

Е. П. Хлебникова^{1}, А. А. Третьякова²*

Анализ возможностей применения данных дистанционного зондирования при мониторинге арктических территорий

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² ООО «СибГеоПроект», г. Тюмень, Российская Федерация

* e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу возможностей применения данных дистанционного зондирования (ДЗ) при мониторинге арктических территорий посредством современных методов обработки многозональных снимков. Для проведения исследования были отобраны разновременные космические снимки на территорию острова Октябрьской революции архипелага Северная Земля. В ходе экспериментов были использованы алгоритмы управляемой классификации, применены спектральные индексы, инструменты для обнаружения изменений, а также произведен расчет температурных характеристик поверхности. Работы выполнялись в программных продуктах ENVI и ArcGIS. Сравнение полученных результатов позволило отследить значительную динамику ледника Вавилова и изменение ледовой обстановки в целом. Проведенные исследования показывают, что данные дистанционного зондирования предоставляют актуальную и ценную информацию о состоянии арктических территорий и являются неотъемлемым инструментом для изучения данного региона, демонстрируют потенциал использования многозональных снимков для мониторинга арктических территорий.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, многозональные космические снимки, арктические территории, мониторинг, спектральные индексы, обнаружение изменений, температурные характеристики

E. P. Khlebnikova^{1}, A. A. Tretyakova²*

Analysis of the possibilities of using remote sensing data in monitoring Arctic territories

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² LLC «SibGeoProject», Tyumen, Russian Federation

* e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of the possibilities of using remote sensing (RS) data in monitoring Arctic territories using modern methods of processing multispectral images. To conduct the study, space images from different times were selected for the territory of the October Revolution Island of the Severnaya Zemlya archipelago. During the experiments, supervised classification algorithms were used, spectral indices were applied, tools for detecting changes, and the temperature characteristics of the surface were calculated. The work was carried out using ENVI and ArcGIS software products. Comparison of the results obtained made it possible to track the significant dynamics of the Vavilov glacier and changes in the ice situation in general. The conducted studies show that remote sensing data provides relevant and valuable information about the state of the Arctic territories and is an integral tool for studying this region, demonstrating the potential of using multispectral images for monitoring Arctic territories.

Keywords: remote sensing data, multi-zone satellite imagery, Arctic territories, monitoring, spectral indices, change detection, temperature characteristics

Введение

Арктика является уникальным регионом с особым экономическим, геополитическим и социальным значением, однако многие его географические аспекты до сих пор недостаточно исследованы. В связи с этим возникает необходимость проведения мониторинга состояния данных территорий, особенно островных экосистем и прибрежных зон, а также процессов оледенения арктических земель.

Однако выполнение задач мониторинга в условиях Арктики осложнено многими факторами, основными из которых можно отметить труднодоступность региона, суровые климатические условия, полярную ночь, особенности приграничного и пограничного статуса территории, разнородность данных разных ведомств.

Теоретическая составляющая данного исследования состоит в разработке новых подходов к использованию данных дистанционного зондирования для мониторинга арктических территорий, включающих анализ климатических условий, ландшафта, ледяного покрова и других характеристик арктической среды с позиции их влияния на эффективность применения данных дистанционного зондирования.

Практическое применение результатов работы может быть реализовано в различных областях, например, в сфере экологии, добыче ресурсов, геологии или даже прогнозирования климатических изменений, включая проверку и апробацию новых и уже существующих методологий и подходов к использованию данных дистанционного зондирования для мониторинга арктических территорий.

Методы и материалы

В качестве исходных материалов для проведения исследования были использованы многозональные космические снимки среднего пространственного разрешения [1], полученные съемочными системами Landsat (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика исходных материалов

Спутник	Сенсор	Год	Месяц	День	Количество снимков, шт
Landsat-5	MSS	1985	8	9	2
Landsat-5	TM	1985	8	9	2
Landsat-8	OLI	2013	8	9	1
Landsat-8	OLI	2013	8	27	1
Landsat-8	OLI	2023	8	16	2
Landsat-8	OLI	2023	8	8	1

На первом этапе работы с космическими снимками было выполнено создание многоканального файла посредством инструмента «Layer Stacking», а также объединение снимков при помощи инструмента «Mosaicing» [2].

Алгоритмы обнаружения изменений (Change Detection Analysis) представляют набор методов, применяемых для выявления, описания и определения отличий между изображениями одной и той же территории, полученными в различные временные периоды. В программе ENVI представлены 3 основных инструмента для обнаружения изменений: «Статистика изменений» (Change Detection Statistics) и «Тематическое изменение» (Thematic Change Workflow) для классифицированных изображений, а также «Изменения изображений» (Image Change Workflow) – для полутонных изображений [3].

