

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.509.5

И.А. Бородина, Л.И. Кижнер, Н.Н. Богословский, С.И. Ерин, Д.С. Рудиков

СРАВНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ASCAT С ПРЯМЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ¹

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-31240).

Исследуется влагосодержание поверхностного слоя почвы, определяемого на метеорологических станциях, с использованием спутника MetOp. Выбраны станции, находящиеся на территории США и входящие в наблюдательную сеть AmeriFlux. Станции расположены в различных климатических зонах, выделенных по типу растительности, согласно классификации IGBP. Период исследований – 2007–2012 гг. Оценка выполнена для различных типов подстилающих поверхностей. Данные спутниковых наблюдений приведены к прямым измерениям, проведена оценка точности измерений. Показана хорошая согласованность с реальными данными прямых измерений влажности, что позволяет использовать данные спутниковых измерений влажности почвы в системах усвоения данных для численных моделей прогноза погоды. Результаты могут быть использованы и для территории России с аналогичными подстилающими поверхностями.

Ключевые слова: влажность почвы; спутниковые наблюдения; усвоение данных; численные прогностические модели атмосферы.

Введение

Современная метеорология характеризуется бурным развитием математических моделей атмосферы и их применением для проведения численных расчетов прогнозов погоды. Одним из механизмов повышения качества прогнозов является уточнение начальных полей метеовеличин. В системах усвоения данных наблюдений, наряду со станционными измерениями, все большее значение приобретают спутниковые данные измерений. Особенно это актуально для территории России, где густота наблюдательной сети недостаточная.

Влажность почвы играет одну из важнейших ролей в формировании поверхностных потоков явного и скрытого тепла. В связи с этим точность задания начальных полей влагосодержания почвы существенно влияет на точность прогноза состояния атмосферы, особенно в пограничном слое. Однако измерения влажности почвы, выполняемые при метеорологических наблюдениях один раз в сутки в теплое время года, являются визуальными (оценивается степень увлажнения почвы в баллах, от 0 до 6). Инструментальные агрометеорологические наблюдения выполняются один раз в декаду [1]. Данные о влажности почвы получают по наблюдениям за осадками, что является весьма приближенным. Поэтому актуальной является задача оценки влагосодержания почвы с привлечением других наблюдений.

В работе рассматривается сравнение влагосодержания поверхностного слоя почвы, определяемого на метеорологических станциях США, с использованием спутника MetOp. Период исследований – 2007–2012 гг. Оценка выполнена для таких подстилающих поверхностей как вечнозеленые хвойные леса (ENF), листопадные широколиственные леса (DBF), смешанные леса (MF), закрытые

кустарником (CSH), древесные саванны (WSA). Данные спутниковых наблюдений приведены к прямым измерениям и проведена оценка точности измерений.

Указанные типы поверхностей наблюдаются и на территории России, поэтому результаты исследования актуальны для совершенствования прогностических моделей, адаптированных к территории нашей страны.

Измерение влагосодержания поверхностного слоя почвы

Исходными данными являются результаты измерения влажности поверхностного слоя почвы с помощью спутника и значения влажности почвы, полученные при систематических станционных измерениях на глубине до 5 см. Измерения на станциях проводятся каждые 30 мин. В качестве стационарных пунктов наблюдений выбраны станции, расположенные на территории США и входящие в наблюдательную сеть AmeriFlux. Использование для настоящего исследования американских станций обусловлено отсутствием для территории РФ синхронных инструментальных наблюдений за влажностью поверхностного слоя почвы. Станции расположены в различных климатических зонах, выделенных по типу растительности, согласно классификации IGBP [2]. Станции, данные которых включены в обработку, представлены в табл. 1. Координаты всех станций относятся к северной широте и западной долготе. Значения широты и долготы указаны в градусах и их долях.

Спутниковые данные измерений и метод пересчета влажностных характеристик

Спутники серии MetOp оснащены современными системами дистанционного зондирования Земли. Данные

