

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2021»

## **Глобальное распределение растительной влаги в растительном покрове Земли по данным проекта SMAP**

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Н.К. Шелобанова

*Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук,  
141190 г. Фрязино МО пл. ак. Введенского. д.1, E-mail: amilshin@list.ru*

*Выполнено преобразование суточных данных обработки SMAP с пространственным разрешением 36x36 км в среднемесячные данные с разрешением 1x1 градус за период с 2015 по 2019 годы. Получены оценки средних среднемесячных многолетних значений влагозапаса растительного покрова для 12 основных типов суши, принятых в модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне. Выполнен анализ сезонной многолетней динамики растительной влаги для 12 типов суши. Анализ показал, что величина влагозапаса остается практически неизменной в течение года для тропического леса (12.11 кг/м<sup>2</sup>), саванны (3.59 кг/м<sup>2</sup>), широколиственных листопадных кустов, растущих одиночно и участками (1.32 кг/м<sup>2</sup>) и пустыни (0.46 кг/м<sup>2</sup>). Наибольшие сезонные отклонения влагозапаса наблюдаются у смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых деревьев (3.94-4.55 кг/м<sup>2</sup>) и у возделываемых зерновых культур (3.3-4 кг/м<sup>2</sup>). Полученный массив среднемесячных многолетних значений влагозапаса растительности с пространственным разрешением 1x1 градус может быть использован в качестве модели ослабления радиоволн растительностью.*

*Ключевые слова: глобальное содержание влаги в растительности, дециметровый диапазон, модель глобального радиотеплового излучения Земли*

## **The global distribution of the vegetation water content in the Earth vegetation according to the SMAP data**

A.G. Grankov, A.A. Milshin. N.K. Shelobanova

*Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS*

*Daily SMAP processing data with a spatial resolution of 36x36 km was converted into monthly average data with a resolution of 1x1 degrees for the period from 2015 to 2019. Estimates of the average monthly long-term values of the vegetation water content (VWC) of vegetation cover for 12 main types of land, adopted in the model of global microwave radiation of the Earth in the decimeter band, were obtained. The analysis of seasonal long-term dynamics of the VWC of vegetation for 12 types of land was performed. The analysis showed that the VWC value remains almost unchanged throughout the year for tropical rainforest (12.11 kg/m<sup>2</sup>), savanna (3.59 kg/m<sup>2</sup>), broadleaf deciduous shrubs growing singly and in patches (1.32 kg/m<sup>2</sup>) and desert (0.46 kg/m<sup>2</sup>). The greatest seasonal deviations of the VWC are observed in mixed broadleaf deciduous and needleleaf evergreen trees (3.94-4.55 kg/m<sup>2</sup>) and in cultivation (3.3-4 kg/m<sup>2</sup>). The resulting array of average monthly multi-year values of VWC with a spatial resolution of 1x1 degrees can be used as a model for attenuation of radio waves by vegetation.*

*Keywords: global vegetation water content, decimeter band, model of global microwave radiation of Earth*

## **Введение**

Проект SMAP (the Soil Moisture Active Passive) стартовал в 2008 году. 31 января 2015 года был выполнен запуск целевой аппаратуры – совмещенные радар и радиометр

L-диапазона, использующие общую 6 метровую антенну [1-3]. Научные и прикладные задачи SMAP заключаются в следующем:

- Понять процессы, которые связывают земные водные, энергетические и углеродные циклы;
- Оценка глобальных потоков воды и энергии на поверхности суши;
- Количественная оценка чистого потока углерода в бореальных ландшафтах;
- Повышение качества прогноза погоды и климата;
- Разработка улучшенных возможностей прогнозирования наводнений и мониторинга засухи

Наша цель заключается в привлечении данных обработки SMAP для создания радиационной модели излучения растительных покровов в дециметровом диапазоне (10÷100 см) на глобальных масштабах с пространственным разрешением 1x1 градус [4-9].

Исходные данные были получены на сайте NSIDC (National Snow and Ice Data Center, nsidc.org). Использовались данные SMAP L3 Radiometer Global Daily 36 km EASE-Grid Soil Moisture, Version 5. Этот продукт влажности почвы уровня 3 (L3) представляет собой совокупность ежедневных оценок глобальных условий земной поверхности, полученных с помощью пассивного микроволнового радиометра с пространственным разрешением 36x36 км. Данные о влажности почвы L-диапазона SMAP преобразуются в глобальную цилиндрическую масштабируемую земную сетку равной 36 км, версия 2.0 (EASE-Grid 2.0 - Equal-Area Scalable Earth Grid, Version 2.0). Суть обработки заключалась в преобразовании файлов формата HFD v.5 в текстовые файлы, например WC051616.01A (файл содержит данные о содержании влаги в растительности пикселя и его географические координаты), на первом этапе. Затем глобальные файлы в формате ASCII обрабатывались на среднемесячном масштабе на втором этапе. На третьем этапе из файлов с глобальными среднемесячными данными вырезались фрагменты, относящиеся к 12 основным типам поверхности. Для данных каждого типа вычислялось среднее значение по площади.

