

Мультиплощадной космический мониторинг хранилищ отходов горного производства в Арктике

М.В. Мелихов✉

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

Резюме: Проанализированы современные способы и технологии в области космического площадного мониторинга горнопромышленных объектов и территорий, предназначенных для размещения отходов минерального сырья в российской Арктике. Представлен подход к мультиплощадной съемке хранилищ горных отходов на основе комбинирования оптико-электронных и радиолокационных методов дистанционного зондирования Земли путем визуализированного и автоматизированного индексного пространственно-временного анализа фактического состояния и динамических изменений природно-технических систем с помощью прикладных географических информационных систем и веб-геосервисов. На примере действующих горных предприятий показаны опыт и результаты космической мультиплощадной съемки с целью создания цифровых информационных продуктов и баз данных, а также совершенствования методов надзора и контроля строительства наземной инфраструктуры для выявления незаконной добычи и размещения отходов при эксплуатации и консервации техногенных месторождений.

Ключевые слова: недропользование, горные отходы, мониторинг, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, пространственные данные, базы данных

Благодарности: Статья подготовлена в рамках государственного задания по теме FMEZ-2022-0009.

Для цитирования: Мелихов М.В. Мультиплощадной космический мониторинг хранилищ отходов горного производства в Арктике. *Горная промышленность*. 2024;(5S):21–27. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-21-27>

Multi-area satellite monitoring of mining waste disposal sites in the Arctic

M.V. Melikhov✉

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

Abstract: Modern methods and technologies are analyzed in the satellite-based areal monitoring of mining facilities and territories intended for disposal of mineral waste in the Russian Arctic. An approach to multi-area survey of mining waste disposal sites is presented based on a combination of optical-electronic and radar methods of remote sensing of the Earth through visualized and automated index spatial and temporal analysis of the actual state and dynamic changes of natural and technical systems using applied GIS and web geoservices. Using the example of operating mining enterprises, the experience and results of multi-area space survey are shown in order to create digital information products and databases, as well as to improve methods of supervision and control of the ground infrastructure construction to identify illegal mining and waste disposal during the operation and conservation of man-made deposits.

Keywords: subsoil use, mining waste, monitoring, remote sensing, geographic information systems, spatial data, databases

Acknowledgments: The article was prepared within the framework of the state assignment on the topic No. FMEZ-2022-0009.

For citation: Melikhov M.V. Multi-area satellite monitoring of mining waste disposal sites in the Arctic. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):21–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-21-27>

Введение

В горной промышленности одним из актуальных направлений является воспроизводство высокоточной геопространственной информации и цифровой продукции на её основе [1, 2], что необходимо для решения ряда ключевых задач и процессов:

- **Проектирование и планирование.** Данная информация влияет на выбор параметров и расположения капитальных и других инфраструктурных сооружений, что позволяет рационально разместить горно-технические комплексы, технологическое оборудование, транспортные пути, в том числе площадки для складирования и хранения отходов.
- **Оценка запасов и отходов.** Данная информация используется в оценке количества добываемых ресурсов, на основе которой производятся аналитические расчеты объемов доступных минеральных запасов и складированных отходов.
- **Экономическое обоснование.** Данная информация используется в создании экономических моделей, оценке затрат и прибыли, а также в разработке бизнес-планов и инвестиционных проектов.
- **Мониторинг и управление.** Данная информация используется в текущем управлении производственными процессами, включая контроль строительства, безопасностью и соблюдением проектных решений.
- **Экологическое воздействие.** Данная информация используется для оценки потенциального воздействия горных работ на окружающую среду, в том числе при планировании мер по рекультивации земель по завершению разработки месторождения.
- **Законодательство и лицензирование.** Данная информация используется для получения лицензий и разрешений на добычу и утилизацию сырья, что необходимо для юридического оформления деятельности и соблюдения норм и предписаний органов государственного надзора.

