

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СО РАН
ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЯНАО
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ИЗУЧЕНИЯ АРКТИКИ

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАНЫМ СПУТНИКА SMOS

¹Романов А.Н., ¹Хвостов И.В., ²Кобелев В.О., ²Печкин А.С., ²Печкина Ю.А.

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН

²ГКУ «Научный центр изучения Арктики»

Актуальность

Карское море оказывает существенное влияние на формирование регионального климата в Западной Сибири и в Российском секторе Арктики. Гидрологический режим Карского моря, определяющий погодно-климатические изменения, в значительной мере зависит от материкового стока пресных вод. Значительную часть года Карское море сплошь покрыто льдом. Поэтому около 80% стока приходится на август и сентябрь. В холодный период вода поступает только от крупных рек и в небольших количествах. Мелкие реки промерзают до дна, и сток от них прекращается на длительное время.

Пресная вода неравномерно распределяется по площади моря. Пространственное распределение опресненной воды по акватории моря различно в разные годы и часто изменяется даже в течение одного лета. Опреснение вод Карского моря влияет на скорость становления ледяного покрова. Соленость поверхностных вод Карского моря, меняется в пределах от 3-5‰ в южной части до 33-34‰ на севере моря.

Пространственное распределение солености воды в Карском море рассчитывалось по данным спутника SMOS (продукт L2OS). Полученные значения солености варьируют в диапазоне от 0 до 40 psu. Погрешность определения составляет 0.3-1.5 psu при высоких значениях солёности (от 20 psu), но при низких значениях солёности (до 5 psu) – резко возрастает до 10 psu и выше.

Для повышения точности дистанционного микроволнового зондирования проводятся лабораторные измерения диэлектрических характеристик снега, фирна и льда при разных значениях температуры, плотности и солености.

В данной работе оценены вариации радиоярких температур акватории Карского моря, приведены результаты расчета солености воды в Карском море по данным спутника SMOS (продукт L1C) и лабораторных измерений диэлектрических характеристик образцов воды, отобранных в Обской губе и проливе Малыгина.

Объектом исследования являлись акватория Карского моря между о. Новая Земля и полуостровом Ямал и Обская губа. Тестовые участки различались по продолжительности существования и толщине ледяного покрова, температуре и солености воды.

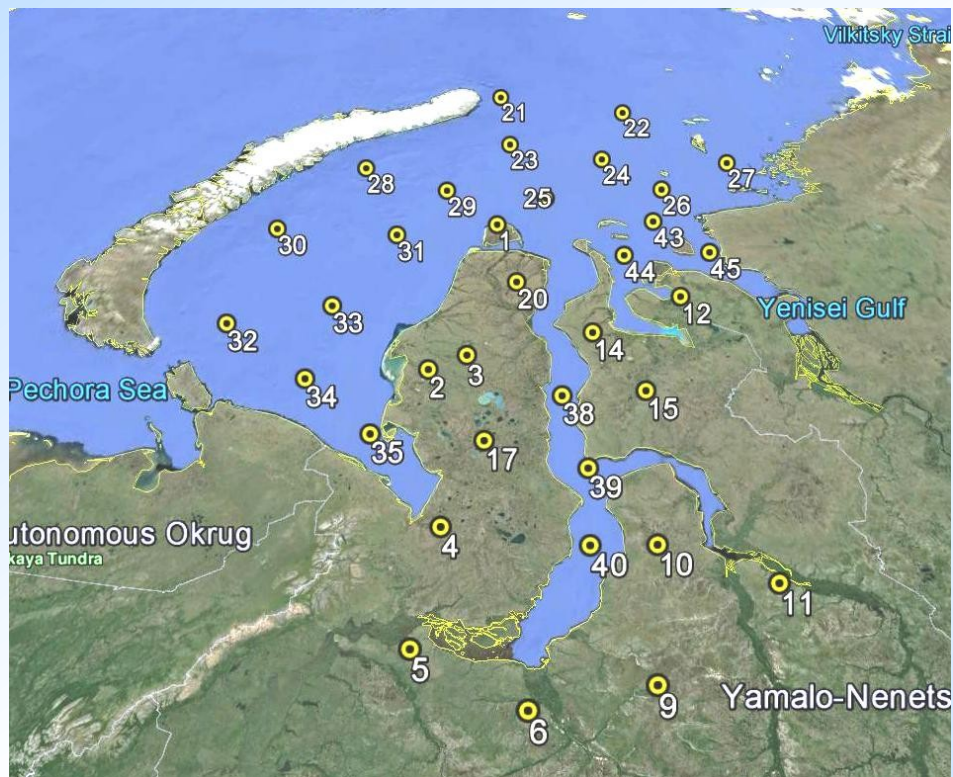
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методология исследований основывалась на комплексном подходе, включавшем в себя обработку спутниковых данных, полевые и лабораторные измерения.

