

Использование спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности и снежного покрова при моделировании составляющих водного и теплового балансов обширных территорий сельскохозяйственного назначения

Е.Л. Музылев¹, А.Б. Успенский², З.П. Старцева¹, А.Н. Гельфан¹,
С.А. Успенский², М.В. Александрович¹

¹ *Институт водных проблем РАН*

119333, Москва, ул. Губкина, 3. E-mail: muzylev@aqua.laser.ru

² *Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
123242, Москва, Б.Предтеченский пер., 7. E-mail: uspensky@planet.iitp.ru*

Разработаны процедуры использования полей спутниковых оценок характеристик растительного и снежного покровов, а также температуры подстилающей поверхности (ТПП) в моделях вертикального влаго- и теплопереноса в системе «почва-растительность/снежный покров-атмосфера» (SVAT и SSNAT), предназначенных для расчета составляющих водного и теплового балансов, температур почвы и снега. Упомянутые спутниковые оценки получены с помощью разработанных методов тематической обработки данных измерений радиометров AVHRR/NOAA, MODIS/EOS Terra и Aqua, AMSR-E/EOS Aqua и SEVIRI/Meteosat-9. Представлены результаты моделирования вертикальных потоков тепла и влаги, влаго- и теплосодержания почвы и снежного покрова, ТПП и температур почвы для участка территории Центрально-Черноземной зоны Европейской части России площадью 227300 км² для сезонов вегетации 2003–2010 гг.

Ключевые слова: моделирование составляющих водного и теплового балансов, спутниковые данные, подстилающая поверхность, пространственная изменчивость характеристик растительности и снежного покрова.

Введение

В данной статье представлены результаты работы, первая часть которой изложена в статье (Гельфан и др., 2012) настоящего сборника. Целями работы являлись: 1) разработка версий физико-математических моделей SVAT (Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer) и SSNAT (Soil-SNow-Atmosphere-Transfer) – основных компонент модели RSBLSM (Remote Sensing Based Land Surface Model), соответственно, для сезона вегетации и для зимне-весеннего периода, пригодных для использования спутниковых оценок характеристик растительности, снежного покрова и метеохарактеристик; 2) разработка способов учета в моделях пространственной изменчивости всех этих характеристик; 3) проведение численных экспериментов с адаптированными к спутниковым данным моделями и оценка с их помощью составляющих водного и теплового балансов территорий регионального масштаба для всех сезонов года. Данные цели определили основные задачи этой части работы: 1) разработку процедур использования в качестве параметров или входных переменных моделей SVAT и SSNAT спутниковых оценок характеристик растительного и снежного покровов и метеозлементов с учетом пространственной неоднородности полей этих оценок и определяемых по данным наземных наблюдений значений метеорологических характеристик; 2) расчет с помощью данных моделей значений составляющих водного и теплового балансов за сезоны вегетации и зимне-весенние периоды 2003–2010 гг. для участка территории Центрально-Черноземной зоны Европейской части России площадью 227300 км² (49°30′–54° с.ш., 31–43° в.д.). На исследуемой территории находятся 48 агрометеостанций, данные наблюдений на которых использовались при расчетах. Отдельные блоки моделей и ряд расчетных процедур отлаживались для участков площадью 23500 и 52800 км², являющихся частью рассматриваемой территории. Оценки характеристик подстилающей поверхности для летних и зимних условий были построены по данным измерений радиометров AVHRR/NOAA, MODIS/EOS Terra и Aqua, AMSR-E/EOS Aqua и SEVIRI/Meteosat-9 с помощью разработанных технологий их тематической обработки и анализа, описанных в работе (Гельфан и др., 2012).

Краткое описание модели RSBLSM

Физико-математическая модель RSBLSM, являющаяся объединением моделей SVAT и SSNAT, предназначена для расчета запасов влаги в почве, испарения с голой почвы и транспирации растительности, высоты, плотности, льдистости, влажности и водоотдачи снежного покрова в периоды его формирования и таяния, вертикальных потоков скрытого и явного тепла у поверхности почвы, растительности и снежного покрова, распределения влажности и температуры почвы по глубине, а также температур поверхности листьев T_f и почвы T_g , радиационной температуры подстилающей поверхности (ТПП) T_s и температуры поверхности снега. Структура модели, основные уравнения, используемые для описания процессов вертикального влаго- и теплопереноса в системе почва-растительность/снежный покров-атмосфера, методы задания параметров и результаты проверок модели в целом и ее отдельных блоков освещены в работах (Музылев и др., 2002, 2005, 2010a; Kuchment, Gelfan, 1996; Gelfan et al., 2004). Верификация модели производилась путем сравнения вычисленных и измеренных значений влагозапасов метрового слоя почвы и суммарного испарения, рассчитанных и фактических вертикальных профилей влажности и температуры почвы и значений температуры ее поверхности, высоты снежного покрова и снегозапасов для агрометеорологических станций, расположенных на исследуемой территории. Также для ряда агрометеорологических станций, отдельных узлов вычислительной сетки модели и всей исследуемой территории проводилось сопоставление рассчитанных по модели значений температур T_f и T_s с их спутниковыми аналогами T_a и $T_{s,eff}$ (обозначения см. ниже) и определенных с помощью модели и по спутниковым данным значений покрытости территории снегом в период снеготаяния.

