

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ YANDEX DATALENS

Е. Н. Грищенко¹, Ю. И. Кутепов¹, Н. А. Кутепова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Россия

Аннотация: На объектах открытой разработки месторождений полезных ископаемых реализуется комплексный подход к мониторингу безопасности. Учитывая необходимость систематического отслеживания текущей ситуации и оперативного реагирования, возникает основание для создания единой аналитической системы, объединяющей в себе результаты разноуровневых инструментальных наблюдений и расчетов, полученных в ходе деформационного, геодезического, гидрогеологического, геомеханического и космического мониторинга. В рамках проводимого исследования предложено использование одного из сервисов и платформ бизнес-аналитики в качестве основы для разработки пользовательской системы онлайн-мониторинга. По итогам сравнения различных категорий BI-сервисов было принято решение о построении собственной системы на базе open-source-версии Yandex DataLens. В данной статье подробно описан порядок разработки пользовательской системы, включая этапы определения источников данных, установления к ним подключений, формирования необходимых наборов данных, создания различных визуальных представлений (диаграмм и графиков, геокарт, сводных таблиц и др.), а также построения на их основе интерактивной аналитической панели. Подробно описаны разделы, функционал, а также возможности разработанной онлайн-системы. В заключение приведены результаты работы и обозначены перспективные направления развития данного исследования.

Ключевые слова: Мониторинг безопасности, открытые горные работы, BI-сервисы, аналитика, визуализация, дашборд, диаграмма, сводная таблица, Yandex DataLens.

Для цитирования: Грищенко Е. Н., Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А. Разработка информационной системы онлайн-мониторинга на базе Yandex DataLens // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 11-1. – С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_111_0_5.

Development of an online monitoring information system based on yandex datalens

E. N. Grishchenkova¹, Yu. I. Kutepov¹, N. A. Kutepova¹

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Russia

Abstract: An integrated approach to safety monitoring is implemented at open-pit mining sites. Taking into account the need for systematic tracking of the current situation and prompt response, there is a reason to create a unified analytical system that combines the results of different-level instrumental observations and calculations obtained during deformation,

geodetic, hydrogeological, geomechanical and satellite monitoring. The study suggests the use of one of the business intelligence services as a base for the development of a custom online monitoring system. Based on the comparison of different categories of BI-services, it has been decided to build a custom system using the open-source version of Yandex DataLens. The article describes the process of system development, including the stages of determining data sources, setting up connections, forming datasets, creating various charts (diagrams, geomaps, pivot tables, etc.), as well as building an interactive analytical panel. The parts of the developed online system, its functionality and capabilities are described in detail. The conclusion summarizes the results of the work and outlines promising directions of research development.

Key words: Safety monitoring, open-pit mining, BI services, analytics, visualization, dashboard, chart, pivot table, Yandex DataLens.

For citation: Grishchenkova E.N., Kutepov Yu.I., Kutepova N.A. Development of an online monitoring information system based on yandex datalens. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(11-1):5–24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_111_0_5.

Введение

Интенсификация горного производства неизменно влечет за собой увеличение рисков, связанных с его техногенным влиянием на окружающую среду [1–3]. Для обеспечения промышленной и экологической безопасности на объектах открытой разработки месторождений полезных ископаемых рекомендуется проведение комплексного мониторинга [4–6]. В целях оценки безопасности и состояния объектов в состав мониторинга включаются инструментальные наблюдения за деформациями [7], результаты наблюдений наземной [8–10] и космической геодезии [11], гидрогеологические наблюдения [12], геомеханические расчеты [13–15], а также иные виды мониторинга [16–18]. В рамках маркшейдерского обеспечения в условиях открытых горных работ в мониторинг может быть также включена аэрофотосъемка [19–21].

Накопление больших объемов информации, получаемой с датчиков режимных скважин и по итогам инструментальных наблюдений, ведет к необходимости ее структурирования и анализа [22–24], а также наглядной визуализации в контексте задачи

по оценке безопасности. В связи с этим является актуальной задача построения единой информационной системы онлайн-мониторинга [25–27]. Целевым функционалом такой системы является возможность накопления, обработки, визуализации и анализа данных, получаемых из ряда источников с различной периодичностью.

Описанные возможности успешно реализуются на базе BI-сервисов (от англ. Business Intelligence). Их инструментарий позволяет значительно повысить эффективность работы при обработке данных и их комплексной аналитике [28–30], чему способствует ряд факторов:

- повышение оперативности при принятии решений за счет обеспечения мгновенного доступа к данным в режиме «реального времени» [31];
- удобство при проведении аналитики, оценке ситуации и выявлении ключевых трендов в изменении показателей благодаря широкому спектру вариантов визуального представления данных (графики и диаграммы, сводные таблицы, географические карты и т.д.);
- возможность подключения к различным источникам данных (облачным

и локальным базам данных, сервисам и файлам);

- отсутствие необходимости ручного ввода информации и снижение вероятности возникновения ошибок по причине человеческого фактора вследствие интеграции с рядом сервисов и автоматизации при передаче данных.

В контексте сравнительного анализа и подбора оптимального решения для реализации поставленных задач был проведен обзор наиболее популярных BI-систем. Отдельной категорией выступают лидеры рынка Enterprise, такие как Microsoft Power BI и Tableau. В числе их ключевых преимуществ — обширный функционал, большой выбор инструментов для анализа и визуализации данных, а также интуитивно понятный интерфейс. Однако данные сервисы являются представителями платного сегмента и доступны лишь с приобретением лицензии.

Что касается бесплатных BI-систем, возможен выбор между облачными решениями и системами с открытым исходным кодом. Достоинством последних выступает возможность более гибкой кастомизации в сравнении с платными продуктами, а также адаптации инструментов под отраслевые задачи; в то же время необходимость настройки и ее сложность могут стать недостатками данных систем. Облачные BI-сервисы (такие как Google Looker Studio и Yandex DataLens) не требуют настройки, просты в использовании, доступны из любой точки мира при наличии подключения к интернету и обеспечивают интеграцию с другими продуктами своих экосистем.

В 2023 году Yandex опубликовал исходный код DataLens под открытой лицензией, что на сегодняшний день позволяет осуществлять разработку собственных решений на базе открытого исходного кода, а также адап-

тировать DataLens под конкретные требования и использовать в любой инфраструктуре. На основании вышеописанного, оптимальным решением поставленной задачи стала разработка системы онлайн-мониторинга на базе Yandex DataLens.

