



# Космомониторинг геологических рисков в горной промышленности Баренцева Евроарктического региона России

М.В. Мелихов✉, А.И. Калашник

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация  
✉ m.melikhov@ksc.ru

**Резюме:** В статье рассмотрено современное состояние проблем и перспектив автоматизированного дистанционного мониторинга горнотехнических объектов и территорий. Описаны технические особенности космических и цифровых технологий оптико-электронного и радиолокационного зондирования земной поверхности. Обоснован и реализован методический подход к мультимасштабной оценке и управлению геологическими рисками в горном деле путем комплексного интегрированного анализа многоуровневых пространственных данных на основе использования прикладных геоинформационных систем и веб-ресурсов. На примере Баренцева Евро-арктического региона России показаны отдельные результаты исследований в решении задач площадного прогностического мониторинга по обеспечению промышленной и экологической безопасности горнодобывающих предприятий. Выполнено пространственное районирование территории и категорирование геологических рисков по масштабу и степени опасности посредством использования спутниковых снимков высокоточной оптико-электронной и радиолокационной космических съемок. Сформулированы предложения по практическому применению космомониторинга геологических рисков в горной промышленности, включающие создание цифровых 3D-моделей рельефа, оценку смещений и деформаций наземных горнотехнических сооружений, районирование территории и ранжирование рисков по степени опасности, а также геоинформационное обеспечение решения задач промышленной и экологической безопасности.

**Ключевые слова:** горная промышленность, геологические риски, оценка, космический мониторинг, цифровые технологии, пространственные данные, мультимасштабные карты, Арктика

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания НИР №0186-2022-0009.

**Для цитирования:** Мелихов М.В., Калашник А.И. Космомониторинг геологических рисков в горной промышленности Баренцева Евроарктического региона России. *Горная промышленность*. 2023;(S1):128–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-128-134>

## Space monitoring of geological risks in the mining industry of the Barents Euro-Arctic region of Russia

M.V. Melikhov✉, A.I. Kalashnik

Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation  
✉ m.melikhov@ksc.ru

**Abstract:** The article considers the current state of problems and prospects for automated remote monitoring of mining facilities and territories. The technical features of space and digital technologies for optoelectronic and radar sounding of the earth's surface are described. A methodical approach to multi-scale assessment and management of geological risks in mining has been substantiated and implemented by means of a comprehensive integrated analysis of multi-level spatial data based on the use of applied geographic information systems and web resources. Based on the example of the Barents Euro-Arctic region of Russia, some results of research in solving the problems of areal predictive monitoring to ensure the industrial and environmental safety of mining enterprises are shown. The spatial zoning of the territory and the categorization of geological risks according to the scale and degree of danger were carried out, through the use of satellite images of high-precision optical-electronic and radar space surveys. Proposals have been formulated for the practical application of space monitoring of geological risks in the mining industry, including the creation of digital 3D relief models, the assessment of displacements and deformations of ground mining structures, the zoning of the territory and the ranking of risks according to the hazard degree, and geoinformation support for solving problems of industrial and environmental safety.

**Keywords:** mining, geological risks, assessment, space monitoring, digital technologies, spatial data, multiscale maps, Arctic

**Acknowledgments:** The study was carried out within the framework of the State R&D Contract No.0186-2022-0009.

**For citation:** Melikhov M.V., Kalashnik A.I. Space monitoring of geological risks in the mining industry of the Barents Euro-Arctic region of Russia. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):128–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-128-134>



## Введение

Горная промышленность неотъемлемо сопряжена с геологическими рисками: инженерно-геологическими, геологическими и геолого-гидрометеорологическими (в соответствии со СНиП 22-02-2003, ГОСТ 22.1.02–97 и ГОСТ Р 22.1.06–99). Экономический ущерб вследствие аварий, вызванных геологическими процессами, достигает значительных затрат, вплоть до остановки и даже консервации горнотехнического объекта.

Цель мониторинга горнотехнических объектов и территорий заключается в оценке и прогнозе опасных явлений для предотвращения и минимизации техногенных катастроф [1]. В основе современных систем наблюдений используются дистанционные и автоматизированные технологии на базе BIG DATA, CLOUD и AI [2]. Каждая система имеет отличительные особенности и область применения. Высокая детализация и точность измерений достигается стационарными и полевыми средствами измерений, а информативность и масштабность зоны покрытия обеспечивается космическими и беспилотными летательными аппаратами [3–4].