Данные дистанционного зондирования :

Данные спутника SMOS (продукт L1c) на частоте 1.41 ГГц использовались для оценки пространственного распределения радияркостных температур подстилающей поверхности.

Данные SMOS привязаны к дискретной геодезической сетке **DGG ISEA 4H9**, состоящей из 2621442 шестиугольных ячеек, покрывающих весь Земной шар.



В полевом эксперименте производился отбор проб воды на тестовых участках в Обской губе и проливе Малыгина.

Толщина ледяного покрова изменялась от 130 до 150 см. Проводился химический анализ воды.

Вода в Обской губе от устья Оби до мыса «Парусный» пресная.

Минерализация воды из пролива Малыгина составила 23182.9 мг/дм³, pH = 7.0. Концентрация ионов (мг/дм³): CO < 10.0; HCO = 183.0; Cl⁻ = 16767.4; SO = 428.6; Ca²⁺ = 400.0; Mg²⁺ = 1560.0; Na⁺⁺ = 3843.9; . < 0.1; < 0.033; = 0.84; PO₄³⁻ < 0.002.

Международный проект SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) выполняется с 2009 года. Основная цель - составление глобальных карт влажности почвы и солености океана [1, 2].



Для определения значений использовались данные спутника SMOS (продукт L1c), измеренные на частоте 1.41 ГГц, на горизонтальной поляризации под углом зондирования 42.5° и откалиброванные в единицах радиояркостных температур. Погрешность определения изменялась от ± 3 К в центре до ± 6 К на краях полосы захвата шириной 890 км. Данные SMOS уровня L1C привязаны к дискретной геодезической сетке DGG ISEA 4N9 [13]. Линейный размер ячейки составляет 16 км, площадь 195 км².

1. Yann H. Kerr et al. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle //Proceedings of IEEE. Vol.98, No. 5, pp. 666-687. May 2010.
2. Rocco Panciera et al. A proposed extension to the soil moisture and ocean salinity level 2 algorithm for mixed forest and moderate vegetation pixels //Remote Sensing of Environment, Volume 115, Issue 12, 15 December 2011, Pages 3343-3354.

Основными характеристиками микроволнового излучения однородной подстилающей поверхности являются радиояркая температура T_B и коэффициент излучения χ , связанные между собой известным соотношением $T_B = \chi T$, где T – температура подстилающей поверхности

В общем случае радиояркая температура T_B геодезической ячейки формируется излучением, исходящим от нескольких типов подстилающей поверхности (вода с разной соленостью, лед-вода), и рассчитывается по формуле

