

Изменения окружающей среды в регионах с холодным климатом по данным спутниковой микроволновой радиометрии



Романов А.Н.¹, Тихонов В.В.^{2,3}, Хвостов И.В.¹, Боярский Д.А.², Шарков Е.А.²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

²Институт космических исследований РАН, Москва, e-mail: vtikhonov@asp.iki.rssi.ru

³Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный



Регионы с холодным климатом, характеризующиеся наличием вечной мерзлоты и обширным снежным и ледяным покровом, в значительной степени подвержены влиянию климатических изменений. Дистанционное зондирование предоставляет собой мощный и универсальный инструмент для исследования областей с суровыми климатическими условиями, делая «доступными» места, которые в другом случае были бы недоступны или даже неизвестны. Возможность получения данных с обширных площадей, большая частота наблюдений в высоких широтах, независимость сбора данных от солнечной освещенности и атмосферных условий, чувствительность к подповерхностным процессам, а также относительная дешевизна, делает спутниковую микроволновую радиометрию наиболее оптимальным методом мониторинга территорий, отличающихся холодным климатом.

Данные ежедневных измерений яркостной температуры для представленных исследований получены с радиометра MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis), установленного на спутнике SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity).

Спутник SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) Европейского космического агентства (ESA). Запущен 2 ноября 2009 г. На борту спутника SMOS установлен 2-D интерферометрический радиометр MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis). Радиометр MIRAS работает на частоте 1.4 ГГц и производит измерения при углах зондирования 10°–65°. Антенна радиометра MIRAS представляет собой три вытянутых прямоугольных лепестка, на которых расположены 69 приёмных элементов. Лепестки расположены в одной плоскости под углом 120° относительно друг друга. Такая конструкция позволяет реализовать 2-D съёмку яркостной температуры поверхности на вертикальной (V), горизонтальной (H) и кросс-поляризации (HV).



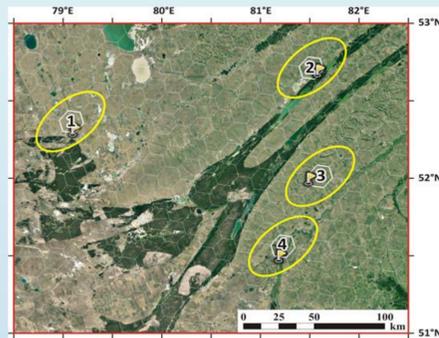
Глубина промерзания почвы

Около 58% поверхности Земли в северном полушарии сезонно замерзает и оттаивает. Влажность почвы и процессы, связанные с ее замораживанием и оттаиванием влияют на энергетический баланс, экосистему и гидрологические циклы нашей планеты. Эти характеристики почвы являются ключевыми параметрами в гидрологических исследованиях и моделях климата, так как определяют поверхностный энергетический баланс, а также обмен влаги и углерода между поверхностью почвы и атмосферой. Кроме того, оттаивание и замерзание почвы определяет начало и окончание вегетационного периода.

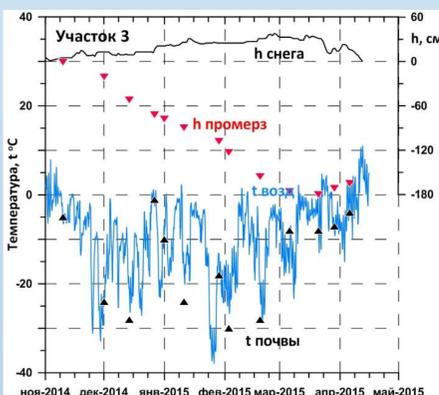
В результате выполненного моделирования яркостной температуры почвенного покрова с верхним сезонно-мерзлым слоем проведено сравнение яркостных температур, определенных со спутника SMOS и соответствующих им глубин промерзания почвы, измеренных на метеостанциях, расположенных на тестовых участках Кулундинской равнины (Алтайский край). На основе комплексного анализа ежедневных спутниковых данных, результатов полевых измерений и модельных расчетов показана возможность определения глубины промерзания почвы по данным спутниковой микроволновой радиометрии.