В задачах геоинформационного сопровождения горных работ наиболее перспективным средством является космомониторинг [5–10]. Существуют разновидности группировок космических аппаратов, предназначенных для получения информации о физических, химических и биологических аспектах окружающей среды [11]. Космическая отрасль динамично развивается по пути создания интеллектуальной геометавселенной (AI-GEO-META), ориентированной на виртуальное взаимодействие людей и технологий при работе с совокупностью пространственных данных в режиме реального времени [12].

Актуальные вопросы и направления исследований по данной тематике относятся к развитию фундаментальных

знаний и поиску практических решений, связанных с организацией в условиях одного или группы горных предприятий многофункциональной системно-структурированной программы наблюдений (ретроспективных, оперативных, аналитических, тематических, прогностических и т.д.), обеспечивающей стабильность процессов сбора и передачи геопространственной информации в едином цифровом пространстве [12–16].

## Методика

Космомониторинг геологических рисков осуществляется посредством комплексного интегрированного анализа многоуровневых пространственных данных с помощью прикладных ГИС и веб-ресурсов, обеспечивающих обновление и распределение информации через стационарные или мобильные технические устройства (рис. 1). Поиск и идентификация природно-техногенных геологических рисков при использовании космических аппаратов выполняются в оптико-электронном (ультрафиолетовом, видимом и ИК) и радиолокационном диапазоне электромагнитного спектра (таблица). Оптико-электронные системы имеют высокую информативность данных, а радиолокационные – обеспечивают всесезонность наблюдений [17]. Геоинформационные ресурсы предоставляют удаленный доступ в сети интернет к пространственным данным различных спутниковых миссий, содержащих стандартизованный набор метаданных (географические координаты, угол наклона, время съемки и т.д.). Материалы съемок систематизируются по уровням обработки данных и хранятся на облачных серверах. В процессе дешифрования космоснимков производится предварительная (радиометрическая, геометрическая и атмосферная коррекции, ортотрансформирование) и тематическая (спектральное преобразование и пространственная фильтрация) обработка пространствен-



Рис. 1  
Современная модель геоинформационного космического мониторинга на горном производстве [12]

Fig. 1  
A modern model of geoinformation space monitoring in mining [12]

Таблица 1  
Технические особенности современных космических аппаратов в задачах мониторинга опасных геологических процессов

Table 1  
Technical features of modern space vehicles for monitoring hazardous geological processes

Вид съемки	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Периодичность, сут
Ультрафиолетовая	> 3 500	< 2 600	< 1
Оптическая	> 0,15	40–300	1–11
Инфракрасная	3,7– 60	< 290	5–10
Радиолокационная	1–15	< 400	3–12



Рис. 2  
Высокоточная мультиспектральная оптико-электронная космическая съемка территории горного производства и горнотехнических объектов

Fig. 2  
High-precision multispectral optical-electronic satellite imagery of the mining area and mining facilities

ных данных на основе визуальных и автоматизированных методов. В условиях горного производства для повышения достоверности геоданных целесообразно комбинирование средств и инструментов дистанционного зондирования и полевых измерений.