При проведении управляемой классификации для упрощения создания обучающей выборки авторами предлагается использовать изображения предварительно рассчитанных многоспектральных индексов для определения различных природных объектов [4]. В данных исследованиях использовался нормализованный дифференцированный снеговой индекса (NDSI), аналогичные по принципу получения индексы растительности и влагосодержания (NDVI, NDWI) были опробованы, но, в силу территориальных особенностей, показали менее достоверные результаты.

Температурная карта поверхности земли создается с использованием инфракрасных данных, которые измеряют излучение, испускаемое объектами на поверхности Земли.

Формула расчета правильного преобразования цифровых номеров термальных полос Landsat-8 в излучение на верхней границе атмосферы (TOA Radiance), выглядит следующим образом:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i, \quad (1)$$

где L_{λ} – излучение на верхней границе атмосферы (TOA Radiance);

M_L – масштабный коэффициент;

Q_{cal} – калиброванное значение цифрового номера пикселя;

A_L – коэффициент смещения;

O_i – корректирующее значение, равное 0,29 (offset) [5].

Далее полученное значение преобразовывается в яркость верхней границы атмосферы:

$$BT = \frac{K_2}{\ln[(K_1 / L_{\lambda}) + 1]} - 273,15, \quad (2)$$

где BT – яркость верхней границы атмосферы (TOA Brightness);

K_2, K_1 – специфичные тепловые константы из метаданных, зависящие от номера тепловой полос.

Для расчета излучения на верхней границе атмосферы (TOA Radiance) космического снимка Landsat-5, можно применить следующую формулу:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (Q_{cal} - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}, \quad (3)$$

где $LMAX_{\lambda}$ – масштабированное спектральное излучение по $QCALMAX$;

$LMIN_{\lambda}$ – масштабированное спектральное излучение по $QCALMIN$;

$QCALMAX$ – минимальное и откалиброванное значение пикселя (соответствующее $LMAX_{\lambda}$) в цифровом номере (DN), равном 255 [5];

$QCALMIN$ – минимальное и откалиброванное значение пикселя (соответствующее $LMIN_{\lambda}$) в цифровом номере (DN).

Для перевода полученного значения в яркость верхней границы атмосферы TOA Brightness используется формула, аналогичная Landsat-8.

Результаты

Результат динамики изменений ледника Вавилова (рис. 1) отображен при помощи полученных контуров после автоматических процедур классификации индексных изображений.

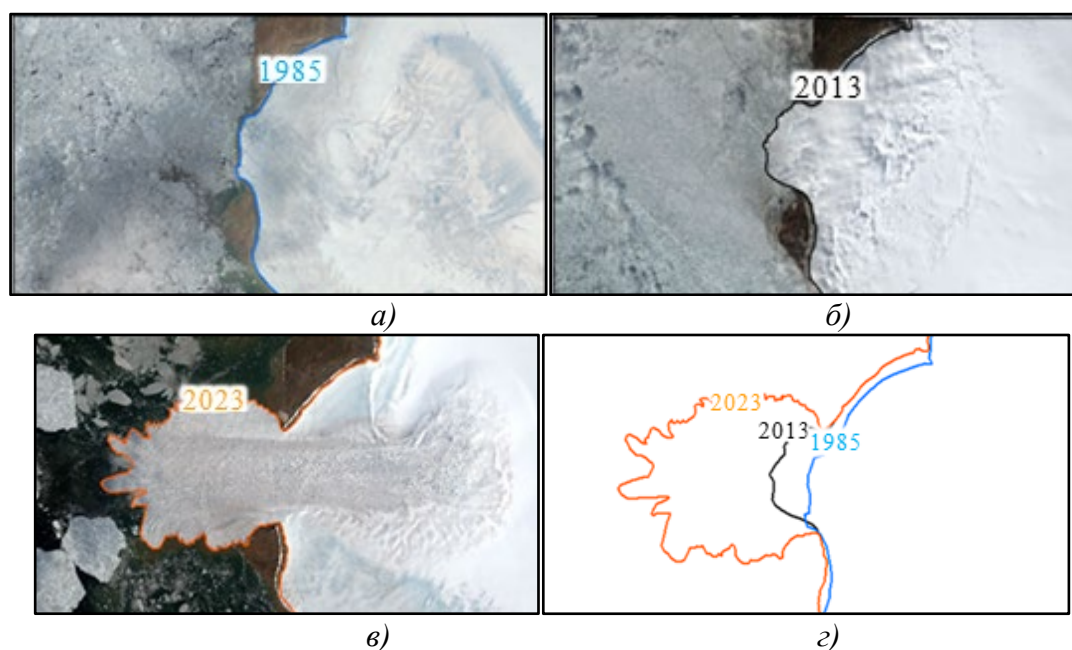


Рис. 1. Динамика ледника Вавилова: а) 1985 г; б) 2013 г; в) 2023 г; г) 1985–2023 гг

Результатом обнаружения изменений на спектральных индексах посредством инструмента «Image Change Workflow», являются изображения по NDSI (рис. 2). На полученных изображениях, положительные изменения отображаются синим, отрицательные изменения представлены красным цветом.

