

НАУКИ О ЗЕМЛЕ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМАТИКА

УДК 911.2, 528.88 (571.121)
DOI 10.26110/ARCTIC.2020.107.2.005

Печкин Александр Сергеевич
ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия),
научный сотрудник

A.S. Pechkin

ПРИМЕНЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА В ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЯРКОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

APPLICATION OF THE COMPARATIVE GEOGRAPHICAL METHOD IN REMOTE STUDIES OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF RADIO BRIGHTNESS TEMPERATURES IN THE TERRITORY OF THE YAMAL-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT

Аннотация. В работе приведены результаты исследований сезонных и годовых вариаций пространственно-временного распределения радиоярких температур подстилающей поверхности по данным спутника SMOS на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. При обработке значений данных дистанционного зондирования был применен сравнительно-географический метод, который позволил выделить на разных уровнях основные закономерности распределения радиоярких значений поверхностного покрытия на исследуемой территории.

Abstract. The paper presents the results of studies of seasonal and annual variations of the spatiotemporal distribution of radio brightness temperatures of the underlying surface according to the SMOS satellite data in the Yamal-Nenets Autonomous District. When processing the values of remote sensing data, a comparative geographical method was used, which made it possible to distinguish at different levels the main patterns of the distribution of radio brightness values of surface coverage in the research area.

Ключевые слова: SMOS, радиояркие температуры, подстилающая поверхность, Ямало-Ненецкий автономный округ

Keywords: SMOS, radio brightness temperatures, underlying surface, Yamal-Nenets Autonomous District.

Введение

За последние годы на территории Западной Сибири наблюдаются существенные ландшафтные изменения, происходящие под действием природных и антропогенных факторов и ведущие к возникновению опасных природных явлений. Вероятными причинами их возникновения являются глобальные и региональные изменения климата,

таяние льдов Северного Ледовитого океана, деградация многолетнемерзлых пород и растительности, повышение концентраций парниковых газов в атмосфере, опустынивание тундровых и лесотундровых территорий [1, 2, 3].

Оперативная информация о гидрологических реакциях на гидроклиматические изменения в арктическом

регионе может быть получена на основе использования всепогодных микроволновых методов дистанционного зондирования [4; 5; 6].

Для возможности использования данных дистанционного зондирования необходимо изучить закономерности взаимодействия электромагнитных волн разных диапазонов с элементами растительности, водой, талой и мерзлой почвой [7]. Калибровка и валидация спутниковых данных предполагают использование тестовых полигонов с известными излучательными характеристиками подстилающей поверхности [8]. Совместное исследование радиоизлучательных характеристик почвенного покрова в оптическом и микроволновом диапазонах показало, что на результаты дистанционных измерений оказывают влияние минералогический состав почвы, текстура, влажность, засоленность. Совокупное влияние этих факторов ведет к значительным пространственно-временным вариациям радиоизлучательных свойств почв [9].

Объект и методы исследований

Объектом исследования является территория Ямало-Ненецкого автономного округа, сухопутная часть, включая полуостров Ямал, остров Белый и Гыданский полуостров, а также береговая линия акватории Карского моря.

Методология проведенных исследований основывалась на комплексном подходе, включавшем в себя обработку спутниковых данных, метеоданных, полевых и лабораторных измерениях.

Для определения значений радиоярких температур подстилающей поверхности использовались данные спутника SMOS (продукт L1c) [10], сделанные на частоте 1,41 ГГц под углом зондирования 42,5° и откалиброванные в единицах радиоярких температур. Высота орбиты спутника составляет 763 км. Погрешность определения T_a изменяется от ± 3 К в центре до ± 6 К на краях полосы захвата, ширина которой 890 км. Съемка исследуемой территории производится от 4 до 7 раз в сутки в диапазоне углов зондирования от 0° до 55°. Разрешающая способность радиометра при зондировании под углом 42,5° составляет 45 км. Данные продукта L1c привязаны к дискретной геодезической сетке DGG ISEA 4N9 [11]. Линейный размер ячейки составляет ~16 км, площадь ~195 км². Снимки SMOS предоставлены

Европейским космическим агентством в рамках проекта ESA №4747 «Remote mapping of Siberian saline soils».

По данным SMOS изучалась динамика радиоярких температур на территории региона. Выбранные тестовые участки различались по влажности, температуре, растительности, рельефу. Для валидации данных SMOS использовались зависимости коэффициентов излучения почвы и растительности от температуры и влажности, установленные на основе лабораторных измерений диэлектрических характеристик почвы, отобранных с тестовых участков.

