

## **Глобальное многолетнее распределение оптической толщины растительного покрова суши по данным SMAP**

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук,  
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 оптической толщины растительного покрова для 12 основных типов суши, принятых в модели глобального радиотеплового излучения Земли в дециметровом диапазоне. Выполнен анализ сезонной многолетней динамики оптической толщины растительности для 12 типов суши. Анализ показал, что величина оптической толщины остается практически неизменной в течение года для тропического леса (0.9 Нп), саванны (0.4 Нп), широколиственных листопадных кустов, растущих одиночно и участками (0.15 Нп) и пустыни (0.075 Нп). Наибольшие сезонные отклонения оптической толщины наблюдаются у смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых деревьев (0.47-0.65 Нп) и у возделываемых зерновых культур (0.33-0.43 Нп). Полученный массив среднемесячных многолетних значений оптической толщины с пространственным разрешением 1x1 градус может быть использован в качестве модели ослабления радиоволн растительностью.*

*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 opacity 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 opacity of vegetation for 12 types of land was performed. The analysis showed that the value remains almost unchanged throughout the year for tropical rainforest (0.9 Np), savanna ( 0.4 Np), broadleaf deciduous shrubs growing singly and in patches ( 0.15 Np) and desert ( 0.075 Np). The greatest seasonal deviations of opacity are observed in mixed broadleaf deciduous and needleleaf evergreen trees (0.47-0.65 Np) and in cultivation (0.33-0.43 Np). The resulting array of average monthly multi-year values with a spatial resolution of 1x1 degrees can be used as a model for attenuation of radio waves by vegetation.*

### **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 VO051616.01A (файл содержит данные оптической толщины  $\tau$  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 оптической толщины 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 оптической толщины  $\tau$  растительности с пространственным разрешением 1x1 градус за период с апреля 2015 года по декабрь 2019 года. Пример карты, отображающей глобальное распределение оптической толщины за июль 2016 года, приведен на рис.2.

На рис.3 представлен сезонный ход ослабления радиоволн основными шестью типами лесов. Наибольшее ослабление радиоволн наблюдается в тропическом лесу (тип 1) и составляет в среднем 0.9 Нп, причем эта величина остается постоянной в течении года. Для типа 2 - широколиственные листопадные деревья характерно наличие незначительных сезонных вариаций с максимумом в январе-феврале, с минимумом в апреле, последующим максимумом в июне и осенним минимумом в октябре-ноябре. Величина оптической толщины составляет 0.37-0.4 Нп.

Леса 3-го типа, состоящие из смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых деревьев по поглощению радиоволн следуют на втором месте после тропических лесов. Максимальная величина оптической толщины приходится на июль и составляет 0.65 Нп. Минимальная величина ослабления радиоволн лесным пологом наблюдается в феврале-марте и составляет 0.47 Нп. Леса 4 типа (хвойные вечнозеленые деревья) являются самыми многочисленными по площади и составляют основу бореальной растительности Земли. По величине ослабления они находятся на третьем месте, максимальная величина среднего значения оптической толщины составляет в июле 0.55 Нп, минимальная величина составляет 0.38 Нп в апреле и ноябре. Отсутствие графика за декабрь, январь-март обусловлено отрицательными температурами почв и лесного полога, алгоритм в этом случае не работает. Мы выбрали условный эмпирический порог, если 50% площади ареала и более содержат данные об  $\tau$ , то точка на графике отображается. Это правило распространяется на все типы растительности в северном полушарии. 5 тип леса, включает в себя хвойные листопадные деревья и располагается он на территории северо-востока России. Величина  $\tau = 0.38$  Нп в сентябре и составляет 0.45 Нп в июле. Лес 5 типа занимает