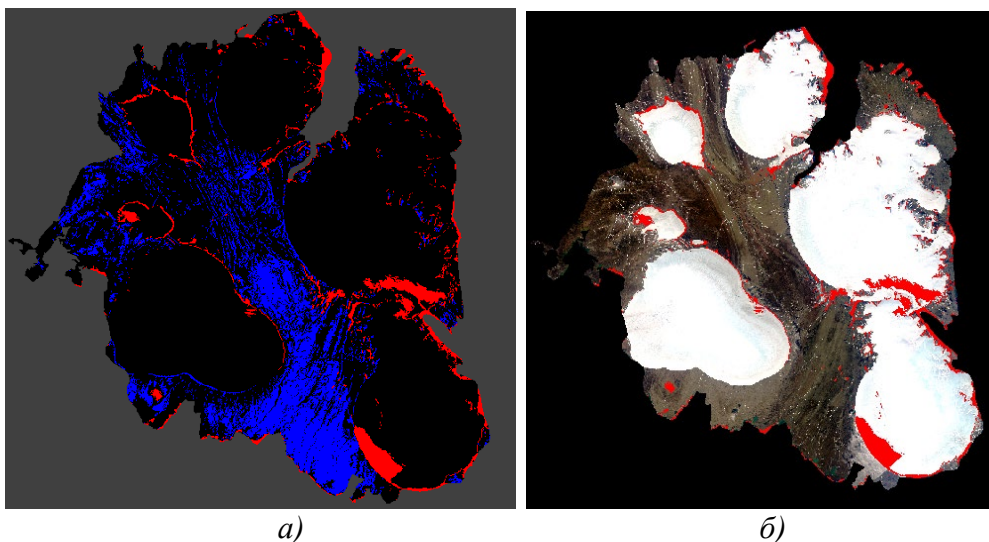


Рис. 2. Результат обнаружения изменений: *а)* по индексу NDSI; *б)* на подложке космического снимка.

Для визуализации изменений в виде тематической карты, был применен инструмент «Тематическое изменение» (Thematic Change Workflow). Полученное изображение было выгружено в векторном формате, и оформлено как тематическая карта в программном комплексе ArcMap (рис. 3).

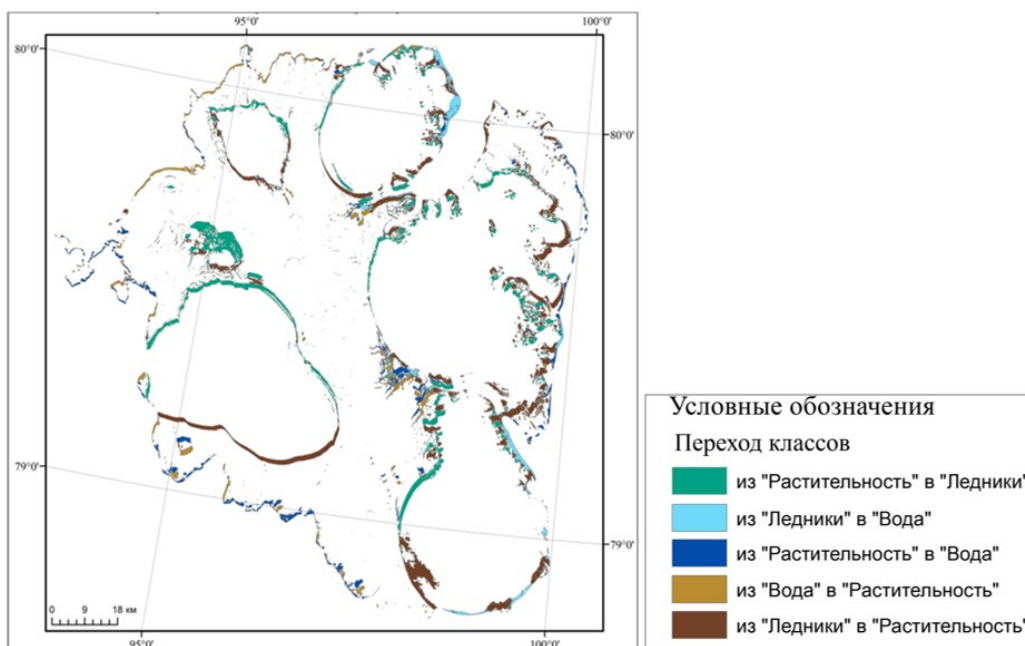


Рис. 3. Пример тематической карты определения изменений

Для создания детальной таблицы изменений по результатам статистических показателей различий между двумя классифицированными изображениями использовался инструмент «Change Detection Statistics». Интерактивное окно от-

чета (рис. 4) содержит все выбранные статистические показатели в отдельных вкладках пикселей, процентов и площадей изменений по классам.