Характеристики станций США, включенных в обработку

Название станции	Широта	Долгота	Тип растительности
WV – CanaanValley	39,0633	–79,4208	CSH
Valles Caldera National Preserve (Ponderosa pine)	35,8624	–106,597	CSH
NH – BartlettExperimentalForest	44,0646	–71,28808	DBF
Chestnut_Ridge	35,9311	–84,3324	DBF
NC – DukeForest-hardwoods	35,9736	–79,1004	DBF
IN – Morgan Monroe State Forest	39,3231	–86,4131	DBF
MO – MissouriOzarkSite	38,7441	–92,2000	DBF
OH – OakOpenings	41,5545	–83,8438	DBF
WI – WillowCreek	45,8059	–90,0799	DBF
Black_Hills	44,158	–103,65	ENF
GLEES	41,3644	–106,2394	ENF
OR – Metolius-intermediate aged ponderosa pine	44,4523	–121,5574	ENF
OR – Metolius-second young aged pine	44,3154	–121,6078	ENF
Marys_River_Fir_Site	44,6465	–123,5515	ENF
NC – NC_LoblollyPlantation	35,8031	–76,6679	ENF
WA – Wind River Crane Site	45,8205	–121,9520	ENF
NC – Duke Forest – loblolly pine	35,9782	–79,0942	MF
WI – ParkFalls/WLEF	45,9459	–90,2723	MF
MI – SylvaniaWildernessArea	46,2420	–89,3477	MF
AZ – Flagstaff – UnmanagedForest	35,0890	–111,7620	WSA
Freeman_Ranch_Woodland	29,94	–97,99	WSA
AZ – SantaRitaMesquite	31,8214	–110,8660	WSA
AZ – Flagstaff – Wildfire	35,4454	–111,771800	WSA

спутники способны обеспечить полное покрытие земного шара. Они несут на борту восемь измерительных приборов, а также ряд коммуникационных и обслуживающих систем. Основной комплект приборов, предназначенных для зондирования и получения изображений Земли, идентичен комплексу приборов, установленному на спутниках NOAA. Важным прибором спутников данной серии является скаттерометр ASCAT. Одним из результатов обработки спутниковых измерений ASCAT является влажность поверхности почвы $m_s(t)$. Измерения влажности поверхности почвы осуществляются в относительных единицах (процентах), но в прогностических моделях используется объемная характеристика влажности почвы, поэтому, прежде чем использовать данные спутниковых измерений в системе усвоения данных, необходимо преобразовать их в объемную влажность ($\text{м}^3/\text{м}^3$).

Для пересчета значений использована линейная зависимость [3, 4]:

$$Q_{scat}(t) = a + b m_s(t),$$

где $m_s(t)$ – данные влажности почвы, полученные со спутника; $Q_{scat}(t)$ – значение влажности, полученное со спутника в объемных единицах; a и b – коэффициенты.

Исходное уравнение используется для определения параметров a и b , которые изменяются в пространстве, но постоянны во времени. Предполагая, что в каждой точке сетки спутниковые измерения имеют такое же среднее значение по времени и дисперсию, как и измерения влажности почвы на станциях, получим следующие выражения для расчета коэффициентов a и b :

$$b = \frac{\sigma_{vM}}{\sigma_{m_s}}$$

$$b = Q_{vM} - b m_s,$$

где σ_{vM} – стандартное отклонение по данным стационарных измерений; σ_{m_s} – стандартное отклонение по дан-

Таблица 2

Коэффициент корреляции между прямыми данными измерений влажности поверхностного слоя почвы и спутниковыми данными измерений

Название станции	Тип растительности	Коэффициент корреляции						
		2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	За весь период
WV – CanaanValley	CSH		0,59	0,37				0,48
Valles Caldera National Preserve (Ponderosa pine)	CSH	0,34	0,40					0,36
NH – BartlettExperimentalForest	DBF	0,34	0,36	0,57	0,02	0,23		0,62
Chestnut_Ridge	DBF			0,55				0,55
NC – DukeForest-hardwoods	DBF	0,50						0,50
IN – Morgan Monroe State Forest	DBF	0,46	0,64	0,53	0,67			0,65
MO – MissouriOzarkSite	DBF	0,63	0,55	0,54				0,79
OH – OakOpenings	DBF	0,70	0,82	0,41	0,44	0,46		0,64
WI – WillowCreek	DBF				0,37	0,27	0,38	0,54

Название станции	Тип растительности	Коэффициент корреляции						
		2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	За весь период
Black_Hills	ENF	0,38	0,73					0,81
GLEES	ENF	0,11	0,27	0,49	0,43	0,37	0,50	0,49
OR – Metolius-intermediate aged ponderosa pine	ENF	0,55	0,43	0,67	0,66	0,58	0,58	0,63
OR – Metolius-second young aged pine	ENF	0,51	0,15	0,71				0,57
Marys_River_Fir_Site	ENF	0,55	0,31	0,50	0,62	0,47		0,51
NC – NC_LoblollyPlantation	ENF	0,55	0,67	0,73				0,82
WA – Wind River Crane Site	ENF	0,34	0,05	0,20	0,56	0,32	0,47	0,74
NC – Duke Forest – loblolly pine	MF	0,51	0,44					0,50
WI – ParkFalls/WLEF	MF					0,60	0,42	0,57
MI – SylvaniaWildernessArea	MF	0,31	0,48					0,45
AZ – Flagstaff – UnmanagedForest	WSA	0,75	0,67		0,73			0,72
Freeman_Ranch_Woodland	WSA	0,48	0,67	0,32	0,53	0,66	0,51	0,70
AZ – SantaRitaMesquite	WSA	0,63	0,64	0,47	0,42		0,46	0,46
AZ – Flagstaff – Wildfire	WSA	0,72	0,52		0,82			0,73

ным спутника; $Q_{\text{ум}}$ и m_s – средние значения за рассматриваемый промежуток времени для стационарных и спутниковых измерений соответственно.

Для первичной оценки взаимосвязи между измерениями, полученными с помощью спутника и на станциях, были рассчитаны коэффициенты корреляции, а также средняя абсолютная погрешность по данным станции и пересчитанным данным по спутнику, которые представлены в табл. 2 и 3. В целом для 40% станций коэффициент корреляции превышает 0,65, что говорит о наличии тесной взаимосвязи между спутниковыми данными и прямыми измерениями. Около 83% станций имеют умеренную зависимость. Наиболее тесная зависимость наблюдается для станций с типом растительности Woody

Savannas (WSA), самую слабую зависимость имеют станции, расположенные в высоких широтах в зоне с типом растительности Close Shrublands (CSH).

Большие значения средней абсолютной погрешности характерны для станций, относящихся к более сухому климату. Для них значения влажности часто близки или равны 0, а относительная ошибка тоже велика, в отдельных случаях доходит до 50%. Для наглядности для станции Flagstaff – Wildfire приведен график зависимости двух рядов данных: измерений объемной влажности почвы стационарным методом и измерениями с помощью спутника (рис. 1). В данном случае выпадающие осадки мало влияют на синхронность данных по влажности для рассматриваемых измерений.

Таблица 3

Абсолютная и относительная ошибка по данным станции и пересчитанным данным по спутнику

Название станции	Абсолютная ошибка, м³/м³	Среднеквадратичная ошибка, м³/м³	Относительная ошибка, %
WV – CanaanValley	0,08	0,103	25,4
Valles Caldera National Preserve (Ponderosa pine)	0,07	0,089	27,3
NH – BartlettExperimentalForest	0,06	0,079	20,4
Chestnut_Ridge	0,03	0,041	11,3
NC – DukeForest-hardwoods	0,04	0,051	21,3
IN – Morgan Monroe State Forest	0,05	0,068	14,9
MO – MissouriOzarkSite	0,05	0,068	15,2
OH – OakOpenings	0,01	0,015	25,0
WI – WillowCreek	0,03	0,039	9,2
Black_Hills	0,03	0,039	17,0
GLEES	0,06	0,089	20,0
OR – Metolius-intermediate aged ponderosa pine	0,04	0,051	25,2
OR – Metolius-second young aged pine	0,02	0,027	23,1
Marys_River_Fir_Site	0,04	0,048	14,9
NC – NC_LoblollyPlantation	0,02	0,027	15,3
WA – Wind River Crane Site	0,03	0,032	11,2
NC – Duke Forest – loblolly pine	0,05	0,065	24,4
WI – ParkFalls/WLEF	0,03	0,036	23,5
MI – SylvaniaWildernessArea	0,04	0,055	25,6
AZ – Flagstaff – UnmanagedForest	0,05	0,066	24,1
Freeman_Ranch_Woodland	0,05	0,074	30,9
AZ – SantaRitaMesquite	0,02	0,029	52,4
AZ – Flagstaff – Wildfire	0,04	0,051	23,7



Рис. 1. Ход объемной влажности почвы по данным станции и измерений спутника. Сумма осадков за 12 ч. Станция Flagstaff – Wildfire, 2007 г.

В целом ход значений влажности достаточно синхронный. При этом значения влажности по спутникам более резко изменяются во времени по сравнению со станционными данными.

Заключение

Спутниковые наблюдения играют все большую роль в исследовании атмосферы и поверхности Земли, в том числе для уточнения прогнозов погоды. Преимущества

ми спутников серии MetOp являются оснащённость их современными системами дистанционного зондирования Земли, оперативность передачи данных, большая площадь покрытия поверхности Земли.