Разработка способов использования в модели спутниковых оценок характеристик подстилающей поверхности с учетом их пространственной изменчивости

Реализация модели с использованием спутниковой информации производилась при наложении на исследуемую территорию вычислительной сетки с ячейкой 3x3 пиксела радиометра AVHRR (~7x5 км²), в узлах которой с помощью модели рассчитывались значения T_g , T_f и T_s , суммарного испарения E_v , влагосодержания почвы W и других составляющих водного и теплового балансов. При расчете полей снежного покрова использовалась вычислительная сетка с ячейкой величиной в 1 пиксел радиометра MODIS. Размеры пиксела для ИК каналов радиометра AVHRR составляют 1' по широте и 1.5' по долготе, разрешение для аналогичных каналов MODIS равно 1 и 4.8 км, а для таких же каналов SEVIRI – 0.05° по широте и 0.06° по долготе – совмещение данных сеток производилось с помощью специально разработанных программ. Также для узлов сетки по данным AVHRR при безоблачной атмосфере выполнялись оценки значений температуры поверхности почвы T_{sg} и воздуха на границе с растительностью T_a , излучательной способности поверхности E и ее эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ (средневзвешенной температур T_a и T_{sg}), индекса вегетации NDVI, листового индекса LAI, проективного покрытия растительностью B , по данным MODIS – оценки ТПП T_{ls} и LAI, по данным SEVIRI – оценки T_{ls} . Сопоставление модельных и спутниковых оценок ТПП производилось для AVHRR и MODIS для полностью или частично безоблачных дней каждого из сезонов вегетации 2003–2010 гг., а для SEVIRI – по трехчасовым интервалам для нескольких безоблачных периодов сезонов вегетации 2009–2011 гг. Примеры распределения значений разности ТПП(AVHRR)-ТПП(MODEL) приведены на рис.1а, а значений ТПП(SEVIRI)-ТПП(MODEL) – на рис.1б. Аналогичные распределения были построены и для разности $T_{ls}(MODIS) - T_{ls}(MODEL)$. Для большинства сроков каждого из рассматривавшихся сезонов вегетации разности значений $T_{s,eff} - T_s$, $(T_{ls} - T_s)$, $T_a - T_f$

не превышали величин погрешностей определения $T_{s,eff}$ и T_a по данным AVHRR. Значения среднеквадратического отклонения (СКО) оценок температур по данным AVHRR от результатов наземных измерений для сезонов 2009–2010 гг. составили для T_{sa} $-2.1-2.9^\circ\text{C}$, для $T_{s,eff}$ $-2.6-3.9^\circ\text{C}$, а величины модуля разности оценок T_{ls} (MODIS) и $T_{s,eff}$ (AVHRR) лежали в диапазоне $2.5-3.5^\circ\text{C}$. Аналогичные значения СКО для оценок T_{ls} (SEVIRI) для 2009–2011 гг. не превышали 2.5°C (Гельфан и др., 2012). Наибольшие расхождения спутниковых и наземных оценок за отдельные сроки отмечались в жаркие летние дни, они могли быть обусловлены локальным перегревом поверхности (разности температур второй половины дня и утра достигали $35-45^\circ\text{C}$), несовпадением моментов времени спутниковых и наземных измерений, а также естественной генерализацией спутниковых данных.

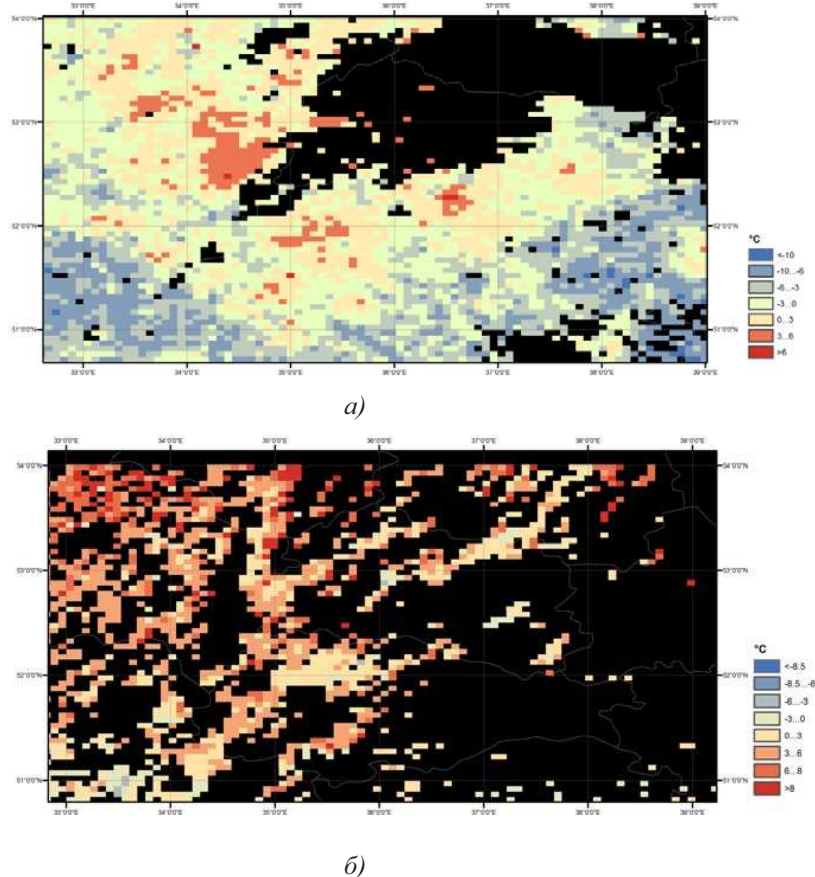


Рис. 1. Распределение разности температур подстилающей поверхности $\Delta T = T_{s,eff}(AVHRR) - T_s(MODEL)$ (а) и $\Delta T = T_{s,eff}(SEVIRI) - T_s(MODEL)$ (б) для территории Центрально-Черноземного региона Европейской части России площадью 227300 км^2 с пространственным разрешением $\sim 5 \text{ км}$ на 12 ч. местного времени 28 июля 2010 г.