Мировой опыт показывает, что отходы горного производства (хвостохранилища, отвалы, отстойники и др.) занимают значительные территории и являются объектами будущих инвестиций в повторную разработку минеральных ресурсов при соответствующих социально-экономических и экологических рисках¹ [3–7]. Эффективные и безопасные контроль и управление хранилищами горных отходов достигаются междисциплинарными стратегиями и подходами к решению проблем с учетом внутренних и внешних факторов. При дистанционной мультиплощадной съемке подобных капитальных сооружений наиболее широко применяются: фотограмметрия, геодезия, лазерное сканирование, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и др. Каждый из вышеперечисленных методов отличается типовым набором характеристик съёмочной аппаратуры, областью использования и технологией ведения съёмочных работ. Выбор конкретного метода или их совокупности зависит от задач съемки, условий эксплуатации объекта и финансовых возможностей компании. В области геомониторинга передовые технологии часто используются в различной комбинации для повышения точности и получения более полной информации [8–10].

Анализ рынка дистанционного зондирования Земли и область применения

Космические и цифровые технологии находят прикладное применение в задачах геоинформационного сопровождения строительства и эксплуатации хранилищ горных отходов [11]. Внедрение дистанционных спутниковых систем способствует более безопасному и эффективному контролю и управлению горным предприятием и критически важной инфраструктурой на всей его территории. Главными преимуществами технологий ДЗЗ являются возможность предотвращения нахождения человека и съёмочной техники в опасной зоне, большая информативность и площадь обзора, а также высокая степень интеграции с другими системами наблюдений и надзора.

Космические аппараты (КА) производят с околоземной орбиты регулярную дистанционную съемку в запланированный период времени в широком диапазоне электромагнитного спектра. Основным принцип ДЗЗ заключается в фиксировании специальными сенсорами сигнала отраженной солнечной и излученной земной поверхностью тепловой энергии с последующей ретрансляцией пространственных данных на приёмные станции. При инструментальной мультиплощадной съемке могут использоваться КА, оснащенные оптической, инфракрасной или радиолокационной аппаратурой, основные технические характеристики которых приведены в табл. 1. Данные ДЗЗ (ДДЗЗ), как правило, содержат в себе набор метаданных, описывающий сенсор и условия получения изображения: время съемки, координаты, углы наклона съёмочной аппаратуры, размер пикселя, фазы смещений и т.д. Удаленный доступ к базам данных (БД) ДЗЗ предоставляется на разных уровнях обработки и хранения информации. Цифровые платформы представляют собой интегрированные программно-вычислительные ГИС и веб-сервисы для работы с ДДЗЗ с возможностью генерации и трансформации продукции в едином виртуальном пространстве через стационарные или мобильные технические устройства. В основу программного обеспечения входят передовые IT-технологии: BIG DATA, CLOUD, AI и др. Информационная продукция предоставляется в виде оцифрованных визуализированных или аналитических данных стандартизированных форматов: картографии и топографии, 2/3D-моделей, интерферометрии, фото или индексных изображений, графиков, таблиц и др. Работоспособность спутниковых систем в определенной степени зависит от географического местоположения объекта и условий его эксплуатации. Оптико-электронные системы наиболее эффективны при благоприятных метеорологических условиях, а радиолокационные системы обеспечивают непрерывную всесезонную съемку. В условиях сложного рельефа возможно образование зон плохой видимости в зависимости от положения и углов наклона съёмочной аппаратуры. В целом обе системы обладают надежностью и могут эксплуатироваться круглогодично. Достоверность ДДЗЗ достигается за счет синхронизации средств измерений и других видов инструментальных съемок, применения специальных программных алгоритмов и методов коррекции данных, а также поверочных тестов отдельных характеристик (пространственно-частотных, спектрорадиометрических, координатно-измерительных и др.). Космоснимки подлежат соответствующей сертификации и предоставляются на открытой или коммерческой основе [12].

Действующие спутниковые системы отличаются широким набором съёмочного и программно-вычислительного

¹ WMTF: World Mine Tailings Failures – from 1915. Available at: <https://worldminetailingsfailures.org/> (accessed: 13.09.2024).



