

## Существующие системы мониторинга и необходимость обновления нормативно-методологической базы для обеспечения безопасности горных работ на карьерах

Балтиева А. А.<sup>1\*</sup>, Шамганова Л. С.<sup>1</sup>, Абдыкаримова Г. Б.<sup>1</sup>, Панжин А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup> Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: [igd.ogm@gmail.com](mailto:igd.ogm@gmail.com)

### Реферат

**Введение.** Постоянное увеличение глубины разработки месторождений ставит перед специалистами и учеными всего мира все более сложные задачи по обеспечению эффективности и безопасности использования недр. Одним из мощных инструментов для решения подобных задач является система комплексного мониторинга, включающая современные технологии наблюдения, сбора и передачи информации, а также аварийного реагирования и предотвращения гибели людей.

**Цель работы** заключается в определении комплексной стратегии ведения геомониторинга при открытой разработке полезных ископаемых в современных условиях.

**Методология.** В настоящее время критерии оценки величин смещений и деформаций земной поверхности действующей нормативно-методологической базы в Республике Казахстан достаточно обобщены и не учитывают достижений современного контрольно-измерительного приборостроения. В работе выполнен сравнительный анализ существующих современных систем мониторинга, реализуемых для наблюдений за деформациями уступов и бортов карьеров.

**Результаты.** В статье представлены доказательства надежности применения различных систем мониторинга, приведены подтверждающие примеры из обзора мировой практики.

**Выводы.** По результатам анализа определено наиболее достоверное оборудование для краткосрочного мониторинга с системой раннего оповещения, а также приведена схема развития комплексной системы геомониторинга на месторождениях открытой разработки. Использование стратегии комплексного мониторинга бортов карьера значительно повысит безопасность ведения горных работ; предупредит аварии, связанные с геомеханическими процессами; позволит накопить данные о деформациях. Такое решение значительно снизит геомеханические риски и позволит продолжать добычу руды в сложных условиях безопасно и экономично.

**Ключевые слова:** карьер; виды мониторинга; безопасность горных работ; оптико-электронные, лазерно-дальномерные, спутниковые навигационные/ДЗЗ, фотограмметрические, радарные и георадарные технологии; деформации.

**Введение.** Постоянное увеличение глубины разработки месторождений ставит перед специалистами и учеными всего мира все более сложные задачи по обеспечению эффективности и безопасности использования недр [1, 2]. Одним из мощных инструментов для решения подобных задач является система комплексного мониторинга, включающая современные технологии наблюдения, сбора и передачи информации, а также аварийного реагирования и предотвращения гибели людей. Данная система мониторинга должна обеспечить геомеханическую, геодинамическую и экологическую безопасность на глубоких месторождениях. Для разработки подобной системы на отечественных месторождениях необходим богатый научный опыт, соответствующий мировым стандартам.

Критерии оценки величин сдвижений и деформаций земной поверхности действующей нормативно-методологической базы в Республике Казахстан (РК) достаточно обобщены и не учитывают достижения современного контрольно-измерительного приборостроения. Утвержденные методические указания по наблюдениям за деформациями инженерных структур содержат информацию только по традиционным техникам измерений. Содержание действующих на территории РК методик, инструкций и регламентов для наблюдения за опасными деформациями, где расписаны программы измерений: интервалы времени между сериями наблюдений, количество приемов, сроки проведения повторных наблюдений, действительно только для традиционных оптических средств наблюдения. Основными недостатками при использовании оптических средств наблюдения являются: высокая трудоемкость проведения съемки, низкая информативность, зависимость от погодных условий, низкая частота возможных измерений [3]. При этом в соответствии с Экологическим кодексом (*Кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 года № 212-III «Экологический кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 05.10.2018 г.)*) в Казахстане должен осуществляться эффективный мониторинг недр, который представляет собой систему наблюдений за состоянием недр для обеспечения рационального использования государственного фонда недр и своевременного выявления их изменений, оценки, предупреждения и устранения последствий негативных процессов.