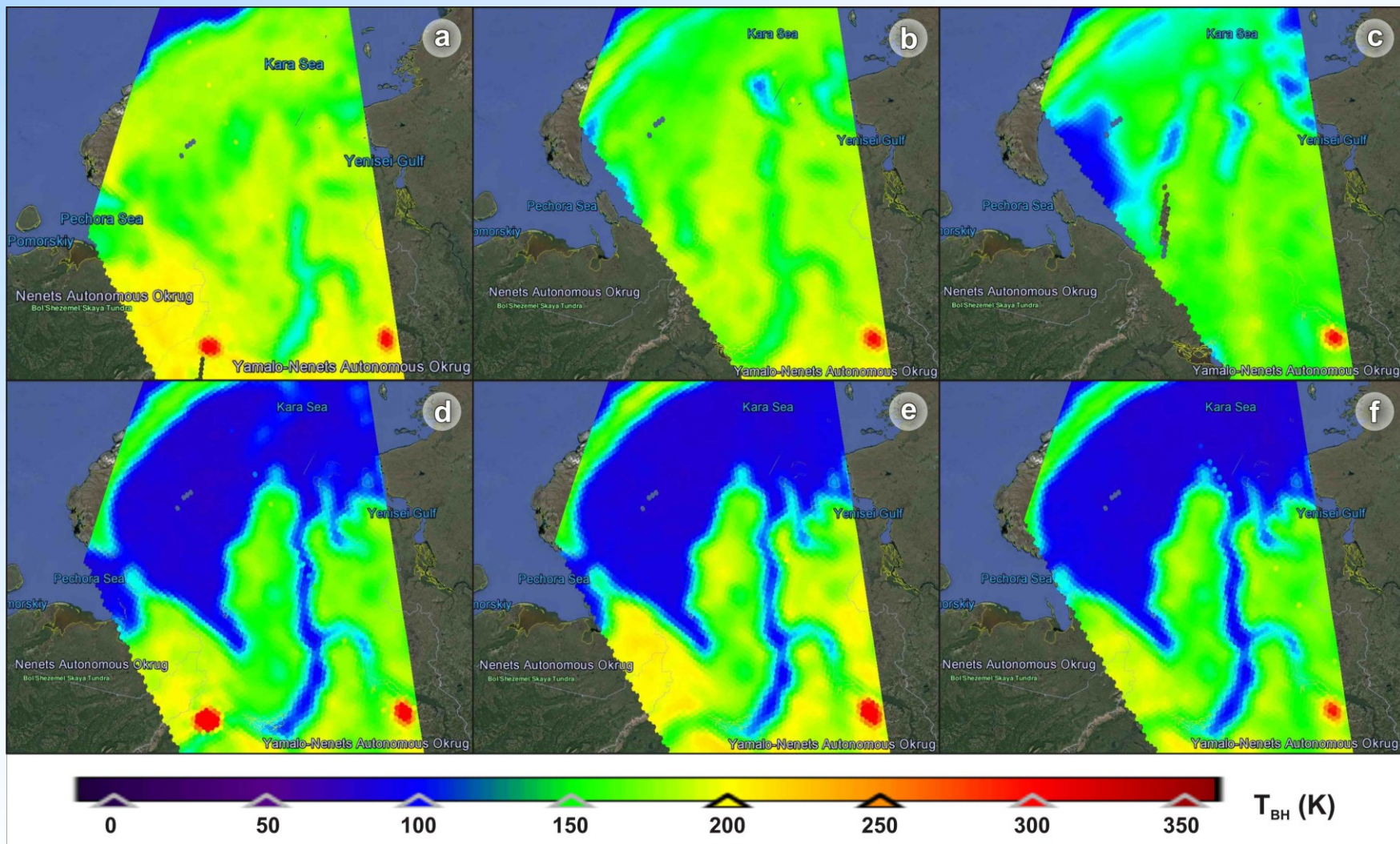
$$T_B = \sum_{j=1}^n T_B^j S_j,$$

где T_B^j и S_j – радиояркие температуры входящих в геодезическую ячейку участков и их площади. Радиояркие температуры T_B^i отдельных участков, входящих в геодезическую ячейку, рассчитывались по формуле