Порядок разработки системы на базе Yandex DataLens

Сервис DataLens состоит из нескольких сущностей, которые обеспечивают полный цикл работы с данными (рис. 1). На первом этапе выполняется подключение к источнику данных. Затем информация загружается в датасет, представляющий собой структурированный набор данных в табличном виде. По нему строятся диаграммы, графики, карты различных вариаций и видов, сводные таблицы (перечисленные элементы в сервисе называются «чартами»). Последним этапом является создание на основании таблиц и построенных диаграмм единого дашборда — интерактивной аналитической панели с настроенным графическим интерфейсом, которая позволяет объединять и обобщать информацию по различным параметрам, визуализировать определенные показатели, отслеживать тенденции изменений и производить постоянный мониторинг. В дашбордах может быть организовано логическое разделение на вкладки для удобства представления данных.

Проектирование информационной системы осуществляется с учетом перечня необходимых параметров, отслеживаемых в ходе наблюдений. В рамках данной работы определена структура, включающая набор из пяти рабочих вкладок по видам мониторинга (гидрогеологический, геомеханический, деформационный, геодезический, космический), вкладку с контактной информацией и главную страницу,

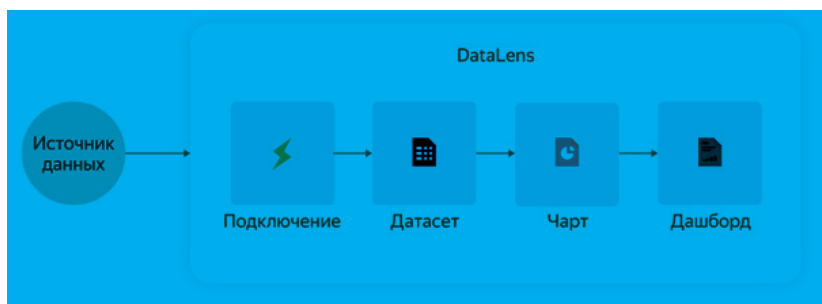


Рис. 1. Схема взаимосвязи сущностей при работе в DataLens [Официальный сайт Yandex DataLens]

Fig. 1. Scheme of entity interconnection in DataLens [Yandex DataLens official website]

выполняющую навигационную функцию по всей информационной системе.

При разработке системы в первую очередь определяются источники данных, и тем самым устанавливается необходимость подключения к базам данных сторонних серверов, электронным таблицам, отдельным файлам или онлайн-сервисам. DataLens позволяет создавать подключения к различным системам управления базами данных (ClickHouse, PostgreSQL, MySQL, Oracle Database, YDB, Greenplum), системам веб-аналитики и мониторинга ресурсов компании Яндекс (Metrica, AppMetrica, Yandex Cloud Billing), электронным таблицам Google Sheets, а также файлам в формате CSV.

Для выбора подходящего подключения при разработке следует исходить из порядка получения данных, их формата и частоты обновления. Например, в целях наблюдений за динамикой распределения напоров подземных вод организуется сеть гидронаблюдательных скважин, оснащенных датчиками, по которым производятся замеры гидростатического давления и температуры. Значения в автоматическом режиме передаются на сервер с определенной периодичностью. Следовательно, для пополнения информации в онлайн-системе необходимо создание

постоянного подключения к конкретному серверу.

Система электронной фиксации значений по датчикам реализуется также и в рамках маркшейдерского мониторинга: для этого оборудуются деформационные скважины со стационарными цифровыми инклинометрами, регистрирующими показания в систематическом порядке и передающими их на сервер. DataLens не ограничивает пользователей по количеству подключений, соответственно, информация может быть получена из нескольких различных источников.

Для результатов инструментальных наблюдений за состоянием земной поверхности по итогам геодезического мониторинга может быть организовано хранение в электронной таблице Google, подключаемой к общей информационной системе. В целях сохранности данных общий доступ по ссылке к таблице может быть закрыт, что не окажет влияния на передачу данных в систему. Ввод значений в электронную таблицу выполняется вручную.

Аналогичная схема загрузки данных посредством размещения их в электронной таблице может быть применима и для визуализации результатов расчетов в рамках геомеханического мониторинга, например, при выводе графика изменения расчетных значе-

ний коэффициентов запаса устойчивости бортов.

В дополнение к наземным маркшейдерским наблюдениям может проводиться анализ деформаций по результатам обработки космической радиолокационной съемки. Учитывая интервал получения новых данных по данному виду мониторинга, а также необходимость их предварительной обработки, представляется целесообразным хранение информации в отдельном файле в формате CSV, который будет загружаться разработчиком системы вручную при наличии новых данных.

Следующим этапом при работе в Yandex DataLens является создание датасета на основе источника данных, для которого существует подключение. При наличии в источнике данных более одной таблицы, они могут быть объединены. Что касается их содержимого, для полей таблиц автоматически определяются типы данных. DataLens работает с такими типами данных, как целые и дробные числа, логические значения, строки, значения даты и времени, геоточки, геополигоны и др.

По готовым датасетам создаются различные визуализации данных (рис. 2). На момент написания статьи при работе в сервисе доступны такие виды чартов, как диаграммы (линейные, столбчатые, точечные, круговые, древовидные, с областями, комбинированные и т.д.), таблицы (обычные и сводные), географические карты (точечные, полилинейные, полигональные, тепловые и др.) и индикаторы (отдельно выводимое на дашборд значение одного показателя). При работе с чартами есть возможность детальной настройки их элементов, таких как заголовок, легенда, цветовая схема и т.д. Для линейных диаграмм и диаграмм с областями доступно добавление

«навигатора» — особого элемента под чартом, управляющего объемом выборки, включаемой в визуализацию (например, для отображения данных за месяц, а не за целый год).

Для визуализации результатов мониторинга безопасности в разрабатываемой системе оптимальными видами чартов являются линейные диаграммы, накопительные диаграммы с областями, фоновые и полилинейные карты, а также сводные таблицы с условным форматированием (изменением цветов в зависимости от значений) и индикаторы.

На заключительном этапе выполняется построение дашборда, на одной или нескольких страницах которого размещают чарты, фрагменты текста, заголовки, а также селекторы — специальные инструменты фильтрации, которые влияют на результаты запросов на связанных с ними чартах. Селекторы могут быть представлены в виде выпадающих списков, полей для ввода значений или календарей для выбора определенной даты. Учитывая, что накопление данных может осуществляться для целого ряда объектов и в течение многих лет, селекторы обеспечивают возможность фильтрации по значениям и выборочного отображения временных интервалов.

В ходе работы в облачном сервисе DataLens доступ к дашбордам может быть закрытым (только для определенных пользователей) или предоставленным для любого пользователя в интернете без авторизации (публичный доступ). При использовании открытого исходного кода DataLens для построения собственных продуктов порядок доступа к ним определяется разработчиком.