### **Многолетнее распределение влаги растительного покрова**

В работе [9] отмечается, что 2-я версия модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне имеет пространственное разрешение 4x5 градусов и использует карту распределения 12 типов суши, представленную на рис.1.

На втором этапе обработки в итоге мы имеем файлы, содержащие среднемесячные значения влаги растительности с пространственным разрешением 1x1 градус за период с апреля 2015 года по декабрь 2019 года. Пример карты, отображающей глобальное распределение влаги растительности за июль 2016 года, приведен на рис.2.

Полуэмпирическая модель интегрального поглощения растительностью [5] имеет вид  $\tau_c = bW$ , где  $b$  - эмпирический коэффициент (удельное ослабление радиоволн растительностью),  $W$  - влагозапас растительного полога на единицу площади (кг/м<sup>2</sup>). Под содержанием влаги в растительности мы будем понимать величину  $W$ .

На рис.3 представлен сезонный ход содержания влаги основными шестью типами лесов. Наибольшее содержание растительной влаги наблюдается в тропическом лесу (тип 1) и составляет в среднем 12.1 кг/м<sup>2</sup>, причем эта величина остается постоянной в течение года. Для 2-го типа - широколиственные листопадные деревья характерно наличие незначительных сезонных вариаций с максимумом в июне, с минимумом в ноябре. Величина растительной влаги составляет 3.18-3.42 кг/м<sup>2</sup>. Леса 3-го типа, состоящие из смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых деревьев по содержанию влаги в растительности следуют на втором месте после тропических лесов. Максимальная величина влаги приходится на июль и составляет

7.21 кг/м<sup>2</sup>. Минимальная величина влаги лесного полога наблюдается в марте и составляет 6.37 кг/м<sup>2</sup>. Леса 4 типа (хвойные вечнозеленые деревья) являются самыми многочисленными по площади и составляют основу бореальной растительности Земли. По величине содержания растительной влаги они находятся на третьем месте, максимальная величина среднего значения влаги составляет в июле 6.69 кг/м<sup>2</sup>, минимальная величина составляет 6.15 кг/м<sup>2</sup> в апреле. 5-й тип леса, включает в себя хвойные листопадные деревья и располагается он на территории северо-востока России. Минимальная величина влаги составляет 3.94 кг/м<sup>2</sup> в апреле, а максимальное значение составляет 4.55 кг/м<sup>2</sup> в июле. Лес 5-го типа занимает четвертую позицию по ослаблению радиоволн (содержанию растительной влаги) среди всех лесов и третью по площади. 6-й тип леса – саванна имеет постоянную величину содержания влаги в течение года, равную 3.59 кг/м<sup>2</sup>. Саванна занимает по площади второе место среди лесов.



**Рис. 1. Карта распределения 12 типов суши в глобальной модели: 1 – тропический лес; 2 – широколиственные листопадные деревья; 3 – смешанные широколиственные листопадные и хвойные вечнозеленые деревья; 4 – хвойные вечнозеленые деревья; 5 – хвойные листопадные деревья; 6 – трава, широколиственные листопадные деревья и кусты (саванна); 7 – пастбище; 8 – широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно и участками; 11 (D) – широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно или на открытой почве; 10 (C) - возделываемые зерновые культуры; 9 – пустыня; 12 (T) – тундра; 13 - многолетние льды и ледники**