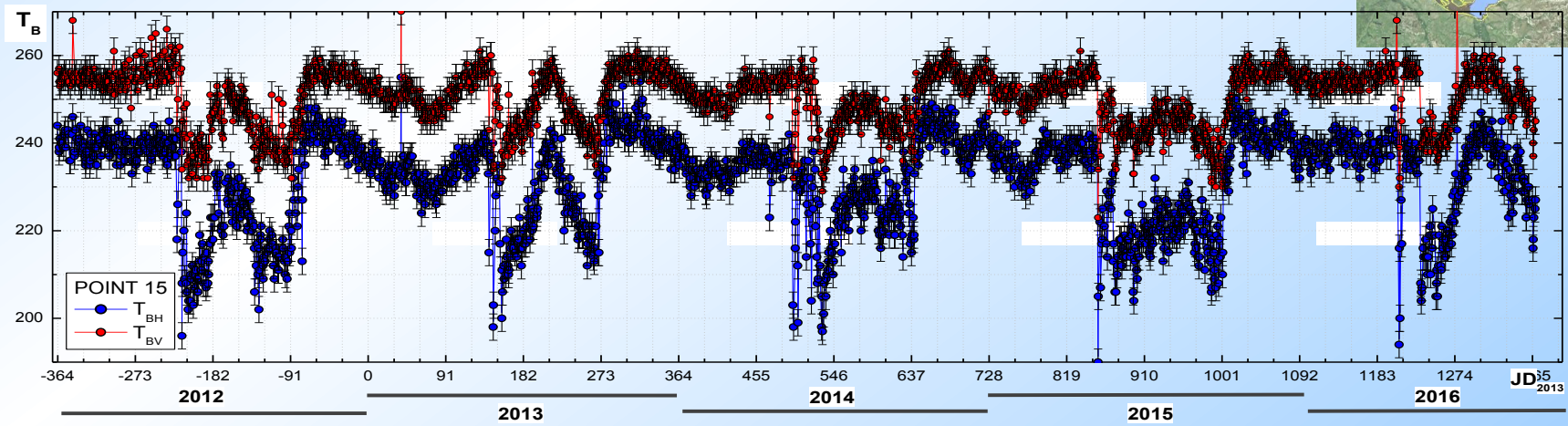
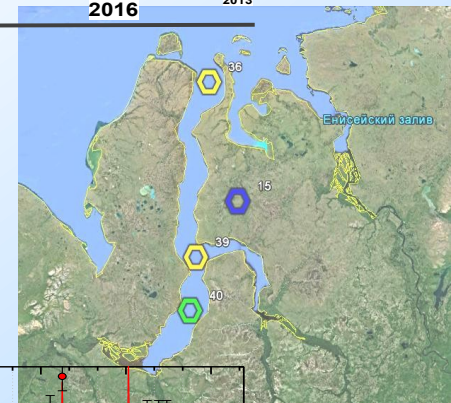
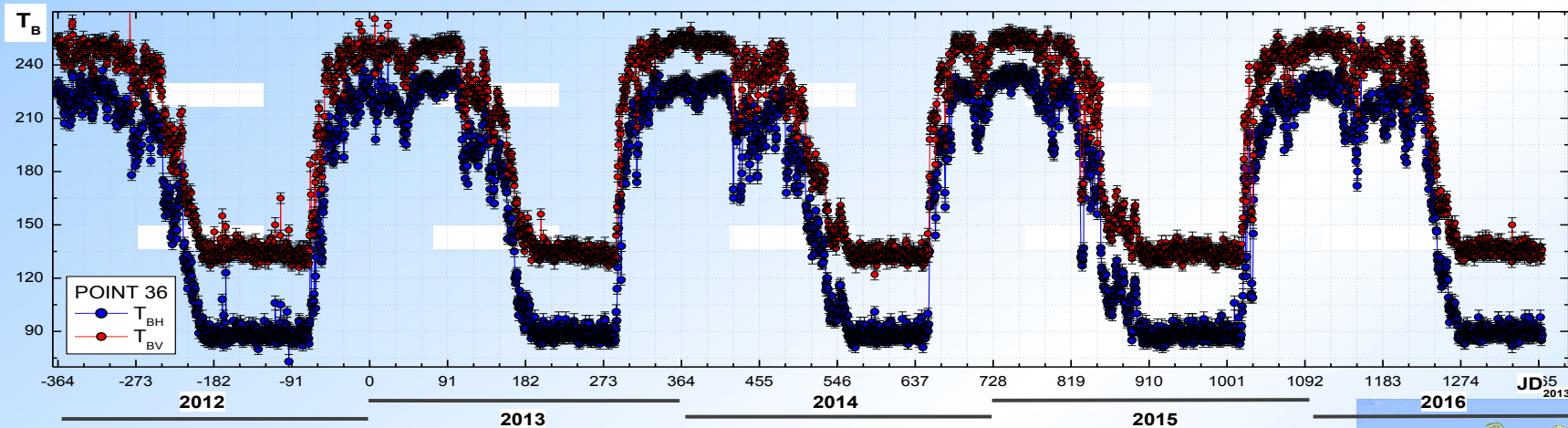
$$T_B^i = \left(T_B - \sum_{\substack{j= \\ j \neq i}} S_j \right) S_i$$

Коэффициенты излучения χ , рассчитанные по данным диэлектрических измерений, а также температура и минерализация воды, измеренные в полевом эксперименте, использовались для валидации радиоярких температур, рассчитанных на основе спутниковых измерений.