#### Техническое и программное обеспечение

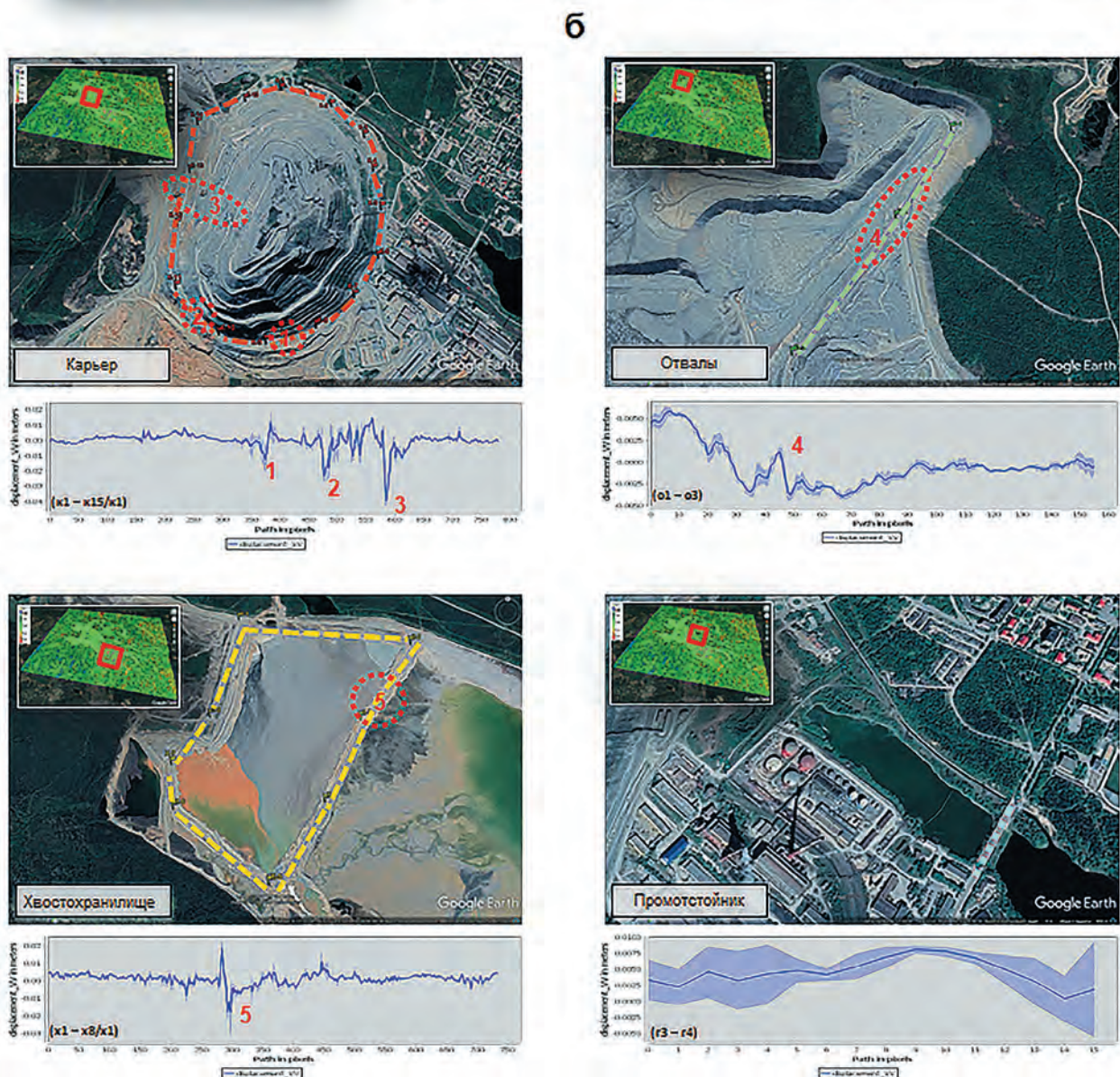
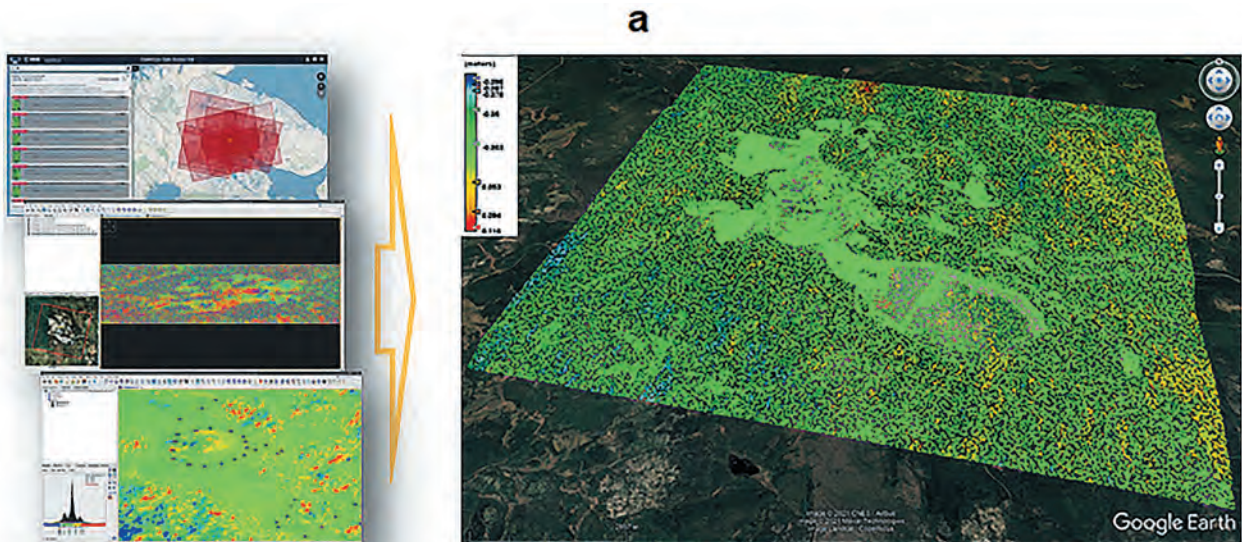
- Группировки космических аппаратов: Канопус / Ресурс, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Sentinel и Landsat.
- Программное обеспечение: геопортал Роскосмоса, ArcGIS / ESRI-online, ESA SNAP, EO Browser и Google Earth Pro.