При разработке способов использования в моделях SVAT и SSNAT спутниковых данных: 1) подтверждена корректность замены являющихся параметрами модели SVAT значений LAI и В, полученных при обработке данных наблюдений на агрометеостанциях, на их спутниковые оценки; 2) произведен ввод в данную модель спутниковых оценок ТПП в качестве переменной при согласовании моментов времени спутниковых (AVHRR и MODIS) и наземных наблюдений или при использовании данных SEVIRI с высокой частотой измерений при их относительной непрерывности; 3) разработаны процедуры использования в модели SVAT распределений по площади исследуемой территории спутниковых оценок LAI, В, ТПП и оценок интенсивности осадков, температуры и влажности воздуха, построенных с помощью интерполяционных методов по данным наземных наблюдений, путем ввода их значений в каждом узле вычислительной сетки; 4) разработаны процедуры использования в модели SSNAT спутниковых оценок запасов воды в снежном покрове (SWE) по данным

радиометра AMSR-E (в качестве начальных условий при расчете снегонакопления) и покрытости территории снегом (SCA) по данным радиометра MODIS (для уточнения расчетной динамики снеготаяния). Реализация всех описанных процедур представляет собой адаптацию модели к спутниковым оценкам LAI, B, ТПП, SWE и SCA, построенным по данным AVHRR, MODIS, AMSR-E и SEVIRI, для расчета составляющих водного и теплового балансов исследуемой территории и ее частей для летних и зимних сезонов.

Замена значений параметров затенения LAI и B, задаваемых по данным наземных наблюдений, на их спутниковые оценки определялась требованиями сохранения точности расчета балансов при переходе от агрометеостанций к территориям больших размеров, зависящей, в свою очередь, от адекватности оценки этих параметров, характеризующихся существенной пространственной и временной изменчивостью. Выбор LAI и B среди разных параметров растительности и почв определялся существенным влиянием этих величин на суммарное испарение E_v и ТПП T_s и возможностью построения их пространственных распределений по спутниковым данным. Допустимость замены наземных оценок LAI и B на спутниковые проверялась напрямую – по результатам сопоставления временных ходов LAI за сезон вегетации, построенных по данным наземных измерений и данным AVHRR и MODIS, а также косвенно – путем сравнения модельных оценок T_f и T_s с их спутниковыми аналогами T_a и $T_{s,eff}$ (T_{ls}). Временной ход LAI строился по наземным данным с использованием эмпирических зависимостей LAI для разных культур от высоты растений, измерявшейся в ходе стандартных наблюдений за фазами их развития на агрометеостанциях (Бусарова, Шумова, 1987). Для оценки LAI по данным AVHRR использовались его эмпирические зависимости от индекса вегетации NDVI: $LAI = NDVI \cdot 1.71 + 0.48$ для травянистой растительности (Biospheric Aspects, 1993), $LAI = -2.5 \cdot \ln(1.2 - 2 \cdot NDVI)$ (Biftu, Gan, 2001) для сельскохозяйственных культур. Здесь $NDVI = (A_2 - A_1) / (A_2 + A_1)$, где A_1 и A_2 – значения альбедо, полученные по измерениям AVHRR в 1-м и 2-м каналах. Оценки LAI по данным MODIS были загружены с веб-сайта LP DAAC (NASA) и подвергнуты специальной обработке. Поскольку оценки LAI, построенные по данным разных спутников, отличаются масштабами временного осреднения (по интервалам в 8 суток у MODIS и мгновенных у AVHRR), алгоритмами расчетов, генерализацией, для нескольких агрометеостанций было произведено сравнение временных ходов LAI(AVHRR) для зерновых и травяных культур и LAI(MODIS) за рассматриваемые сезоны вегетации (рис. 2) и их пространственных распределений на разные даты этих сезонов. Результаты сравнения показывают, что для большинства дат разности оценок LAI по данным разных спутников не превышают разброса его значений, обусловленного подточной неоднородностью. Оценки проективного покрытия B строились по данным AVHRR с использованием эмпирических зависимостей $B = (NDVI - NDVI_g) / (NDVI_v - NDVI_g)$, где NDVI, $NDVI_g$, $NDVI_v$ – вегетационный индекс для трех видов пикселей – рассматриваемого, без растительности и покрытого растительностью (Valor, Caselles, 1996) либо по формуле $B = 1 - \exp(-k \cdot LAI)$ с привлечением наземных или спутниковых (AVHRR или MODIS) оценок LAI. Здесь k – эмпирический коэффициент, значение которого ($k=0.40$) было подобрано при сравнении разных вариантов временного хода LAI, построенного по спутниковым или наземным данным. Сопоставление модельных оценок температур T_f и T_s с их спутниковыми аналогами T_a и $T_{s,eff}$ (T_{ls}) для рассматривавшихся сезонов вегетации, производившееся для нескольких агрометеостанций и ряда узлов вычислительной сетки модели, показало при оценках LAI и B по наземным данным небольшие расхождения оценок T_a и $T_{s,eff}$ (T_{ls}), соответственно, с T_f и T_s , не превышавшие величин погрешности определения T_a (AVHRR) и $T_{s,eff}$ практически для всех случаев сравнения за исключением периодов скашивания травяных культур и дней, характеризовавшихся местными перегревами поверхности почвы, и выявило большее по сравнению с предыдущим количество расхождений $T_{s,eff}$ (T_{ls}) и T_s при использовании оценок LAI и B по данным AVHRR и MODIS. Последнее может быть обусловлено разной степенью генерализации спутниковых и наземных данных и несовпадением момен-

тов времени их получения. При сравнении T_{ls} (MODIS) с $T_{s,eff}$ (AVHRR) и T_s расхождения их значений также оказались в допустимых пределах. Не выявило значимых различий и сравнение измеренных и рассчитанных при разных вариантах задания LAI и В величин влагозапасов почвы и суммарного испарения. Все описанные результаты позволяют считать модель SVAT пригодной для использования в качестве параметров полученных по данным разных спутников оценок LAI и В.

