

# О ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВЫХ СЪЕМОК ИЗ КОСМОСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Г.А. Носенко <sup>2</sup>, Н.А. Долгих <sup>1</sup>, О.А. Носенко <sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт географии РАН  
109017 Москва, Старомонетный пер., 29*

Восстановление параметров снежного покрова (границ, высоты, водного эквивалента) с помощью данных пассивных микроволновых радиометров основано на изменениях яркостных температур, возникающих в результате появления снежного покрова на поверхности Земли. Радиометр измеряет значение температуры системы почва-снег-ландшафт-атмосфера, каждый элемент которой обладает временной и пространственной изменчивостью, поэтому любая теоретическая модель излучения работает корректно только в рамках определенных начальных и граничных условий. Решение этой проблемы в настоящий момент находится на этапе разработки условных регрессионных или в лучшем случае полуэмпирических моделей с ограниченной пространственной применимостью. Существующие алгоритмы, обеспечивающие приемлемую в глобальном масштабе точность восстановления характеристик снежного покрова (20-25%) – это исключительно регрессионные модели. Перевод этой задачи в практическую плоскость для регионального мониторинга водных ресурсов требует повышения точности.

Уменьшение яркостных температур при выпадении снега составляет несколько градусов (5-7°K) и не настолько велико, чтобы его можно было всегда однозначно выделить среди других изменений в излучении за счет атмосферы, температуры поверхности, растительности и других факторов. Увеличение высоты снежного покрова от 0 см до 50-60 см приводит к изменению яркостной температуры и разностей на 10-30°K. Поэтому идентификация присутствия снежного покрова, а тем более определения его параметров из космоса с учетом временной изменчивости подложки, атмосферы, растительности и самого снега в данной точке, а также с учетом площадной изменчивости всех этих характеристик в пределах пиксела превращается в комплексную задачу, которая в настоящий момент не имеет теоретического решения [2].

Влияние атмосферы проявляется сильнее на высоких частотах (около 5° K), и хотя оно меньше, чем влияние других факторов, но в некоторых случаях необходимо вносить поправки на состояние атмосферы в значения яркостных температур. Осадки могут существенно воздействовать на микроволновые характеристики земной поверхности. Как правило, во время прохождения фронтов территории с обильными снегопадами должны исключаться, поскольку могут давать отрицательные значения разности.

Микроволновая яркостная температура самого снежного покрова зависит от поглощения и рассеяния в нем. Изменения в рассеянии могут быть вызваны как увеличением объема снега, так и изменением его структуры за счет метаморфизма снежного покрова и укрупнения его частиц [4].

Мокрый снег проявляет такие же микроволновые свойства, что и поверхность, свободная от снега: высокий коэффициент излучения (>0,8) на всех частотах. В случае тающего снега даже небольшого количества жидкой воды (высота столбов жидкой воды  $\geq 0,001$  мм) достаточно, чтобы уменьшить глубину прохождения микроволновой радиации вследствие интенсивного поглощения. Поэтому характер излучения мокрого снега почти аналогичен излучению абсолютно черного тела, особенно на вертикальной поляризации, и определение водного эквивалента становится практически невозможным при положительных температурах воздуха.

Радиометр измеряет одно значение яркостной температуры для каждого пиксела. Однако на местности в пределах этой площадки чаще всего имеется несколько типов ландшафта, каждый из которых имеет свое, иногда противоположное влияние на суммарную характеристику излучения. В случае разнородной поверхностной композиции микроволновая яркостная температура, измеренная спутниковым радиометром - взвешенное среднее области яркостной температуры каждого поверхностного типа в пределах наблюдаемой области.

Леса представляют самую большую преграду в разработке устойчивого алгоритма восстановления водного эквивалента [1]. Влияние открытых поверхностей воды и замерзших озер должно быть также учтено. Открытым остается вопрос об учете температурных аномалий городских территорий и промышленных зон.