В то же время, несмотря на отсутствие обновленной нормативно-методологической базы, большинство отечественных горнорудных предприятий активно использует современное геодезическое и геофизическое оборудование, в частности: электронные тахеометры, беспилотные летательные аппараты (аэрофото-съемка), GPS-оборудование, лазерные сканеры, спутниковые и радарные системы наблюдений и т. п. Данные измерения не подлежат всестороннему научному исследованию и выполняются маркшейдерскими службами организаций только для удовлетворения технологических нужд. Поэтому возникает замкнутый круг, специалисты научных организаций не могут позволить себе закуп и не имеют прямого доступа к использованию современного дорогостоящего измерительного оборудования и возможности изучения и анализа получаемых данных. На сегодняшний день обновление нормативно-методологической базы по деформационному мониторингу с учетом современного контрольно-измерительного приборостроения является актуальной задачей.

**Обзор существующих систем геомониторинга на месторождениях.** Вплоть до 2000-х гг. деформации инженерных структур на отечественных предприятиях определялись с использованием традиционных техник измерений. Достоинства таких измерений – хорошая изученность, низкая стоимость и достаточная надежность. Основные недостатки использования оптических средств наблюдения – высокая трудоемкость проведения съемки, низкая информативность, зависимость от погодных условий, низкая частота возможных измерений [3–6].

Если традиционные наблюдения основаны на «контактном» подходе, где датчики устанавливаются непосредственно на контакте с землей либо конструкцией, то мониторинг удаленных методов основан на «бесконтактном» подходе, где сбор данных основан на датчиках, которые установлены далеко от места наблюдений. Однако исходя из степени взаимодействия с поверхностью либо структурой методы удаленного мониторинга можно разделить на две основные подкатегории [7]:

– частично удаленный – методы, которые требуют установки дополнительных датчиков на наблюдаемый объект (антенны для D-GPS, призмы для роботизированных станций);

– полностью удаленный – методы, которые не требуют установки датчиков на наблюдаемом участке; в свою очередь, удаленный мониторинг классифицируется, основываясь на трех основных показателях, по типу платформы, типу волны и типу датчика.

На рис. 1 представлена общая схема мониторинга бортов карьера, включающая основные методы, используемые во всем мире [8].

