showed that the developed technique is applicable on vast plain areas with rare ground based measurements.

Keywords: snow accumulation, snow melt, satellite data, snow covered area, snow water equivalent.