

# Геологическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли на примере месторождения Колмозерское Мурманской области

А.А. Камаев<sup>1,2</sup>, А.И. Маневич<sup>1,2</sup>✉, В.В. Антошин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Резюме:** В данной статье рассмотрена необходимость развития минерально-сырьевой базы России для поддержки высокотехнологичной экономики страны. Особое внимание уделяется поиску и разработке стратегически важных видов сырья, таких как титан, вольфрам, литий и другие. Подчеркнута важность обеспечения ресурсами из собственных источников, минимизируя зависимость от импорта. В статье описываются дистанционные методы исследования, а именно использование данных дистанционного зондирования Земли (спутниковых снимков) для поиска и оценки потенциальных месторождений. На примере Мурманской области проводится анализ данных спутниковой съемки с целью выявления потенциальных узлов минерализации. Используемые методы включают дешифрирование снимков с помощью геологических индексов. С их помощью можно выявить зоны геологического интереса, которые в дальнейшем могут быть использованы при полном комплексе геологоразведочных мероприятий.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, стратегические виды сырья, геологоразведка, дистанционное зондирование Земли, спутниковая съемка, Мурманская область, узлы минерализации

**Для цитирования:** Камаев А.А., Маневич А.И., Антошин В.В. Геологическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли на примере месторождения Колмозерское Мурманской области. *Горная промышленность*. 2024;(3):122–125. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-122-125>

## Geological interpretation of remote sensing data using the case of the Kolmozerskoye field in the Murmansk region

A.A. Kamaev<sup>1,2</sup>, A.I. Manevich<sup>1,2</sup>✉, V.V. Antoshin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> NGK Gorny LLC, Moscow, Russian Federation

✉ ai.manevich@yandex.ru

**Abstract:** This article discusses the need for the development of Russia's mineral and raw material base to support the country's high-tech economy. Special attention is given to prospecting and mining of strategically important types of raw materials, such as titanium, tungsten, lithium, and others. The importance of securing resources from domestic sources, minimizing dependence on imports, is emphasized. The article describes remote survey methods, specifically the use of Earth remote sensing data, i.e. the satellite images, for prospecting and assessment of potential deposits. An analysis of satellite data of the Murmansk Oblast is conducted to identify the potential mineralization nodes. The methods used include interpretation of images using geological indexes. With their help, zones of geological interest can be identified, which can later be used in a full range of geological exploration activities.

**Keywords:** mineral and raw material base, strategic types of raw materials, geological exploration, remote sensing of Earth, satellite imagery, Murmansk region, mineralization nodes

**For citation:** Kamaev A.A., Manevich A.I., Antoshin V.V. Geological interpretation of remote sensing data using the case of the Kolmozerskoye field in the Murmansk region. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):122–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-122-125>

**Введение**

Высокотехнологичная экономика России требует большого количества ресурсов и их разнообразия. В данном контексте необходимо наладить восполнение определенной части минерально-сырьевой базы страны, а именно стратегических видов сырья за счет ее собственных ресурсов, а не импортных поставок. Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации №2473-р. от 30 августа 2022 г. среди наиболее важных минеральных ресурсов такие виды сырья, как титан, вольфрам, уран, плавиковый шпат, марганец, молибден, оксиды и карбонаты лития, йод и другие [1], и большая часть из них доставляется из-за рубежа [2]. Они играют ключевую роль в различных отраслях экономики, поскольку являются необходимыми компонентами для производства передовых технологий, электроники, энергетики, медицины и других сфер деятельности. Сейчас по данным видам ресурсов ведется поиск новых месторождений, выполняется технологическая и геолого-экономическая переоценка существующих, осуществляется стремительное модифицирование технологий разведки и добычи [3].