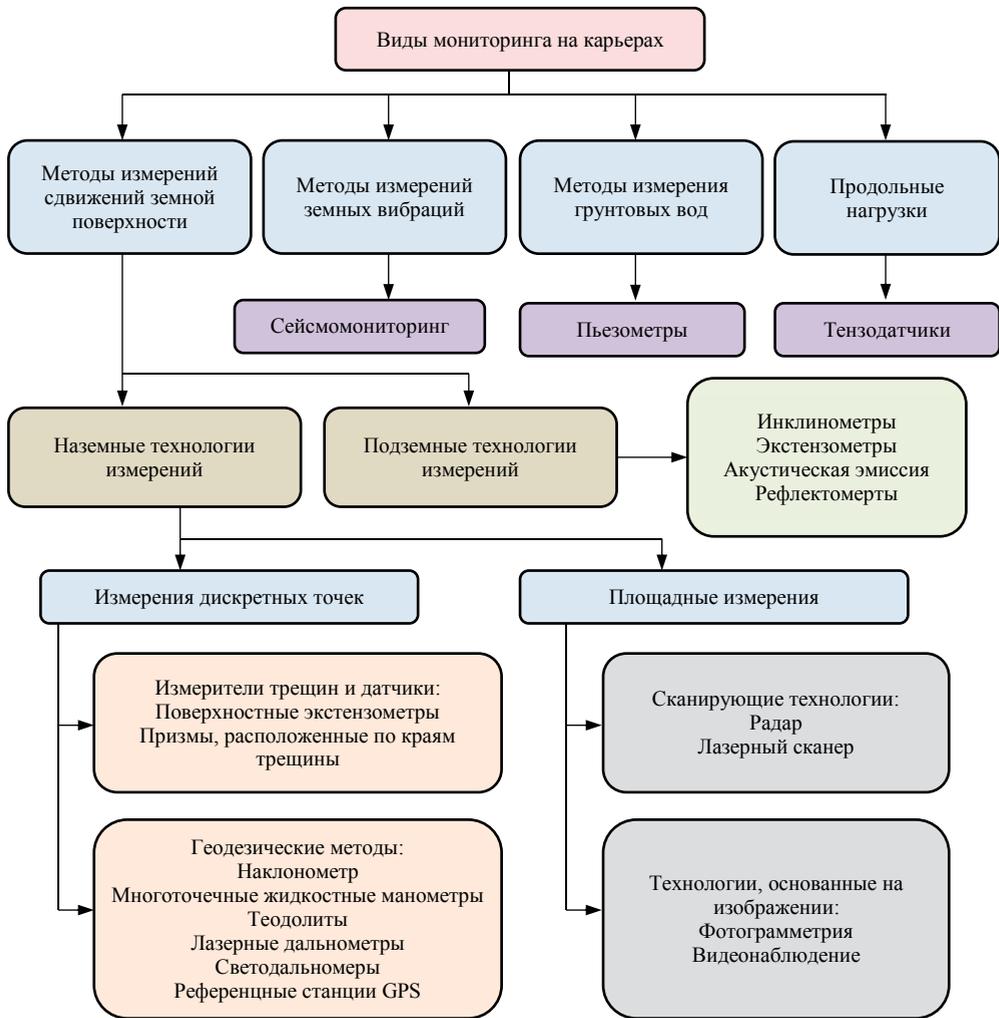


Рис. 1. Общая схема мониторинга бортов карьера  
Fig. 1. General scheme of pit edges monitoring

**Система раннего оповещения.** Раннее обнаружение и предупреждение деформаций бортов карьера играет решающую роль для принятия необходимых мер. Во многих случаях подвижки массива, засеченные радаром, переходят в обрушение в течение месяца. Время обрушения можно предсказать с помощью метода обратных скоростей, который позволит выявить тенденцию деформаций и определить критическую дату. Следует отметить, что точность предсказания является результатом правильной интерпретации данных радарной системы контроля, полученных по методу обратных скоростей.

Смещение породы и его влияние можно увидеть при радарном сканировании. Положительные скорости смещений характеризуют движение по направлению

к радару и имеют цветовую маркировку пикселей в оттенках желтого, оранжевого, красного и черного, а синие пиксели представляют собой отрицательное движение от радара, в то время как серые пиксели показывают, что смещения не происходит.

Интересны результаты радарного мониторинга, проведенного геомеханической службой карьера Багдад. Данное месторождение расположено в штате Аризона (США), предприятие, его разрабатывающее, занимается добычей медно-порфировых руд. На рис. 2 приведен результат радарной съемки северного борта и данные обратных скоростей обрушения N-2800 [9]. Отрицательные величины сдвижений на юг представлены красной линией, вертикальное сдвижение вниз показано синей линией, а нулевые значения (зеленая линия) указывают на восточное движение, начало сдвижения на юго-восток показано в середине января.