Лабораторные измерения диэлектрических характеристик почв и воды проводились на частоте 1.41 ГГц в «Институте водных и экологических проблем» СО РАН, г. Барнаул. По результатам полевых и лабораторных измерений рассчитывались радиояркие температуры, которые сравнивались с данными спутника SMOS. Совместный анализ спутниковых данных SMOS, MODIS, наземных и лабораторных измерений позволил выявить значительные сезонные и межгодовые вариации микроволнового излучения подстилающей поверхности российского сектора Арктики.

По данным спутникового микроволнового зондирования выявлены ключевые мониторинговые участки в арктической и субарктической территории ЯНАО за период с 2012 по 2016 гг. Дополнительно, были выбраны метеостанции, располагающиеся вблизи от исследовательских участков, и получены значения метеоданных за период с 2012 по 2016 гг.

Для сравнения полученных данных был выбран сравнительно-географический метод исследования, от «региональных» показателей к «локальным», позволяющий выделить сходства и отличия на разных уровнях. Дополнительно, для сравнения показателей, все данные были разделены на группы по сезонам года.

Результаты

Полученные данные радиоярких значений спутника SMOS за период с 2012 по 2016 гг. были привязаны к метеорологическим показателям с ближайших метеостанций и природным ландшафтными зонам (Рис 1, 2).

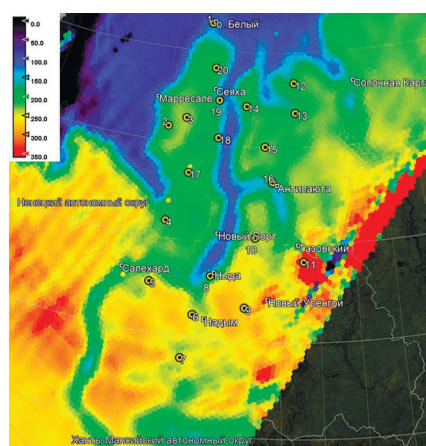


Рис. 1. Карта-схема радиоярких температур подстилающей поверхности территории Ямало-Ненецкого автономного округа, построенной по данным спутника SMOS (14:43 26.07.2015 г.)



Рис. 2. График радиояростной температуры за 2015 год остров Белый

Общий массив значений был исследован и проанализирован на разных географических уровнях: 1 уровень «региональный» - сравнение данных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа; 2 уровень

«циркумполярный» - арктическая и субарктическая природные зоны; 3 уровень «зональный» - ландшафтные природные зоны; 4 уровень «секторальный» - ландшафтные природные подзоны (Таблица 1).

Таблица 1. Группирование полигонов по среднегодовым значениям радиояростных температур

№ группы	Диапазон значений	№ полигона	Ближайшие метеостанции
<i>Региональный уровень</i>			
1 группа	от 186 до 201	1, 8, 18, 19	о. Белый, Ныда, Сеяха
2 группа	от 202 до 221	13, 16, 17	Сопочная Карга, Антипаюта, Новый Порт
3 группа	от 222 до 239	2, 3, 4, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 20	Марресале, Сеяха, Салехард, Антипаюта, Надым, Ныда, Новый Уренгой
4 группа	от 240 до 276	5, 6, 11	Салехард, Надым, Тазовский
<i>Циркумполярный уровень</i>			
Арктическая зона	от 113 до 314	1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	им. Попова (о. Белый), Марресале, Сеяха, Антипаюта, Новый Порт, Сопочная Карга.
Субарктическая зона	от 157 до 320	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	Ныда, Тазовский, Салехард, Надым, Новый Уренгой
<i>Зональный уровень</i>			
Арктический пояс	от 113 до 314	1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	им. Попова (о. Белый), Марресале, Сеяха, Антипаюта, Новый Порт, Сопочная Карга.
Южнотундровая полоса	от 157 до 320	5, 8, 10, 11	Салехард, Ныда, Тазовский.
Лесотундровая полоса	от 191 до 294	6, 7, 9	метеостанции Надым, Новый Уренгой
<i>Секторальный уровень</i>			
Ямало-Гыданская подзона	от 113 до 314	1, 3, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20	им. Попова (о. Белый), Марресале, Сеяха, Антипаюта, Сопочная Карга
Юрибейская подзона	от 168 до 307	2, 4, 17	Марресале, Новый Порт

Тазовская подзона	от 188 до 320	10, 11	Тазовский, Новый Порт
Южно-Ямальская подзона	от 157 до 291	5, 8	Салехард, Ныда
Полуй-Надымская подзона	от 191 до 294	6, 7, 9	Надым, Новый Уренгой

На первом уровне проводилось сравнение средних годовых показателей радиоярких значений по разным годам на всех точках друг с другом. Это дало возможность определить закономерности и различия на полигонах.