Характеристика системы онлайн-мониторинга

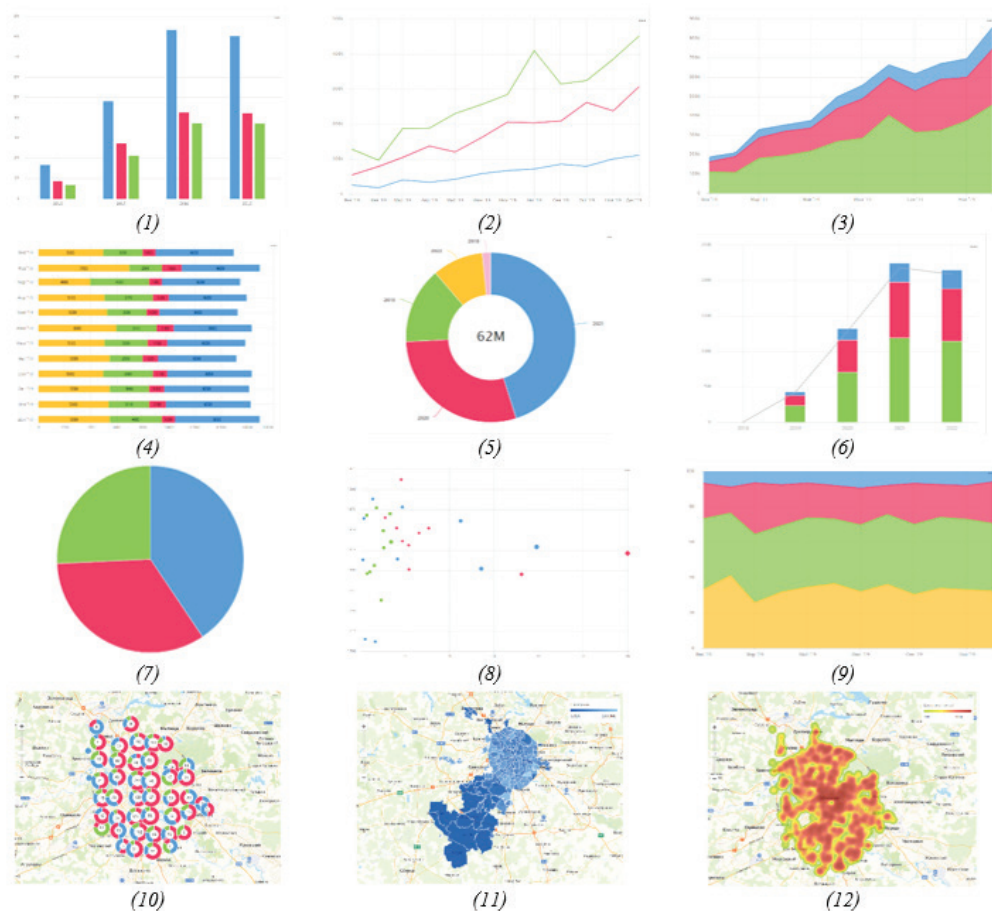


Рис. 2. Варианты чартов (визуального представления данных) в DataLens: 1 – столбчатая диаграмма; 2 – линейная диаграмма; 3 – накопительная диаграмма с областями; 4 – линейчатая диаграмма с накоплением; 5 – кольцевая диаграмма; 6 – комбинированная диаграмма; 7 – круговая диаграмма; 8 – точечная диаграмма; 9 – нормированная диаграмма с областями; 10 – точечная карта с кластеризацией; 11 – фоновая карта; 12 – тепловая карта [Официальный сайт Yandex DataLens]

Fig. 2. Variants of charts (visual representation of data) in DataLens: 1 – column chart; 2 – line chart; 3 – stacked area chart; 4 – normalized bar chart; 5 – donut chart; 6 – combined chart; 7 – pie chart; 8 – scatter chart; 9 – normalized area chart; 10 – point map with clusters; 11 – choropleth map; 12 – heat map [Official website of Yandex DataLens]

Дашборд разработанной информационной системы онлайн-мониторинга включает семь страниц: стартовую вкладку «Главная», пять вкладок по видам мониторинга («Гидрогеологический», «Геомеханический»,

«Деформационный», «Геодезический», «Космический») и вкладку «Контакты» (рис. 3). Переход к результатам по каждому виду мониторинга осуществляется через панель вкладок или с помощью нажатия на одну из кнопок,



Рис. 3. Главная страница информационной системы онлайн-мониторинга [составлено авторами]

Fig. 3. Home page of the online monitoring information system [compiled by the authors]

расположенных в правой части главной страницы.

В рамках гидрогеологического мониторинга система представляет собранные за определенный период времени данные о давлении и температуре, фиксируемые по датчикам режимных наблюдательных скважин (рис. 4). При настройке линейных диаграмм доступна функция разделения данных по некоторому указанному параметру, что позволяет построить несколько отдельных диаграмм для датчиков каждого уровня внутри одного чарта. Кроме того, для детального рассмотрения в определенном интервале времени для диаграмм подключены «навигаторы».

В правой части вкладки расположен селектор для выбора скважины, по которой требуется отобразить данные (выпадающий список с наименованиями скважин), а также сводные таблицы с условным форматированием, демонстрирующие максимальные значения, зафиксированные в течение всего времени. В правый нижний угол помещены два индикатора с информа-

цией о последнем обновлении данных и общей продолжительности мониторинга.

Следующая страница дашборда отведена под данные геомеханического мониторинга (рис. 5). В левой части размещена линейная диаграмма для отражения расчетных значений коэффициентов запаса устойчивости бортов. Селекторы над диаграммой позволяют переключаться между бортами, а также отображать результаты с учетом или без учета воздействия сейсмического события магнитудой 7 баллов. Обновление диаграмм производится сразу же после выбора нового значения с помощью селектора. Под графиком расположены два индикатора с датой обновления и количеством профильных линий.

В целях повышения информативности данного раздела мониторинга на страницу добавлены схемы расчетных моделей борта по профильным линиям. Ввиду высокой детализации и сложности построения, схемы загружены в систему в формате растровых изображений; при нажатии на схему

МОНИТОРИНГ

Главная Гидрогеологический Геомеханический Деформационный Геодинамический Космический Контакты