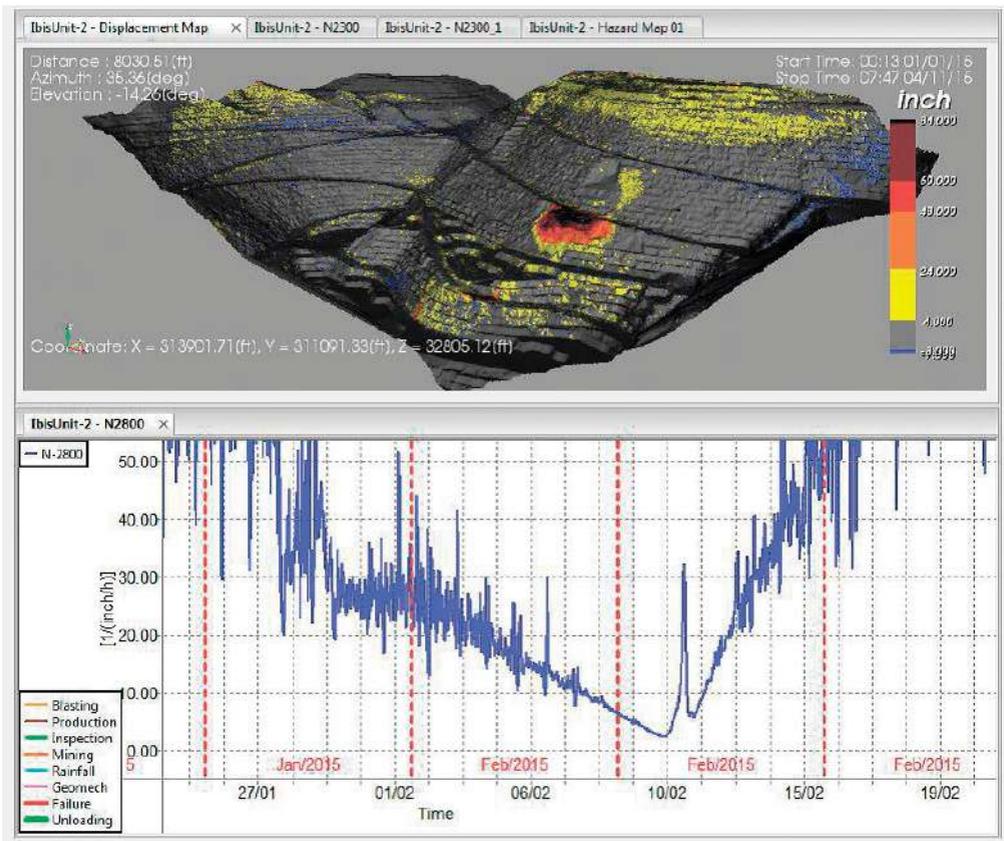


Рис. 2. Результат радарной съемки северного борта карьера Багдад и данные обратной скорости для обрушения N-2800 [8]

Fig. 2. The result of Bagdad pit northern edge radar surveying and data on reciprocal velocity to cave N-2800 [8]

Для радарных установок возможно настраивать параметры сдвижений, обозначить области, которые могут вызвать ложную тревогу (например места, где ведутся горные работы). Оператор может установить красные и оранжевые сигналы тревоги. Оранжевые сигналы тревоги направлены на предупреждение геомехаников о возможной проблеме, в то время как красный сигнал считается срочным и требует немедленной эвакуации персонала и оборудования из зоны риска. Красные сигналы тревоги устанавливаются после испытательного периода, так как качественная характеристика массива для различных карьеров индивидуальна.

**Опыт предприятия Potgietersrust Platinums Ltd. (PPRust).** Ярким примером реализованного комбинированного геомониторинга являются наблюдения, проведенные на карьере Sandsloot Южно-Африканской Республики. Данный карьер начал разработку по добыче драгоценных металлов в 1992 г. и закончил отработку в 2009 г. За это время параметры карьера достигли 2 км в длину, 600 м в ширину и 260 м в глубину (конечная глубина – 300 м). Основной проблемой, предшествующей внедрению геомониторинга, явилась быстро развивающаяся деформация из-за зоны разломов на западном борту карьера Sandsloot [10].

В итоге для более эффективного обеспечения безопасности добычи полезных ископаемых была реализована комплексная стратегия мониторинга бортов. За три года были установлены четыре новые современные системы мониторинга: система микросейсмического мониторинга; автоматическая система мониторинга с применением роботизированного тахеометра; безотражательные лазерные сканеры; радарная система.