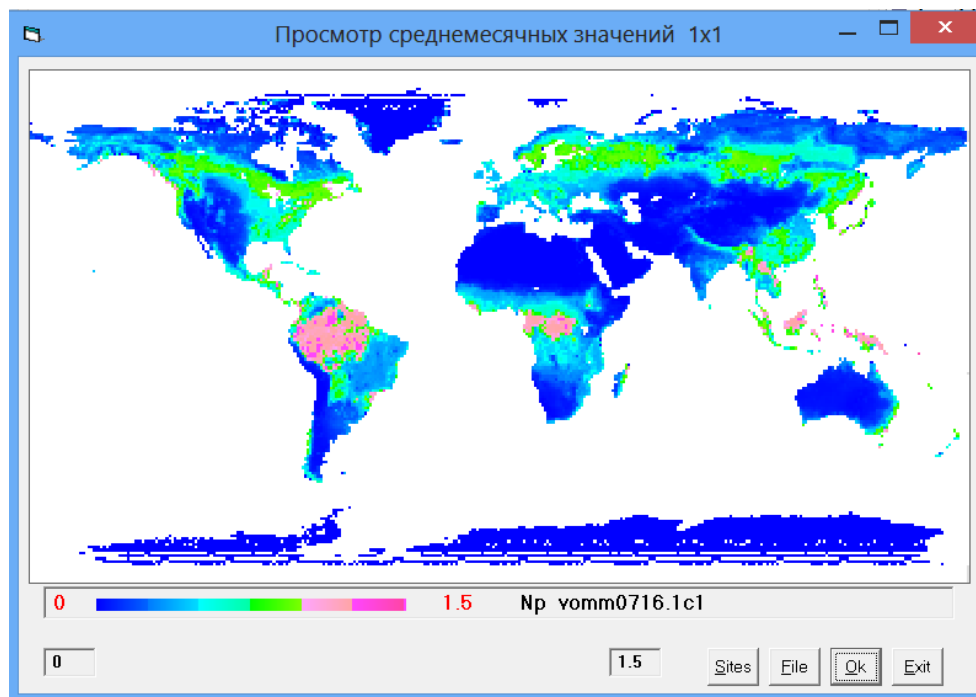


**Рис. 1. Карта распределения 12 типов суши в глобальной модели: 1 – широколиственные вечнозеленые деревья (тропический лес); 2 – широколиственные листопадные деревья; 3 – смешанные широколиственные листопадные и хвойные вечнозеленые деревья; 4 – хвойные вечнозеленые деревья; 5 – хвойные листопадные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

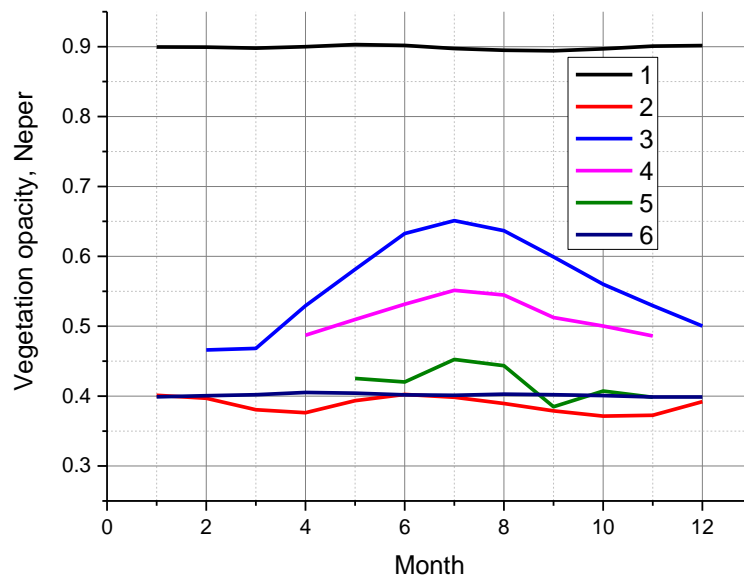
четвертую позицию по ослаблению радиоволн среди всех лесов и третью по площади. 6 тип леса – саванна имеет постоянную величину  $\tau=0.4$  Нп в течении года. Саванна занимает по площади второе место среди лесов.

