ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(8):56-70
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.834, 528.88 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_56

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕБ-КАРТОГРАФИИ

М.Р. Пономаренко[1], Ю.И. Кутепов[1], А.Н. Шабаров[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: pnmry@yandex.ru

Аннотация: Специфика объектов открытой разработки месторождений полезных ископаемых, сложность их инженерно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий, существенный пространственный охват предопределяют использование комплексного подхода к мониторингу их состояния, в результате выполнения которого формируется значительный по объёму набор разнородных данных (в том числе — пространственных). Для анализа получаемых материалов с требуемой достоверностью необходимо обеспечить их интеграцию и совместную визуализацию с использованием современных информационных технологий. В сфере горного производства на сегодняшний день отсутствуют методики и соответствующие системы, в полной мере обеспечивающие решение данной задачи с учётом актуальных научно-методических подходов и современных программно-технических средств, а также потребностей конечных пользователей данного вида систем, в частности — возможность использования без специальных знаний в области информационных, ГИС и веб-технологий. В рамках проведенного исследования рассмотрены способы совместного анализа и представления результатов комплексного мониторинга состояния горнотехнических объектов открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Предложена методика и технология его информационно-аналитической поддержки на основе интегрированного использования геопространственных данных и технологий веб-картографии, включающая интеграцию и визуализацию результатов наземных и аэрокосмических наблюдений и других разнородных данных. Выполнены визуализация и анализ данных деформационного мониторинга карьера на базе отечественной веб-платформы, обеспечивающей организацию удалённого и разграниченного доступа к данным со стационарных и мобильных устройств через веб-интерфейс.

Ключевые слова: веб-картография, геоинформационные системы, веб-ГИС, открытая разработка месторождений полезных ископаемых, комплексный мониторинг, мониторинг состояния горнотехнических объектов, дистанционное зондирование Земли из космоса.

Для цитирования: *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. – С. 56–70. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_56.

© М.Р. Пономаренко, Ю.И. Кутепов, А.Н. Шабаров. 2022.

Open pit mining monitoring support with information and analysis using web mapping technologies

M.R. Ponomarenko[1], Yu.I. Kutepov[1], A.N. Shabarov[1]

[1] Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: pnmry@yandex.ru

Abstract: Specifics of open pit mining facilities, complexity of their geological, hydrogeological and geotechnical conditions, as well as the vast coverage area dictate their integrated monitoring which produces a large bulk of diverse data (including spatial information). The analysis of such data at the required reliability needs their integration and joint visualization using advanced information technologies. The mining industry currently lacks proper procedures and systems to handle this task with regard to relevant scientific methods and up-to-date hardware/software, as well as the needs of the final users of such systems, in particular, without special knowledge in the area of GIS and web technologies. The study reviews the methods of joint analysis and presentation of integrated monitoring data on open pit mineral mining facilities. The proposed information and analysis procedure and technology are based on the integrated use of geospatial data and web mapping technologies, including agglomeration and visualization of ground survey and GPS survey information and other diverse data. The data visualization and analysis are carried out as a case-study of deformation monitoring of an open pit mine using a domestic web platform providing remote and delimited access to fixed and mobile devices via web interface.

Key words: web mapping, geoinformation systems, web GIS, open pit mineral mining, integrated monitoring, monitoring of geotechnical facilities, earth remote sensing.

For citation: Ponomarenko M. R., Kutepov Yu. I., Shabarov A. N. Open pit mining monitoring support with information and analysis using web mapping technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(8):56-70. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_56.

Введение

Современные требования обеспечения безопасности и технико-экономической эффективности открытых и подземных горных работ предопределяют выполнение мониторинга состояния (МС) формируемых горнотехнических объектов и территорий их размещения в пределах горных и земельных отводов предприятий. Значительные площади горных предприятий (ТГП) и наличие расположенных на них различных по своей сложности сооружений, широкий спектр развивающихся горно-геологических процессов, разнообразие проводимых работ (включая этапы ликвидации и рекультивации [1, 2]) определяют требования к организации и выполнению МС, а именно:

- использование комплексного подхода к производству МС, включающего выполнение разноуровневых визуальных, инструментальных и лабораторных исследований с использованием инженерно-геологических, геомеханических и маркшейдерско-геодезических методов и средств [3—7];
- использование методов наблюдений, обеспечивающих максимальный пространственный охват данных, автоматизацию выполнения съемки и оперативность получения результатов [3, 8—10];
- обеспечение функционирования системы МС в онлайн режиме.

Эффективность комплексного МС напрямую зависит от наличия актуальной и достоверной информации о состоянии наблюдаемых ответственных объектов. В соответствии с «Требованиями к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых» (утверждены МПР РФ 4 августа 2000 г.) в состав системы мониторинга месторождения полезных ископаемых (МПИ) должна входить подсистема обработки информации и прогнозирования, которая в свою очередь должна включать базу данных по постоянным и наблюдаемым показателям, используемую для информационного обслуживания недропользователей и органов управления государственным фондом недр.

В связи с этим одним из ключевых этапов МС является сбор, комплексирование и визуализация полученных данных (результатов измерений различными методами, исходных данных, относящихся к территории, и пр.) для своевременного и полноценного анализа происходящих процессов, а также дальнейшего планирования и организации мероприятий по управлению ТГП. Выполняющая указанные функции информационно-аналитическая система должна быть необходимым компонентом МС МПИ и, соответственно, системы обеспечения геодинамической безопасности функционирования горнотехнических объектов на ТГП. Стоит добавить, что разработка подходов к созданию такой системы и ее практическая реализация имеют особую актуальность в связи с текущей цифровой трансформацией горнодобывающей отрасли в РФ.

Несмотря на важность данных работ в общей системе МС, им, как правило, уделяется недостаточное внимание и, как следствие, результаты предстают перед специалистами предметной области — лицами, принимающими ответственные решения (ЛПР), в разрозненном, непрезентабельном виде. Обычно это некий набор данных, включающий:

- результаты проведения наземных инструментальных наблюдений (ведомости измерений и пр.);
- материалы аэрокосмической съемки (ортофотопланы, космические снимки);
- картографические материалы;
- графические материалы, подготовленные по результатам обработки и анализа данных наблюдений (графики, схемы и пр.)
- текстовые данные (отчеты по итогам проведения работ, атрибутивная информация по наблюдаемым объектам);
- фотоматериалы по результатам наземных визуальных наблюдений;
- результаты моделирования [11 — 13] и прогнозирования [14] и пр.

Эффективное использование перечисленных мониторинговых данных, как правило, осложнено следующими факторами:

- разнородностью данных (наличием растровых, векторных, текстовых и других материалов);
- несовместимостью форматов данных вследствие разнообразия технических средств, используемых для выполнения мониторинга, и программных продуктов для обработки получаемых данных;
- отсутствием единой системы координат (СК): например, наземные наблюдения зачастую выполняются в местных СК, а данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса представлены в общеземных СК;
- отсутствием (и/или неиспользованием) пространственной привязки данных: например, фотоматериалы по результатам визуальных наблюдений применяются в основном как графические приложения в составе текстовых отчетов, даже при наличии пространственных координат мест выполнения наб-

людений; атрибутивная информация по известным объектам / точкам также зачастую представлена только в текстовом виде;

• существенным объемом получаемых мониторинговых данных (в том числе — в связи с появлением «больших данных» в практике МС горнотехнических объектов [15]).

Перечисленные проблемы существенно ограничивают возможности комплексного анализа данных МС как в автоматизированном, так и в ручном режиме, в результате чего не осуществляется своевременная и достоверная оценка обстановки, а также не обеспечивается возникновение синергетических эффектов в виде появления новых знаний [16].

Сегодня в сфере горного производства для визуализации данных МС горнотехнических объектов (комплексного и/или специализированного) в основном используются следующие технологии:

• горно-геологические системы (ГГИС) — Micromine, Mineframe, Geomix и др. [17, 18];

• системы автоматизированного проектирования (САПР) — Autocad и др.;

• коммерческие приложения к инструментам мониторинга (наземным радарам и пр.) — HxGNGeoMonitoringHub и др.);

• настольные геоинформационные системы (ГИС) — ArcGIS, QGIS и др.;

• локальные настольные разработки в рамках одного предприятия.

Однако для перечисленных технологий характерны ограничения в части обеспечения доступа к данным (без прямой передачи файлов или привлечения сторонних решений) для различных категорий пользователей, необходимость установки специального программного обеспечения, «перегруженный» интерфейс, использование которого зачастую требует специальных знаний в сфере информационных технологий и навыков работы с конкретным программным продуктом. Также для ряда решений существенно ограничен набор поддерживаемых данных и возможности их интеграции. Наиболее широкое применение находит совместное использование САПР, ГГИС и ГИС, при котором выходные данные (включая текстовые, графические и фотоматериалы) хранятся раздельно, без возможности их визуализации и анализа в едином интерфейсе.

Для преодоления разрыва между доступными данными и конечными пользователями сегодня все чаще используются технологии веб-картографии. Веб-картография (или веб-ГИС) обеспечивает доставку пространственных данных при помощи вычислительных сетей, в основном по сети Интернет [19, 20]. В этой сфере сегодня существуют уже готовые веб-платформы (ArcGIS Online, Carto, Mapbox, MangoMap, NextGIS и др.); активно разрабатываются системы и сервисы комплексного мониторинга природных объектов, чрезвычайных ситуаций, управления развитием территорий и пр. [21—24].

В сфере горного дела существуют примеры использования возможностей веб-картографии при решении задач геологоразведки [25—27], мониторинге границ горных и земельных отводов [28—30], наблюдениях деформаций земной поверхности по данным ДЗЗ [31—33], геоэкологическом мониторинге ТГП [34], рекультивации шахтных полей [35, 36] и пр.

Однако, учитывая специфику задач МС горнотехнических объектов, функциональность существующих систем зачастую бывает недостаточной и требует доработки, возможность реализации которой может быть ограничена или доступна не для всех программных продуктов. В свою очередь, расширение функциональности зачастую приводит к усложнению интерфейса. Таким об-

разом, необходим удобный инструмент, обеспечивающий интеграцию разнородных данных МС горнотехнических объектов и их отображение в понятном и удобном веб-интерфейсе.

Использование веб-платформы «Геосемантика»

В рамках данного исследования для решения задач информационно-аналитического обеспечения МС объектов открытых горных работ предлагается использовать отечественную веб-платформу «Геосемантика». К числу базовых возможностей «Геосемантики» относятся следующие:

- загрузка векторных и растровых геоданных в форматах .shp, .geojson, .kml/.kmz, .geopackage, .gpx, .csv и .txt;
- поддержка общепринятых систем координат;
- подключение внешних ресурсов WMS и TMS;
- настройка стилей отображения геоданных;
- публикация веб-карт;
- отображение данных с помощью временной шкалы;
- текстовый и пространственный поиск;
- каталогизация геоданных;
- сбор пространственных данных на основе краудсорсинга;
- разграничение прав доступа к загруженным данным;
- совместное редактирование загруженных в систему материалов;
- обеспечение доступа к данным со стационарных и мобильных устройств.

В частности, в рамках комплексного деформационного мониторинга открытых горных работ (как одной из составляющих комплексного МС) веб-платформа «Геосемантика» позволяет решать такие задачи, как:

- визуализация топографических данных на ТГП;
- визуализация результатов наземных маркшейдерских наблюдений (расположение маркшейдерской станции, результатов измерений по реперам и пр.);
- визуализация данных дистанционного мониторинга (материалов аэрокосмической съемки и результатов их тематической обработки);
- визуализация карт деформаций земной поверхности и сооружений;
- отображение архивных и актуальных данных о деформациях земной поверхности и сооружений с помощью временнóй шкалы;
- организация хранения пространственных данных на территорию различных МПИ на основе их каталогизации по проектам;
- подключение ресурсов WMS и TMS для отображения данных из внешних источников (например, космических снимков, цифровых моделей рельефа, мест расположения объектов инфраструктуры и пр.);
- предоставление возможности просмотра опубликованных веб-карт другим пользователям;
- сбор результатов визуальных наблюдений на основе технологий краудсорсинга;
- обеспечение конфиденциальности пространственных данных за счет разграничения прав доступа к ним;
- обеспечение доступа к данным со стационарных и мобильных устройств.

Апробация

Для апробации представленной выше технологии подготовлен тестовый проект с использованием архивных материалов комплексного деформационного мониторинга территории открытой разработки МПИ Плато Расвумчорр, выполненного с применением наземной и космической съемки. В «Геосемантику» были загружены и визуализированы следующие данные:

• космический снимок ТГП с европейского спутника Sentinel-2, использованный в качестве пространственной основы для визуализации других материалов;

• карты оседаний и поднятий земной поверхности по данным космического радиолокационного зондирования за период с 08.07.2015 по 09.09.2016 (технология построения данных карт и

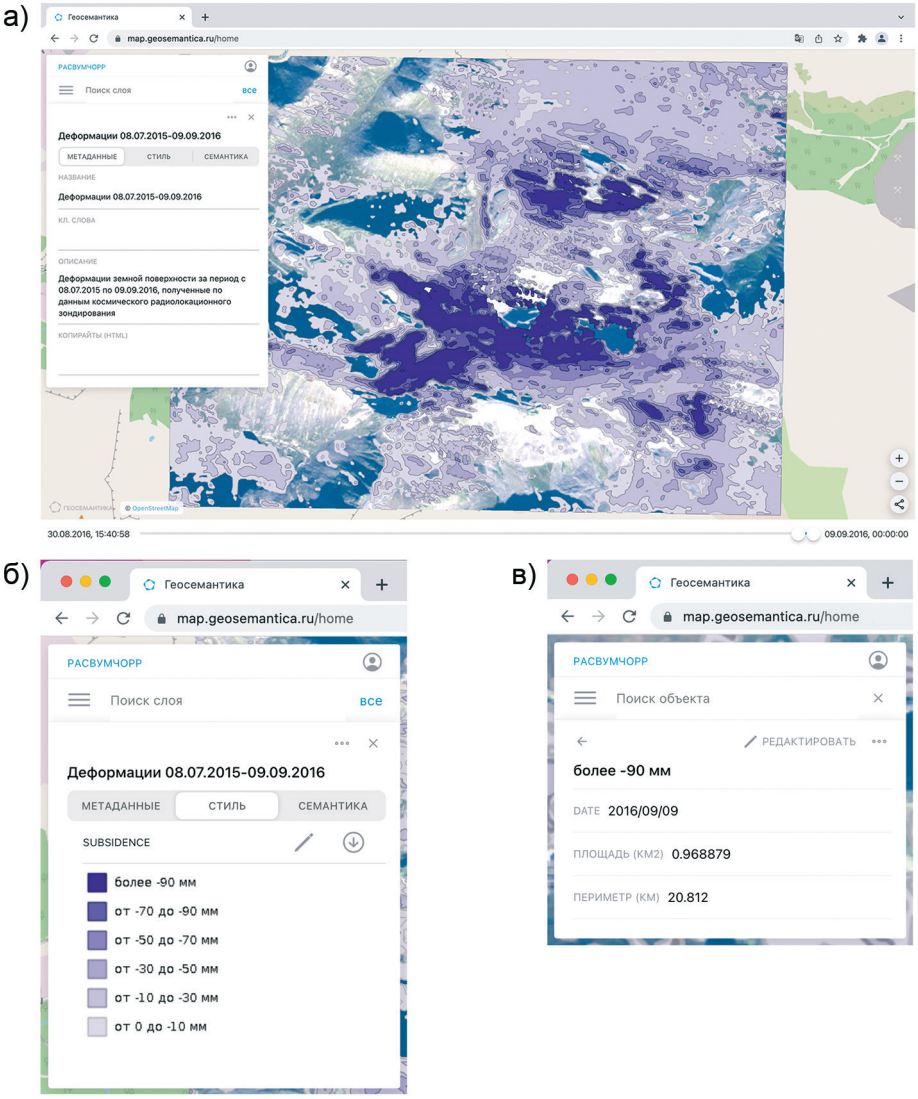

Рис. 1. Оседания земной поверхности по данным космического радиолокационного зондирования за период с 08.07.2015 по 09.09.2016 (а), в левом верхнем углу представлена атрибутивная информация визуализированного слоя, здесь также может быть отображена легенда карты (б) или информация по конкретному выделенному объекту (в)

Fig. 1. Ground surface subsidence by ground-penetrating radar data over the period from 8 June 2015 to 9 Sep 2016 (a); top-left corner may be used to present attributive information on visualization layer, or map legend (b) or information on specific subject (v)

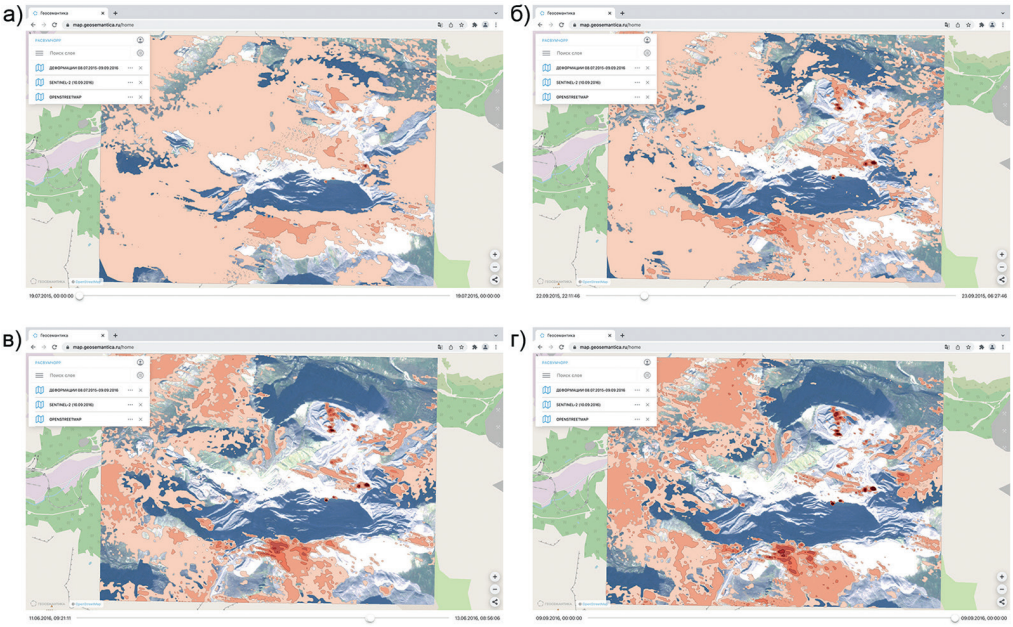

Рис. 2. Визуализация с использованием временной шкалы поднятия земной поверхности по данным космического радиолокационного зондирования за периоды: 08.07.2015–19.07.2015 (а); 08.07.2015–23.09.2015 (б); 08.07.2015–13.06.2016 (в); 08.07.2015–09.09.2016 (г)

Fig. 2. Timeline-assisted visualization of ground surface upheaval by ground-penetrating radar data over the periods: 08.07.2015–19.07.2015 (a); 08.07.2015–23.09.2015 (b); 08.07.2015–13.06.2016 (v); 08.07.2015–09.09.2016 (g)

анализ результатов подробно изложены в [37]), рис. 1 — 3;

- графики вертикальных смещений точек на земной поверхности за период с 08.07.2015 по 09.09.2016, полученных по данным космического радиолокационного зондирования (графики геопривязаны к конкретным точкам на ТГП), рис. 3;
- план карьера в векторном формате (рис. 3, 4);
- цифровая модель рельефа ТГП ALOS World 3D;
- результаты визуальных наблюдений на ТГП (фотоматериалы);
- результаты анализа данных на территорию МПИ в текстовом формате (в частности — результаты оценки факторов, влияющих на инженерно-геологические условия ТГП), рис. 5;
- геологический разрез в графическом формате с привязкой к профилю на ТГП.

Примеры визуализации перечисленных данных на базе веб-платформы «Геосемантика» приведены на рис. 1 — 5.

На рис. 1 представлен пример визуализации карты оседаний земной поверхности, построенной по результатам обработки данных космического радиолокационного зондирования за период с 08.07.2015 по 09.09.2016. Помимо самой карты-схемы, веб-интерфейс системы позволяет отобразить атрибутивные данные слоя целиком (краткое название и подробное описание) и выделенного пользователем объекта (в данном случае — участка территории с оседаниями более 90 мм), а также легенду карты. В качестве пространственной основы

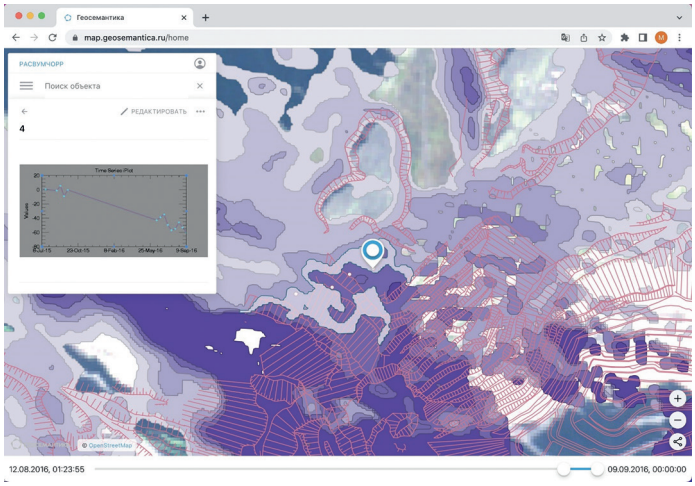

Рис. 3. График вертикальных смещений точки на земной поверхности за период с 08.07.2015 по 09.09.2016, полученных по данным космического радиолокационного зондирования

Fig. 3. Graph of vertical displacements of ground surface point between 8 Jun 2015 and 9 Sep 2016 by ground-penetrating radar data

для визуализации использован космический снимок со спутника Sentinel-2.

На рис. 2 на примере карт поднятий земной поверхности представлены возможности использования временной шкалы, а именно — визуализация данных за разные временные периоды (в данном случае — с 08.07.2015 по 09.09.2016), переход между которыми осуществляется посредством перемещения «бегунка» временной шкалы в нижней части веб-интерфейса, что позволяет оперативно анализировать как архивную, так и актуальную информацию.

На рис. 3 приведен пример визуализации графических данных: здесь представлен график вертикальных смещений земной поверхности в конкретной точ-

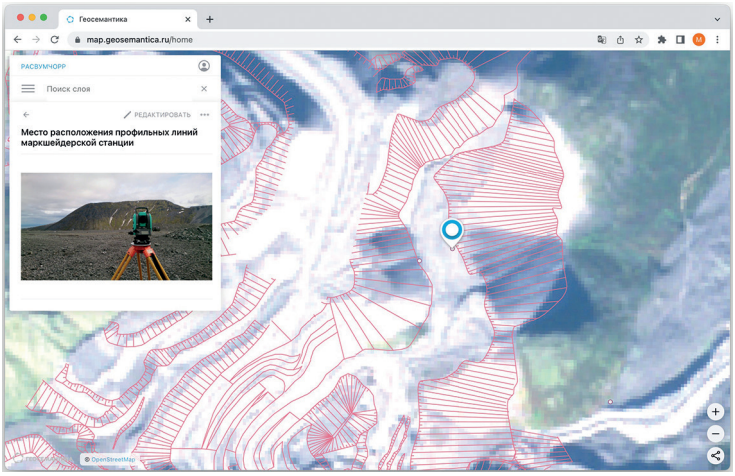

Рис. 4. Сбор результатов визуальных наблюдений: местоположение маркшейдерской наблюдательной станции и фотография точки наблюдения

Fig. 4. Accumulation of visual observation information: survey station location and observation point shot

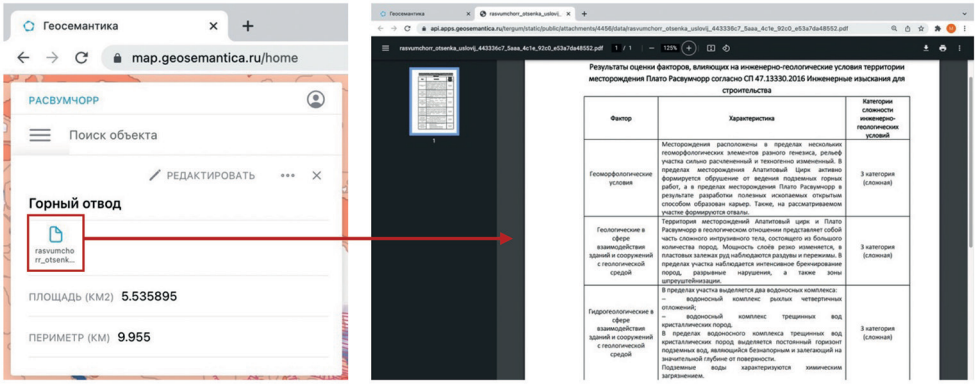

Рис. 5. Пример визуализации отчетных документов в текстовом формате
Fig. 5. Illustration of text visualization of records

ке на территорию карьера, что позволяет более детально оценить пространственное распределение смещений и их динамику во времени.

На рис. 4 представлена визуализация фотоматериалов, приуроченных к месту выполнения наземных наблюдений на карьере — загрузка этих данных возможна напрямую в интерфейс системы непосредственно в момент выполнения съемки, что в частности упрощает сбор материалов визуальных наблюдений, их хранение, визуализацию и дальнейшей анализ.

На рис. 5 приведен пример визуализации текстового документа: сам документ «привязан» к конкретному объекту на территории месторождения (в данном случае это результат анализа сложности инженерно-геологических условий карьера, необходимый для планирования и организации комплексного мониторинга его состояния), таким образом, анализ информации выполняется пользователем в пределах одного интерфейса.

Совместная визуализация и анализ перечисленных данных с использованием «Геосемантики» позволили:

- выявить зоны деформаций земной поверхности и приуроченные к ним объекты на территории карьера «Центральный»;
- оценить пространственное распределение техногенных воздействий на ТГП в результате открытой и подземной разработки, буровзрывных работ, формирования отвалов, шахтного и карьерного водоотведения;
- установить соответствие между проводимыми на ТГП работами и деформационными процессами.

Визуализация в едином интерфейсе наиболее полного набора необходимых пространственных и атрибутивных данных на ТГП Плато Расвумчорр, представленных ранее в отдельных отчетных материалах (текстовых и графических), обеспечила более достоверную оценку обстановки (включая ретроспективный анализ). При этом анализ материалов был выполнен более оперативно благодаря отсутствию необходимости одновременного применения нескольких программных продуктов для работы с соответствующим видом данных (как это выполнялось ранее) и установки дополнительного программного обеспечения для использования «Геосемантики», доступ к которой осуществляется через веб-браузер.

Выводы

Результаты использования предложенного подхода показали, что использование технологий веб-картографии,

в частности, веб-платформы «Геосемантика», позволяют повысить информативность мониторинга, а также достоверность оценки и оперативность анализа состояния горнотехнических объектов (в данном случае — деформаций земной поверхности и сооружений) за счет комплексного анализа и визуализации наиболее полного набора пространственных данных на ТГП, включая материалы наземной и космической съемки.

Перспективные направления дальнейших исследований в данной сфере связаны с решением следующих задач:

- полной автоматизацией всего цикла сбора данных всех видов измерений в составе комплексного МС горнотехнических объектов открытых разработок МПИ, доведения этой информации до ЛПР и других пользователей и созданием системы онлайн мониторинга;
- использованием предложенных технологий в качестве основы для создания распределенных систем комплексного моделирования природно-технических объектов (ПТО) в составе сложных природно-технических систем (ПТС) разработки МПИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кутепов Ю. И.*, *Кутепова Н. А.*, *Мухина А. С.*, *Мосейкин В. В.* Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

2. *Petrova T. A.*, *Rudzisha E.*, *Alekseenko A. V.*, *Bech J.*, *Pashkevich M. A.* Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge // Minerals. 2022, vol. 12, no. 3, article 376. DOI: 10.3390/min12030376.

3. *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. — С. 103–113. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-103-113.

4. *Ponomarenko M. R.*, *Kutepov Y. I.* Mining complexity assessment to substantiate deformation monitoring at open pit mines // Journal of Mining Science. 2021, vol. 57, no. 6, pp. 986–994. DOI: 10.1134/S1062739121060119.

5. *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.

6. *Ческидов В. В.*, *Куренков Д. С.*, *Маневич А. И.* Современные методы и средства оперативного контроля на горных предприятиях для обеспечения экологической и промышленной безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 6. — С. 188—199.

7. *Кутепова Н. А.*, *Кутепов Ю. И.*, *Шабаров А. Н.* Инженерно-геологическое обеспечение безопасности производства горных работ в водонасыщенных массивах // Записки Горного института. — 2012. — Т. 197. — С. 197—202.

8. *Мосейкин В. В.*, *Гальперин А. М.*, *Ческидов В. В.*, *Пуневский С. А.* Совершенствование удаленного автоматизированного контроля откосных сооружений на горных предприятиях // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 82—86. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.16.

9. *Кантемиров Ю. И.*, *Баранов Ю. Б.*, *Киселевский Е. В.*, *Билянский В. В.*, *Никифоров С. Э.*, *Грязнов В. Г.*, *Болсуновский М. А.*, *Lanzl R.* Контроль деформаций зданий и сооружений на застроенных территориях в пределах горных отводов месторождений нефти и газа в условиях Крайнего Севера // Записки Горного института. — 2010. — Т. 185. — С. 247—249.

10. *Кривенко А. А.*, *Кашников Ю. А.* Мониторинг деформационных процессов земной поверхности методами дифференциальной интерферометрической обработки радарных данных // Записки Горного института. — 2010. — Т. 188. — С. 225—228.

11. *Zhabko A., Volkomorova N., Zhabko N.* Theoretical basis for calculation of the quarries sides for collapse // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 177, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202017701004.

12. *Протосеня А. Г.*, *Кутепов Ю. Ю.* Прогноз устойчивости гидроотвалов на подрабатываемых подземными горными работами территориях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 3. — С. 97–112. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-97-112.

13. *Середин В. В.*, *Хрулев А. С.*, *Расстегаев А. В.*, *Галкин В. И.* Методика оценки напряженного состояния горных пород // Горный журнал. — 2020. — № 2. — С. 30—34. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.03.

14. *Простов С. М.*, *Смирнов Н. А.*, *Бахаева С. П.* Прогноз физико-механических свойств намывного массива по данным электрических зондирований // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2015. — № 1. — С. 69—78.

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(144). — С. 86—88. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88.

16. *Соколов Б. В.*, *Охтилев М. Ю.*, *Плотников А. М.*, *Потрясаев С. А.*, *Юсупов Р. М.* Комплексное моделирование сложных объектов: основные особенности и примеры практической реализации / Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015). Труды конференции. — М., 2015. — С. 58—81.

17. *Наговицын О. В.*, *Лукичев С. В.* Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 7. — С. 71—83.

18. *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.

19. *Дубинин М. Ю.*, *Костикова А. М.* Веб-ГИС // Компьютерра. — 2008. — № 749.

20. *Veenendaal B., Brovelli M. A., Li S.* Review of web mapping: eras, trends and directions // International Journal of Geo-Information. 2017, vol. 6, no. 10, article 317. DOI: 10.3390/ijgi6100317.

21. *Зеленцов В. А., Алабян А. М., Крыленко И. Н., Пиманов И. Ю., Пономаренко М. Р., Потрясаев С. А., Семенов А. Е., Соболевский В. А., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Модельно-ориентированная система оперативного прогнозирования речных наводнений // Вестник Российской академии наук. — 2019. — Т. 89. — № 8. — С. 831—843.DOI: 10.1134/S1019331619040130.

22. *Зеленцов В. А.*, *Потрясаев С. А.* Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. — 2017. — № 6(55). — С. 86—113. DOI: 10.15622/sp.55.4.

23. *Пиманов И. Ю.* Обеспечение доступа к данным дистанционного зондирования земли из космоса при мониторинге и управлении развитием территорий // Информатизация и связь. — 2019. — № 3. — С. 112—116. DOI: 10.34219/2078-8320-2019-10-3-112-116.

24. *Refice A., D'Addabbo A., Capolongo D.* (Eds.) Flood Monitoring through remote sensing. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018, 323 p.

25. *Новопашин А. В.* Геоинформационные технологии в решении прикладных задач алмазопоисковой геологии (Якутская алмазоносная провинция) // Известия Сибирского отделения. Секции наук о Земле РАЕН. — 2015. — № 2 (51). — С. 77–87.

26. *Loginov D. S.* Web technologies in cartographic support of geological exploration // Proceedings of the ICA. 2021, vol. 4, article 68, DOI: 10.5194/ica-proc-4-68-2021.

27. *Блискавицкий А. А., Марков К. Н., Боголюбский А. Д.* Веб-сервисы поиска и предоставления цифровых материалов геологических отчетов картографической информационно-поисковой системы (КИПС) ГБЦГИ // Геоинформатика. — 2014. — № 4. — С. 2—10.

28. *Maus V., Giljum S., Gutschlhofer J., Silva D. M., Probst M., Gass S. L. B., Luckeneder S., Lieber M., McCallum I.* A global-scale data set of mining areas // Scientific Data. 2020, vol. 7, article 289. DOI: 10.1038/s41597-020-00624-w.

29. *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: 10.1016/j.softx.2019.01.002.

30. *Jaillon A., De Brier G.* Mapping artisanal mining sites in the western Central African Republic // IPIS, November 2019. URL: https://ipisresearch.be/publication/mapping-artisanal-mining-sites-western-central-african-republic/.

31. *Del Soldato M., Solari L., Raspini F., Bianchini S., Ciampalini A., Montalti R., Ferretti A., Pellegrineschi V., Casagli N.* Monitoring ground instabilities using SAR satellite data: A practical approach // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2019, vol. 8, no. 7, article 307. DOI: 10.3390/ijgi8070307.

32. *Costantini M., Minati F., Trillo F., Ferretti A., Novali F., Passera E., Dehls J., Larsen Y., Marinkovic P., Eineder M., Brcic R., Siegmund R., Kotzerke P., Probeck M., Kenyeres A., Proietti S., Solari L.* European ground motion service (EGMS)/2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. 2021, pp. 3293—3296. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553562.

33. *Ponomarenko M. R., Pimanov I. Yu.* Implementation of synthetic aperture radar and geoinformation technologies in the complex monitoring and managing of the mining industry objects // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017, vol. 574, pp. 291—299. DOI: 10.1007/978-3-319-57264-2_30.

34. *Устинов В. В., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Царев Д. С., Харлампенков И. Е., Крисанова А. М.* Информационно-вычислительная система экологической безопасности ООО «Сибэнергоуголь»: подходы, методы, модели // Уголь. — 2018. — № 3. — С. 84—90. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-3-84-90.

35. *Stanković R., Vulovic N., Lilic N., Obradovic I., Tošović R., Pešić-Georgiadis M. D.* WebGIS decision support system for management of abandoned mines // Energies. 2016, vol. 9, article 567. DOI: 10.3390/en9070567.

36. *Pokorný R., Peterková M. T.* The abandoned surface mining sites in the Czech Republic: mapping and creating a database with a GIS web application // Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems. 2016, vol. 5, pp. 143–149. DOI: 10.5194/gi-5-143-2016.

37. *Цирель С. В., Таратинский Г. М., Пономаренко М. Р., Кантемиров Ю. И.* Опыт организации мониторинга деформаций земной поверхности в зоне ведения горных работ на предприятиях АО «Апатит» (Мурманская область) с применением метода космической радарной интерферометрии // Маркшейдерский вестник. — 2017. — № 5 (120). — С. 57—63. ГИАБ

REFERENCES

1. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S., Moseykin V. V. Geological, geotechnical and geoecological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 5–24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

2. Petrova T. A., Rudzisha E., Alekseenko A. V., Bech J., Pashkevich M. A. Rehabilitation of disturbed lands with industrial wastewater sludge. *Minerals.* 2022, vol. 12, no. 3, article 376. DOI: 10.3390/min12030376.

3. Ponomarenko M. R., Kutepov Yu. I., Volkov M. A., Grinuk A. P. Satellite methods within integrated land surface deformation monitoring in a mine field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 12, pp. 103–113. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-103-113.

4. Ponomarenko M. R., Kutepov Y. I. Mining complexity assessment to substantiate deformation monitoring at open pit mines. *Journal of Mining Science*. 2021, vol. 57, no. 6, pp. 986–994. DOI: 10.1134/S1062739121060119.

5. Mel'nikov N. N., Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. Integrated multi-level geomonitoring of natural-and-technical objects in the mining industry. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2018, no. 4, pp. 3 — 10. [In Russ].

6. Cheskidov V. V., Kurenkov D. S., Manevich A. I. Modern methods and means of effective control in mines toward ecological and industrial safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 6, pp. 188 — 199. [In Russ].

7. Kutepova N. A., Kutepov Y. I., Shabarov A. N. Engineering-geological ensuring for safety of mining work in water-inundated solid mass. *Journal of Mining Institute*. 2012, vol. 197, pp. 197 — 202. [In Russ].

8. Moseykin V. V., Galperin A. M., Cheskidov V. V., Punevsky S. A. Enhancement of automated remote slope monitoring in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 12, pp. 82 — 86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.16.

9. Kantemirov Y. I., Baranov Y. B., Kiselevskii E. V., Bilyanskii V. V., Nikiforov S. E., Gryaznov V. G., Bolsunovskii M. A., Lanzl R. Control of deformations of buildings and constructions at the built-up territories within mining diversions of oil and gas fields under conditions of Far North. *Journal of Mining Institute*. 2010, vol. 185, pp. 247 — 249. [In Russ].

10. Krivenko A. A., Kashnikov Y. A. Monitoring of deformation processes of the earth surface with methods of differential interferometric treatment of radar data. *Journal of Mining Institute*. 2010, vol. 188., pp. 225 — 228. [In Russ].

11. Zhabko A., Volkomorova N., Zhabko N. Theoretical basis for calculation of the quarries sides for collapse. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202017701004.

12. Protosenya A. G., Kutepov Yu. Yu. Stability estimation of hydraulic fills in undermined areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 3, pp. 97–112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-97-112.

13. Seredin V. V., Khrulev A. S., Rasstegaev A. V., Galkin V. I. Procedure of stress state assessment in rocks. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 2, pp. 30 — 34. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.03.

14. Prostov S. M., Bakhaeva S. P., Smirnov N. A. Prediction of physico-mechanical properties of hydraulic fill based on electrical sounding. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2015, no. 1, pp. 69 — 78. [In Russ].

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, no. 2(144), pp. 86 — 88. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-86-88.

16. Sokolov B. V., Okhtilev M. Yu., Plotnikov A. M., Potryasaev S. A., Yusupov R. M. Integrated modeling of complex objects: main features and examples of practical implementation. *Sed'maya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika» (IMMOD-2015). Trudy konferentsii* [7th All-Russian Scientific and Practical Conference «Simulation Modeling. Theory and practice» (IMMOD-2015). Proceedings of the conference], Moscow, 2015, pp. 58 — 81. [In Russ].

17. Nagovitsyn O. V., Lukichev S. V. Mining and geological information systems, areas of application and features of building. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 7, pp. 71 — 83. [In Russ].

18. Rybin V. V., Konstantinov K. N., Nagovitsyn O. V. Structure of integrated stability monitoring in open pit mining using digital technologies. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2021, no. 4, pp. 70 — 77. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20210407.

19. Dubinin M. Yu., Kostikova A. M. Web-GIS. *Computerra*. 2008, no. 749.

20. Veenendaal B., Brovelli M. A., Li S. Review of web mapping: eras, trends and directions. *International Journal of Geo-Information*. 2017, vol. 6, no. 10, article 317. DOI: 10.3390/ijgi6100317.

21. Zelentsov V. A., Alabyan A. M., Krylenko I. N., Pimanov I. Yu., Ponomarenko M. R., Potryasaev S. A., Semenov A. E., Sobolevskiy V. A., Sokolov B. V., Yusupov R. M. Model-oriented system for operational forecasting of river floods. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019, vol. 89, no. 8, pp. 831 — 843. [In Russ]. DOI: 10.1134/S1019331619040130.

22. Zelentsov V. A., Potryasaev S. A. Architecture and examples of implementing the informational platform for creation and provision of thematic services using Earth remote sensing data. *Trudy SPIIRAN*. 2017, no. 6(55), pp. 86 — 113. [In Russ]. DOI: 10.15622/sp.55.4.

23. Pimanov I. Yu. Approaches for automating the application of earth remote sensing data. *Informatization and communication*. 2019, no. 3, pp. 112 — 116. [In Russ]. DOI: 10.34219/2078-8320-2019-10-3-112-116.

24. Refice A., D'Addabbo A., Capolongo D. (Eds.) *Flood monitoring through remote sensing*. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018, 323 p.

25. Novopashin A. V. Geoinformation technologies in diamond prospecting geology applied problems solving (Yakut diamondiferous province). *Proceedings of the Siberian department of the Section of Earth sciences of the Russian academy of natural sciences*. 2015, no. 2 (51), pp. 77–87. [In Russ].

26. Loginov D. S. Web technologies in cartographic support of geological exploration. *Proceedings of the ICA*. 2021, vol. 4, article 68, DOI: 10.5194/ica-proc-4-68-2021.

27. Bliskavitsky A. A., Markov K. N., Bogolyubskii A. D. Digital geological information retrieval and download web services in the cartographic information retrieval system (CIRS) of the state bank of digital geological information (SBDGI). *Geoinformatika*. 2014, no. 4, pp. 2 — 10. [In Russ].

28. Maus V., Giljum S., Gutschlhofer J., Silva D. M., Probst M., Gass S. L. B., Luckeneder S., Lieber M., McCallum I. A global-scale data set of mining areas. *Scientific Data*. 2020, vol. 7, article 289. DOI: 10.1038/s41597-020-00624-w.

29. 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: 10.1016/j.softx.2019.01.002.

30. Jaillon A., De Brier G. Mapping artisanal mining sites in the western Central African Republic. *IPIS*, November 2019. URL: https://ipisresearch.be/publication/mapping-artisanal-mining-sites-western-central-african-republic/.

31. Del Soldato M., Solari L., Raspini F., Bianchini S., Ciampalini A., Montalti R., Ferretti A., Pellegrineschi V., Casagli N. Monitoring ground instabilities using SAR satellite data: A practical approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019, vol. 8, no. 7, article 307. DOI: 10.3390/ijgi8070307.

32. Costantini M., Minati F., Trillo F., Ferretti A., Novali F., Passera E., Dehls J., Larsen Y., Marinkovic P., Eineder M., Brcic R., Siegmund R., Kotzerke P., Probeck M., Kenyeres A., Proietti S., Solari L. European ground motion service (EGMS). *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*. 2021, pp. 3293 — 3296. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553562.

33. Ponomarenko M. R., Pimanov I. Yu. Implementation of synthetic aperture radar and geoinformation technologies in the complex monitoring and managing of the mining industry objects. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017, vol. 574, pp. 291 — 299. DOI: 10.1007/978-3-319-57264-2_30.

34. Ustinov V. V., Potapov V. P., Schastlivtsev E. L., Tsarev D. S., Kharlampenkov I. E., Krisanova A. M. Data computing system of environmental safety of «Sibenergougol» LLC: approaches, methods and models. *Ugol'*. 2018, no. 3, pp. 84 — 90. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-3-84-90.

35. Stanković R., Vulovic N., Lilic N., Obradovic I., Tošović R., Pešić-Georgiadis M. D. WebGIS decision support system for management of abandoned mines. *Energies.* 2016, vol. 9, article 567. DOI: 10.3390/en9070567.

36. Pokorný R., Peterková M. T. The abandoned surface mining sites in the Czech Republic: mapping and creating a database with a GIS web application. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems.* 2016, vol. 5, pp. 143–149. DOI: 10.5194/gi-5-143-2016.

37. Tsirel S. V., Taratinskiy G. M., Ponomarenko M. R., Kantemirov Yu. I. Earth surface deformation monitoring in the mining areas of JSC «Apatit» enterprise (Murmansk region) using radar interferometry «Апатит». *Mine Surveying Bulletin.* 2017, no. 5 (120), pp. 57—63. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пономаренко Мария Руслановна[1] — канд. техн. наук,
научный сотрудник, e-mail: pnmry@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7335-303X,
Кутепов Юрий Иванович[1] — д-р техн. наук,
профессор, зав. лабораторией,
e-mail: koutepovy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3698-3072,
Шабаров Аркадий Николаевич[1] — д-р техн. наук,
Директор Научного центра геомеханики
и проблем горного производства,
e-mail: shabarov_an@spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7925-3163,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Пономаренко М.Р., e-mail: pnmry@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.R. Ponomarenko[1], Cand. Sci. (Eng.),
Researcher, e-mail: pnmry@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7335-303X,
Yu.I. Kutepov[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of Laboratory, e-mail: koutepovy@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3698-3072,
A.N. Shabarov[1], Dr. Sci. (Eng.),
Director of Scientific Center for Geomechanics
and Issues of Mining Industry,
e-mail: shabarov_an@spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7925-3163,
[1] Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: M.R. Ponomarenko, e-mail: pnmry@yandex.ru.

Получена редакцией 22.04.2022; получена после рецензии 27.06.2022; принята к печати 10.07.2022.
Received by the editors 22.04.2022; received after the review 27.06.2022; accepted for printing 10.07.2022.