#### Результаты

Методический подход реализован на одном из горнодобывающих предприятий Баренцева Евроарктического региона России. Задачи выявления и мониторинга геологических рисков методами космического мониторинга сводились к локализации и отслеживанию зон развития природно-техногенных процессов на земной поверхности или на поверхности горнотехнических объектов посредством ретроспективного пространственно-аналитического и геостатистического анализа. При оценке геологических рисков актуализировалась исходная картографическая информация и выполнялось построение многослойных пространственных моделей, на основе которых осуществляется прогнозное моделирование потенциально опас-

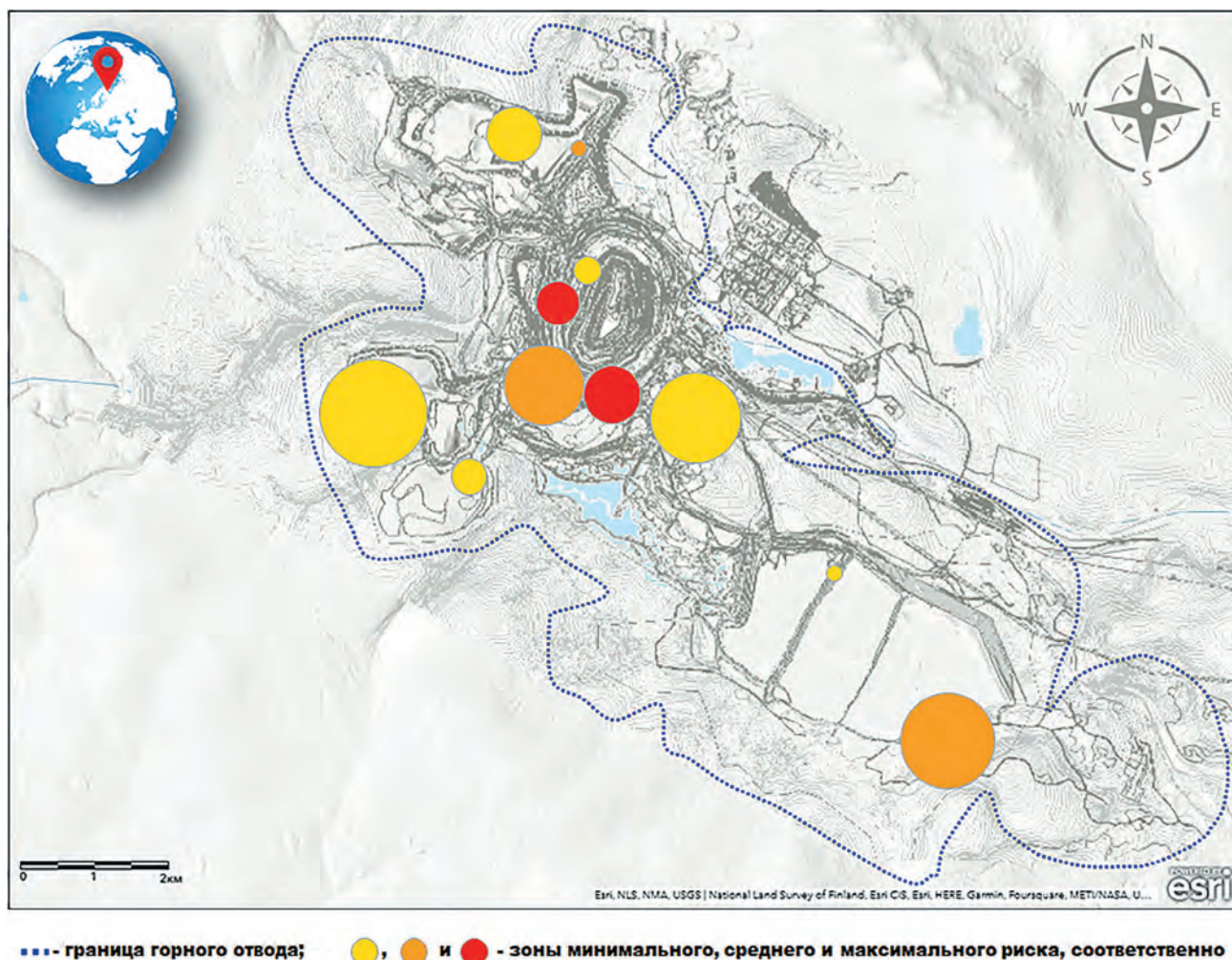
ных явлений. Геоинформационный анализ включал в себя визуализацию и автоматизированное районирование территории, определение конфигурации объектов и их границ во времени (рис. 2), а также локализацию опасных геологических процессов и пространственно-аналитические вычисления посредством интерпретации данных динамических изменений на виртуальных наблюдательных полигонах (рис. 3).