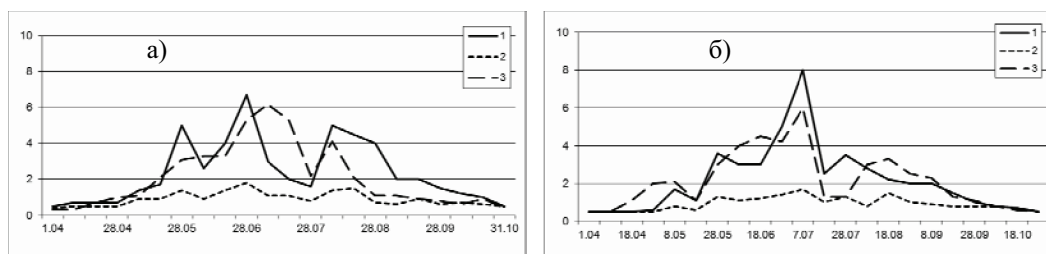


Рис.2. Оценки LAI для агрометеостанций Нижнедевицк (а) и Поньри (б), построенные по данным AVHRR для зерновых (1) и травяных (2) культур и по данным MODIS (3) за отдельные сроки сезона вегетации 2009 г.

Одним из способов использования в модели SVAT спутниковых данных является замена при расчетах вертикальных потоков влаги и тепла наземных оценок ТПП на спутниковые на каждом временном шаге. В работах (Музылев и др., 2010а, 2010б) показана эффективность такой замены при совпадении или близости моментов времени спутниковых (AVHRR или MODIS) и наземных измерений. При их разновременности расхождения оценок температур благодаря ее внутрисуточному ходу могут заметно превышать допустимые пределы, что, в свою очередь, может привести к значительным ошибкам в оценках составляющих водного и теплового балансов. Сказанное относится к данным AVHRR/NOAA и MODIS/EOS Terra и Aqua, получаемым четырежды и дважды в день (при отсутствии облачности). Использование оценок ТПП по данным SEVIRI/Meteosat-9, получаемым каждые 15 минут и осредняемым по трехчасовым интервалам, снимает описанные затруднения, позволяя производить расчеты по модели с требуемым временным шагом. Для их проведения необходимо формировать ряд непрерывных измерений максимально большой продолжительности. Существенная проблема здесь (особенно для обширной территории) – невозможность построить длинные ряды из-за наличия облачности. Пример сравнения T_{ls} (SEVIRI) с ТПП, рассчитанной по модели по данным срочных трехчасовых наземных наблюдений, и измеренной на агрометеостанциях температурой воздуха представлен на рис. 3. Данные результаты подтверждают приемлемость описанного подхода.

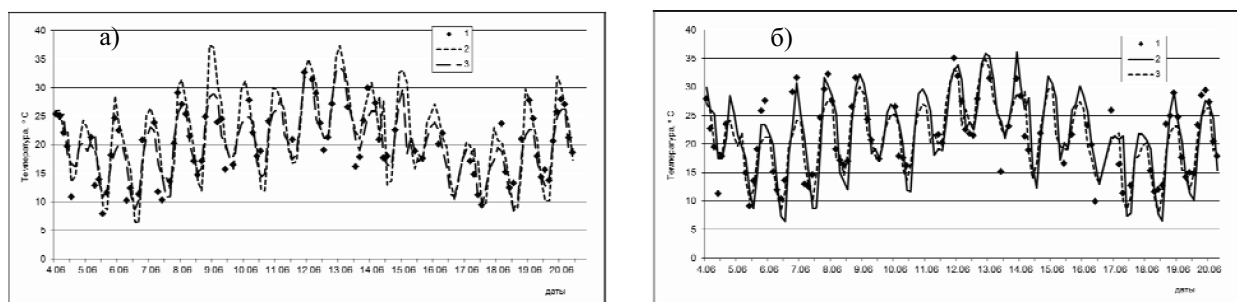


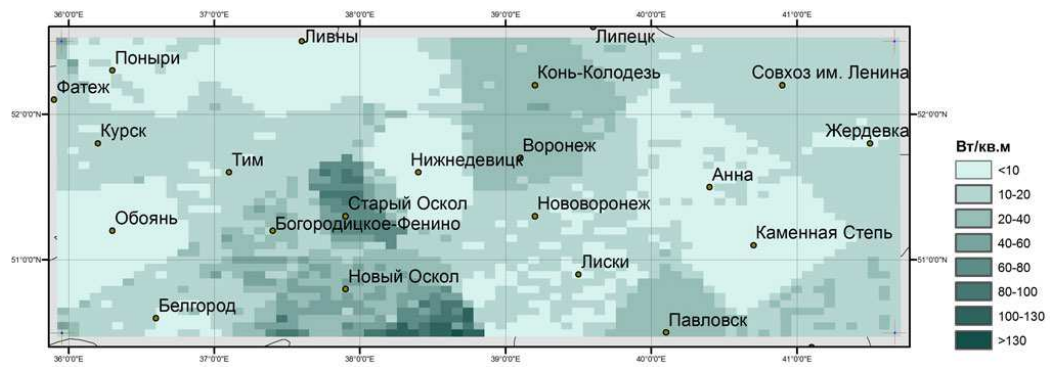
Рис. 3. Температура подстилающей поверхности T_{ls} , определенная по данным SEVIRI/Meteosat-9 (1) и рассчитанная по модели по данным срочных трехчасовых наземных наблюдений (2) на воднобалансовой станции Нижнедевицк (а) и агрометеостанции Анна (б). (3) – измеренная температура воздуха. 04-22.06.2010