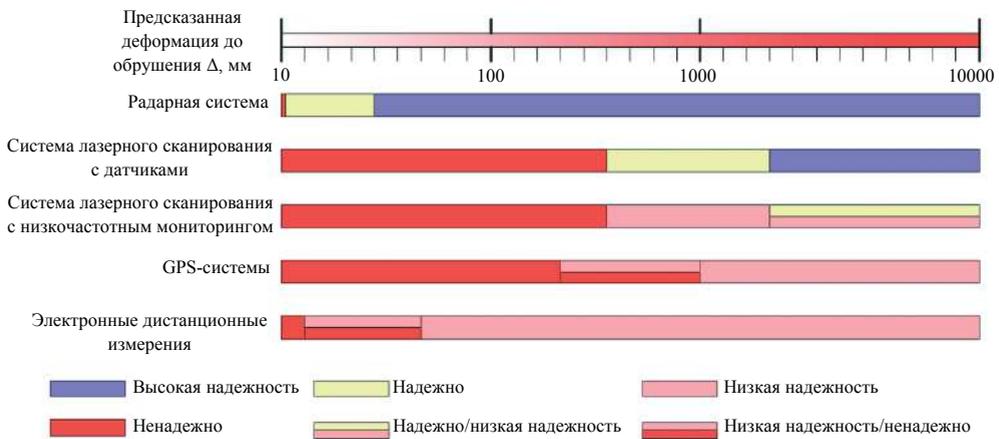


Рис. 3. Надежность систем мониторинга в областях [10]

Fig. 3. Reliability of monitoring systems [10]

Обрушения на западном борту произошли в течение 2 ч, и мониторинг в режиме с применением отражателей не смог помочь в предупреждении опасной ситуации для своевременной эвакуации. Несмотря на то что призмы были надежно установлены и вокруг призм закреплен стальной защитный кожух, многие из них были повреждены или потеряны из-за камнепадов, осыпей и т. д. В результате на карьере в феврале 2005 г. был внедрен лазерный мониторинг, чтобы заполнить области, на которых марки были потеряны или не были установлены. Потребовалось около 9 ч для сканирования всей западной стены, которая находится на расстоянии 0,5–1 км от сканера (в зависимости от угла) [10].

В ноябре 2003 г. на предприятии PPRust был запущен радар для наблюдения за западной стенкой Sandsloot. Ранее зарегистрированные обрушения составляли от десятков до нескольких тысяч тонн и, как представляется, происходили мгновенно. Радар сканирует площадь в 10 тыс. м<sup>2</sup> за одну минуту и, таким образом, может обеспечить раннее предупреждение о любом движении для эвакуации. Радар сканировал западную стену карьера с возвышенности восточного борта 24 ч в сутки при любых погодных условиях. После 2-месячного испытательного периода красные сигналы тревоги были установлены на 10 мм движения в течение 2 ч для участка площадью 80 м<sup>2</sup> [10].

С помощью радара было зарегистрировано 8 обрушений, радар менее чем за 2 ч показал, что сдвигение склона произойдет. Это действительно обеспечило

раннее предупреждение экстренной ситуации, в результате люди и оборудование были успешно эвакуированы.

**Стратегия комплексного мониторинга.** С учетом опыта наблюдений на зарубежных карьерах все геодезическое и геофизическое оборудование можно подразделить по видам наблюдений: радарные системы для краткосрочного мониторинга; станции роботизированных тахеометров с применением призм, лазерные сканеры для долгосрочного мониторинга; GPS-оборудование для обширного площадного мониторинга; спутниковая интерферометрия для ретроспективного анализа.



Рис. 4. Стратегия комплексного мониторинга бортов карьера [11]  
Fig. 4. Pit edges integrated monitoring strategy [11]

Для выполнения системного анализа деформационных процессов, происходящих на карьерах, необходимо выбрать оптимальные методы наблюдений и систематизировать их согласно концепции единого комплексного геомониторинга [9].