Задача интерпретации яркостной температуры, измеренной на борту, в виде высоты снежного покрова (D) или водного эквивалента (SWE) требует надежных и достоверных наземных данных. Изменчивость снежного покрова по территории и во времени такова, что значения водного эквивалента на одном и том же маршруте или высоты снежного покрова на одной и той же метеостанции в один и тот же день для разных лет может различаться в пять и более раз.

На Рис.1 проиллюстрирована изменчивость снежного покрова во времени, для чего приведены графики наземных измерений водного эквивалента и высоты снега для метеостанции Спас-Деменск. Выбран день 10 марта, который очень часто является базовым в прогностических оценках половодья. Видно, что если в 2002 г. в конце зимы снега в полях уже не было и водный эквивалент равен 0, то в 1968, 1970, 1982 и 1985 г.г. значение водного эквивалента в этот день превышало 100мм.



Рис. 1. Изменчивость высоты снега и водного эквивалента в поле для одной из метеостанций бассейна Оки в конце зимы

Маршрутная снегосъемка является единственным источником информации по водному эквиваленту. Дополнительным источником данных о снеге является высота снежного покрова, измеренная на метеоплощадках по неподвижной рейке. Эти данные менее достоверны, однако их больше, они более однородны и более доступны. Высота снежного покрова, измеренная по рейке, существенно отличается от значений, полученных на маршруте (Рис.2). Их достоинством является то, что измерения проводятся ежедневно и кажется, что их можно соотносить с ежедневными данными спутника. Недостатком является низкая точность и отсутствие данных о плотности и водном эквиваленте

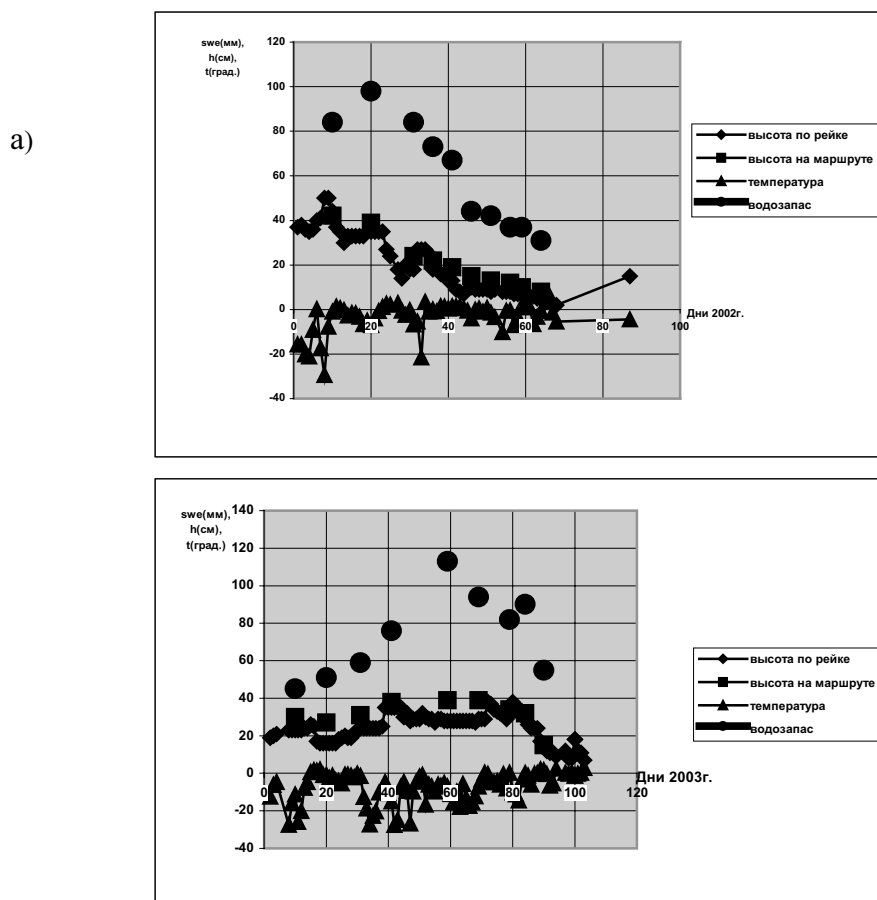


Рис. 2. Различия в наземной информации о снежном покрове, полученной по рейке и на маршруте для метеостанции Мосальск (а- 2002г., б -2003г.)