Организация в условиях горного производства спутниковой системы наблюдений за смещениями земной поверхности основывалась на методе радиолокационной интерферометрии (SAR) при использовании космоснимков Sentinel-1 IW SLC уровня 1 в режиме интерферометрической широкой полосы (<250 км) с пространственным разрешением 5×20 м. В основу SAR-метода положен эффект интерференции электромагнитных волн и математическая обработка последовательных когерентных амплитудно-фазовых измерений со сдвигом в пространстве. Радар с синтезированной апертурой дает возможность отслеживать смещения с точностью измерений от долей миллиметров до сантиметров в зависимости от характеристик изображений и постоянства свойств среды. Предварительно производились поиск и обработка космоснимков, построение интерферограмм, развертка и преобразование фаз в смещения (вертикальные / горизонтальные или по линии прямой видимости) с учетом рельефа местности. На основе интерпретации радарных космоснимков были созданы цифровые 3D-карты оседаний и смоделированы



**Рис. 3**  
Создание мультимасштабной 3D-карты (а) и мониторинг смещений земной поверхности (б) на основе космических и цифровых технологий

**Fig. 3**  
Creation of a multiscale 3D map (a) and monitoring of displacements of the earth's surface (b) based on space and digital technologies



--- граница горного отвода; ●, ● и ● - зоны минимального, среднего и максимального риска, соответственно

**Рис. 4**  
Интерактивная мультимасштабная карта потенциальных геологических рисков с классификацией по степени опасности на основе космических и цифровых технологий

**Fig. 4**  
Interactive multi-scale map of potential geological risks and their classification by hazard degree based on space and digital technologies

виртуальные наблюдательные полигоны на наиболее ответственных горнотехнических объектах. По профилю заложенных полигонов построены графики смещений (шаг измерений 0,1–10 мм), отражающих развитие опасных геологических изменений в период наблюдений. Данные со спутников позволяют оптимизировать местоположение и работу промышленных систем мониторинга в исполнении надзора и контроля строительства и эксплуатации наземной инфраструктуры. В процессе космической съемки на регулярной основе возможно создание цифровых баз данных техногенно-измененных территорий по группе месторождений и карт потенциальных рисков. Интерактивная визуализация геологических опасностей на плане (рис. 4) позволяет повысить эффективность управленческих решений при минимизации ресурсов.