Для учета пространственной изменчивости LAI, В и ТПП при расчетах составляющих балансов были разработаны алгоритмы ввода в модель SVAT в узлах ее вычислительной сетки оценок LAI и В, построенных по спутниковой информации AVHRR и MODIS, и значений ТПП, определенных по данным AVHRR, MODIS и SEVIRI. Примеры распределений по площади исследуемого региона значений LAI и В, полученных по данным AVHRR, на одну из дат сезона вегетации 2010 г. приведены на рис. 2 работы (Гельфан и др., 2012). В узлах сетки с помощью интерполяционных процедур при использовании данных стандартных метеонаблюдений рассчитывались также значения интенсивности осадков, температуры и влажности воздуха. Аналогично путем интерполяции данных измерений на агрометеостанциях строились пространственные распределения ТПП при отсутствии в каких-нибудь узлах сетки ее спутниковых оценок (подобные случаи достаточно часты из-за наличия облачности). Успешность использования модели и точность получаемых с ее помощью результатов при таком подходе зависит от возможности построения регулярных спутниковых оценок названных характеристик, являющихся параметрами и входными переменными модели.

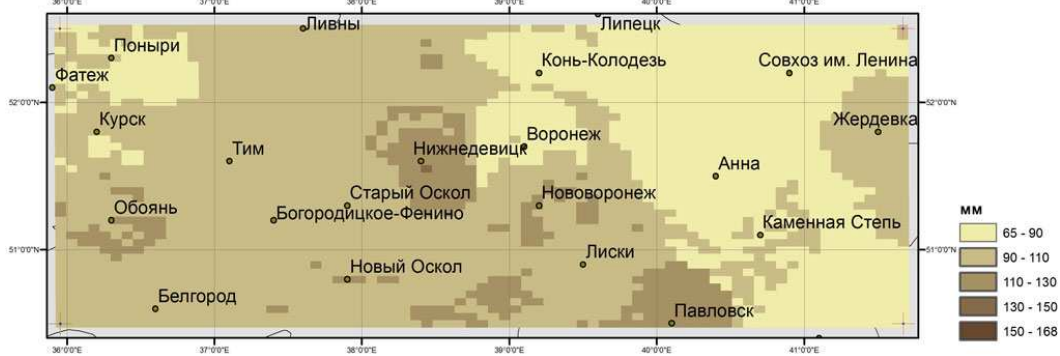
Спутниковые данные о характеристиках снежного покрова, использованные в данной работе, включали оценки запаса воды в снеге по данным радиометра AMSR-E и покрытости территории снегом по данным радиометра MODIS (см. работу (Гельфан и др., 2012)). Эти оценки включались в модель SSNAT в качестве дополнительной информации для уточнения расчета пространственного распределения характеристик снежного покрова и снеготаяния, водного и теплового режимов почвы в зимне-весенние сезоны 2002–2004, 2009–2010 гг. Точность оценок запаса воды в снеге по данным радиометрических измерений заметно выше для сухого холодного снега, чем в период снеготаяния при насыщении влагой снежного покрова талой водой и замерзании этой воды в снеге, поэтому расчеты по модели начинались с середины января, когда вся территория покрыта снегом, и сравнительно надежные в этот период спутниковые оценки снеготаяния использовались нами для задания начальных условий. Последующее накопление снежного покрова до начала снеготаяния и промерзание почвы моделировались в каждом пикселе расчетной сетки с использованием интерполированных данных наблюдений на метеорологических станциях. При имеющемся количестве станций ошибки интерполяции довольно велики, что может снизить качество моделирования динамики снежного покрова, особенно при его таянии, играющем важную роль в формировании водного баланса территории. Для уточнения результатов моделирования в период снеготаяния и дополнительной настройки модели была разработана процедура усвоения ею спутниковых данных о покрытости территории снегом. Применение разработанной процедуры позволило с удовлетворительной точностью воспроизвести пространственное распределение заснеженных площадей в их динамике в период снеготаяния.

Оценка составляющих водного и теплового балансов для обширного сельскохозяйственного региона Центральной части России

Итоговым результатом реализации модели SVAT, адаптированной к спутниковым оценкам характеристик подстилающей поверхности и метеохарактеристик, является проведение с ее помощью расчетов составляющих водного и теплового балансов как в точке, так и в виде их распределений по площади исследуемой территории при определении значений LAI, В и ТПП по данным радиометров AVHRR, MODIS и SEVIRI для названных сезонов вегетации. Полученные результаты представляют собой оценки суммарного испарения E_v , влагосодержания почвы W , инфильтрации воды в почву, потока влаги из ее верхнего метрового слоя в нижележащие слои, потоков скрытого LE и явного тепла, теплосодержания почвы. Примеры распределения величин LE и W по территории части ЦЧР площадью 52800 км² для одного из дней сезона вегетации 2010 г. приведены на рис. 4а, б. Точность оценок E_v и W проверялась



а)



б)

Рис. 4. Поток скрытого тепла ($Вт/м^2$) (а) и влагосодержание почвы (мм слоя) (б), рассчитанные по модели с использованием полученных по данным AVHRR распределений LAI, В и температуры подстилающей поверхности по территории части ЦЧР площадью 52800 км² для 28.07.2010 г.