Редкоземельные, литиевые, танталовые и ниобиевые месторождения полезных ископаемых имеют стратегическое экономическое значение для обеспечения современных технологий и отраслей промышленности [4–5]. Разведка и добыча этих ресурсов важны для обеспечения стабильного развития экономики, инновационных технологий и конкурентоспособности российской и мировой промышленности. Поэтому при поиске месторождений наряду с традиционной полевой геологоразведкой набирает стремительные обороты использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ввиду свободного формата их распространения, широкого пространственного и временного охвата и возможности получать информацию о зоне интереса без непосредственного местонахождения в ней.

**Методология**

В данной работе был проведен анализ данных спутниковой съемки территории Мурманской области с целью обнаружения аномалий яркости в спутниковых снимках, связанных с узлами минерализации и скоплений полезного ископаемого. Для этого будет изучена площадь в границах лицензии Колмозерского месторождения, для территории которого отобраны спутниковые снимки будут дешифрованы и проанализированы. Спектрометрический анализ данных дистанционного зондирования Земли из космоса представляет собой метод, который основан на измерении электромагнитного излучения, отраженного или испущенного земной поверхностью в различных спектральных диапазонах. Этот метод анализа позволяет получать информацию о составе объектов и явлений на поверхности Земли и, в частности, о характеристиках горных пород [6; 7].

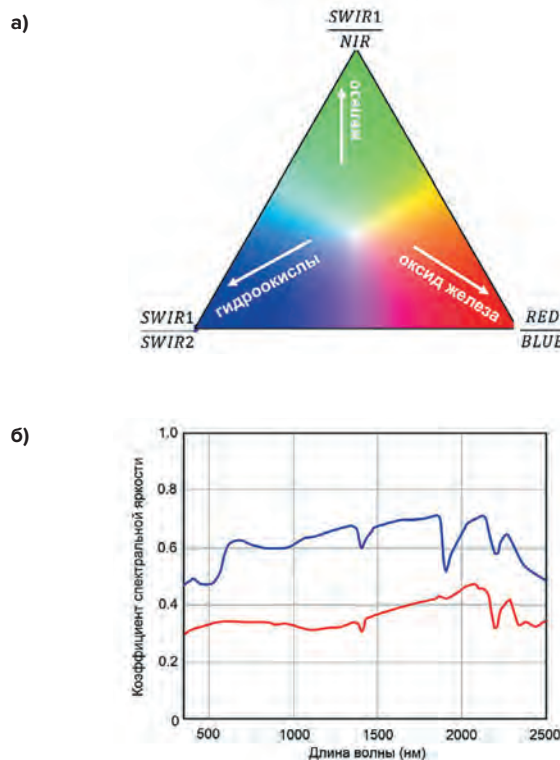
В качестве исходных данных был выбран безоблачный космический снимок спутника Landsat-8, датчики которого производят съемку как в видимом диапазоне, так и в инфракрасном, что также играет существенную роль при дешифрировании снимков и распознавании образов. Данные спутниковой съемки Landsat-8 были получены с помощью платформы Google Earth Engine [7]. Последующая их обработка была произведена программными средствами Quantum GIS 3.

При дешифрировании космического снимка были ис-

пользованы геологические индексы [6]. Для их расчета используют значения спектральной яркости, содержащиеся в структуре космоснимка и совершают над ними различные математические операции, например, складывают различные спектральные каналы, делят их друг на друга и др. Для геологических целей существуют разнообразные индексы, составленные исходя из спектральных свойств определенных минералов и горных пород.

Для геологического дешифрирования исследуемого района был применен метод композитирования геологических индексов, предложенный Ф.Ф. Сабинсом [8]. Суть метода заключается в расчете индексов, позволяющих выделить геологический контекст в спутниковых изображениях, а затем в объединении этих индексов в единый набор данных – растровое изображение. В своей работе [8] Сабинс предложил использовать композит из следующих индексов (рис. 1, а):