На рис. 4 представлена графическая зависимость сезонного хода оптической толщины растительности для шести типов суши. По занимаемой площади наблюдается следующее ранжирование по мере убывания: C-D-T-9-8-7. Наибольшая величина  $\tau = 0.43$  Нп в июле-августе отмечается у типа C – возделываемых зерновых культур. Величина  $\tau$  имеет выраженный сезонный ход с минимальным значением  $\tau = 0.33-0.35$  Нп в январе - апреле и в октябре - декабре. Растительность 9 типа суши имеет минимальное значение  $\tau = 0.07-0.08$  Нп и сезонные вариации в пределах 10-15%. Растительность 8 типа суши - широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно и участками имеют постоянную величину  $\tau = 0.14$  Нп. Для пастбищ (7 тип) наблюдается сезонный ход с максимумом  $\tau = 0.17$  в мае и минимумом  $\tau = 0.13$  Нп в марте. Для D типа - широколиственные листопадные кусты, растущие одиночно или на открытой почве, максимум  $\tau = 0.15$  Нп отмечается в августе, а минимум  $\tau = 0.1$  Нп в

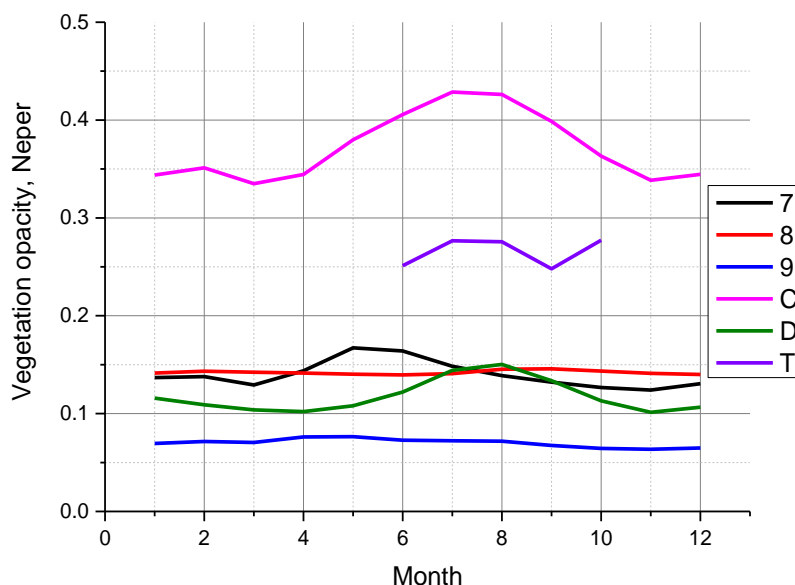
марте-апреле и ноябре. Второе место по поглощению в рассматриваемой группе типов суши занимает тундра (Т тип). Максимальная величина  $\tau = 0.28$  Нп наблюдается в июле-августе, а минимальная  $\tau = 0.25$  Нп в июне и сентябре.



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



**Рис. 3.** Сезонный ход многолетних среднемесячных значений оптической толщины для 6 типов лесов. Обозначения типов леса даны на рис. 1



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

### Выводы

Выполнено преобразование суточных данных обработки SMAP с разрешением 36x36 км в среднемесячные данные с разрешением 1x1 градус за период с 2015 по 2019 годы.

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

Выполнен анализ сезонной многолетней динамики оптической толщины растительности для 12 типов суши. Анализ показал, что величина оптической толщины остается практически неизменной в течение года для тропического леса (0.9 Нп), саванны (0.4 Нп), широколиственных листопадных кустов, растущих одиночно и участками (0.15 Нп) и пустыни (0.075 Нп). Наибольшие сезонные отклонения оптической толщины наблюдаются у смешанных широколиственных листопадных и хвойных вечнозеленых деревьев (0.47-0.65 Нп) и у возделываемых зерновых культур (0.33-0.43 Нп).

В качестве модели ослабления растительностью радиоволн на волне 21 см может быть использован массив среднемесячных многолетних значений оптической толщины с пространственным разрешением 1x1 градус.

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

### 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.