На рис. 3 [11] показана надежность различных систем мониторинга, оцененных на основе предложенных карт надежности для склонов с широким диапазоном предсказанной деформации до обрушения. Согласно источнику [11], при разработке этой диаграммы была учтена точность каждого из устройств. В большинстве случаев скорость сканирования высока, и контроль борта можно считать непрерывным. Точность этих устройств находится в диапазоне 0,1–0,4 мм, что намного меньше предсказанной деформации разрушения для большинства склонов. Поэтому эти системы являются «высоконадежными» для большинства бортов карьеров.

Надежность систем мониторинга в областях, обозначенных «надежная/низкая надежность» и «низкая надежность/ненадежная», зависит от системной частоты считывания и критической частоты считывания, указанной на рис. 3. Если частота измерения ниже критического значения, тогда следует выбрать более низкий уровень надежности (например, в случае «надежная/низкая надежность», должна быть выбрана «низкая надежность»).

Опираясь на анализ опыта наблюдений бортов и уступов карьеров стран ближнего и дальнего зарубежья [12], развитие комплексной системы геомониторинга предлагается осуществлять по следующей схеме (рис. 4).

**Закключение.** Проведенный сравнительный анализ существующих систем мониторинга показал, что наиболее достоверным оборудованием для краткосрочно-

го мониторинга с системой раннего оповещения являются радарные системы, единственный минус которых – относительно высокая стоимость. Поэтому рекомендуется комплексная система геомониторинга, учитывающая потребности как в среднесрочных, так и в краткосрочных наблюдениях.

Стратегия комплексного мониторинга бортов карьера значительно повысит безопасность ведения горных работ; предупредит аварии, связанные с геомеханическими процессами; позволит накопить данные о деформациях. Такое решение значительно снизит геомеханические риски и позволит продолжать добычу руды безопасно и экономично в сложных условиях.

Учитывая активное использование отечественными горнорудными предприятиями современного контрольно-измерительного оборудования, необходимо принять решение о замене действующей инструкции (*Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Ленинград: ВИОГЕМ Минмета СССР ВНИМИ. 1971. 193 с.*).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухаметкалиев Б. С., Каложный Е. С., Съедина С. А., Абдибеков Н. К. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при увеличении глубины отработки // Горный журнал. 2018. № 4. С. 27–32. DOI: 10.17580 / gzh.2018.04
2. Съедина С. А. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке: дис. ... PhD: 6D070700: защищена 24.05.19; утв. 24.05.19. Алматы, 2019. 119 с.
3. Несмашный Е. А., Ткаченко Г. И., Болотников А. В. Обзор технологий и технических средств для геомеханического мониторинга состояния бортов карьеров и отвалов // Разработка рудных месторождений. 2010. Вып. 93. С. 1–5.
4. Кузьменко С. В., Шамганова Л. С., Ахмедов Д. Ш., Балтиева А. А. Информационно-навигационное обеспечение горных работ на карьерах Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения // Горный журнал. 2018. № 5. С. 72–77.
5. José C. Mura, Waldir R. Paradella, Fabio F. Gama, Athos R. Santos, Mauricio Galo, Paulo O. Camargo, Arnaldo Q. Silva, Guilherme G. Silva (2014). Monitoring of surface deformation in open pit mine using DInSAR time-series: a case study in the N5W iron mine (Carajás, Brazil) using TerraSAR-X data. Proc. SPIE 9243, SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques XIV, 924311 (21 October 2014).
6. Гальперин А. М. Геомеханика открытых горных работ. М.: МГТУ, 2003. 473 с.
7. Erol S., Erol B., Ayan T. (2004). A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/levelling. ITU, Civil Engineering Faculty, Geodesy Division, 34469 Maslak Istanbul, Turkey (erol, bihter, ayan)@itu.edu.tr
8. Baltiyeva A. A., Shamganova L. S., Sedina S. A., Tulebayev K. K. The choice of rational and effective technical tools when conducting the uniform combined geomonitoring for the open-pit mines // 25th World Mining Congress 2018. Astana, 2018.
9. Steven E. Borron, Kumar Raut. Predicting slope failures using slope-monitoring radar. Arizona, USA. 2016.
10. Brian Klappstein, M. Sc., Gheorghe Bonci, Wayne Maston (2015). Implementation of real time geotechnical monitoring at an open pit mountain coal mine in Western Canada, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. Prague (Czech Republic) 7–11 September.
11. Ashkan Vaziri, Larry Moore, Hosam Ali. Monitoring systems for warning impending failures in slopes and open pit mines. Nat Hazards (2010) 55:501–512. DOI 10.1007/s11069-010-9542-5
12. Paolo Mazzanti (2012). Remote monitoring of deformation. An overview of the seven methods described in previous GINs. 24 Geotechnical instrumentation news. December 2012. URL: <http://www.geotechnicalnews.com/> (дата обращения: 25.04.2019)