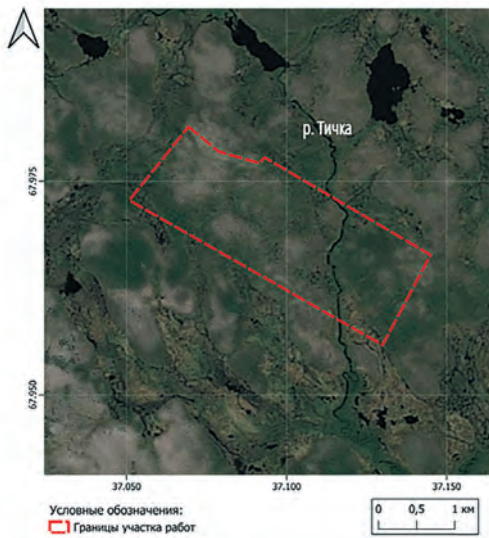
1. Индекс минералов, образованных оксидом железа (гематит, магнетит), который рассчитывается исходя из отношения интенсивностей отраженного света в красном (RED) и голубом диапазоне (BLUE), т.е. отношение каналов RED/BLUE соответственно.
2. Индекс минералов, содержащих в себе железо (пироксен, оливин, амфибол). Рассчитывается из отношения интенсивностей отраженного света в первом коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR1) и ближнем инфракрасном диапазоне (NIR), что соответствует отношению каналов SWIR1/NIR.
3. Индекс минералов-гидроокислов (каолинит, мусковит, эпидот, хлорит), который находится отношением интен-



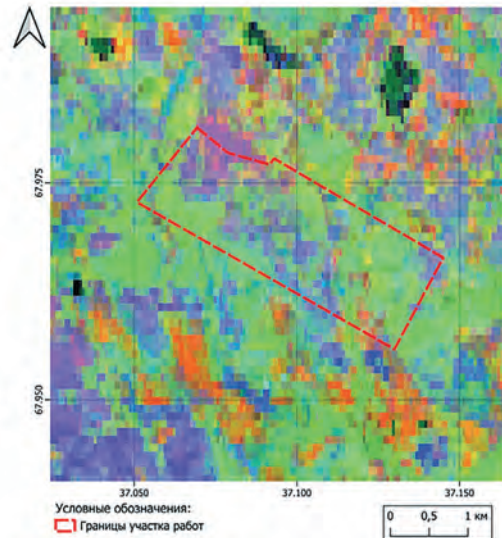
**Рис. 1**  
RGB-модель композита Сабинса [9] (а) и характеристическая кривая коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен [10–11] (б)

**Fig. 1**  
An RGB model of the Sabins's color composite [9] (a) and a characteristic curve of the spectral brightness factors of the spodumene mineral [10-11] (b)

а)



б)



**Рис. 2**  
Территория исследуемого участка (а) и цветовой композит модели Сабинса исследуемой территории (б)

**Fig. 2**  
Territory of the surveyed area (a) and the colour composite of the Sabins's model of the surveyed area (б)

сивностей отраженного света в первом коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR1) и втором коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR2), т.е. отношением каналов SWIR1/SWIR2.

**Результаты**

Территория исследования представлена на рис. 2, а и включает в себя лицензионные границы месторождения. Объекты земной поверхности в пределах исследуемого участка имеют уникальные спектральные характеристики, то есть отражают, поглощают или испускают энергию при определенных длинах волн. Сопоставление характеристической кривой коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен (см. рис. 1, б) позволяют классифицировать горные породы на космических снимках, используя характеристические кривые коэффициентов спектральной яркости минерала сподумен [9; 10]. С использованием RGB-модели Сабинса [9] был получен композит яркостных аномалий (рис. 2, б) для исследуемой территории.

На рис. 2, б представлено сложное распределение яркостных аномалий. На изучаемой территории можно отметить две основные цветовые аномалии – ярко-зеленого цвета, соответствующая повышенным содержаниям желе-

за, и фиолетового цвета, соответствующая повышенным аномалиям гидроокислов (см. рис. 1, а). Именно аномалии гидроокислов в наибольшей степени соответствуют характеристическому графику сподумена (см. рис. 1, б). Кроме того, на рисунке выделяются точечные аномалии, близкие к оксидам железа.