Все точки были разбиты по 4 группам, по данным радиоярких значений, от самого минимума (186К) до максимума (276К): в первую группу вошли полигоны, границы которых захватывают часть бассейна Карского моря; во вторую группу вошли полигоны, границы которых захватывают большую часть бассейнов рек и озер; в третью группу вошла большая часть полигонов, расположенных на сухопутной части ЯНАО, как на низинных, так и на возвышенных частично обводненных территориях; в четвертую группу вошли 3 полигона, расположенных на северных частях возвышенностей.

На втором уровне проводилось сравнение значений амплитуд радиоярких показателей и температур воздуха по декадам и сезонам года арктической и субарктической природных зон.

На третьем уровне проводилось сравнение значений амплитуд радиоярких показателей и температур воздуха по декадам и сезонам года Арктического пояса, южнотундровой и лесотундровой полос.

На четвертом уровне проводилось сравнение значений амплитуд радиоярких показателей и температур воздуха по декадам и сезонам года по секторам, внутри Арктического пояса, южнотундровой и лесотундровой полос между: Ямало-Гыданской, Юрибейской, Тазовской, Южно-Ямальской, Полуй-Надымской подзонами (Рис. 3).

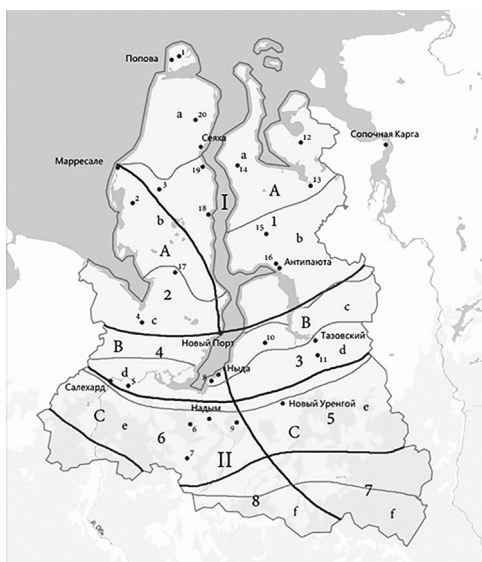


Рис. 3. Схема выделенных уровней, где I – арктическая зона, II – субарктическая зона; А – Арктический пояс, В – Южнотундровый пояс, С – Лесотундровый пояс; 1 - Ямало-Гыданская подзона, 2 – Юрибейская подзона, 3 – Тазовская подзона, 4 - Южно-Ямальская подзона, 6 - Полуй-Надымская подзона.

Выводы

Применение сравнительно-географического метода в дистанционных исследованиях пространственного распределения радиоярких температур на территории Ямало-Ненецкого автономного округа показало, что на разных уровнях выявляются сходства и различия следующего характера:

- на региональном уровне наблюдались отличия, входящие в 1, 2 и 4 группы. В 1 и 2 группах были наиболее низкие значения показателей радиоярких значений из-за близости к водоемам. Точки 1, 8, 18, 19 находятся на береговой линии, в близости к крупным водным объектам (губам и заливам) и их диапазон варьировал от 186 до 201 К. Немного выше значения были у 13, 16, 17 точек (от 202 до 221 К), так как исследовательские поли-

- гоны находятся на небольших реках и озерах. В 4 группе значения были самые высокие (от 240 до 276 К), так как мониторинговые точки находятся на возвышенных участках, имеющих северную экспозицию: 5 точка - Полуйская возвышенность, северная часть; 6 точка - Полуйская возвышенность, северо-восточная часть; Пур-Тазовская возвышенность, северная часть.

- на циркумполярном уровне, в арктической и субарктической природных зонах, наблюдается процесс запоздания показателей метеостанций и значений радиоярких температур. Так, например, пик положительной температуры на метеостанциях фиксируется на 2 декаду июня, а на показателях радиоярких значений фиксируется только в 3 декаде июля. Также, отрицательные

показатели метеоданных фиксируются в 2, 3 декадах января, а на радиоярких значениях пик приходится в 2, 3 декадах марта.