Далее встает вопрос о методике сравнения наземной информации и данных радиометра. Ниже для примера приведена карта бассейна Оки с метеостанциями и границы пикселей, соответствующие разрешению аппаратуры SSM/I (рис.3).

Из Рис.3 видно, что наземные данные некоторых метеостанций могут быть отнесены к нескольким пикселям одновременно (например, метеостанция 27704 находится между пикселями 32,33, 46,47).

В районе некоторых пикселей находится сразу несколько метеостанций (например, пиксели 47 и 77). В пикселе 77 три метеостанции (Орел, Болхов, Мценск) (Рис.4,5). Их географические координаты различаются незначительно, но высота и водный эквивалент весьма существенно. Например, 28 февраля 2001г. запас воды на метеостанции Мценск практически в 2 раза превышал запас в Болхове и более чем в 2 в Орле, в то время как в 2003г. на всех метеостанциях были примерно одинаковые значения водного эквивалента (Табл.1). Расстояние от центра пикселя до каждой из метеостанций практически одинаково, значит выбор репрезентативных метеоданных для валидации должен быть обоснован.

Таблица 1. Глубина покрова и запас воды на метеостанциях, данные которых могут соотноситься с данными радиометра для пикселя 77.

<i>Индекс</i>	<i>Год</i>	<i>Название</i>	<i>Дата</i>	<i>День года</i>	<i>Маршрут</i>	<i>Глубина см</i>	<i>Запас мм</i>
27809	2001	Болхов	28.02.01	59	поле	33	79
27817	2001	Мценск	28.02.01	59	поле	39	134
27906	2001	Орел	28.02.01	59	поле	26	62
27809	2002	Болхов	28.02.02	59	поле	5	38
27817	2002	Мценск	28.02.02	59	поле	19	63
27906	2002	Орел	28.02.02	59	поле	0	0
27809	2003	Болхов	28.02.03	59	поле	28	70
27817	2003	Мценск	28.02.03	59	поле	30	69
27906	2003	Орел	28.02.03	59	поле	27	62
27809	2004	Болхов	29.02.20	60	поле	19	70
27817	2004	Мценск	29.02.20	60	поле	29	93
27906	2004	Орел	29.02.20	60	поле	16	70

Как уже говорилось выше, изменение радиоярких температур в связи с ростом снежного покрова в течение зимы находится в интервале 10-30°K. Поэтому неправильный выбор метеостанции может привести к неправильной интерпретации яркостной температуры.

Базовый алгоритм AMSR-E в настоящий момент является наиболее реализованным при оценке водного эквивалента по дистанционным микроволновым данным [3]. На рис.6 приводятся результаты сравнения восстановленных с его помощью значений водного эквивалента с наземными данными для зимы 2003-2004 гг. В качестве примера выбрано несколько метеостанций с различными ландшафтными характеристиками в бассейне р.Оки (Жиздра и Мосальск - лес составляет 35-50%; Поньри и Орел - лес менее 10%).

Анализ карт водного эквивалента, построенных с помощью глобального базового алгоритма AMSR-E для зимы 2003/2004 гг. показал существенное (в 2 и более раз) превышение восстановленных значений по сравнению с наземными данными для территорий с площадью леса менее 10% бассейна р. Оки. Хотя для безлесных территорий восстановленные характеристики должны были быть гораздо ближе к наземным. Этот факт свидетельствует о необходимости дополнительных исследований и регионального подхода в интерпретации дистанционных данных.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что достижение точности восстановления высоты снежного покрова и водного эквивалента, пригодной для гидрологических задач, в рамках универсального глобального алгоритма для территории всей страны в настоящий момент невозможно из-за высокой пространственно-временной изменчивости снежного покрова и качества наземной информации. Одним из возможных решений является поиск регрессионных зависимостей, справедливых для достаточно однородных по климатическим нормам и ландшафтным условиям территорий. Дополнительное повышение точности может дать использование материалов космических съемок в видимом диапазоне и геоинформационных технологий для учета ландшафтных особенностей, а также оценка изменчивости снежного покрова в течение зимы в виде эмпирических локальных коэффициентов.