Рис. 1
Классификация наблюдаемых контролируемых параметров и характеристик (геоиндикаторов) объектов размещения отходов горного производства на основе методов дистанционного зондирования Земли

Fig. 1
Classification of the observed monitoring parameters and characteristics (geoindicators) of mining waste disposal sites based on the Earth remote sensing methods

инструментария, который позволяет вести комплексный мониторинг и исследования состояния объектов и территорий размещения горных отходов, а также своевременно выявлять потенциальные риски и принимать меры по их снижению. ДЗЗ применяется для решения следующих задач: определение местоположения и геометризация хвостохранилищ, отвалов и других сооружений; расчет площади и объемов накопленных отходов с учетом данных о высоте и рельефе местности; актуализация цифровых 3D-моделей рельефа и наземной инфраструктуры; профилирование и определение фактических углов откосов сооружений при оценке их надежности и устойчивости; определение наличия и размеров водных поверхностей на гидротехнических сооружениях; анализ состояния дренажных каналов и водоотводов; оценка техногенного воздействия; определение динамики изменения параметров хвостохранилищ или отвалов в процессе их строительства; обнаружение опасных деформаций и подвижек грунтов в зоне размещения дамб, плотин или отвалов; анализ текстуры и состояния земной поверхности хвостохранилищ и отвалов, в том числе выявление крупных структурных элементов и зон развития эрозии. На практике методы ДЗЗ позволяют удаленно определять и измерять отдельные

контрольные параметры и характеристики объектов размещения отходов горного производства (рис. 1).

Внедрение и организацию спутниковой системы в условиях одного или группы горных предприятий целесообразно планировать в составе комплексной системы наблюдений за состоянием промышленных объектов и окружающей среды. Такой подход способствует достижению требуемого уровня достоверности пространственных данных, обеспечению непрерывного сбора и оперативного обмена полным набором контролируемых параметров (геоиндикаторов) для своевременной оценки и прогноза устойчивого и безопасного состояния производственных комплексов. Новейшие методы, основанные на полевых измерениях (геодезия, гидрогеология, гидротехника и т.д.), имеют наиболее точный измерительный инструментарий, а удаленные (аэро- и космосъемка, геоинформатика и т.д.) – наибольшую информативность и площадь покрытия. Совместное применение вышеперечисленных методов в целом способствует повышению эффективности и работоспособности типовой системы мониторинга. ДДЗЗ могут использоваться в прикладных задачах геодезии, геотехники, геоэкологии и т.д.

Таблица 1
Основные технические характеристики современных космических аппаратов

Table 1
Main technical characteristics of contemporary space vehicles

Характеристики	Наименование космического аппарата				
	Ресурс-П / Канопус-В / (Россия)	Landsat / World View (США)	Sentinel 1/2 (Европа)	Jilin / Gaofen / Super View (Китай)	Cartosat (Индия)
Тип орбиты	Солнечно-синхронная				
Интервал повторения	3 / 4–16 дн.	16 / 1–5 дн.	1–3 / 5–10 дн.	3,3 / 1,5–5 / 2–4 дн.	4–5 дн.
Инструменты	ОЭК, ГСА, ШМСА-ВР и СР / ПСС, МСС, RPC	OLI, TIRS / GIS	C-SAR (РЛС) / MSI (ГСА)	MSI / PMS, SAR / MSI, SAR	PAN, MSI (ГСА), MWIR
Пространственное разрешение (П и М*)	0,55 и 3–120 / 2,1 и 10,5 м	15 и 30–100 / 0,31 и 1,24 м	1–100 / 10–60 м	0,72 и 2,88 / 0,8 и 3,2 / 0,3 и 1,2 м	0,25–12 м
Полоса обзора	950 / 920 км	185 / 13,2 км	250 / 290 км	11,6 / 48 / 12 км	16 км

Примечание: * – панхроматический и многоспектральный (мульти- и гиперспектральный) режимы съемки соответственно.