- на зональном уровне наблюдается повсеместные сходства низких амплитуд в зимнем и весеннем сезоне, а также схожесть значений в арктической и в лесотундровой зоне. Различия наблюдаются в арктической зоне, где значения амплитуд значительно выше, по сравнению с другими зонами.

- на секторальном уровне в целом явных различий или сходств обнаружено не было, только в зимний период зафиксированы низкие амплитуды; в конце

ноября и декабря показатели выше на 2-3 единицы, по сравнению с январем и февралем.

В целом, применение данного метода позволяет на первых уровнях изучать и выявлять закономерности сезонной динамики процессов оттаивания и замерзания подстилающей поверхности тундровой зоны для оценки климатических изменений на территории исследования. На третьем и четвертом уровнях в данной работе существенных различий выявлено не было. Возможно, это связано с малым количеством исследуемых точек и временным периодом исследования.

Литература

1. Bring A., Destouni G. Hydro-climatic changes and their monitoring in the Arctic: Observation-model comparisons and prioritization options for monitoring development // *Journal of Hydrology*. 2013. Vol. 492. P. 273–280.
2. Karlsson J.M., Jaramillo F., Destouni G. Hydro-climatic and lake change patterns in Arctic permafrost and non-permafrost areas // *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 529. Part 1. P. 134–145.
3. Романов А.Н., Хвостов И.В., Кобелев В.О., Печкин А.С., Тихонов В.В. К разработке дистанционных радиофизических критериев оценки гидролого-климатических изменений в Арктике // В книге: Сборник тезисов докладов пятнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Институт космических исследований Российской академии наук. 2017. С. 205.
4. Poursanidis D., Chrysoulakis N. Remote Sensing, natural hazards and the contribution of ESA Sentinels missions // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2017. Vol. 6. P. 25–38.
5. Печкин А.С., Черных Д.В., Печкина Ю.А., Кобелев В.О. Сезонные вариации микроволнового излучения как отражение функционирования ландшафтов по данным спутника SMOS на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // В сборнике: Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития материалы XII Международной ландшафтной конференции: в 3 томах. 2017. С. 320-325.
6. Романов А.Н., Хвостов И.В., Уланов П.Н., Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Плуталова Т.Г., Кобелев В.О., Печкин А.С., Синицкий А.И., Сысоева Т.Г., Хворова Л.А. Космический мониторинг Арктических и Субарктических территорий Ямало-Ненецкого автономного округа // Институт водных и экологических проблем СО РАН, Департамент по науке и инновациям ЯНАО, Научный центр изучения Арктики. Барнаул, 2018.
7. 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.
8. Романов А.Н., Хвостов И.В., Ковалевская Н.М., Синицкий А.И., Колесников Р.А., Кобелев В.О., Печкин А.С., Печкина Ю.А. Первые результаты космического микроволнового мониторинга вечной мерзлоты и тундровой растительности Гыданского полуострова // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2016. № 4 (93). С. 68-76.
9. Космический мониторинг арктических и субарктических территорий Ямало-Ненецкого автономного округа / А.Н. Романов и др. – Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс», 2018. – 120 с.
10. Gutierrez A., Castro R. (2010). SMOS L1 Processor L1c Data Processing Model. SO-DS-DME-L1PP-0009, Issue 2.7, 2010. URL: <http://www.smos.com.pt/downloads/release/documents/SO-DS-DME-L1PP-0009-DPM-L1c.pdf>
11. Sahr K., White D., Kimerling A.J. Geodesic Discrete Global Grid Systems // *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 30, pp. 121-134, 2003

Сведения об авторе:

Печкин Александр Сергеевич, 1990 г.р, окончил Саратовский Государственный университет им. Н.Г. Чернышевского в 2013 году, географический факультет, «Эколог-природопользователь». ГКУ ЯНАО «На-

учный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия), научный сотрудник. Область научных интересов: экология, геоэкология, почвоведение, гидробиология. E-mail: a.pechkin.ncia@gmail.com

Information about the author:

Pechkin Alexander Sergeevich, born in 1990, graduated from the Faculty of Geography of Saratov State University in 2013, specialty "Environmentalist". Researcher of the Arctic

Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, geoecology, soil science, hydrobiology. E-mail: a.pechkin.ncia@gmail.com