Пространственное распределение радиоярких температур подстилающей поверхности в разные периоды 2016 года: 3 марта (a), 2 мая (b), 2 июня (c), 2 июля (d), 2 августа (e), 2 сентября (f) по данным продукта L1C SMOS.



Динамика радиоярких температур на горизонтальной и вертикальной поляризациях для участка Карского моря на выходе из Обской губы (36) и в центре Гыданского полуострова (15) за 2012-2016 годы.

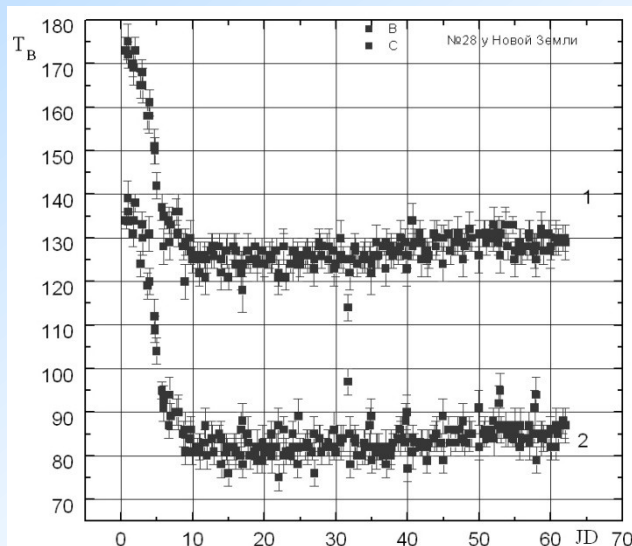
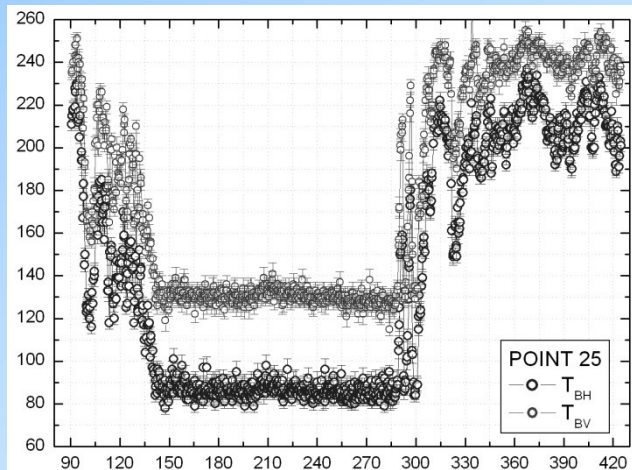


Динамика радиоярких температур на горизонтальной и вертикальной поляризациях для участков 25 и 28

Различие радиоярких температур обусловлено различием температуры и солёности воды, при наличии льда его толщиной и температурой.

Продолжительность существования льда в разных точках акватории Карского моря в разные годы различна. Вариации T_V достигают 100К. Обращают на себя внимание понижения $T_{ВН}$ льда с толщиной, большей скин-слоя до значений 150-160К, возможной причиной которых может быть наличие открытых участков воды, например, в результате ледокольной проводки нефтеналивных танкеров, поднятие солёной воды по трещинам в поверхностный слой льда и подтопление, наличие незамерзшей солёной воды в порах льда и фирна.

В период интенсивного таяния льда радиояркая температура водной поверхности с ледяным покровом нестабильна и характеризуется значительными перепадами. Значения $T_{ВН}$ понижаются с 230 до 80К, $T_{ВВ}$ – с 260 до 130К.



Наблюдаемые перепады достигают 60-70К и, возможно, связаны с возникновением снежиц на поверхности льда, разрушением ледяного покрова и появлением открытых участков воды.





**Экспериментальные исследования проведены в рамках
грантов РФФИ № 15-05-05018, №16-45-890664.**

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



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