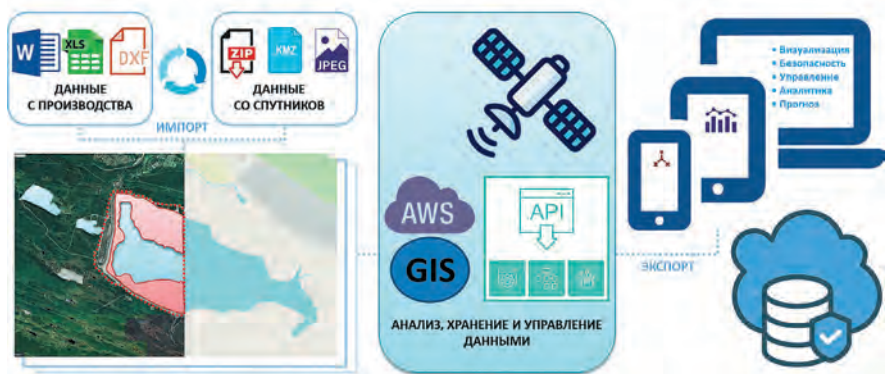


Рис. 2
Архитектура системы дистанционного мультиплощадного мониторинга хранилищ горных отходов на основе космических и цифровых технологий

Fig. 2
Architecture of the system for remote multi-area monitoring of mining waste disposal sites based on satellite and digital technologies

Методы исследования

В Горном институте КНЦ РАН в рамках фундаментальных исследований осуществляется разработка теоретических и практических основ к применению космических и цифровых технологий в задачах геоинформационного сопровождения на объектах складирования и хранения отходов горного производства [13, 14]. Методика исследований в данной постановке задачи (рис. 2) заключается в синхронизации стационарных методов производственного контроля и дистанционных методов ДЗЗ посредством комплексного визуализированного и автоматизированного индексного пространственно-временного анализа динамических изменений природно-технических систем с помощью прикладных ГИС и веб-геосервисов. Мультиплощадной космической мониторинг реализуется с помощью следующих цифровых платформ: Google Earth, QGIS, ESA SNAP / Sentinel Hub EO Browser, геопортала РОСКОСМОС и др. В качестве основных спутниковых систем используются: Ресурс-П / Канопус-В (Россия) и Sentinel 1/2 (Европейский Союз) с разрешением 0,55 / 2,1 / 1–20 м. В условиях северных широт спутниковая съемка для наилучшей детализации и информативности геоданных производится в комбинации видимом, ближнем инфракрасном (VNIR) и коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR), состоящем из 13 спектральных каналов, а также радиолокационном С-диапазоне (режим IW) электромагнитного спектра. Выбранный комплекс съемочной аппаратуры и программного обеспечения в целом обеспечивает сбор полного набора качественной и количественной информации при некоторых ограничениях в её поступлении в отдельные сезонные периоды года.

Результаты и их обсуждение

Практическое применение ДЗЗ в задачах мультиплощадной съемки хранилищ горных отходов реализовалось путем комплексных наблюдений и исследований, а также сбора больших данных и их управления. При этом были определены функциональные возможности доступных спутниковых систем и адаптированы подходы к планированию периодических измерений в местных условиях. Удаленный мониторинг включал в себя режимные наблюдения за отдельными производственными процессами, а также контроль соблюдения принятых решений и рисков, связанных с обеспечением промышленной и эко-

логической безопасности окружающей среды. На основе ДДЗЗ осуществлялось воспроизводство визуализированной и тематической информации, а также проводился мониторинг за состоянием горнотехнических объектов и особо охраняемых природных территорий. Отдельно ДЗЗ применялось в качестве инструмента ситуационной оценки и прогноза техногенного воздействия, прежде всего в чрезвычайных ситуациях при установлении истинных причин и масштабов техногенных аварий. Ниже представлены опыт и результаты ДЗЗ действующих горных предприятий (АО АПАТИТ, АО Ковдорский ГОК, АО Кольская ГМК и др.) на территории Мурманской области.