## Литература

1. *Armstrong R.L., Barry R.G., Krenke A.N., Kadomtseva T.G., Kitaev L.M.* Monitoring Snow Fluctuations in the Former Soviet Union Using Surface Station Data and Passive Microwave Remote Sensing. *Data of Glaciological Studies*, Pub. 81, 1997, P. 179-192.
2. *Grody N. C., Basist A. N.* Global Identification of Snowcover Using SSM/I Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 34, No. 1, January 1996, P. 237-249.
3. *Chang A. T. C., Rango A.* Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm. November 30, 2000 VERSION 3.1
4. *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, P. 230-242.

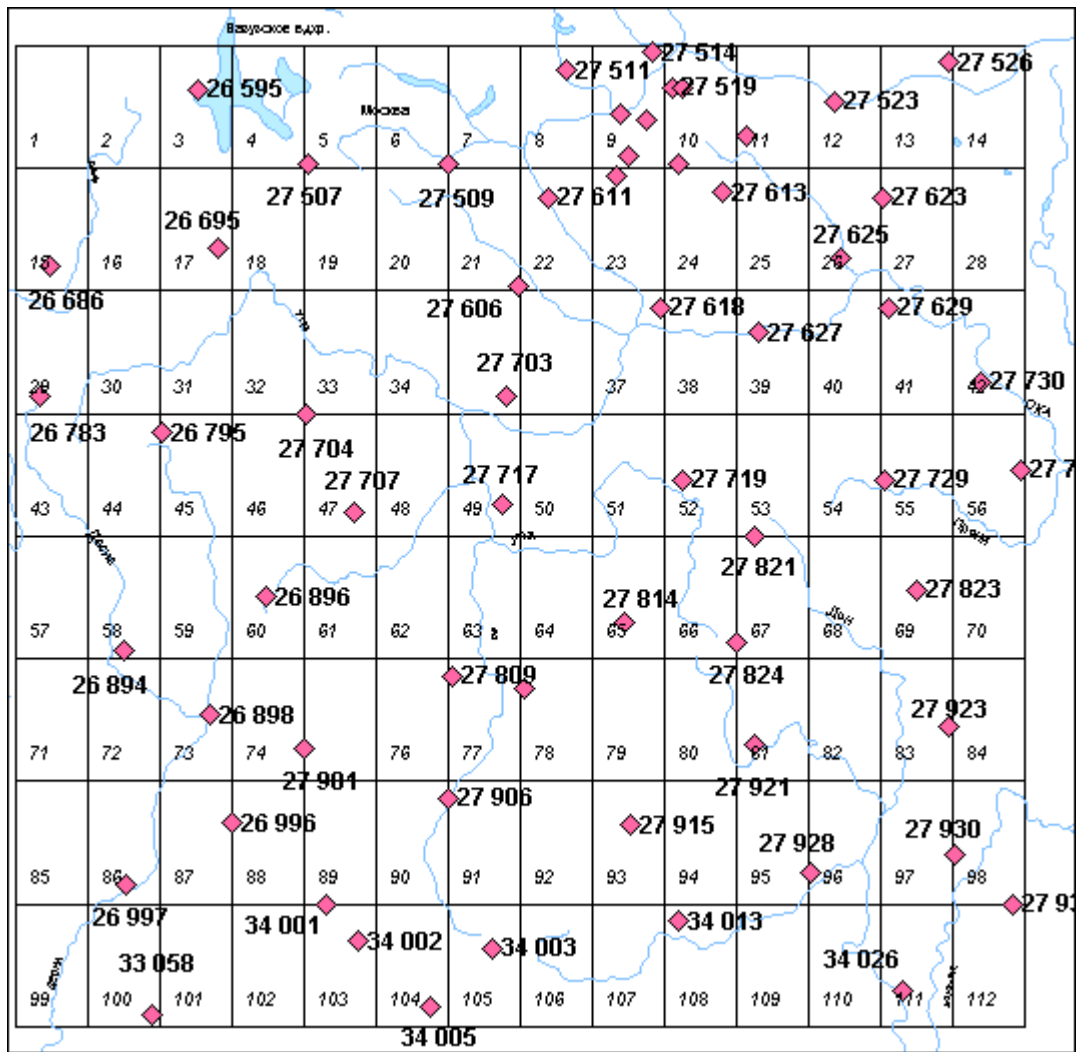


Рис. 3. Карта бассейна Оки с метеостанциями и границы пикселей для грубого разрешения SSM/I

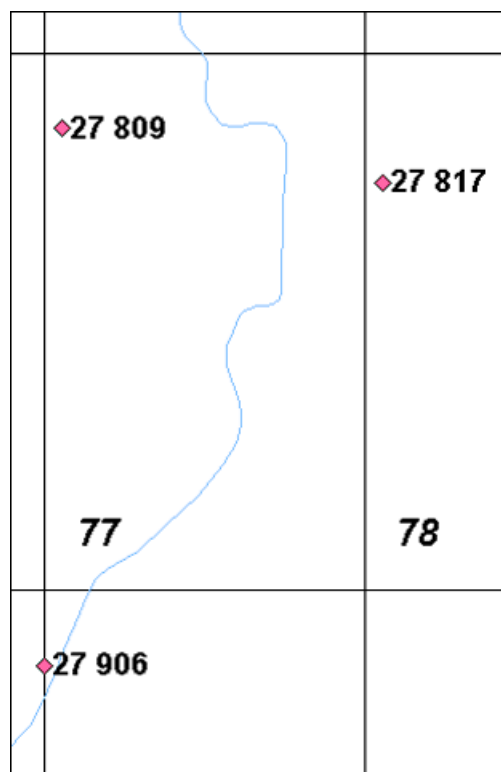
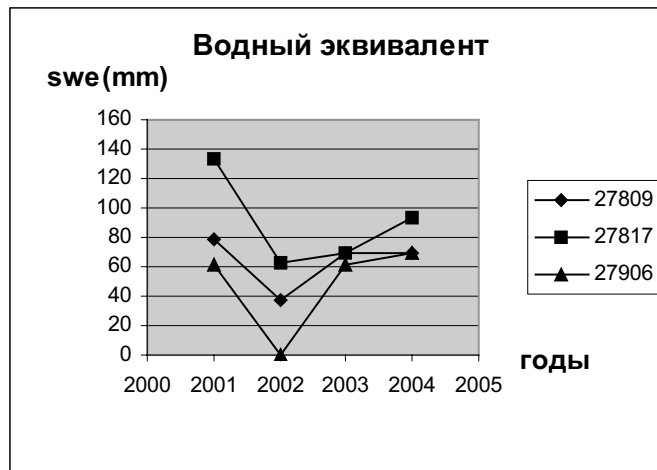


Рис. 4. Пиксел 77 (три метеостанции 27809-Болхов, 27817-Мценск, 27906-Орел)



a)



б)

Рис.5. Высота снежного покрова (а) и водный эквивалент (б) в пикселе 77 (метеостанции 27809, 27817, 27906)