#### Обсуждение результатов

Космомониторинг в составе комплексной системы наблюдений обеспечивает оперативными мультимасштабными данными о геологических рисках на контролируемых территориях. Контроль и оценка характеристик качества космоснимков и производной информационной продукции определяют эффективность их использования [18]. Основные приемы их определения включают специальные тесты пространственно-частотных, спек-

трорадиометрических и координатно-измерительных характеристик. В качестве тест-объектов выбираются линейно-протяженные элементы или контрольные опорные точки с известными координатами. При дистанционном зондировании возможно формирование отдельных зон вне видимости космических аппаратов, что может влиять на точность измерений, в особенности в условиях сложного рельефа местности и сильно застроенной территории. В решении данной проблемы синхронизация видов съемок и группировок космических аппаратов в сопоставлении с наземными средствами контроля позволяет повысить информативность и достоверность конечных данных [19].

#### Предложения по практическому применению

Опыт и результаты выполненных исследований предоставляют научно-техническую основу для решения следующих задач космомониторинга геологических рисков [20]:

- создание цифровых 3D-моделей рельефа (DEM) по данным стерео- (анализ амплитуд) или интерферометрических съемок (анализ фаз);
- оценка смещений и деформаций наземных капитальных объектов и сооружений на основе построения цифровых 3D-карт (DEM) и графиков смещений земной поверхности;
- картирование и инвентаризация деформаций на-



- земных горнотехнических объектов и сооружений с определением точных метрических характеристик;
- вычисление скоростей движения наземных объектов (геологические процессы, ледники и др.) на основе построения интерферометрии маршрутов;
- картирование горнотехнических объектов и сооружений на основе диэлектрических характеристик отражающих поверхностей;
- районирование территории и ранжирование рисков по степени опасности;
- информирование о чрезвычайных ситуациях и авариях;
- геоинформационное обеспечение решения задач промышленной и экологической безопасности.

### Заключение

На основе выполненных исследований разработан и обоснован методический подход к мультимасштабной

оценке и управлению геологическими рисками в условиях современного горного производства на основе космических и цифровых технологий, заключающийся в масштабировании и комбинировании космоснимков с различных видов космических аппаратов посредством визуальной и автоматизированной обработки пространственных данных с помощью ГИС и веб-ресурсов. На примере одного из горнодобывающих предприятий Баренцева Евро-арктического региона России создана научно-техническая основа для решения задач площадного прогностического мониторинга в обеспечении промышленной и экологической безопасности горнотехнических объектов и территорий. Выполнено пространственное районирование территории и категорирование геологических рисков по масштабу и степени опасности. Сформулированы предложения по практическому применению космомониторинга геологических рисков в горной промышленности.

