

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

И.А. Бородина, Л.И. Кижнер, Н.Н. Богословский, И.В. Потылицин

### SOIL MOISTURE CHARACTERISTICS FROM METEOROLOGICAL SATELLITES

I.A. Borodina, L.I. Kizhner, N.N. Bogoslovsky, I.V. Potylitsin

В работе рассматривается сравнение влагосодержания поверхностного слоя почвы, определяемого на метеорологических станциях и с использованием спутника MetOp. Период исследований включает 2007–2010 гг. Оценка выполнена для таких подстилающих поверхностей, таких как луга и вечнозеленые хвойные леса. Данные спутниковых наблюдений приведены к прямым измерениям и проведена оценка точности измерений. Показано, что спутниковые наблюдения могут использоваться для оценки влагосодержания почвы.

This paper presents the comparison of the surface moisture content from MetOp satellite and meteorological stations during 2007–2010. Evaluation is made for underlying surfaces such as grasslands and evergreen needle leaf forests. Satellite observations are reduced to the direct measurements with estimating the accuracy of the measurements. It is shown that satellite observations can be used for estimating the soil moisture content.

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 стационарными измерениями, все большее значение приобретают спутниковые данные измерений. Особенно это актуально для территории России, где плотность сети станций недостаточна.

Влажность почвы является важнейшим элементом в круговороте воды и энергии. Точность задания начальных полей влажности почвы существенно влияет на точность прогноза состояния атмосферы, особенно в пограничном слое. Однако прямые и регулярные измерения влажности почвы проводятся только при агрометеорологических наблюдениях.

В работе рассмотрена возможность использования спутниковых данных для оценки влагосодержания поверхностного слоя почвы: вопросы получения, интерпретации и валидации спутниковых измерений, проведенных с помощью скаттерометра, установленного на спутнике MetOp [Wagner, 2013].

Исходными данными являются результаты измерений поверхностной влажности почвы с помощью спутника и значения влажности почвы, полученные при систематических измерениях на станциях на глубине 2 см. В качестве стационарных пунктов наблюдений выбраны станции США, расположенные в различных климатических зонах, выделенных по типу растительности согласно классификации IGBP [http://climatedataguide.ucar.edu/, 2012]. Список станций, включенных в обработку, представлен в таблице 1. Все они имеют северную широту и западную долготу (указаны в градусах и долях градуса).

В обработку включались наблюдения за летний период 2007–2010 гг. Количество наблюдений на каждой станции – от 60 до 340.

В результате обработки спутниковых измерений ASCAT мы имеем данные по влажности поверхности почвы  $m_s(t)$ . Влажность поверхности почвы измеряется в процентах. 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.

Для пересчета значений использована линейная зависимость [Dharssi, 2010]:

$$Q_{\text{scat}}(t) = a + b m_s(t), \quad (1)$$

где  $m_s(t)$  – данные влажности почвы, полученные со спутника;  $Q_{\text{scat}}(t)$  – значения влажности, полученные со спутника (в объемных единицах);  $a$ ,  $b$  – 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  $a$ ,  $b$ :

$$b = \frac{\sigma_{UM}}{\sigma_{m_s}}, \quad (2)$$

$$a = \bar{Q}_{UM} - b \bar{m}_s, \quad (3)$$

где  $\sigma_{UM}$  – стандартное отклонение по данным стационарных измерений;  $\sigma_{m_s}$  – стандартное отклонение по данным спутника;  $\bar{Q}_{UM}$  и  $\bar{m}_s$  – 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 (таблица 2).

Видно, что коэффициент корреляции между двумя рядами данных не превышает 0.76.

В работе рассчитаны коэффициенты  $a$  и  $b$ , которые необходимы для перевода поверхностной влажности в объемные единицы, а также средняя абсолютная погрешность по данным станции и пересчитанным данным по спутнику (таблица 3).

Большие значения средней абсолютной погрешности характерны для станций, относящихся к более сухому климату. Для них значения влажности часто близки нулю или равны.