Дистанционная площадная съемка горнотехнических объектов и территорий производится в видимом, радиолокационном или коротковолновом инфракрасном композитном (RGB-сигнал) диапазоне электромагнитного спектра с использованием стандартизованных индексов (SWIR, NDWI, NDVI, NDSI и др.). Максимальную точность измерений обеспечивают оптические и радиолокационные спутниковые системы с разрешением 0,15–0,3 и 1–10 м соответственно, а инфракрасные системы – высокую информативность и возможность получения широкого набора тематических данных с учетом спектральных характеристик. На практике дистанционная съемка производится с использованием комплекса спутниковых систем для повышения её эффективности и надежности. Процесс космического мониторинга заключается в проведении маршрутной съемки КА с заданными съемочными параметрами и передаче ДДЗЗ на наземные станции для последующего анализа и хранения. Предварительная обработка геоданных включает в себя калибровку (корректировку радиометрических и геометрических искажений), а также орторектификацию (приведение снимков к точной пространственной ориентации с учетом рельефа местности). Погрешность измерений обычно составляет от сантиметров до первых метров в зависимости от технических характеристик используемых КА и местных условий. Геопространственный анализ ДДЗЗ производится посредством совмещения визуальных изображений и изображений, полученных на основе индексной классификации, для выделения различных типов объектов и ландшафтов с созданием тематических карт. При наличии данных наземных измерений (GPS/GNSS) и других источников информации выполняется интеграция и верификация ДДЗЗ для повышения точности и полноты геопространственного анализа. К особенностям площадной съемки объектов размещения горных отходов с помощью ДЗЗ можно отнести: полный обзор, относительную точность и достаточную периодичность измерений с возможностью автоматизации пространственно-вычислительных процессов. На практике методы ДЗЗ рекомендуется применять при дистанционной съемке всей территории горного предприятия, в том числе локальных зон, где по какой-либо причине не проводится детальная съемка с использованием традиционных высокоточных средств наблюдений. В отдельных регионах могут существовать некоторые ограничения, связанные с наличием и доступом к БД ДЗЗ, а также со снижением эффективности работы спутниковых систем по отслежи-