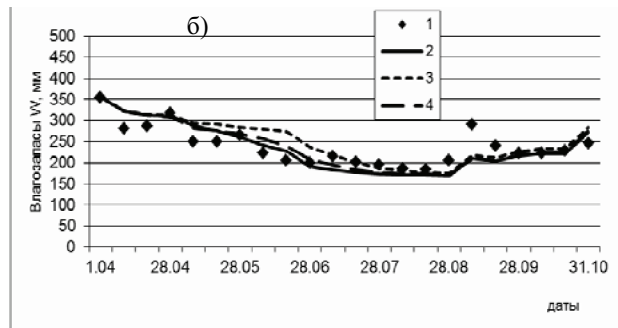
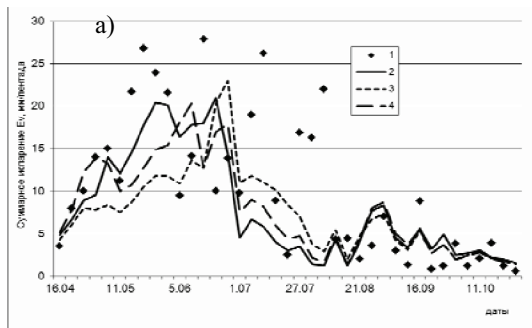


Рис. 5. Значения суммарного испарения E_v (в мм/пентада) (а) и влагозапасов почвы W (в мм слоя) (б), измеренных на участке с многолетними травами на воднобалансовой станции Нижнедевицк (1) и рассчитанных по модели при оценках LAI по данным AVHRR/3 для зерновых (2) и травяных (3) культур и по данным MODIS (4) для сезона вегетации 2010 г.

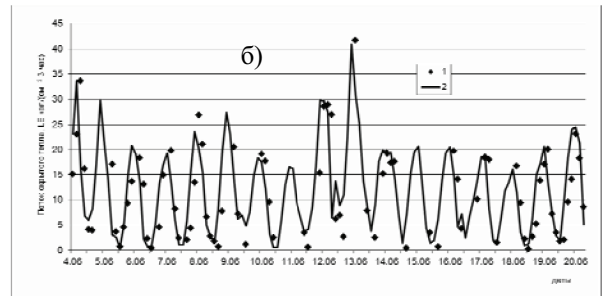
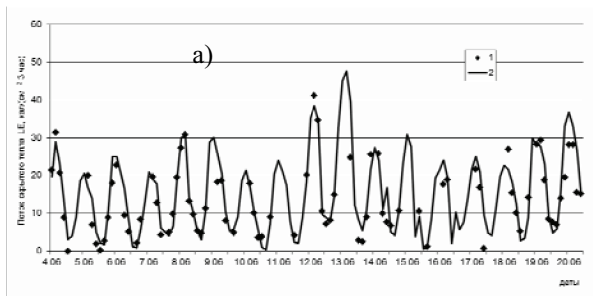


Рис. 6. Рассчитанные по модели с трехчасовым шагом по времени величины потока скрытого тепла за период 04-20.06.2010 для воднобалансовой станции Нижнедевицк (а) и агрометеостанции Анна (б) при использовании оценок температур подстилающей поверхности, построенных по данным SEVIRI/Meteosat-9 (1) и данным срочных трехчасовых наземных наблюдений (2)

при сопоставлении с результатами измерений на агрометеостанциях, а также косвенно – путем сравнения их значений, полученных при расчетах для разных вариантов задания LAI, В и ТПП по данным упомянутых сенсоров. На рис. 5а,б представлены результаты этих сравнений за сезон вегетации 2010 г. для расчетов с использованием данных AVHRR и MODIS, а на рис. 6а,б – за семнадцатидневный период этого же года для расчетов по данным SEVIRI (для двух станций). На рис. 7а,б представлены распределения по территории части ЦЧР потока скрытого тепла LE, рассчитанного с использованием оценок ТПП по наземным данным, и разность этого потока с рассчитанным при использовании данных SEVIRI (Как видно из рисунка, привлечение данных SEVIRI для части территории невозможно из-за наличия облаков). Погрешность значений Ev как для трехчасовых интервалов, так для суток и пентад для всех вариантов расчетов не превышала стандартной ошибки его оценки (~ 20–25 %). При этом отдельные выбросы могут получаться, например, за счет резкого увеличения транспирации после локальных выпадений осадков большой интенсивности, местных перегревов ПП в послеполуденные часы, которые не всегда фиксируются моделью, погрешностей оценок LAI, неточностей оценки ТПП. Ошибки оценки величин W для разных вариантов расчетов находились в пределах 10–15 %, что также является вполне приемлемым результатом.

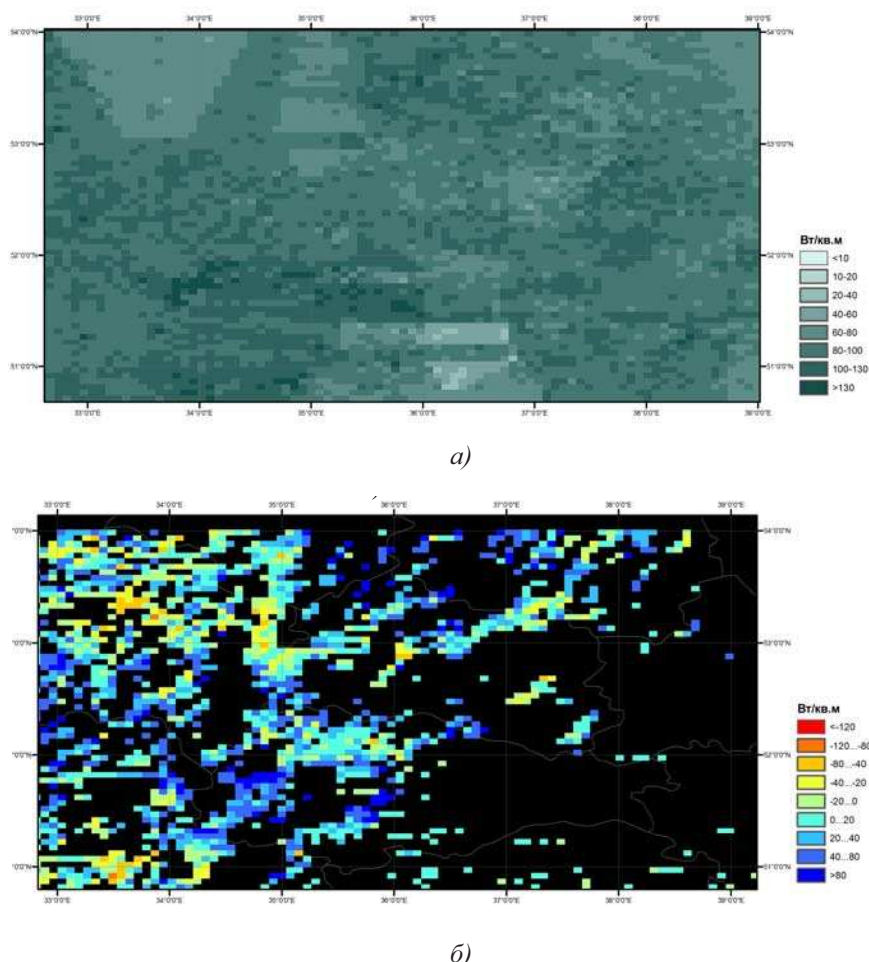


Рис. 7. Поток скрытого тепла ($Вт/м^2$)), рассчитанный по модели с использованием оценок температуры подстилающей поверхности по наземным данным (а) и его разность с потоком, рассчитанным с использованием оценок температуры по данным SEVIRI (б) для территории Центрально-Черноземного региона Европейской части России на 12 ч. местного времени 28 июля 2010 г.

Пространственное распределение запаса воды в снежном покрове – важнейшей составляющей водного баланса территории в холодный сезон года – описывалось с помощью модели SSNAT с использованием разработанной процедуры усвоения спутниковых данных,

изложенной в предыдущем разделе. На рис. 8 в качестве иллюстрации возможностей модели представлены карты снегозапасов, рассчитанных для разных дат зимне-весеннего сезона 2009 г. Среднеквадратические погрешности расчета снегозапасов для участков территории, тяготеющих к метеорологическим станциям, составили в среднем 11 мм, что позволяет сделать вывод о возможности использования разработанной модели для воспроизведения пространственных полей запасов воды в снежном покрове.

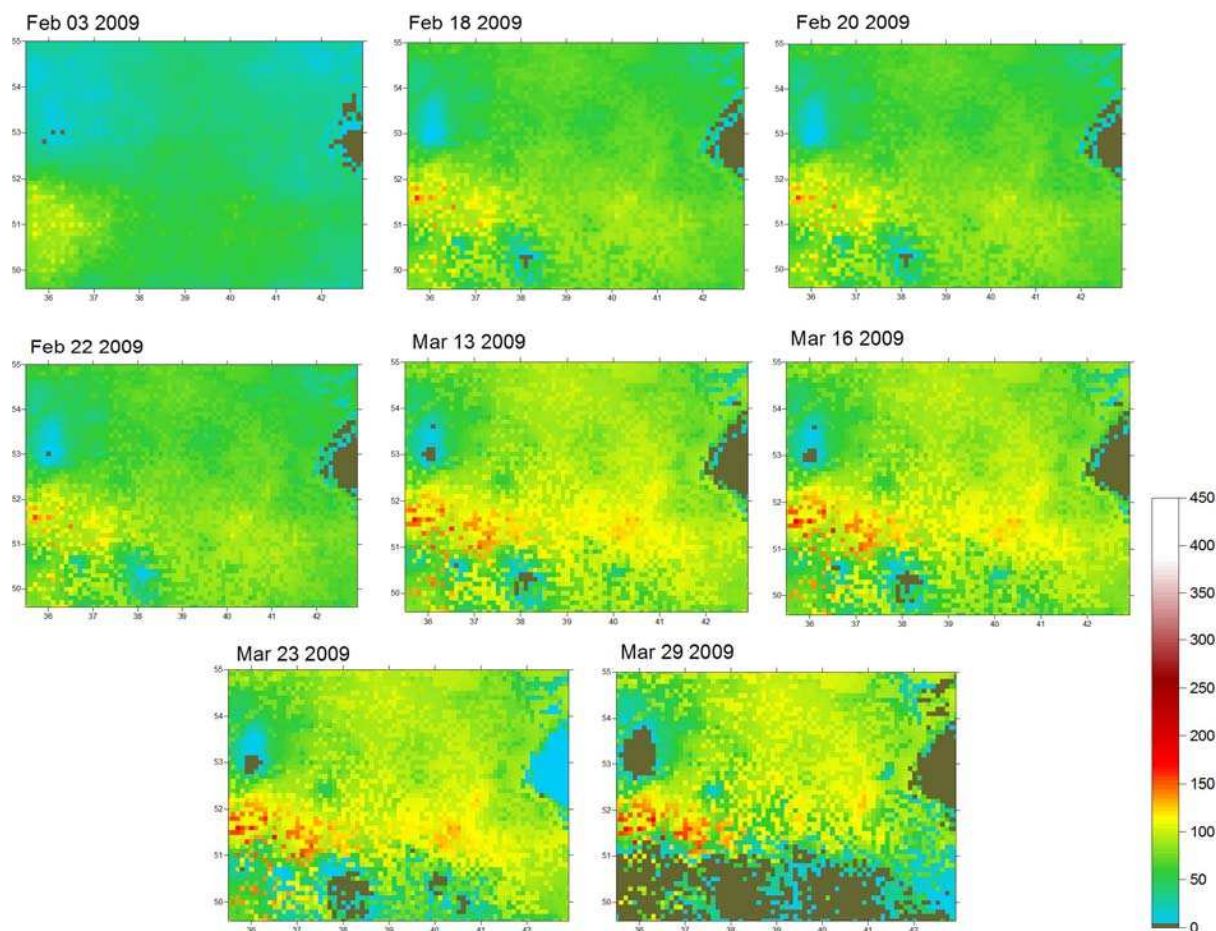


Рис. 8. Распределение рассчитанного запаса воды в снежном покрове на исследуемой территории для периода снеготаяния 2009 г.

Заключение

Основные результаты настоящей работы заключаются в следующем:

1. Разработаны процедуры использования в моделях SVAT и SSNAT оценок характеристик подстилающей поверхности, в том числе снежного покрова, построенных с помощью созданных технологий тематической обработки данных разных ИСЗ, при учете пространственной неоднородности полей этих оценок и значений метеорологических характеристик, определяемых по данным наземных наблюдений. Таким образом, разработаны адаптированные к спутниковым данным физико-математические модели влаго- и теплообмена подстилающей поверхности с атмосферой, предназначенные для расчета составляющих водного и теплового балансов обширных территорий.

2. Показаны возможности оценки с помощью разработанных процедур составляющих водного и теплового балансов за восемь летних и зимних сезонов для части территории Центрально-Черноземного региона Европейской России.

Авторы выражают благодарность В.И. Соловьеву, Е.В. Волковой и А.В. Кухарскому за разработку программного обеспечения и проведение тематической обработки спутниковых данных.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант № 10-05-00807.

Литература

1. Бусарова О.Е., Шумова Н.А. Биометрические характеристики посевов некоторых сельскохозяйственных культур и их использование для расчетов испарения // Водные ресурсы. 1987. № 2. С.130–135.
2. Гельфан А.Н., Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П., Успенский С.А., Романов П.Ю. Модель взаимодействия поверхности суши с атмосферой, ориентированная на использование спутниковой информации: разработка и применение для оценки внутригодовой изменчивости составляющих водного и теплового балансов обширных территорий. 2012 (в настоящем сборнике).
3. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П., Волкова Е.В. Моделирование гидрологического цикла речных водосборов с использованием синхронной спутниковой информации высокого разрешения // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С.68–82.
4. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Волкова Е.В., Старцева З.П. Использование спутниковой информации при моделировании вертикального тепло- и влагопереноса для речных водосборов // Исследование Земли из космоса. 2005. № 4. С.35–44.
5. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П., Волкова Е.В., Кухарский А.В. Моделирование составляющих водного и теплового балансов для речного водосбора с использованием спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология. 2010а. № 3. С.118–133.
6. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П., Волкова Е.В., Кухарский А.В. Моделирование вертикальных потоков влаги и тепла с поверхности речного водосбора с использованием оценок характеристик подстилающей поверхности по спутниковым данным. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2010б. Т.7. № 3. С.254–263.
7. Biftu G.F., Gan T.Y. Semi-distributed, physically based, hydrologic modeling of the Paddle River basin, Alberta, using remotely sensed data // Journal of Hydrology. 2001. V.244. P.137–156.
8. *Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle (BAHS)*. Report № 27. Ed. by BAHC Core Project Office // Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, Germany. 1993. 103 p.
9. Gelfan A.N., Pomeroy J.W., Kuchment L.S. Modelling forest cover influences on snow accumulation, sublimation, and melt. // J. Hydrometeorology. 2004. V.5. №5. P.785–803.
10. Kuchment L. S., Gelfan A.N. The determination of the snowmelt rate and the meltwater outflow from a snowpack for modeling river runoff generation // Journal of Hydrology. 1996. V.179. P.23–36.
11. Valor E., Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American areas // Remote Sensing of Environment. 1996. V.57. P.167–184.

Utilization of satellite data on land surface and snow cover characteristics for modeling water and heat balance components in vast areas of agricultural purpose

E.L. Muzylev¹, A.B. Uspensky², Z.P. Startseva¹, A.N. Gelfan¹, S.A. Uspensky²,
M.V. Alexadrovich¹

¹ *Water Problem Institute of Russian Academy of Sciences
Russia, 119333 Moscow, Gubkin str., 3. E-mail: muzylev@aqua.laser.ru*

² *State Research Center of Space Hydrometeorology Planeta
Russia, 123242 Moscow, B.Predtechensky, 7. E-mail: uspensky@planet.iitp.ru*

The techniques are developed to utilize fields of satellite-derived estimates of vegetation and snow cover characteristics and land surface temperature in the models of vertical water and heat transfer in the “soil-vegetation/snow cover-atmosphere” system (SVAT and SSNAT) intended for calculating water and heat balance components as well as soil and snow temperatures. Named satellite-based estimates are built with the help of developed technologies for thematic processing measurement data of AVHRR/NOAA, MODIS/EOS Terra and Aqua, AMSR-E/EOS Aqua and SEVIRI/Meteosat-9. The results are presented of modeling vertical water and heat fluxes, soil and snow cover water and heat content, land surface and soil temperatures for land area of the Central Black Earth zone of European Russia with square 227300 km² for vegetation seasons 2003–2010.

Keywords: modeling water and heat balance components, satellite data, land surface, spatial variability of vegetation and snow cover characteristics.