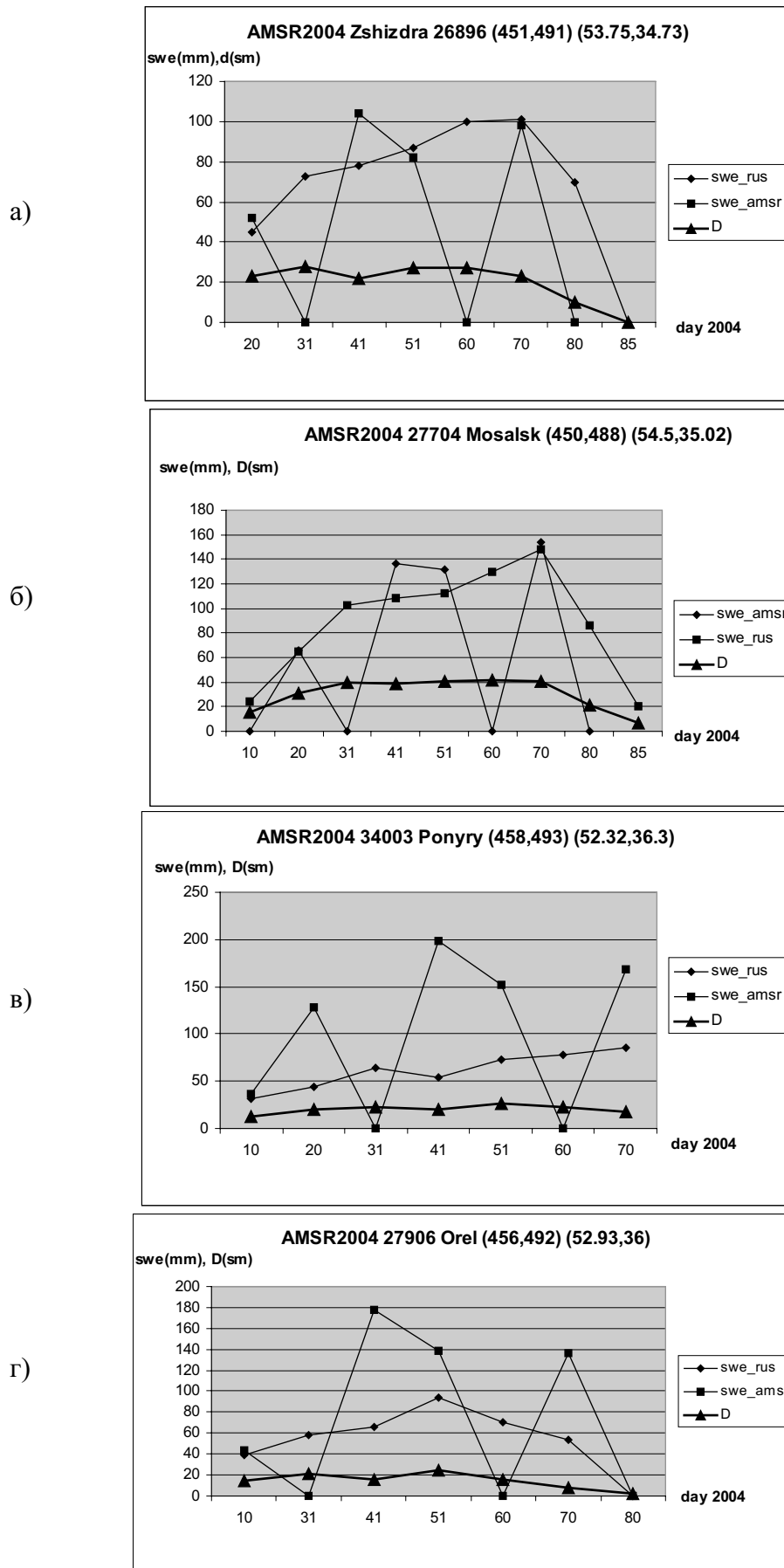


Рис. 6. Наземные данные водного эквивалента и высоты снежного покрова за 2004 г. в сравнении с результатами восстановления водного эквивалента по базовому алгоритму AMSR (а, б – район метеостанций Жиздра и Мосальск ; в, г – район метеостанции Поньры и Орел)