### Список литературы

1. Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Федотова Ю.В. и др. *Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками*. Апатиты: КНЦ РАН; 2019. 431 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.391.7>
2. McGaughey J. Artificial intelligence and big data analytics in mining geomechanics. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020;120(1):15–21. Available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v120n01p15.pdf> ; <https://doi.org/10.17159/2411-9717/847/2020>
3. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A., Zaporozhets D.V. Integrated multi-level geomonitring of natural-and-technical objects in the mining industry. *Journal of Mining Science*. 2018;54(4):535–540. <https://doi.org/10.1134/S1062739118043977>
4. Калашник А.И., Максимов Д.А., Калашник Н.А., Дьяков А.Ю., Запорожец Д.В., Мелихов М.В. *Многоуровневые комплексные исследования и мониторинг хвостохранилищ горнодобывающих предприятий северо-западной части российского сектора Арктики*. Апатиты: КНЦ РАН; 2022. 250 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.465.5>
5. Пономаренко М.Р., Кутепов Ю.И., Волков М.А., Гринюк А.П. Космические методы в составе комплексного деформационного мониторинга земной поверхности горного предприятия. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(12):103–113. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-103-113>
6. Maus V., Giljum S., Gutschlhofer J., Silva D., Probst M., Gass S.L.B. et al. A global-scale data set of mining areas. *Scientific Data*. 2020;7:289. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00624-w>
7. Giriya R.R., Mayappan S. Mapping of mineral resources and lithological units: a review of remote sensing techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*. 2019;10(2):79–106. <https://doi.org/10.1080/19479832.2019.1589585>
8. Werner T., Bebbington A., Gregory G. Assessing impacts of mining: Recent contributions from GIS and remote sensing. *The Extractive Industries and Society*. 2019;6(3):993–1012. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.06.011>
9. Yang Z., Li Z., Zhu J., Wang Y., Wu L. Use of SAR/InSAR in mining deformation monitoring, parameter Inversion, and forward predictions: A review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2020;8(1):71–90. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2019.2954824>
10. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Филатов А.В., Евтюшкин А.В. Применение радарных съемок для мониторинга карьера в условиях Арктики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S56):220–229.
11. Global satellite-based earth observation market research report: Forecast (2021–2026). MarkNtel Advisors LLP; 2021. 210 p.
12. Мелихов М.В. Особенности геоинформационного космического мониторинга горнопромышленных природно-технических систем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(12-1):29–41. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_12\\_1\\_0\\_29](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_12_1_0_29)
13. Пономаренко М.Р., Кутепов Ю.И., Шабаров А.Н. Информационно-аналитическое обеспечение мониторинга состояния объектов открытых горных работ на базе технологий веб-картографии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(8):56–70. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_8\\_0\\_56](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_56)
14. Kornilkov S.V., Natalia I.A., Panzhin A.A., Shubina L.A., Isakov S.V. Specifying the approaches to geoinformation monitoring to assess the development dynamics of mining enterprises as natural-technological systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy zhurnal*. 2020;(8):41–51. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-41-51>
15. Ческидов В.В., Маневич А.И., Липина А.В. Получение и анализ больших данных в практике мониторинга состояния горнотехнических сооружений. *Горная промышленность*. 2019;(2):86–88. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88>
16. Lacroix P., Moser F., Benvenuti A., Piller T., Jensen D., Petersen I., Planque M., Ray N. MapX: An open geospatial platform to manage, analyze and visualize data on natural resources and the environment. *SoftwareX*. 2019;9:77–84. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.01.002>
17. Нафиева Е.Н., Гречищев А.В. Космические радиолокационные системы мониторинга земли. *Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг*. 2020;2(5):89–95. <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2020-2-5-89-95>
18. Земсков В.Ф., Заичко В.А., Зайченко Ю.В. Оценка геометрической точности космических снимков, получаемых системами дистанционного зондирования Земли в различных диапазонах электромагнитного спектра. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2018;61(7):576–583. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-7-576-583>
19. Signa F., Esquivel R.R., Tapete D. Accuracy of Sentinel-1 PSI and SBAS InSAR displacement velocities against GNSS and geodetic leveling monitoring data. *Remote Sensing*. 2021;13(23):4800. <https://doi.org/10.3390/rs13234800>
20. Мелихов М.В. Космический радарный мониторинг горнопромышленных комплексов. В кн.: *Цифровые технологии в горном деле: тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф., Апатиты, 16–18 июня 2021 г.* Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2021. С. 39.