Поступила в редакцию 11 июня 2019 года

#### Сведения об авторах:

**Балтиева Аминя Абдулхамитовна** – заведующий лабораторией горного давления Института горного дела им. Д. А. Кунаева. E-mail: [igd.ogm@gmail.com](mailto:igd.ogm@gmail.com)

**Шамганова Ляззат Саевна** – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Института горного дела им. Д. А. Кунаева. E-mail: [shamls@mail.ru](mailto:shamls@mail.ru)

**Абдыкаримова Гулнур Бакытбековна** – младший научный сотрудник лаборатории управления геомеханическими процессами Института горного дела им. Д. А. Кунаева. E-mail: [gylxana@mail.ru](mailto:gylxana@mail.ru)

**Панжин Андрей Алексеевич** – кандидат технических наук, ученый секретарь Института горного дела УрО РАН. E-mail: [panzhin@igduran.ru](mailto:panzhin@igduran.ru)

## Existing monitoring systems and the need to update the regulatory and methodological framework to ensure the safety of open pit mining

Aminyam A. Baltieva<sup>1</sup>, Lyazzat S. Shamganova<sup>1</sup>, Gulnur B. Abdykarimova<sup>1</sup>, Andrey A. Panzhin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute after D. A. Kunaev, Almaty, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Introduction.** Steady increase in the depth of mining poses more complex problems for specialists and scientists all over the world connected with subsoil use efficiency and safety. Complex monitoring system which includes modern observation technologies, data selection and transfer, as well as emergency response and loss of life averting is a powerful tool for the mentioned tasks solution.

**Research aim** is to define the integrate strategy of geomonitoring at opencast mining in the modern context.

**Methodology.** At the present time the earth's surface displacement and deformation assessment criteria of the existing normative-methodological framework in the Republic of Kazakhstan are rather generalized and do not take into account the achievements of modern monitoring systems implemented to observe pit benches and edges deformation.

**Results.** The article presents the proofs of reliability of various monitoring systems and gives good examples from the worldwide practice.

**Summary.** By analysis results, the most reliable equipment has been determined for short term monitoring with early warning system; the scheme of developing an integrated geomonitoring system at open cast deposits has also been presented. The introduction of pit edges integrated monitoring strategy will significantly improve the safety of mining, prevent emergency connected with geomechanical processes, will make it possible to collect data on deformations. This solution will significantly reduce geomechanical risks and allow to continue ore excavation in complex conditions in a safe and economical way.

**Key words:** pit; types of monitoring; safety of mining; optical-electronic, laser-ranging, satellite navigation/remote sensing, photogrammetric, radar and georadar technologies; deformations.

### REFERENCES

1. Mukhametkaliev B. S., Kaliuzhnyi E. S., Siedina S. A., Abdibekov N. K. Geomechanical stabilization of pit edges when increasing the depth of mining. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 4: 27–32. (In Russ.) DOI: 10.17580 / gzh.2018.04
2. Siedina S. A. *Geomechanical stabilization of pit edges when increasing the depth of mining: PhD dissertation*. Almaty; 2019. (In Russ.)
3. Nesmashnyi E. A., Tkachenko G. I., Bolotnikov A. V. Review of technologies and hardware for pit edges and dumps state geomechanical monitoring. *Razrabotka rudnykh mestorozhdenii = Ore Mining*. 2010; 93: 1–5. (In Russ.)
4. Kuzmenko S. V., Shamganova L. S., Akhmedov D. Sh., Baltieva A. A. Data navigational support of mining at the open pits of Sokolov-Sarbai mining production association. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 5: 72–77. (In Russ.)
5. José C. Mura, Waldir R. Paradella, Fabio F. Gama, Athos R. Santos, Mauricio Galo, Paulo O. Camargo, Arnaldo Q. Silva, Guilherme G. Silva (2014). Monitoring of surface deformation in open pit mine using DInSAR time-series: a case study in the N5W iron mine (Carajás, Brazil) using TerraSAR-X data. *Proc. SPIE 9243, SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques XIV, 924311 (21 October 2014)*.
6. Galperin A. M. *Geomechanics of opencast mining*. Moscow: MSMU Publishing; 2003. (In Russ.)
7. Erol S., Erol B., Ayan T. (2004). A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/levelling. ITU, Istanbul, Turkey.
8. Baltiyeva A. A., Shamganova L. S., Sedina S. A., Tulebayev K. K. The choice of rational and effective technical tools when conducting the uniform combined geomonitoring for the open-pit mines. *25th World Mining Congress 2018*. Astana, 2018.
9. Steven E. Borron, Kumar Raut. *Predicting slope failures using slope-monitoring radar*. Arizona, USA. 2016.
10. Brian Klappstein, M. Sc., Gheorghe Bonci, Wayne Maston (2015). Implementation of real time geotechnical monitoring at an open pit mountain coal mine in Western Canada, *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. Prague (Czech Republic) 7–11 September*.
11. Ashkan Vaziri, Larry Moore, Hosam Ali. Monitoring systems for warning impending failures in slopes and open pit mines. *Nat Hazards* (2010) 55:501–512. DOI 10.1007/s11069-010-9542-5
12. Paolo Mazzanti (2012). Remote monitoring of deformation. An overview of the seven methods described in previous GINs. *24 Geotechnical instrumentation news. December 2012*. Available from: [www.geotechnicalnews.com](http://www.geotechnicalnews.com) [Accessed 25 April, 2019]

**Information about authors:**

**Aminyam A. Baltieva** – Chief of Mining Pressure Laboratory, Mining Institute after D. A. Kunaev. E-mail: igd.ogm@gmail.com

**Lyazzat S. Shamganova** – DSc (Engineering), Deputy Director on scientific work at Mining Institute after D. A. Kunaev. E-mail: shamls@mail.ru

**Gulnur B. Abdykarimova** – junior researcher, Geomechanical Processes Laboratory, Mining Institute after D. A. Kunaev. E-mail: gylxana@mail.ru

**Andrei A. Panzhin** – PhD (Engineering), scientific secretary, Institute of Mining UB RAS. E-mail: panzhin@igduran.ru

**Для цитирования:** Балтиева А. А., Шамганова Л. С., Абдыкаримова Г. Б., Панжин А. А. Существующие системы мониторинга и необходимость обновления нормативно-методологической базы для обеспечения безопасности горных работ на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 92–100. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-92-100

**For citation:** Baltieva A. A., Shamganova L. S., Abdykarimova G. B., Panzhin A. A. Existing monitoring systems and the need to update the regulatory and methodological framework to ensure the safety of open pit mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 7: 92–100 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-92-100