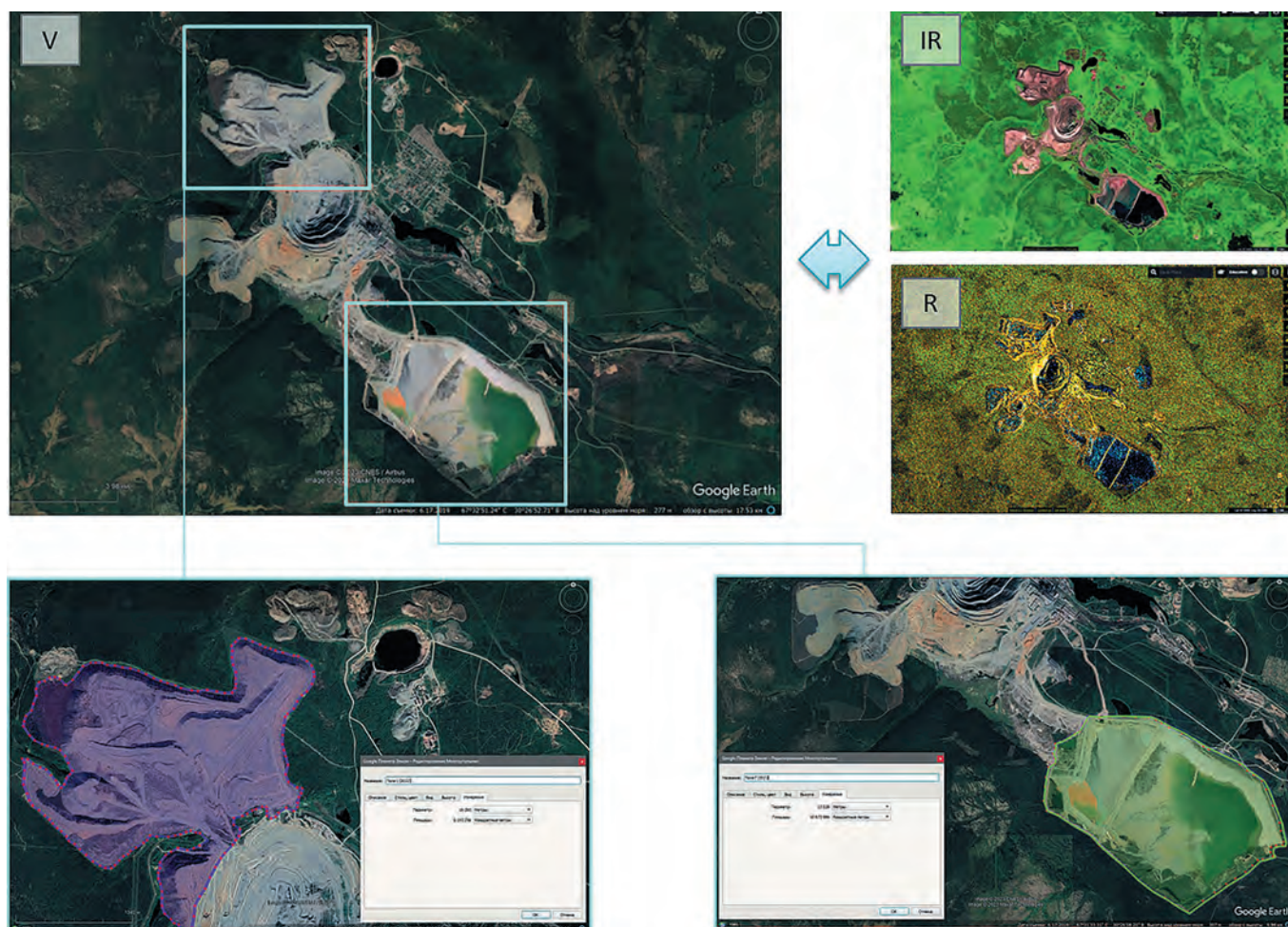


Рис. 3
Дистанционная площадная съемка и геопространственный анализ на основе космических и цифровых технологий: V, IR и R – оптическая, инфракрасная и радиолокационная съемка соответственно

Fig. 3
Remote sensing and geospatial analysis based on satellite and digital technologies: V, IR and R are optical, infrared and radar surveys, respectively

ванию контрольных параметров (геоиндикаторов) в сложных метео- и климатических условиях. На показанном примере АО «Ковдорский ГОК» (рис. 3) дистанционная площадная съемка хранилищ горных отходов проводилась с применением комплекса оптических, инфракрасных и радиолокационных спутниковых систем Ресурс-П / CNES Airbus и Sentinel-1,2 с разрешением 0,55 / 0,5–2 и 10–20 м соответственно. Обработка изображений выполнялась с помощью Google Earth / QGIS и Sentinel Hub EO Browser. ДДЗЗ получены посредством комбинирования изображений в видимом и коротковолновом инфракрасном композитном (RGB-сигнал) каналах с использованием стандартизованного индекса SWIR. Районирование отдельных объектов выполнено с учетом их положения на генеральном плане и данных производственного контроля. По результатам ДЗЗ оцифрованы границы и вычислены с приемлемой погрешностью фактические площади объектов размещения отходов горного производства.

Мультиплощадный мониторинг в решении задач в сфере надзора и контроля строительства горнотехнических объектов производится путем геопространственного анализа временных рядов с сопоставлением текущих и архивных изображений. ДДЗЗ могут содержать в себе необходимую информацию о реальном положении и динамике изменения размеров объектов и территорий, а также наличии и нахождении горной техники и оборудования в ходе их

строительства в определенный период времени. На приведенном примере ООО «Ковдорслюда» (рис. 4) выполнен ретроспективный анализ динамики изменения положения наземной инфраструктуры для выявления фактов незаконной добычи и размещения отходов в процессе эксплуатации и консервации техногенных месторождений. Проведен сбор архивных оптических спутниковых снимков за период 1985–2020 гг. на базе спутниковых систем Maxar Technologies, CNES Airbus и Landsat с разрешением 0,15–0,3, 0,5–2 и 15–30 м соответственно. Интерпретация изображений производилась с помощью Google Earth. В период 2006–2014 гг. на основе изучения ДДЗЗ посредством совмещения контуров и оценки динамики изменения площади территорий были подтверждены признаки возможного нарушения условий лицензирования горной деятельности. Результаты ДЗЗ выявили относительные изменения границ, формы и площади на объекте и территории, предназначенной для размещения минерального сырья в породных отвалах.