## References

1. Kozyrev A.A., Savchenko S.N., Panin V.I., Semenova I.E., Rybin V.V., Fedotova Yu.V. et al. *Geomechanical processes in the geological environment of mining systems and geodynamic risk management*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2019. 431 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.391.7>
2. McGaughey J. Artificial intelligence and big data analytics in mining geomechanics. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020;120(1):15–21. Available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v120n01p15.pdf> ; <https://doi.org/10.17159/2411-9717/847/2020>
3. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Kalashnik N.A., Zaporozhets D.V. Integrated multi-level geomonitoring of natural-and-technical objects in the mining industry. *Journal of Mining Science*. 2018;54(4):535–540. <https://doi.org/10.1134/S1062739118043977>
4. Kalashnik A.I., Maksimov D.A., Kalashnik N.A., Dyakov A.Yu., Zaporozhets D.V., Melikhov M.V. *Multilevel integrated studies and monitoring of tailings of mining enterprises in the northwestern part of the Russian sector of the Arctic*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2022. 250 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.465.5>
5. Ponomarenko M.R., Kutepov Yu.I., Volkov M.A., Grinuk A.P. Satellite methods within integrated land surface deformation monitoring in a mine field. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(12):103–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-103-113>
6. Maus V., Giljum S., Gutschlhofer J., Silva D., Probst M., Gass S.L.B. et al. A global-scale data set of mining areas. *Scientific Data*. 2020;7:289. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00624-w>
7. Girija R.R., Mayappan S. Mapping of mineral resources and lithological units: a review of remote sensing techniques. *International Journal of Image and Data Fusion*. 2019;10(2):79–106. <https://doi.org/10.1080/19479832.2019.1589585>
8. Werner T., Bebbington A., Gregory G. Assessing impacts of mining: Recent contributions from GIS and remote sensing. *The Extractive Industries and Society*. 2019;6(3):993–1012. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.06.011>
9. Yang Z., Li Z., Zhu J., Wang Y., Wu L. Use of SAR/InSAR in mining deformation monitoring, parameter Inversion, and forward predictions: A review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2020;8(1):71–90. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2019.2954824>
10. Melnikov N.N., Kalashnik A.I., Filatov A.V., Evtushkin A.V. Open-pit radar survey monitoring under arctic conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(S56):220–229. (In Russ.)
11. Global satellite-based earth observation market research report: Forecast (2021–2026). MarkNtel Advisors LLP; 2021. 210 p.
12. Melikhov M.V. Features of geoinformation space monitoring of mining natural-technical systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(12-1):29–41. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_12\\_1\\_0\\_29](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_12_1_0_29)
13. Ponomarenko M.R., Kutepov Yu.I., Shabarov A.N. Open pit mining monitoring support with information and analysis using web mapping technologies. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(8):56–70. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_8\\_0\\_56](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_56)
14. Kornilkov S.V., Natalia I.A., Panzhin A.A., Shubina L.A., Isakov S.V. Specifying the approaches to geoinformation monitoring to assess the development dynamics of mining enterprises as natural-technological systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2020;(8):41–51. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-8-41-51>
15. Cheskidov V.V., Manevich A.I., Lipina A.V. Big data obtaining and analysis in the mining structures state monitoring practice. *Russian Mining Industry*. 2019;(2):86–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88>
16. Lacroix P., Moser F., Benvenuti A., Piller T., Jensen D., Petersen I., Planque M., Ray N. MapX: An open geospatial platform to manage, analyze and visualize data on natural resources and the environment. *SoftwareX*. 2019;9:77–84. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.01.002>
17. Nafieva E.N., Grechishchev A.V. Space radar systems of earth monitoring. *Ecology Economy Informatics. Geoinformation Technologies and Space Monitoring*. 2020;2(5):89–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.23885/2500-123X-2020-2-5-89-95>
18. Zemskov V.F., Zaichko V.A., Zaychenko Y.V. Assessment of geometric accuracy of satellite images obtained by the earth remote sensing systems in various ranges of the electromagnetic spectrum. *Journal of Instrument Engineering*. 2018;61(7):576–583. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-7-576-583>
19. Cigna F., Esquivel R.R., Tapete D. Accuracy of Sentinel-1 PSI and SBAS InSAR displacement velocities against GNSS and geodetic leveling monitoring data. *Remote Sensing*. 2021;13(23):4800. <https://doi.org/10.3390/rs13234800>
20. Melikhov M.V. Space radar monitoring of mining complexes. In: *Digital technologies in mining: Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Apatity, June 16–18, 2021*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2021, pp. 39. (In Russ.)

### Информация об авторах

**Мелихов Михаил Владимирович** – кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт, Кольский научный центр Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8283-2799>; e-mail: m.melikhov@ksc.ru

**Калашник Анатолий Ильич** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Горный институт, Кольский научный центр Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-6567-2877>

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 31.01.2023  
Поступила после рецензирования: 20.02.2023  
Принята к публикации: 21.02.2023

### Information about the authors

**Mikhail V. Melikhov** – Cand. Sci. (Eng.), Scientist, Mining Institute Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8283-2799>, e-mail: m.melikhov@ksc.ru

**Anatoly I. Kalashnik** – Cand. Sci. (Eng.), Lead Scientist, Mining Institute Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6567-2877>

### Article info

Received: 31.01.2023  
Revised: 20.02.2023  
Accepted: 21.02.2023