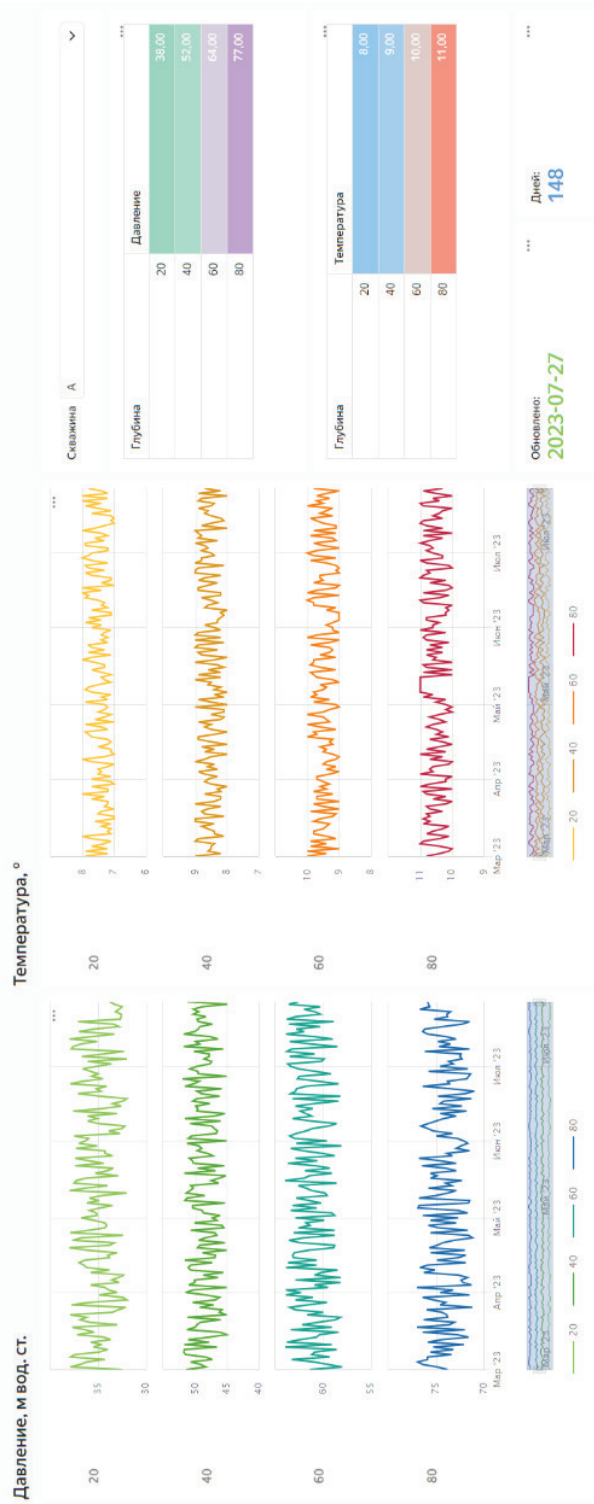


Рис. 4. Страница дашборда с результатами гидрогеологического мониторинга [составлено авторами]
 Fig. 4. Dashboard page with the results of hydrogeological monitoring [compiled by the authors]

Мониторинг

Главная | Гидрогеологический | Геомеханический | Деформационный | Геодезический | Космический | Контакты

Расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости бортов



Расчетная модель борта

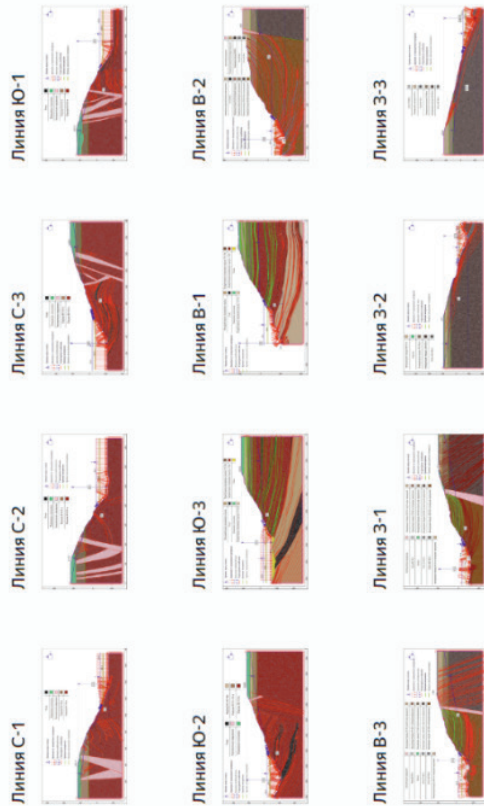
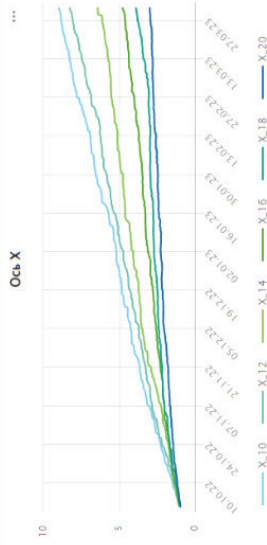


Рис. 5. Страница дашборда с результатами геомеханического мониторинга [составлено авторами]
Fig. 5. Dashboard page with geomechanical monitoring results [compiled by the authors]

Мониторинг

Главная | [Гидрогеологический](#) | [Геомеханический](#) | [Деформационный](#) | [Геодинамический](#) | [Космический](#) | [Контакты](#)

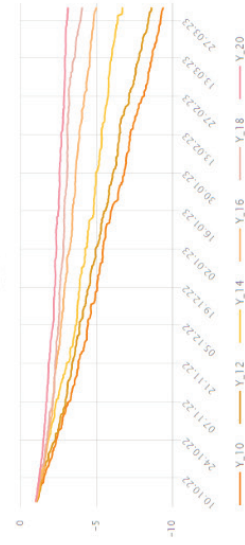
Графики смещений по данным инклинометров



Максимальные по модулю смещения, мм

Год - Месяц	X_10	X_12	X_14	X_16	X_18	X_20	Y_10	Y_12	Y_14	Y_16	Y_18	Y_20
2022 - 10	2,65	2,50	2,08	1,90	1,80	1,55	2,78	2,62	2,18	1,99	1,89	1,62
2022 - 11	4,18	3,58	3,37	2,50	2,32	1,95	4,37	3,75	3,52	2,61	2,42	2,04
2022 - 12	5,18	4,73	4,08	3,04	2,70	2,25	5,42	4,95	4,27	3,18	2,82	2,35
2023 - 1	6,60	5,98	4,89	3,50	2,95	2,47	6,91	6,26	5,12	3,67	3,09	2,58
2023 - 2	7,80	6,93	5,53	4,08	3,06	2,75	8,17	7,25	5,78	4,27	3,20	2,88
2023 - 3	9,00	8,26	6,42	4,77	3,89	2,99	9,41	8,64	6,71	4,59	4,07	3,12

Ось Y



Максимальные скорости, мм/сут

Год - Месяц	X_10	X_12	X_14	X_16	X_18	X_20	Y_10	Y_12	Y_14	Y_16	Y_18	Y_20
2022 - 10	0,12	0,16	0,06	0,06	0,07	0,04	0,12	0,17	0,06	0,07	0,07	0,04
2022 - 11	0,13	0,12	0,15	0,05	0,06	0,05	0,13	0,12	0,15	0,05	0,06	0,05
2022 - 12	0,17	0,09	0,11	0,07	0,04	0,04	0,18	0,10	0,12	0,07	0,05	0,04
2023 - 1	0,17	0,11	0,11	0,06	0,04	0,06	0,18	0,12	0,12	0,06	0,04	0,09
2023 - 2	0,14	0,12	0,09	0,04	0,05	0,05	0,15	0,13	0,10	0,05	0,06	0,05
2023 - 3	0,06	0,09	0,25	0,08	0,08	0,05	0,07	0,09	0,26	0,09	0,08	0,05

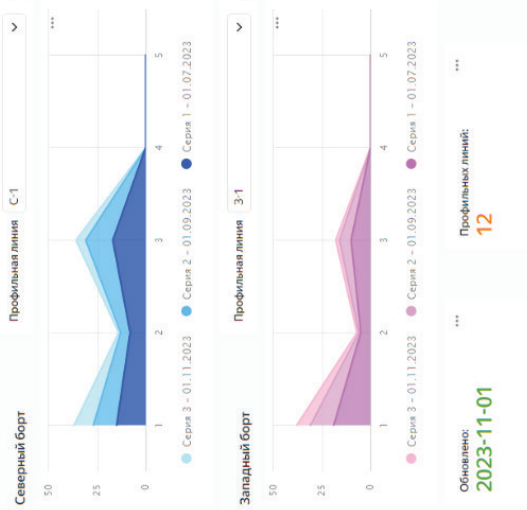
Обновлено: **2023-03-31** Дней: **182** Датчиков: **6** Макс. скорость: **0,26**

Рис. 6. Страница дашборда с результатами деформационного мониторинга [составлено авторами]
 Fig. 6. Dashboard page with deformation monitoring results [compiled by the authors]

Мониторинг

Главная | Гидрогеологический | Геомеханический | Деформационный | **Геодезический** | Космический | Контакты

Накопительные смещения (модуль вектора смещения)



Месторасположение профильных линий



Рис. 7. Страница дашборда с результатами геодезического мониторинга [составлено авторами]
Fig. 7. Dashboard page with geodetic monitoring results [compiled by the authors]

она открывается в высоком разрешении в новой вкладке браузера.

Во вкладке деформационного мониторинга (рис. 6) собираются данные, регистрируемые глубинными датчиками деформаций (инклинометрами). В левой части строятся линейные графики смещений по осям X и Y, а в правой части формируются сводные диаграммы, демонстрирующие максимальные по модулю значения смещений, а также максимальные скорости смещений для разных дат и глубин расположения датчиков. Для удобства проведения анализа по полученным данным в нижней части страницы расположены четыре индикатора для выведения на дашборд значений ключевых параметров (даты обновления данных, продолжительности мониторинга, количества датчиков и максимальной скорости смещений).

На странице геодезического мониторинга, в отличие от предыдущих, используются накопительные диаграммы с областями и карта с нанесением полилиний (рис. 7). Основная часть страницы отведена под диаграммы накопительных смещений; их четыре — по количеству бортов, и к каждой из них подключен свой селектор для выбора профильной линии. В правой части находится полилинейная карта месторасположения профильных линий в системе координат WGS-84.

Заключительным видом мониторинга, представленным на дашборде, является космический (рис. 8). На страницу выведена карта с результатами обработки космической радиолокационной съемки, размещены космические снимки территории и ссылки на архивы снимков в высоком разрешении, а также индикаторы, демонстрирующие дату последнего обновления, количество серий наблюдений и зна-

чения максимальных и минимальных зафиксированных деформаций.

Важным аспектом и доводом в пользу построения визуализаций на базе DataLens является их интерактивность. При наведении указателя мыши на диаграмму автоматически отображается подсказка со значением в данной точке; также в подсказках может быть подключена функция отображения суммы значений, что особенно актуально для накопительных диаграмм в разделе геодезического мониторинга (рис. 9). Географические карты также оснащены возможностью отображения подсказок при наведении указателя мыши на точки, полилинии или полигоны.

При совместной работе с дашбордом, созданным в Yandex DataLens, на разные объекты и папки можно назначать пользователям различные права доступа (например, можно определить группу пользователей, которые смогут просматривать карты исключительно из вкладки геодезического мониторинга).

Что касается функционала Yandex DataLens, в рамках данной задачи была задействована лишь малая его часть. В зависимости от поставленных целей может выполняться более детальная настройка датасетов, диаграмм и сводных таблиц, встраивание опубликованных дашбордов и чартов на сайты или в приложения, а также осуществляться работа с вычисляемыми полями, позволяющими на основе формул создавать новые измерения и показатели.

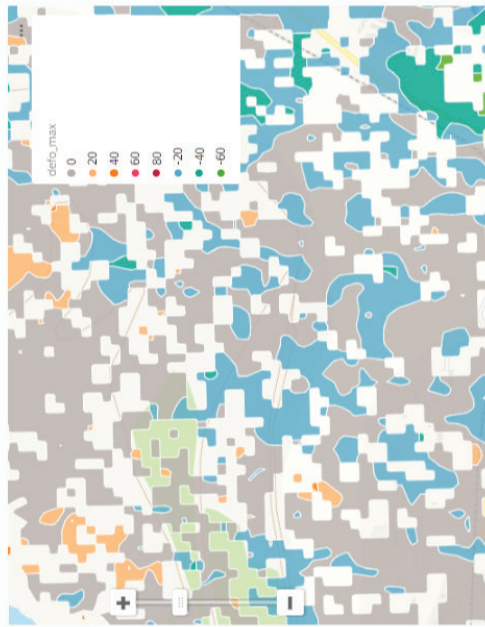
Заключение

Результаты апробации на реальном производственном объекте показали, что внедрение информационной системы онлайн-мониторинга существенно ускоряет проведение оценки состояния объекта; кроме того, визу-

Мониторинг

Главная Гидрогеологический Геомеханический Деформационный Геодезический Космический Контакты

Результаты обработки космической радиолокационной съемки



Космические снимки

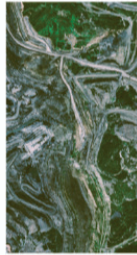
Съемка №1

Дата съемки: 01.04.2022



Съемка №2

Дата съемки: 01.10.2022



Съемка №3

Дата съемки: 01.04.2023



Обновлено:
2023-04-01

Макс. деф.:
80

Серия наблюдений:
3

Мин. деф.:
-60

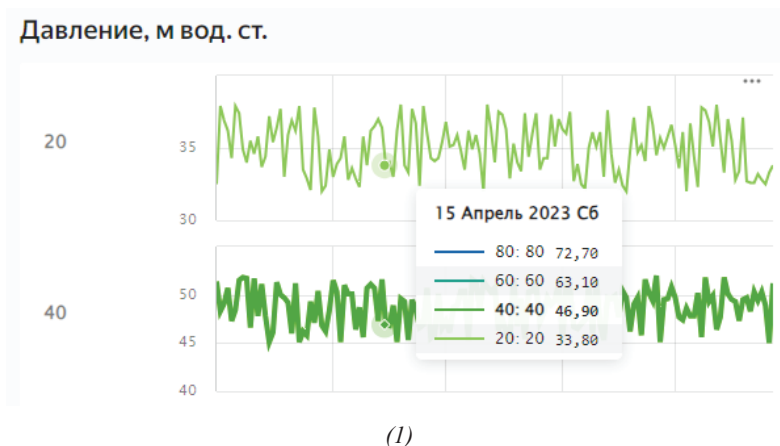
Архивы снимков в высоком разрешении:

Съемка №1

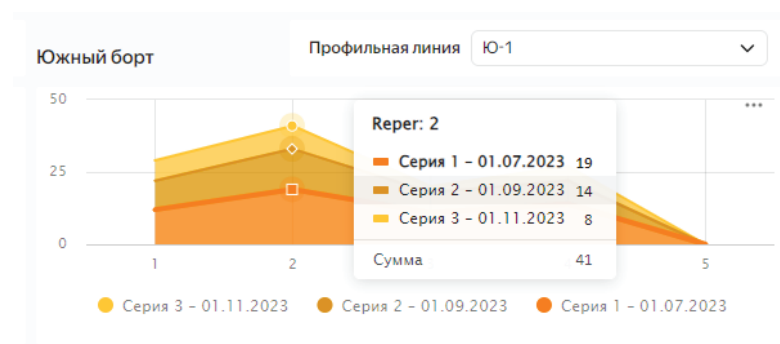
Съемка №2

Съемка №3

Рис. 8. Страница дашборда с результатами космического мониторинга [составлено авторами]
Fig. 8. Dashboard page with satellite monitoring results [compiled by the authors]



(1)



(2)

Рис. 9. Интерактивные подсказки при наведении указателя мыши: 1 — на линейные диаграммы; 2 — на диаграммы с областями [составлено авторами]

Fig. 9. Interactive hints when hovering the mouse pointer: 1 — on line charts; 2 — on stacked area charts [compiled by the authors]

ализация отслеживаемых показателей с помощью диаграмм и сводных таблиц способствует оперативному реагированию на изменение ситуации и, как следствие, минимизации возможных рисков.

Перспективным направлением в совершенствовании онлайн-системы является переход к разработке на базе продуктов с открытым исходным кодом, что позволит минимизировать доступ сторонних сервисов к данным и обеспечить полный контроль над программным обеспечением.

Вклад авторов

Грищенко Е. Н. — разработка информационной системы, анализ результатов исследования, написание текста статьи;

Кутенов Ю. И. — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, написание текста статьи;

Кутенова Н. А. — постановка задачи исследования, получение данных для построения системы, написание текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шабаров А. Н., Носков В. А., Павлович А. А., Черепов А. А.* Понятие геомеханического риска при ведении открытых горных работ // Горный журнал. — 2022. — № 9. — С. 22–28. DOI: 10.17580/gzh.2022.09.04.
2. *Цыгляну П. П., Ромашева Н. В., Фадеева М. Л., Петров И. В.* Инжиниринговые проекты в топливно-энергетическом комплексе России: актуальные проблемы, факторы и рекомендации по развитию // Уголь. — 2023. — № 3. — С. 45–51. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-45-51.
3. *Рыбак Я., Хайрутдинов М. М., Кузиев Д. А., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Бабьрь Н. В.* Прогнозирование геомеханического состояния массива при отработке соляных месторождений с закладкой // Записки Горного института. — 2022. — Т. 253. — С. 61–70. DOI: 10.31897/PMI.2022.2.
4. *Мельников Н. Н., Калашник А. И., Калашник Н. А., Запорожец Д. В.* Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 4. — С. 3–10. DOI: 10.15372/FTPRPI20180401.
5. *Сергина Е. В.* Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2015. — 22 с.
6. *Рыбин В. В., Константинов К. Н., Наговицын О. В.* Структура комплексной системы мониторинга устойчивости объектов открытых горных работ с применением цифровых технологий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2021. — № 4. — С. 70–77. DOI: 10.15372/FTPRPI20210407.
7. *Пономаренко М. Р., Кутепов Ю. И.* Оценка степени сложности условий открытых разработок месторождений полезных ископаемых для обоснования деформационного мониторинга карьера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2021. — № 6. — С. 119–130. DOI: 10.15372/FTPRPI20210611.
8. *Мустафин М. Г., Васильев Б. Ю., Кологривко А. А.* Анализ точности построения цифровых моделей рельефа на основе данных периодического воздушного лазерного сканирования горнопромышленного объекта // Горный журнал. — 2023. — № 2. — С. 56–62. DOI: 10.17580/gzh.2023.02.09.
9. *Усанов С. В., Коновалова Ю. П., Ногин С. А., Панжина Н. А.* К проблеме взаимосвязей между деформационными процессами земной поверхности природного и техногенного генеза // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2023. — № 4. — С. 286–295.
10. *Панжин А. А., Мазуров Б. Т., Панжина Н. А.* Геодинамический мониторинг и моделирование поля деформаций на Коркинском угольном месторождении // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2021. — № 2. — С. 94–109.
11. *Зеньков И. В., Чинь Ле Хунг, Карачева Г. И. и др.* Результаты работ по восстановительной экологии и охране окружающей среды при производстве открытых горных работ на месторождениях угля в Австралии по данным спутниковой съемки // Уголь. — 2023. — № 9. — С. 125–128. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-125-128.
12. *Калашник А. И.* Многоуровневые комплексные исследования и мониторинг природно-технических объектов Кольского региона // Псковский регионологический журнал. — 2023. — Т. 19. — № 2. — С. 65–77. DOI: 10.37490/S221979310025285-6.

13. *Беляев Е. Н., Бурдонов А. Е., Мурзин Н. В.* Прогнозирование и оценка устойчивости бортов, уступов разрезов и откосов отвалов на каменноугольном месторождении с использованием программных комплексов Geostudio и Plaxis 3D // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2023. — № 1. — С. 138–158. DOI: 10.46689/2218–5194–2023–1–1–138–158.

14. *Сашурин А. Д., Панжин А. А.* Роль геомеханики в обеспечении безопасного и эффективного недропользования // Современные проблемы механики. — 2018. — № 33. — С. 92–101.

15. *Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S., Flindt N., Sharafutdinov R. R.* Modern Data Analysis Technologies Used for Geomechanical Monitoring. Review // Комплексное использование минерального сырья. — 2023. — № 3. — С. 5–15. DOI: 10.31643/2023/6445.23.