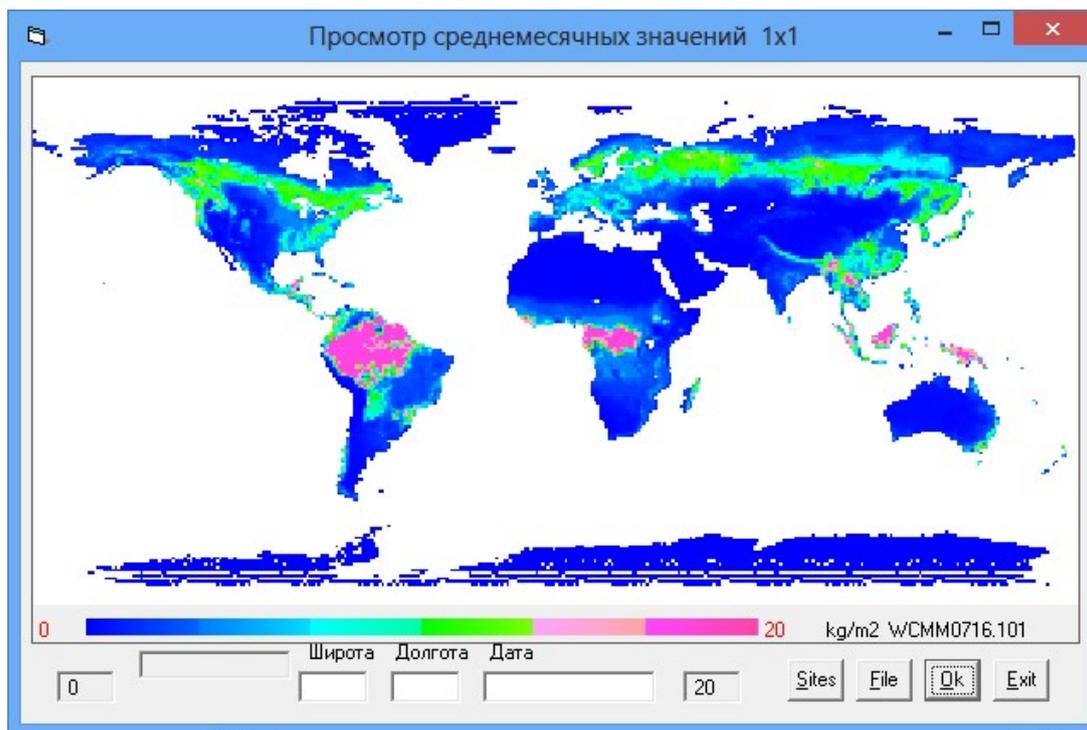


Рис. 2. Карта распределения среднемесячного значения влаги растительных покровов за июль 2016 года с пространственным разрешением 1x1 градус

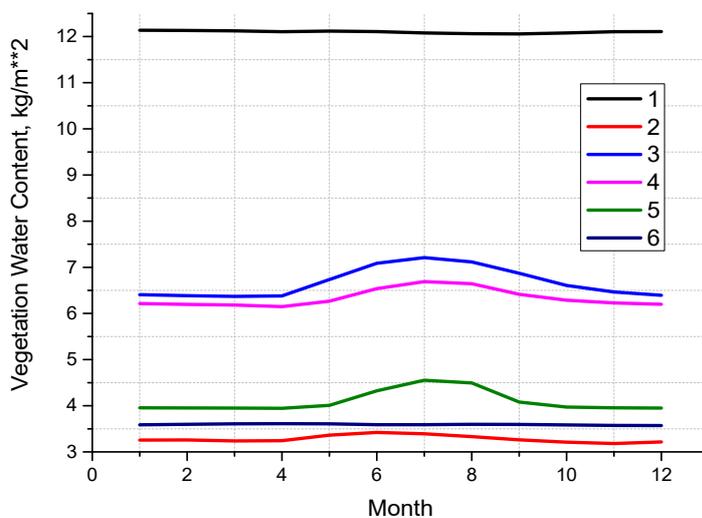
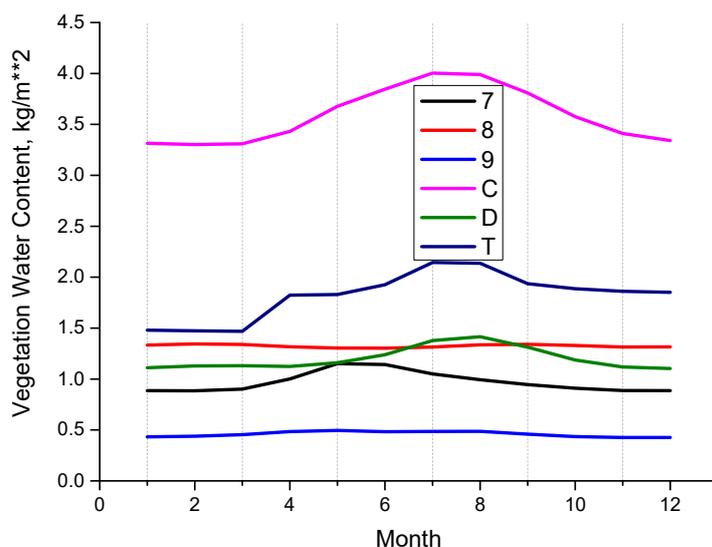


Рис. 3. Сезонный ход многолетних среднемесячных значений растительной влаги 6 типов лесов. Обозначения типов леса даны на рис. 1



**Рис. 4.** Сезонный ход многолетних среднемесячных значений растительной влаги 6 типов суши. Обозначения типов суши даны на рис. 1