Дистанционная площадная съемка одного или группы горных предприятий, обеспечивающая непрерывный сбор и хранение объемной информации, сводится к созданию и управлению большими БД. На практике данная задача реализуется с помощью комплекса систем и разностороннего программного обеспечения. На продемонстрированном примере показаны результаты спутнико-

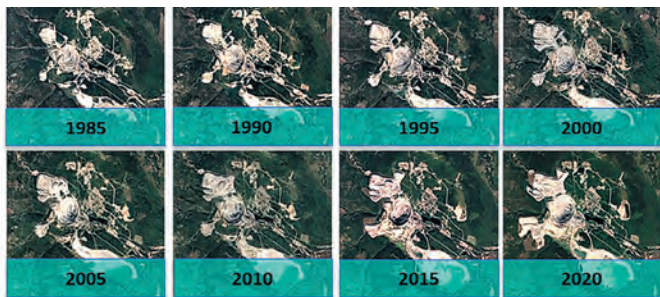


Рис. 4
Надзор и контроль строительства горных объектов и территорий на основе космических и цифровых технологий

Fig. 4
Supervision and monitoring of mining construction sites and territories based on satellite and digital technologies

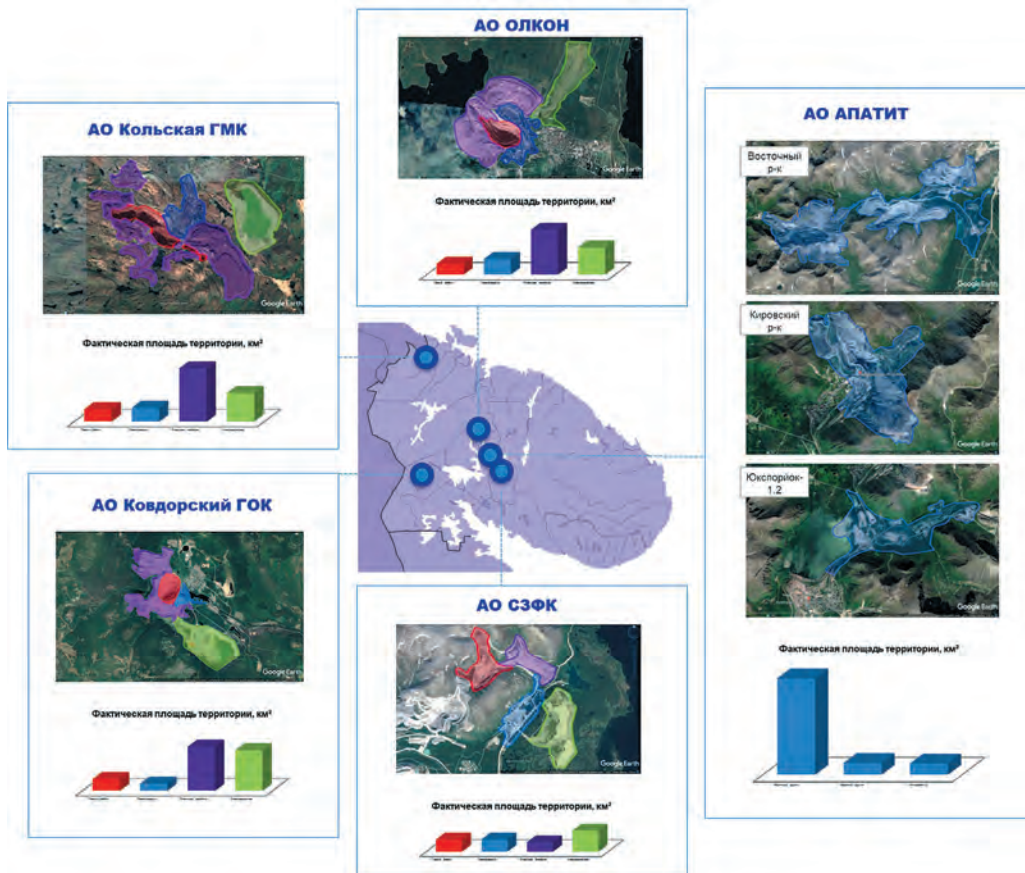


Рис. 5
Базы данных площади горных объектов и территорий на основе космических и цифровых технологий

Fig. 5
Databases of areas of the mining sites and territories based on satellite and digital technologies

вой съемки группы горнопромышленных предприятий в Мурманской области (рис. 5) с использованием КА Ресурс-П, Maxar Technologies и CNES Airbus с разрешением 0,55–0,7, 0,15–0,3 и 0,5–2 м соответственно. Анализ космоснимков проведен с помощью Google Earth и Sentinel Hub

EO Browser. По результатам была создана региональная БД на основе одной из вышеперечисленных облачных платформ, которая содержит в себе пространственную аналитику о местоположении и площади хранилищ отходов горного производства.