16. *Соколов И. В., Корнилков С. В., Панжин А. А.* Геоинформационные технологии сопровождения процессов горного производства // Горная промышленность. — 2023. — № 55. — С. 41–46. DOI: 10.30686/1609–9192–2023–55–41–46.

17. *Господариков А. П., Ревин И. Е., Морозов К. В.* Композитная модель анализа данных сейсмического мониторинга при ведении горных работ на примере Кукисвумчорского месторождения АО «Апатит» // Записки Горного института. — 2023. — Т. 262. — С. 571–580. DOI: 10.31897/PMI.2023.9.

18. *Мулев С. Н., Рукавишников Г. Д., Мороз Д. И.* и др. Мониторинг напряженного состояния сейсмическими и расчетными методами на шахтах АО «Воркутауголь» // Уголь. — 2022. — № 12. — С. 88–93. DOI: 10.18796/0041–5790–2022–12–88–93.

19. *Гусев В. Н., Блищенко А. А., Санникова А. П.* Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера // Записки Горного института. — 2022. — Т. 254. — С. 173–179. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.

20. *Вальков В. А., Виноградов К. П., Валькова Е. О., Мустафин М. Г.* Создание растров высокой информативности по данным лазерного сканирования и аэрофото-съемки // Геодезия и картография. — 2022. — Т. 83. — № 11. — С. 40–49. DOI: 10.22389/0016–7126–2022–989–11–40–49.

21. *Выстрчил М. Г., Балтыжакова Т. И., Романчиков А. Ю., Боголюбова А. А.* Алгоритм выделения точек земной поверхности из данных воздушного лазерного сканирования // Геодезия и картография. — 2024. — Т. 85. — № 2. — С. 2–11. DOI: 10.22389/0016–7126–2024–1004–2–2–11.

22. *Мустафин М. Г., Нгуен В. Х.* Оценка вертикальных смещений оснований зданий и сооружений на основе анализа элементов деформационной сети // Геодезия и картография. — 2019. — № 3. — С. 11–19. DOI: 10.22389/0016–7126–2019–945–3–11–19.

23. *Ческидов В. В., Маневич А. И., Липина А. В.* Получение и анализ больших данных в практике мониторинга состояния горнотехнических сооружений // Горная промышленность. — 2019. — № 2. — С. 86–88. DOI: 10.30686/1609–9192–2019–2–144–86–88.

24. *Ческидов В. В.* Гидрогеомеханический мониторинг состояния откосных сооружений // Горная промышленность. — 2017. — № 4. — С. 78.

25. *Choi Y., Baek J., Park S.* Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management // Applied Sciences. 2020, vol. 10(7), 2266. DOI: 10.3390/app10072266.

26. *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, vol. 9, pp. 77–84. DOI: DOI:10.1016/j.softx.2019.01.002.

27. Рыбин В. В., Константинов К. Н., Каган М. М., Панасенко И. Г. Принципы организации комплексной системы мониторинга устойчивости объектов горнодобывающего предприятия // Горный журнал. — 2020. — № 1. — С. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.10.

28. Boikanyo H., Lotriet R., Buys P. Investigating the Use of Business, Competitive and Marketing Intelligence as Management Tools in the Mining Industry // Problems and Perspectives in Management. 2016, vol. 14(2), pp. 27–35. DOI: 10.21511/ppm.14(2).2016.03.

29. Pragnyono Seto F. C., Daryanto Y., Astanti R. D. Business Intelligence for Decision Support System for Replenishment Policy in Mining Industry // International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management. 2023, vol. 5(1), pp. 51–60. DOI: 10.24002/ijieem.v5i1.7245.

30. Choi L. K., Panjaitan A. S., Apriliasari D. The Effectiveness of Business Intelligence Management Implementation in Industry 4.0 // Startupreneur Business Digital (SABDA Journal). 2022, vol. 1(2), pp. 115–125. DOI: 10.33050/sabda.v1i2.106.

31. Antal R., Marasova D., Hajicek R., Klapko P., Mitrik V. Implementation of Business Intelligence System to Analyze the Data for Mining Mechanization — Case Study // Acta Montanistica Slovaca. 2022, no. 27, pp. 744–753. DOI: 10.46544/ams.v27i3.14.

REFERENCES

1. Shabarov A. N., Noskov V. A., Pavlovich A. A., Cherepov A. A. The concept of geomechanical risk in open-pit mining. *Mining Journal*. 2022, no. 9, pp. 22–28. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2022.09.04.

2. Tsyglianu P. P., Romasheva N. V., Fadeeva M. L., Petrov I. V. Engineering projects in the fuel and energy complex of Russia: current problems, factors and recommendations for development. *Ugol*. 2023, no. 3, pp. 45–51. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041–5790–2023–3–45–51.

3. Rybak Y., Khairutdinov M. M., Kuziev D. A., Kongar-Syuryun C. B., Babyr N. V. Prediction of the geomechanical state of the massif during mining of salt deposits with laying. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 253, pp. 61–70. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.2.

4. Melnikov N. N., Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. Complex multilevel system of geomonitoring of natural and technical objects of mining complexes. *Physical and Technical Problems of Mineral Resources Development*. 2018, no. 4, pp. 3–10. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20180401.

5. Sergina E. V. Integrated monitoring of the state of natural-technical systems of open-cast coal deposits development: abstract of the dissertation. ... candidate of technical sciences. St. Petersburg, 2015, 22 p. [In Russ].

6. Rybin V. V., Konstantinov K. N., Nagovitsyn O. V. Structure of the complex system for monitoring the stability of surface mining facilities using digital technologies. *Physical and Technical Problems of Mineral Resources Development*. 2021, no. 4, pp. 70–77. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20210407.

7. Ponomarenko M. R., Kutepov Yu. I. Estimation of the degree of complexity of the conditions of open pit mining of mineral deposits to justify deformation monitoring of the

quarry. *Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Polieznykh Iskopaemykh*. 2021, no. 6, pp. 119–130. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRI20210611.

8. Mustafin M. G., Vasiliev B. Y., Kologrivko A. A. Analysis of the accuracy of digital elevation models construction based on the data of periodic airborne laser scanning of the mining object. *Mining journal*. 2023, no. 2, pp. 56–62. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.02.09.

9. Usanov S. V., Konovalova Y. P., Nogin S. A., Panzhina N. A. On the problem of interrelations between deformation processes of the earth surface of natural and anthropogenic genesis. *Proceedings of the TSU. Earth Sciences*. 2023, no. 4, pp. 286–295. [In Russ].

10. Panzhin A. A., Mazurov B. T., Panzhina N. A. Geodynamic monitoring and modeling of the deformation field at the Korkinskoye coal deposit. *Proceedings of the TSU. Earth Sciences*. 2021, no. 2, pp. 94–109. [In Russ].

11. Zenkov I. V., Chinh Le Hung, Karacheva G. I., et al. Results of works on restoration ecology and environmental protection during surface mining operations at coal deposits in Australia according to satellite imagery. *Ugol*. 2023, no. 9, pp. 125–128. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041–5790–2023–9–125–128.

12. Kalashnik A. I. Multilevel complex research and monitoring of natural and technical objects of the Kola region. *Pskov Regionology Journal*. 2023, vol. 19, no. 2, pp. 65–77. [In Russ]. DOI: 10.37490/S221979310025285–6.

13. Belyaev E. N., Burdonov A. E., Murzin N. V. Forecasting and estimation of stability of sides, slopes of cuts and dump slopes at coal deposit using Geostudio and Plaxis 3D. *Proceedings of the TSU. Earth Sciences*. 2023, no. 1, pp. 138–158. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218–5194–2023–1–1–138–158.

14. Sashurin A. D., Panzhin A. A. Role of geomechanics in ensuring safe and efficient subsoil use. *Modern Problems of Mechanics*. 2018, no. 33, pp. 92–101. [In Russ].

15. Besimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Tutanova M. S., Flindt N., Sharafutdinov R. R. Modern Data Analysis Technologies Used for Geomechanical Monitoring. Review. *Complex use of mineral raw materials*. 2023, no. 3, pp. 5–15. DOI: 10.31643/2023/6445.23.

16. Sokolov I. V., Kornilkov S. V., Panzhin A. A. Geoinformation technologies of support of mining production processes. *Mining industry*. 2023, no. S5, pp. 41–46. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609–9192–2023–5S–41–46.

17. Gospodarikov A. P., Revin I. E., Morozov K. V. Composite model for analyzing seismic monitoring data during mining operations on the example of the Kukisvumchorrskoe deposit of Apatit. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 262, pp. 571–580. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.9.

18. Mulev S. N., Rukavishnikov G. D., Moroz D. I., Pashkova V. I., & Moroz N. E. Monitoring of the stress state by seismic and numerical methods at the mines of JSC «Vorkutaugol». *Ugol*. 2022, no. 12, pp. 88–93. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041–5790–2022–12–88–93.

19. Gusev V. N., Blishchenko A. A., Sannikova A. P. Research of the complex of factors influencing the error of realization of the surveyor survey of mountain objects with the use of geodetic quadrocopter. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 254, pp. 173–179. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.

20. Valkov V. A., Vinogradov K. P., Valkova E. O., Mustafin M. G. Creation of high informativity rasters from laser scanning and aerial photography data. *Geodeziya i Kartografiya*. 2022, vol. 83, no. 11, pp. 40–49. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016–7126–2022–989–11–40–49.

21. Vystrechil M. G., Baltyzhakova T. I., Romanchikov A. Yu., Bogolyubova A. A. Algorithm of the Earth surface points extraction from the airborne laser scanning data. *Geodeziya i Kartografiya*. 2024, vol. 85, no. 2, pp. 2–11. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016–7126–2024–1004–2–2–11.

22. Mustafin M. G., Nguyen V. H. Estimation of vertical displacements of the foundations of buildings and structures based on the analysis of deformation network elements. *Geodeziya i Kartografiya*. 2019, no. 3, pp. 11–19. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016–7126–2019–945–3–11–19.

23. Cheskidov V. V., Manevich A. I., Lipina A. V. Obtaining and analyzing big data in the practice of monitoring the state of mining structures. *Mining Industry*. 2019, no. 2, pp. 86–88. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609–9192–2019–2–144–86–88.

24. Cheskidov V. V. Hydrogeomechanical monitoring of the condition of slope structures. *Mining Industry*. 2017, no. 4, p. 78. [In Russ].

25. Choi Y., Baek J., Park S. Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. *Applied Sciences*. 2020, vol. 10(7), 2266. DOI: 10.3390/app10072266.

26. 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, vol. 9, pp. 77–84. DOI: DOI:10.1016/j.softx.2019.01.002.

27. Rybin V. V., Konstantinov K. N., Kagan M. M., Panasenko I. G. Principles of organization of a complex system for monitoring the stability of objects of a mining enterprise. *Mining Journal*. 2020, no. 1, pp. 53–57. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.10.

28. Boikanyo H., Lotriet R., Buys P. Investigating the Use of Business, Competitive and Marketing Intelligence as Management Tools in the Mining Industry. *Problems and Perspectives in Management*. 2016, vol. 14(2), pp. 27–35. DOI: 10.21511/ppm.14(2).2016.03.

29. Pragnyono Seto F. C., Daryanto Y., Astanti R. D. Business Intelligence for Decision Support System for Replenishment Policy in Mining Industry. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*. 2023, vol. 5(1), pp. 51–60. DOI: 10.24002/ijieem.v5i1.7245.

30. Choi L. K., Panjaitan A. S., Apriliasari D. The Effectiveness of Business Intelligence Management Implementation in Industry 4.0. *Startupreneur Business Digital (SABDA Journal)*. 2022, vol. 1(2), pp. 115–125. DOI: 10.33050/sabda.v1i2.106.

31. Antal R., Marasova D., Hajicek R., Klapko P., Mitrik V. Implementation of Business Intelligence System to Analyze the Data for Mining Mechanization – Case Study. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, no. 27, pp. 744–753. DOI: 10.46544/ams.v27i3.14. 

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Грищенкова Екатерина Николаевна¹ — канд. техн. наук, <http://orcid.org/0000-0001-5377-7639>, e-mail: grischenkova_en@pers.spmi.ru;

Кутепов Юрий Иванович¹ — докт. техн. наук, профессор, <http://orcid.org/0009-0004-3333-5699>, e-mail: Kutepov_Yul@pers.spmi.ru;

Кутепова Надежда Андреевна¹ — докт. техн. наук, старший научный сотрудник, <http://orcid.org/0009-0006-3803-7222>, e-mail: Kutepova_NA@pers.spmi.ru;

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2, Россия.

Для контактов: Грищенкова Е. Н., e-mail: grischenkova_en@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Grishchenkova E. N.*¹, Cand. Sci. (Eng.), <http://orcid.org/0000-0001-5377-7639>, e-mail: grishchenkova_en@pers.spmi.ru;

*Kutepov Yu. I.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, <http://orcid.org/0009-0004-3333-5699>, Russia, e-mail: Kutepov_YuI@pers.spmi.ru;

*Kutepova N. A.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, <http://orcid.org/0009-0006-3803-7222>, e-mail: Kutepova_NA@pers.spmi.ru;

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 Line, 2, Russia.

Contact: *Grishchenkova E. N.*, e-mail: grishchenkova_en@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 17.06.2024; получена после рецензии 02.08.2024; принята к печати 10.10.2024.

Received by the editors 17.06.2024; received after the review 02.08.2024; accepted for printing 10.10.2024.