На рис. 4 представлена графическая зависимость сезонного хода влагозапаса растительности шести типов суши. Наблюдается следующее ранжирование по мере убывания содержания влаги: С-Т-8-D-7-9. Наибольшая величина влаги  $4 \text{ кг/м}^2$  в июле отмечается у С типа – возделываемых зерновых культур. Величина содержания растительной влаги имеет выраженный сезонный ход с минимальным значением влаги  $3.3\text{-}3.4 \text{ кг/м}^2$  в январе - марте и в ноябре - декабре. Растительность 9 типа суши (пустыни) имеет минимальное значение влаги  $0.43\text{-}0.5 \text{ кг/м}^2$  и сезонные вариации в пределах 15%. Растительность 8 типа суши - широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно и участками имеют постоянную величину влаги  $1.32 \text{ кг/м}^2$ . Для пастбищ (7 тип) наблюдается сезонный ход с максимумом  $1.15 \text{ кг/м}^2$  в мае и минимумом  $0.88 \text{ кг/м}^2$  в феврале. Для D типа - широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно или на открытой почве, максимум  $1.42 \text{ кг/м}^2$  отмечается в августе, а минимум  $1.1 \text{ кг/м}^2$  в декабре. Второе место по содержанию влаги в рассматриваемой группе типов суши занимает тундра (Т тип). Максимальная величина  $2.14 \text{ кг/м}^2$  наблюдается в июле-августе, а минимальная  $1.47 \text{ кг/м}^2$  в феврале-марте.

### Выводы

Выполнено преобразование суточных данных обработки SMAP с разрешением  $36 \times 36 \text{ км}$  в среднемесячные данные с разрешением  $1 \times 1$  градус за период с 2015 по 2019 годы.

Получены оценки средних среднемесячных многолетних значений влаги растительного покрова для 12 основных типов суши, принятых в модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне.

Выполнен анализ сезонной многолетней динамики влаги растительности для 12 типов суши. Анализ показал, что величина растительной влаги остается практически неизменной в течение года для тропического леса ( $12.11 \text{ кг/м}^2$ ), саванны ( $3.59 \text{ кг/м}^2$ ), широколиственных листопадных кустов, растущих одиночно и участками ( $1.32 \text{ кг/м}^2$ ) и пустыни ( $0.46 \text{ кг/м}^2$ ). Наибольшие сезонные отклонения растительной влаги наблюдаются у смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых

деревьев (3.94-4.55 кг/м<sup>2</sup>) и у возделываемых зерновых культур (3.3-4 кг/м<sup>2</sup>). В меньшей степени сезонные изменения растительной влаги наблюдаются у других типов суши.

В качестве модели ослабления растительностью радиоволн на волне 21 см могут быть использованы массивы среднемесячных многолетних значений интегрального ослабления радиоволн и растительной влаги с пространственным разрешением 1x1 градус.

Мы благодарим NSIDC за предоставленные спутниковые архивные данные по проекту SMAP.

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

### Литература

1. D. Entekhabi, E. Njoku, P. O'Neill, K. Kellogg, W. Crow, W. Edelstein, J. Entin, S. Goodman, T. Jackson, J. Johnson, J. Kimball, J. Piepmeier, R. Koster, N. Martin, K. McDonald, M. Moghaddam, S. Moran, R. Reichle, J. Shi, M. Spencer, S. Thurman, L. Tsang, J. van Zyl. The Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission // Proc. IEEE vol. 98 no. 5 pp. 704-716 May 2010.
2. Jeffrey Piepmeier, Ed Kim, Priscilla Mohammed, Jinzheng Peng, Chris Ruf. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD): SMAP Calibrated, Time-Ordered Brightness Temperatures L1B\_TB Data Product. 2013.
3. Satellite Soil Moisture Retrieval. Techniques and Applications. Edited by Prashant K. Srivastava, George P. Petropoulos, Yann H. Kerr. Elsevier. 2016. 440 p.
4. Галкин Ю.С., Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шмаленюк А.С. Моделирование ослабления радиоволн лесным пологом в глобальной модели радиоизлучения земной поверхности в L- и P- диапазонах // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. Вып.2 (51). 2007. С.90-99.
5. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Чухланцев А.А. Моделирование радиотеплового излучения лесов при спутниковых наблюдениях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Вып.2. Т.2. С.256-261.
6. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Чухланцев А.А., Шелобанова Н.К. Основные направления экспериментальных исследований лесов спутниковыми СВЧ-радиометрическими методами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Вып.2. Т.2. С.250-255.
7. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2011. Т.8. №1. С.246-254
8. Мильшин А.А., Гранков А.Г., Шелобанова Н.К. Формирование радиоизлучения почвы в модели глобального крупномасштабного радиотеплового излучения земли в дециметровом диапазоне // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т.9. №3. С.43-49.
9. Мильшин А.А. Развитие модели глобального радиотеплового излучения земли в дециметровом диапазоне // Доклады РНТОРЭС им. А.С. Попова. Серия: Проблемы экоинформатики. Выпуск XIII. Москва, 4-6 декабря 2018 г. С.166-170