Результаты сравнения данных по влажности поверхностного слоя почвы с использованием прибора ASCAT показали хорошую согласованность с реальными данными прямых измерений влажности, выполняемых на станциях. Для большинства станций коэффициент корреляции превышает 0,5. Средняя абсолютная ошибка по всем станциям не превышает 0,04 м³/м³. Это позволяет использовать данные спутниковых измерений влажности почвы в системах усвоения данных для численных моделей прогноза погоды.

Соотношения, полученные в результате настоящего исследования, могут быть распространены и на территорию России, на регионы, имеющие сходные типы подстилающих поверхностей.

Дальнейшие исследования должны вестись в направлении уточнения влияния атмосферных явлений на результаты спутниковых наблюдений, уточнения методики пересчета данных. Важно также получить сравнительные данные для других сезонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грингоф И.Г., Пасечник А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб. : Гидрометеиздат, 2005.
2. CERES: IGBP Land Classification // NCAR: Climate data guide. URL: <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/ceres-igbp-land-classification> (дата обращения: 14.11.2012).
3. Dharssi I., Bovis K., Macpherson B., Jones C. Assimilation of ASCAT surface soil wetness // Met Office, Exeter, UK Forecasting. Technical Report № 548. July, 2010.
4. Wagner W. The ASCAT Soil Moisture Product: A Review of its Specifications, Validation Results, and Emerging Applications // Meteorologische Zeitschrift. February 2013. Vol. 22, № 1. P. 5–33.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 28 декабря 2013 г.

DEFINING CHARACTERISTICS OF SOIL MOISTURE FROM METEOROLOGICAL SATELLITES

Tomsk State University Journal. No. 380 (2014), 181–184. DOI: 10.17223/15617793/380/30

Borodina Irina A., Kizhner Lubov I., Bogoslovskiy Nikolay N., Erin Sergey I., Rudikov Dmitry S. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: bia_5@mail.ru / kdm@mail.tsu.ru / bnn@math.tsu.ru / sergei.erin@mail.ru / qwant@sibmail.com.

Keywords: soil moisture; satellite observations; data assimilation; numerical prediction models of atmosphere.

Mathematical models of the atmosphere are actively used in the modern meteorology for the numerical weather forecasts. Satellite measurements become important in data assimilation systems. Modern systems for remote sensing, efficiency data transmission, a large area covering the Earth's surface are advantages of MetOp satellites. Using meteorological satellites is an especially topical problem for the territory of Russia where the density of the observational network is insufficient. Soil moisture has a significant impact on the formation of sensible and latent surface heat fluxes. Therefore, the accuracy of soil moisture initialization significantly affects the accuracy of the atmosphere forecast state, especially in the boundary layer. However, regular instrumental measurements of soil moisture are not made. Therefore, a topical problem is the estimate of topsoil moisture involving other observations. This paper presents comparison of surface soil moisture content measured at the reference meteorological stations, and measurements obtained by the MetOp satellite. Stations in the United States belonging to the observation network Ameriflux are chosen as stationary observation points. Stations are located in different climatic zones and selected by the type of vegetation according to the classification of IGBP. The study period is the summer months of 2007–2012. The estimate was made for the following surfaces: evergreen needleleaf forests, deciduous broadleaf forests, mixed forests, open shrub-lands, closed shrub-lands, and woody savannas. Satellite observations are converted to direct measurements using a linear relationship. The estimate of the accuracy of measurements was made. The results of measurements of the surface soil moisture using ASCAT instrument showed a good agreement with the real data of direct measurements of humidity. For the most stations the correlation coefficient is greater than 0.5. The RMS error for all stations does not exceed 0.04 m³/m³, which allows using satellite measurements of soil moisture in data assimilation systems for numerical weather prediction models.

REFERENCES

1. Gringof I.G., Pasechnik A.D. *Agrometeorologiya i agrometeorologicheskie nablyudeniya*. SPb. : Gidrometeoizdat, 2005.
2. CERES: IGBP Land Classification // NCAR: Climate data guide. URL: <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/ceres-igbp-land-classification> (data obrashcheniya: 14.11.2012).
3. Dharssi I., Bovis K., Macpherson B., Jones C. Assimilation of ASCAT surface soil wetness. *Met Office, Exeter, UK Forecasting*. Technical Report. No. 548. July, 2010.
4. Wagner W. The ASCAT Soil Moisture Product: A Review of its Specifications, Validation Results, and Emerging Applications. *Meteorologische Zeitschrift*. February 2013. Vol. 22, no. 1. P. 5–33.