		Initial State				
		Rast	Led	Voda	Row Total	Class Total
Final State	Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	7794558000.00
	Rast	5918630400.00	509961600.00	140983200.00	6569575200.00	6572350800.00
	Led	407696400.00	6922497600.00	31856400.00	7362050400.00	7362666000.00
	Voda	156290400.00	99172800.00	40680000.00	296143200.00	299764800.00
	Masked Pixels	3646800.00	2268000.00	256000.00	8470800.00	142899912000.00
	Class Total	6486264000.00	7533900000.00	216075600.00		
	Class Changes	567633600.00	611402400.00	175395600.00		
	Image Difference	86086800.00	-171234000.00	83689200.00		

Рис. 4. Окно отчета со статистическими показателями изменений

В результате получения яркости верхней границы атмосферы (TOA Brightnes) были составлены карты температуры поверхности по снимку Landsat-5 и Landsat-8 (рис. 5).

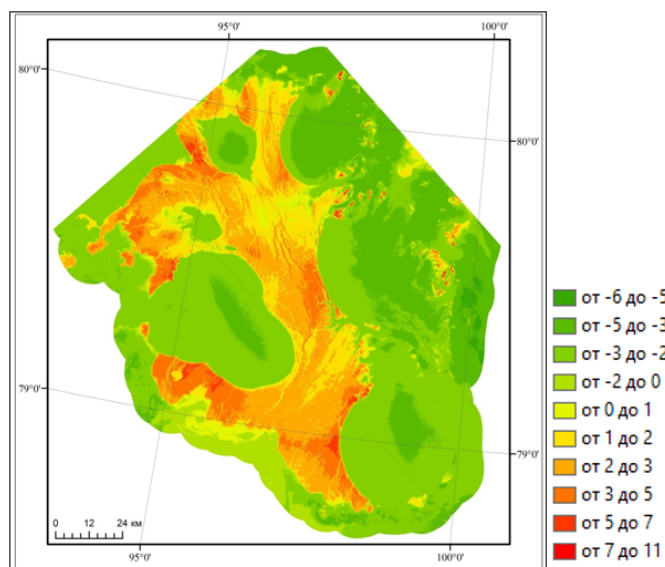


Рис. 5. Фрагмент карты температуры поверхности на 2023 г. (Landsat-8)

Обсуждение

По полученным в ходе экспериментальных исследований контурам удалось отследить значительную динамику ледника Вавилова.

Использование инструмента Change Detection позволило оперативно выявить и проанализировать изменения в ледовом покрове и других классах, как после процедуры автоматизированной классификации, так и на основе изображений спектрального индекса NDSI.

Расчёт температурных показателей поверхности арктических территорий является важным инструментом исследования в этом регионе.

Заключение

Данные дистанционного зондирования предоставляют актуальную и ценную информацию о состоянии арктических территорий являются неотъемлемым инструментом для изучения данного региона. Проведенные исследования демонстрируют потенциал использования многозональных снимков для мониторинга арктических территорий в будущем, а также для разработки стратегий устойчивого развития этой территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. USGS Earth Explorer: [сайт]. – Гамбург, 2021. – URL: <https://www.usgs.gov/educational-resources/earth-explorer> (дата обращения : 24.01.2024). – Текст : электронный. – Режим доступа : общий доступ.
2. Третьякова, А. А. Возможности применения данных дистанционного зондирования при картографировании арктических территорий / А. А. Третьякова, Е. П. Хлебникова. – Текст : непосредственный // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – № 3. – С. 162–168.
3. Байкалова, Т. В. Автоматизированная обработка данных дистанционного зондирования. Часть I: учебно-методическое пособие снимкам / Т. В. Байкалова. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015. – 112 с. – Текст : непосредственный.
4. Исследование возможностей программного комплекса ENVI для мониторинга территорий по космическим снимкам / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, А. С. Алферова [и др.] . – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. / Сибирский государственный университет геосистем и технологий. – Новосибирск : СГУГиТ, 2009. – Т. 4, № 2. – С. 186–192.
5. Using the USGS Landsat Level-1 Data Product: [сайт]. – Гамбург, 2021. – URL: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product> (дата обращения : 02.11.2023). – Текст : электронный. – Режим доступа : общий доступ.

© Е. П. Хлебникова, А. А. Третьякова, 2024