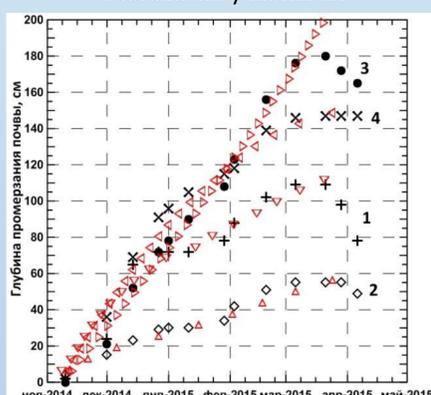
Кулундинская равнина
Алтайский край



Исследуемая территория с
тестовыми участками



Температуры воздуха и поверхности почвы, высота снежного покрова и глубина промерзания почвы для участка 3



Толщины мерзлого слоя почвы, измеренные (•×+◇) и модельные (◁▷▽△) для четырех участков

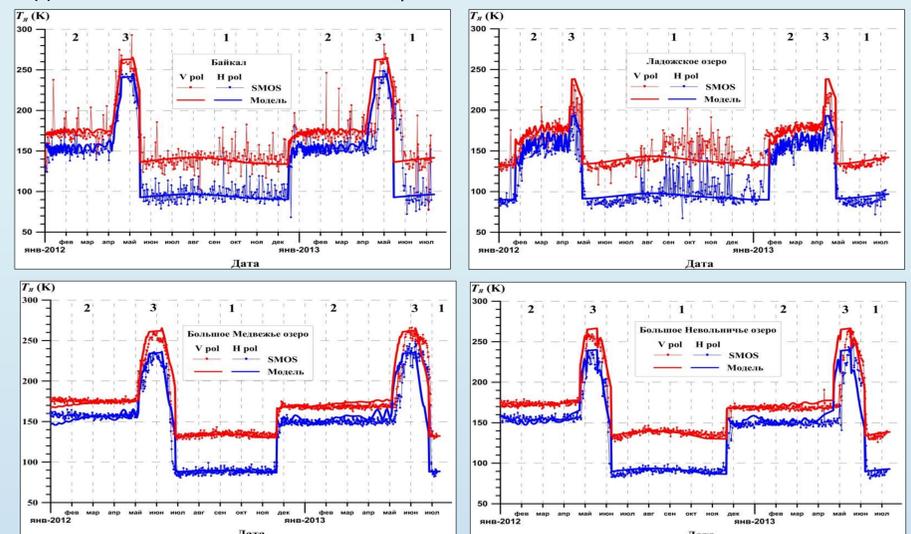
Основные публикации:

- Тихонов В.В., Раев М.Д., Хвостов И. В., Боярский Д.А, Романов А. Н., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю. Анализ сезонной зависимости яркостной температуры ледового щита Антарктиды по микроволновым спутниковым данным. // Исследование Земли из космоса. 2019. № 1. С. 14-28. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019114-28>
- Боярский Д.А., Романов А. Н., Хвостов И. В., Тихонов В.В., Шарков Е.А. Оценка глубины промерзания почвенного покрова по данным спутника SMOS. // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 3-13. <https://doi.org/10.31857/S0205-9614201923-13>
- Tikhonov V., Khvostov I., Romanov A., Sharkov E. Theoretical study of ice cover phenology at large freshwater lakes based on SMOS MIRAS data. // The Cryosphere. 2018. V. 12. № 8. P. 2727-2740. <https://doi.org/10.5194/tc-12-2727-2018>.
- Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Репина И.А., Комарова Н.Ю. Спутниковая микроволновая радиометрия морского льда полярных регионов. Обзор. // Исследование Земли из космоса. 2016. № 4. С. 65-84. DOI: [10.7868/S0205961416040072](https://doi.org/10.7868/S0205961416040072)
- Tikhonov V.V., Repina I.A., Raev M.D., Sharkov E.A., Ivanov V.V., Boyarskii D.A., Alexeeva T.A., Komarova N.Yu. A physical algorithm to measure sea ice concentration from passive microwave remote sensing data. // Advances in Space Research. 2015. V. 56. N 8. P. 1578-1589. DOI: [10.1016/j.asr.2015.07.009](https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.07.009).