**Выводы**

Из результатов анализа спутниковых данных в целях и задачах геологического дешифрирования минеральных узлов можно сделать следующие выводы. Спектрометрический анализ данных дистанционного зондирования из космоса показывает высокую перспективу в области геологического дешифрирования. Путем изучения спектральных характеристик объектов дистанционным методом можно получать информацию о составе, структуре и свойствах геологических образований.

Дальнейшее исследование спектрометрического анализа данных дистанционного зондирования может привести к развитию новых методов и технологий для точного определения свойств литий-тантал-ниобиевых месторождений и геологического картирования.

**Список литературы / References**

1. Хатьков В.Ю., Боярко Г.Ю. Ранжирование видов минерального сырья России по импортозависимости. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2023;2(4):108–114. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-2-4-108-114>  
Khatkov V.Yu., Boyarko G.Yu. Ranking of types of mineral raw materials in Russia by import dependence. *Intereksпо Geo-Sibir*. 2023;2(4):108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-2-4-108-114>

2. Мингалеева Р.Д. Запасы и добыча редкоземельных металлов и элементов – ключевой фактор развития возобновляемой энергетики на современном этапе трансформации мировой экономики. *Вестник университета*. 2023;(5):37–45. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-37-45>  
Mingaleeva R.D. Reserves and extraction of rare earth metals and elements as a key factor in the renewable energy sector development at the world economy transformation current stage. *Vestnik Universiteta*. 2023;(5):37–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-5-37-45>
3. Кондратьев В.Б. Китай в глобальной горной промышленности. *Горная промышленность*. 2023;(3):78–87. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-78-87>  
Kondratiev V.B. China in Global Mining Industry. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):78–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-3-78-87>
4. Кондратьев В.Б. Роль критически важных сырьевых материалов в экономике США. *Горная промышленность*. 2022;(5):121–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-121-130>  
Kondratiev V.B. The Role of Critical Raw Materials in US Economy. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):121–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-121-130>
5. Drury S.A. *Image interpretation in geology*. London: Allen & Unwin; 1987. 243 p.
6. Sabins F.F. *Remote Sensing: Principles and interpretation*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Freeman; 1986. 494 p.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017;202:18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
8. Sabins F.F. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*. 1999;14(3-4):157–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4)
9. Gao Y., Bagas L., Li K., Jin M., Liu Y., Teng J. Newly discovered Triassic lithium deposits in the Dahongliutan area, NorthWest China: A case study for the detection of Lithium-Bearing pegmatite deposits in rugged terrains using Remote-Sensing Data and images. *Frontiers in Earth Science (Lausanne)*. 2020;8:591966. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.591966>
10. Cardoso-Fernandes J., Silva J., Perrotta M.M., Lima A., Teodoro A.C., Ribeiro M.A. et al. Interpretation of the reflectance spectra of Lithium (Li) minerals and pegmatites: A case study for mineralogical and lithological identification in the Fregeneda-Almendrea area. *Remote Sensing*. 2021;13(18):3688. <https://doi.org/10.3390/rs13183688>

#### Информация об авторах

**Камаев Артем Анатольевич** – инженер лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: artemkakamaev@gmail.com

**Маневич Александр Ильич** – научный сотрудник лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН, старший преподаватель кафедры геологии и маркшейдерского дела, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: ai.manevich@yandex.ru

**Антошин Владислав Викторович** – директор управления по промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды, ООО НГК «Горный», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: antoshinVV@ngk-gornyi.ru

#### Information about the authors

**Artyom A. Kamaev** – Engineer, Laboratory of GEODYNAMICS, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Postgraduate Student of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: artemkakamaev@gmail.com

**Alexandr I. Manevich** – Research Scientist, Laboratory of Geodynamics, Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Lecturer of the Department of the Geology and Surveying, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; e-mail: ai.manevich@yandex.ru

**Vladislav V. Antoshin** – Director of Industrial Safety, Health and Environment Safety Department, NGK Gornyy LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: antoshinVV@ngk-gornyi.ru

#### Article info

Received: 29.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 08.05.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.03.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 08.06.2024