Выводы

На примере действующих горных предприятий в Арктической зоне РФ показаны опыт и результаты мультиплощадного космического мониторинга объектов хранения минерального сырья с целью создания цифровых информационных продуктов и БД, а также совершенствования методов надзора и контроля строительства наземной инфраструктуры для выявления незаконной добычи и размещения отходов в процессе эксплуатации и консервации

техногенных месторождений. На основе полученных результатов была актуализирована информация о площади хранилищ горных отходов и на её основе создана региональная БД, выявлены признаки локальных нарушений условий лицензирования горной деятельности, а также даны отдельные рекомендации по эффективному использованию методов ДЗЗ в решении задач геоинформационного сопровождения в сфере контроля и управления отходами горного производства.

Список литературы / References

1. Barnewold L., Lottermoser B. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):747–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003>
2. Лукичев С.В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S37):7–20. Lukichev S.V. Digital transformation of mining industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(S37):7–20. (In Russ.)
3. Lottermoser B.G. Tailings. In: *Mine Wastes*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010, pp. 205–241. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12419-8_4
4. Архипов А.В., Решетняк С.П. *Техногенные месторождения. Разработка и формирование*. Апатиты: КНЦ РАН; 2017. 175 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/20528> (дата обращения: 05.09.2024).
5. Чуркин О.Е., Гилярова А.А. Освоение отходов горного производства как инвестиционное направление развития горнорудной промышленности Кольского полуострова. *Экономика, предпринимательство и право*. 2020;10(3):905–916. <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100742> Churkin O.E., Gilyarova A.A. Mining wastes management as an investment direction for the development of the Kola Peninsula mining industry. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020;10(3):905–916. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100742>
6. Амосов П.В., Бакланов А.А., Горячев А.А., Кони́на О.Т., Красавцева Е.А., Макаров Д.В. и др. *Пыление хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд: экологическая проблема и пути ее решения*. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2023. 168 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.505.8>
7. Franks D.M., Stringer M., Torres-Cruz L.A., Baker E., Valenta R., Thygesen K. et al. Tailings facility disclosures reveal stability risks. *Scientific Reports*. 2021;11(1):5353. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84897-0>
8. Clarkson L., Williams D. Critical review of tailings dam monitoring best practice. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2019;34(2):119–148. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1625172>
9. Clarkson L., Williams D., Seppälä J. Real-time monitoring of tailings dams. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. 2020;15(2):113–127. <https://doi.org/10.1080/17499518.2020.1740280>
10. Zare M., Nasategay F., Gomez J., Moayed F., Sattarvand J. A review of tailings dam safety monitoring guidelines and systems. *Minerals*. 2024;14(6):551. <https://doi.org/10.3390/min14060551>
11. Мелихов М.В. Геоинформационное обеспечение складирования горнопромышленных отходов на основе космических и цифровых технологий. В кн.: Лукичев С.В. (ред.) *Цифровые технологии в горном деле: тезисы докл. Всерос. науч.-техн. конф., Апатиты, 13–16 июня 2023 г.* Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2023. С. 32–33.
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_121_0_29 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_121_0_29
13. Калашник А.И. Комплексные исследования и мониторинг хвостохранилищ горнопромышленных предприятий Кольского региона. *Горный журнал*. 2020;(9):101–106. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.15> Kalashnik A.I. Integrated research and monitoring of mine tailings on the Kola Peninsula. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(9):101–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.15>
14. 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: ФИЦ КНЦ РАН; 2022. 250 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.465.5>

Информация об авторе

Мелихов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: m.melikhov@ksc.ru

Information about the author

Mikhail V. Melikhov – Cand. Sci. (Eng.), Researcher at the Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: m.melikhov@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.08.2024
Поступила после рецензирования: 18.10.2024
Принята к публикации: 18.10.2024

Article info

Received: 21.08.2024
Revised: 18.10.2024
Accepted: 18.10.2024