Таблица 1

## Характеристики станций США, включенных в обработку

№ станции	Название	Широта	Долгота	Тип растительности (IGBP)	Климат
1	FortPeck	48.3	105.1	Луг	Аридный (полузасушливый)
2	Flagstaff Wildfire	35.1	111.8	Луг	Сухой (пустынный)
3	Fermi National Accelerator Laboratory Batavia (Prairie site)	41.8	88.2	Луг	Влажный умеренно-континентальный с теплым и жарким летом
4	Vaira Ranch Ione	38.4	121.0	Луг	Средиземноморский
5	Walnut Gulch Kendall Grasslands	31.7	109.9	Луг	Сухой (пустынный)
6	Duke Forest loblolly pine	36.0	79.1	Вечнозеленые хвойные леса	Субтропический средиземноморский
7	Flagstaff Managed Forest	35.1	111.7	Вечнозеленые хвойные леса	Субтропический средиземноморский
8	Flagstaff Unmanaged Forest	35.1	111.9	Вечнозеленые хвойные леса	Субтропический средиземноморский
9	Metolius intermediate aged ponderosa pine	44.5	121.6	Вечнозеленые хвойные леса	Субтропический средиземноморский
10	Metolius second young aged pine	44.3	121.6	Вечнозеленые хвойные леса	Субтропический средиземноморский
11	Audubon Research Ranch	31.6	110.5	Луг	Сухой (засушливый и полузасушливый)
12	Brookings	44.3	96.8	Луг	Умеренно-континентальный с жарким летом
13	Duke Forest open field	36.0	79.1	Луг	Субтропический средиземноморский

Таблица 2

## Коэффициент корреляции между поверхностной и объемной влажностью

№ станции	Название станции	Коэффициент корреляции
1	FortPeck	0.65
2	Flagstaff Wildfire	0.57
3	Fermi National Accelerator Laboratory Batavia (Prairie site)	0.48
4	Vaira Ranch Ione	0.23
5	Walnut Gulch Kendall Grasslands	0.40
6	DukeForest loblolly pine	0.58
7	Flagstaff Managed Forest	0.68
8	Flagstaff Unmanaged Forest	0.76
9	Metolius intermediate aged ponderosa pine	0.59
10	Metolius second young aged pine	0.54
11	Audubon Research Ranch	0.62
12	Brookings	0.28
13	Duke Forest open field	0.40

Таблица 3

Коэффициенты  $a$  и  $b$  для определения объемной влажности почвы по спутниковым данным

№ п/п	Название станции	Коэффициент $a$	Коэффициент $b$	Средняя абсолютная погрешность
1	FortPeck	0.05	0.003	0.06
2	Flagstaff Wildfire	0.09	0.004	0.05
3	Fermi National Accelerator Laboratory- Batavia (Prairie site)	0.17	0.004	0.03
4	Vaira Ranch Ione	0.03	0.002	0.01
5	Walnut Gulch Kendall Grasslands	0.09	0.006	0.05
6	DukeForest loblollypine	0.07	0.003	0.03
7	Flagstaff Managed Forest	0.10	0.004	0.04
8	Flagstaff Unmanaged Forest	0.18	0.005	0.02
9	Metolius intermediate aged ponderosa pine	0.09	0.001	0.02
10	Metolius second young aged pine	0.05	0.001	0.01
11	Audubon Research Ranch	-0.01	0.007	0.04
12	Brookings	0.04	0.004	0.07
13	Duke Forest open field	0.10	0.003	0.03



Ход объемной влажности почвы по данным станции и измерений спутника. Станция Flagstaff Wildfire, 2007 г.

Для наглядности в статье приведен график зависимости измерений объемной влажности почвы стационарным методом и измерениями с помощью спутника для станции Flagstaff Wildfire.

Видно, что ход значений влажности достаточно синхронный. При этом значения влажности по спутникам более резко изменяются во времени по сравнению с данными станций.

#### Заключение

Для разных регионов США проведена обработка данных, заключающаяся в нахождении коэффициентов  $a$  и  $b$  для перевода спутниковых данных по влажности из значений поверхностных характеристик в объемные единицы. Получены новые ряды, которые сравнимы с данными станций.

В дальнейшем планируется обработка других станций за более длительный период. Планируется оценка влияния других подстилающих поверхностей, характерных для территории России, а также сравнение для разных сезонов года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Dharssi I., Bovis K., Macpherson B., Jones C. Assimilation of ASCAT surface soil wetness // Met Office, Exeter, UK Forecasting. Technical Report № 548. July, 2010.

Wagner W. The ASCAT soil moisture product: A review of its specifications, validation results, and emerging applications // Meteorologische Zeitschrift. February 2013. V. 22, N 1. P. 5–33.

CERES: IGBP Land Classification [Электронный ресурс] // NCAR: Climate data guide. – URL: <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/ceres-igbp-land-classification> (дата обращения 14.11.2012).

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия