

Дистанционный мониторинг заболоченных территорий Западной Сибири с использованием данных спутника SMOS (ESA)

А.Н. Романов, И.В. Хвостов, В.Е. Павлов, Ю.И. Винокуров*

*Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1*

Поступила в редакцию 3.08.2013 г.

Проведен сравнительный анализ разновременных изображений территории Западной Сибири, сделанных со спутника SMOS радиометром MIRAS на частоте 1,42 ГГц. Для валидации и калибровки спутниковых данных проведены наземные измерения физических параметров подстилающей поверхности. В качестве тестового полигона выбрана Кулундинская равнина, расположенная в степной части Алтайского края. С использованием спутниковых и наземных данных выявлены переувлажненные и заболоченные территории, тяготеющие к соленым и горько-соленым озерам.

Ключевые слова: переувлажненные почвы, солончаки, микроволновое зондирование; soils of wetlands, alkali soils, microwave remote sensing.

Введение

В последнее десятилетие радиофизическое зондирование Земли из космоса находит все большее применение при оценке водных ресурсов, разработке гидрологических прогнозов и изучении глобальных изменений климата. Несмотря на более низкую разрешающую способность радиофизических методов по сравнению с оптическим и инфракрасным зондированием, их важными преимуществами являются возможность определения водно-физических параметров подстилающей поверхности в скин-слое, пропорциональном длине волны, а также независимость от экранирующего влияния облачного покрова.

К настоящему времени накоплены значительные массивы данных о состоянии подстилающей поверхности, полученных с использованием аппаратуры дистанционного зондирования со спутников Nimbus, Seasat, Radarsat, Envisat и др. По дистанционно измеренным радиоизлучательным параметрам оцениваются температура и соленость поверхностного слоя океана, сплоченность и толщина морских льдов, интенсивность осадков, скорость ветра [1, 2], прогнозируются почасовые (при наводнении), сезонные, годовые и многолетние изменения водного баланса территории [3], разработаны методы дистанционного определения влажности почвенного покрова [4, 5].

В настоящей статье приведены результаты комплексных мониторинговых исследований переувлажнен-

ных и заболоченных земель на территории Западной Сибири с использованием снимков SMOS, наземных подспутниковых измерений физических параметров почв и воды.

Спутник SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), запущенный Европейским космическим агентством в 2009 г., предназначен для оценки глобальных изменений влажности почвы и солености воды в Мировом океане. Установленный на нем интерферометр-радиометр MIRAS (Microwave Imaging Radiometer by Aperture Synthesis) обеспечивает получение изображений, соответствующих интенсивности собственного излучения участков поверхности на частоте 1,42 ГГц, откалиброванной в единицах радиояркости температур [6, 7]. Высокое для L-диапазона пространственное разрешение спутниковых снимков, обеспечиваемое синтезированием апертуры, позволяет регистрировать объекты протяженностью от 30 км.

Радиояркостьная температура T_y и коэффициент излучения χ связаны между собой известным соотношением $T_y = \chi T$. Выявление заболоченных и подтопленных участков почв по данным радиометрического зондирования основано на зависимости коэффициента излучения χ_n почвенного покрова от объемной влажности почвы W [8]. Коэффициент излучения открытой водной поверхности χ_w , зависящий от температуры, минерализации и типа растворенных солей, изменяется в пределах от 0,18 (сильно минерализованная вода) до 0,36 (пресная вода) [9]. Коэффициент излучения густого хвойного леса $\chi_l = 0,96 \div 0,98$ (в пределах ленточных боров) используется в качестве калибровочного для радиометрических измерений [10]. Коэффициент излучения почвенного покрова χ_n зависит от влажности, гранулометрического состава

* Андрей Николаевич Романов (romanov_alt@mail.ru); Илья Владимирович Хвостов (mikon@iwer.ru); Владимир Евгеньевич Павлов (pavlov@iwer.ru); Юрий Иванович Винокуров (iwer@iwer.ru).

почвы, засоленности, типа солей и может изменяться в широких пределах – от 0,5–0,6 (переувлажненная почва) до – 0,8–0,9 (сухая почва) [11].

Для валидации и калибровки спутниковых данных использована территория Кулундинской равнины (Алтайский край). Это засушливая степь с отсутствием протяженных лесных массивов, которая относится к провинции содового засоления [12] и характеризуется большим количеством соленых и горько-соленых озер и солончаков. Вокруг пересыхающих горько-соленых озер формируются переувлажненные участки (ветланды и шотты), являющиеся своеобразным феноменом для засушливых степных территорий.

На рис. 1 приведены карта-схема Западной Сибири и снимок, полученный со спутника SMOS. С использованием снимка оценены радиояркостные характеристики крупнейшего в России Васюганского болота, расположенного в лесной зоне Западной Сибири, а также выделены переувлажненные участки (с $T_{я} < 180$ К, $\chi_{л} \sim 0,6$), соответствующие болотам в пределах Томской, Новосибирской, Омской областей и Ханты-Мансийского автономного округа.

На том же снимке выделяется несколько областей с повышенной радиояркостной температурой, соответствующих, по нашим данным, населенным пунктам и нефтегазопромыслам. По краю снимка проходит полоса, возможно, связанная с краевыми эффектами (при интерпретации спутниковых данных не учитывается).

На рис. 2 представлены разновременные спутниковые снимки Алтайского тестового полигона в летний и зимний периоды. На летнем снимке видны переувлажненные участки, тяготеющие к системе озер Кулундинское и Кучук. Прилегающие к озерам территории характеризуются наличием солончаков, засоленных почв, соляных болот.

Как следует из зимнего снимка, $T_{я}$ возросла, что связано с промерзанием почвенного покрова в зимний период (для мерзлых почв $\chi_{м.п.} \sim 0,8–0,9$ [13]). В то же время видно, что часть озер Кулундинского и Кучук характеризуется пониженными значениями $T_{я}$: участки озер с повышенной концентрацией солей и прилегающие к ним сильно засоленные почвы в зимний период остаются незамерзшими.

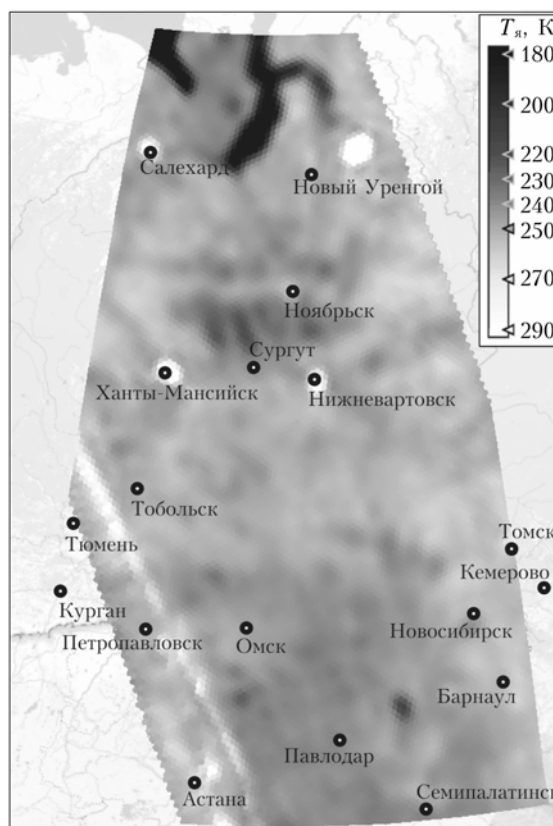
Таким образом, в результате проведенных исследований осуществлена валидация снимков со спутника SMOS на территории Западной Сибири, показана возможность использования орбитальных снимков для обнаружения заболоченных, переувлажненных территорий. Для калибровки радиометрических измерений использованы природные объекты, расположенные на территории Алтайского края, – лесные массивы (ленточные боры), водные объекты (Кулундинское озеро, озеро Кучук), а также участки степи.

Спутниковые данные получены в рамках проекта Европейского космического агентства (ESA) № 4747 «Remote mapping of Siberian saline soils».

Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 69 «Интегрированные исследования

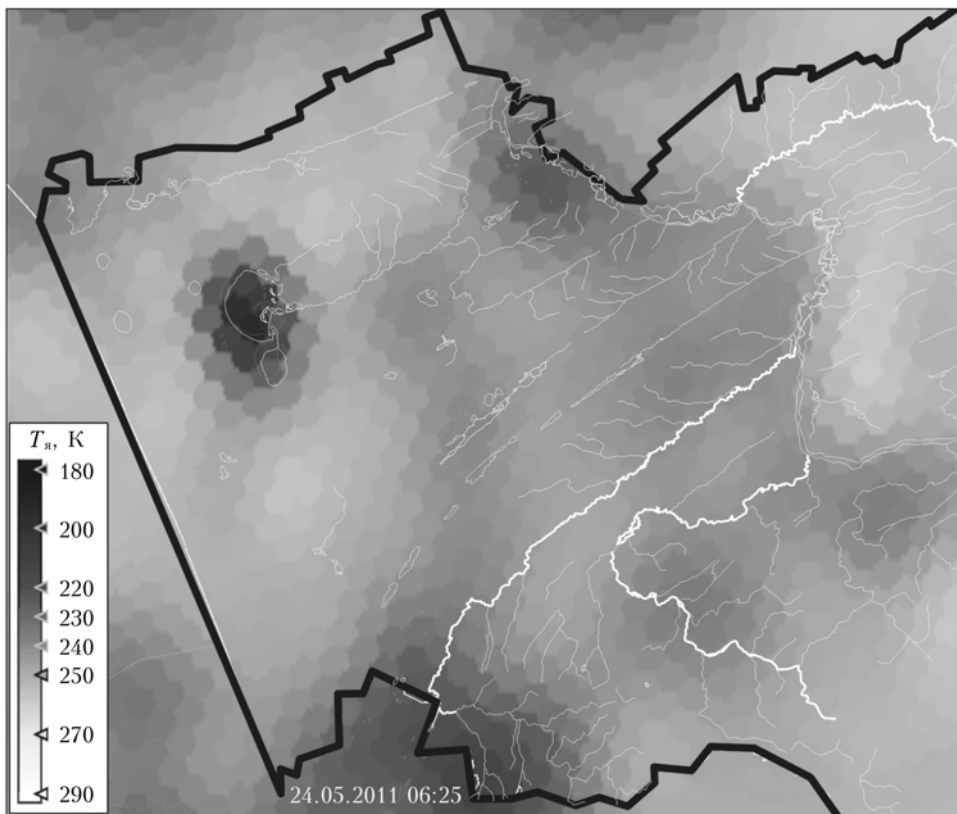


а

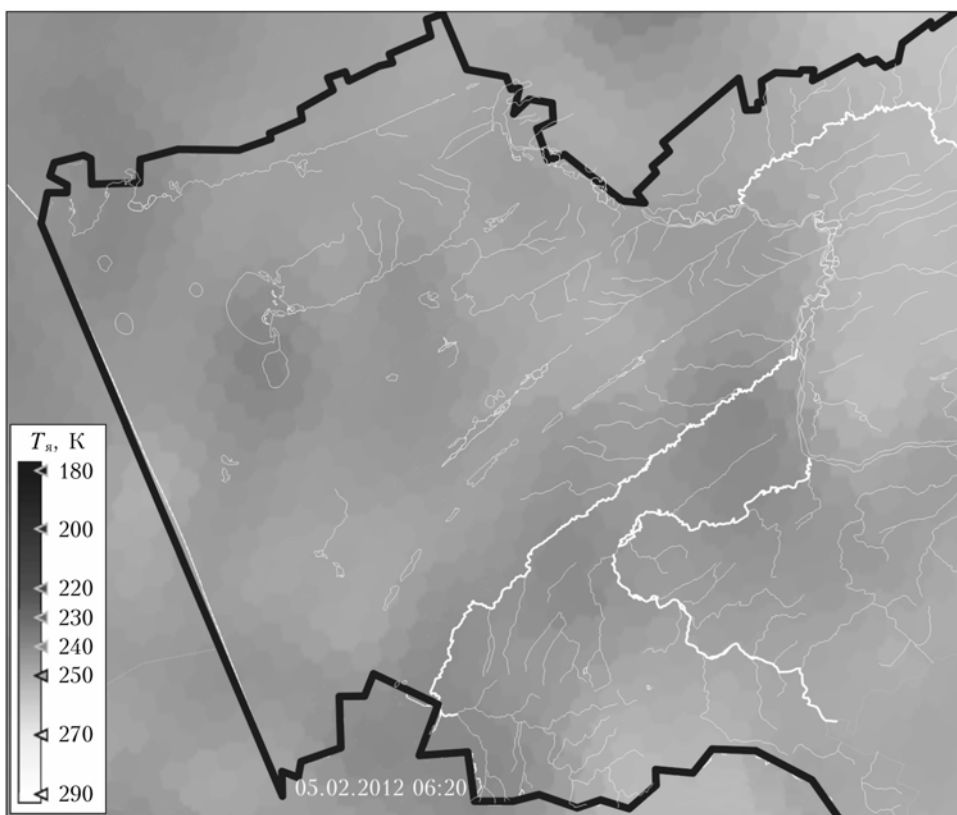


б

Рис. 1. Карта-схема (а) и спутниковый снимок (б) исследуемой территории



a



б

Рис. 2. Разновременные спутниковые снимки Алтайского тестового полигона, сделанные в летний (*a*) и зимний (*б*) периоды

климатических, гидрологических и экосистемных процессов на территории болот Западной Сибири», гранта РФФИ № 13-05-98041 р_сибирь_а «Исследование сезонных вариаций микроволнового излучения соленых и горько-соленых озер на юге Западной Сибири».

1. Шанда Э. Физические основы дистанционного зондирования / Пер. с англ. И.А. Столярова. М.: Недра, 1990. 208 с.
2. Рус У. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
3. Sorooshian S., Imam B., Mahani S., Pagano T., Whittaker M. Hydrologic sciences and water resources management issues in a changing world // *Developments in Water Science*. 2003. V. 50. P. 83–92.
4. Романов А.Н., Суторихин И.А. Дистанционный микроволновый мониторинг экологического состояния переувлажненных почв // *Оптика атмосф. и океана*. 2006. Т. 19, № 11. С. 980–981.
5. Миронов В.Л., Бобров П.П. Микроволновое радиометрическое зондирование почв // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20, № 12. С. 1121–1123.
6. Wigneron J.-P., Schwank M., Baeza E.L., Kerr Y., Novello N., Millan C., Moisy C., Richaume P., Mialon A., Bitar A.Al., Cabot F., Lawrence H., Guyon D., Calvet J.-C., Grant J.P., Casal T., de Rosnay P., Saleh K., Mahmoodi A., Delwart S., Mecklenburg S. First evaluation of the simultaneous SMOS and ELBARA-II observations in the Mediterranean region // *Remote Sens. Environ.* 2012. V. 124, N 9. P. 26–37.
7. Brassington G.B., Divakaran P. The theoretical impact of remotely sensed sea surface salinity observations in a multi-variate assimilation system // *Ocean Modelling*. 2009. V. 27, iss. 1–2. P. 70–81.
8. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиотепловое излучение Земли как планеты. М.: Наука, 1974. 188 с.
9. Митник Л.М. Излучательные характеристики водной поверхности. Сер. Океанология (обзор). Обнинск: Информ. центр, 1978. 66 с.
10. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. М.: Сов. радио, 1976. 350 с.
11. Романов А.Н. Диэлектрические и радионизлучательные свойства засоленных почв в микроволновом диапазоне. Барнаул: Изд-во Алтай. ун-та, 2002. 120 с.
12. Базилевич Н.И. Геохимия почв содового засоления. М.: Наука, 1965. 349 с.
13. Романов А.Н. Дистанционные микроволновые методы для геоэкологического мониторинга засоленных и подтопленных почвогрунтов: Дис. ... д.т.н. Барнаул, 2004. 255 с.

A.N. Romanov, I.V. Khvostov, V.E. Pavlov, Yu.I. Vinokurov. **Remote monitoring of wetlands in West Siberia using SMOS satellite data.**

A comparative analysis of multi-temporal images of West Siberia with the use of MIRAS radiometer of 1.42 GHz frequency from satellite SMOS was made. For validation and calibration of the satellite data, the ground-based measurements of physical parameters of the underlying surface were performed. The Kulunda plain located in the steppe part of Altai Krai was chosen as a test site. Wetlands and swamp lands adjacent to salinas and brackish lakes were identified based on the use of satellite and ground data.