Пресноводный лед

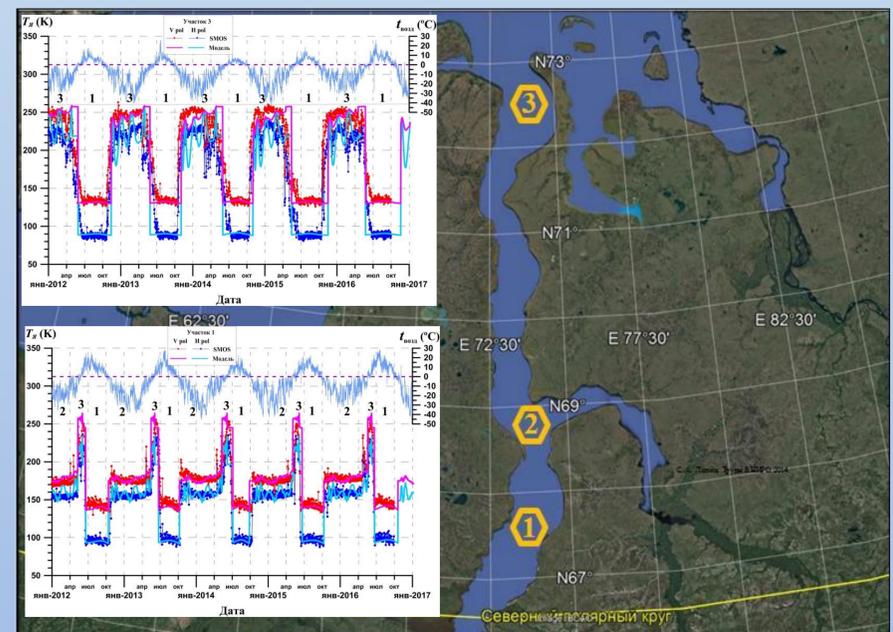
Озерный и речной лед играют важную роль в биологических, химических и физических процессах холодных регионов. Помимо значительного влияния на биофизические и социально-экономические системы, пресноводный лед также является чувствительным индикатором вариаций и изменения климата. По оценкам, пресноводный лед покрывает общую площадь $1,7 \times 10^6$ км² северного полушария (определяется при максимальной к северу от изотермы января 0°C) и имеет объем $1,6 \times 10^3$ км³. Ориентировочная площадь пресноводного льда северного полушария равна площади ледяного покрова Гренландии.

Авторами выполнен теоретический модельный анализ фенологических фаз ледяного покрова ряда крупных пресноводных водоемов по данным радиометра MIRAS спутника SMOS (озера: Байкал, Ладжское, Большое Медвежье и Большое Невольничье).



Сезонные вариации яркостных температур участков озер. Цифрами обозначены характерные временные области яркостных температур: 1 – открытая вода, 2 – ледяной покров, 3 – разрушение льда.

Выявленные закономерности сезонных вариаций яркостной температуры и связанные с ними фазы ледяного покрова могут быть использованы для оценки гидрологического режима (зоны смешения вод) эстуариев арктических рек. На рисунке ниже показана возможность определения гидрологического режима крупных эстуариев в период ледостава.



Обская губа (эстуарий реки Обь) - водоем длиной 800 км, шириной 30-90 км. Общая площадь составляет 40800 км². В Обской губе происходит соприкосновение двух первичных водных масс: речной и морской, образующих зону смешения. Нижний график – участки 1, 2 - речная вода. Верхний график – уч. 3 – морская вода (отсутствует временная область 2).