

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ш.А. Очилов, И.С.Кушназоров, О.Х. Аббосхонова, М.М.Тухтаева

Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан

Doi: 10.5281/zenodo.20279974

- АННОТАЦИЯ** В статье рассматриваются современные подходы к мониторингу деформационных процессов бортов карьеров, основанные на интеграции маркшейдерско-геодезических наблюдений и геоинформационного моделирования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности и оперативности оценки устойчивости бортов карьеров в условиях интенсификации горных работ. Предложена методика комплексного мониторинга, включающая сбор, обработку и анализ пространственно-временных данных, полученных с использованием современных цифровых технологий (GNSS, электронная тахеометрия, БПЛА). Разработан алгоритм интеграции данных в геоинформационной среде с последующим построением цифровых моделей деформаций.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** маркшейдерский мониторинг, деформации бортов карьеров, ГИС, геодезия, БПЛА, цифровые технологии, устойчивость бортов.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом сопровождается изменением напряжённо-деформированного состояния горного массива, что приводит к возникновению деформаций и возможным обрушениям бортов карьеров. Обеспечение устойчивости бортов является одной из ключевых задач маркшейдерского обеспечения горных работ. [1]

Традиционные методы наблюдений, основанные на периодических геодезических измерениях, не всегда обеспечивают необходимую оперативность и полноту информации. В современных условиях возрастает роль комплексных подходов, основанных на интеграции маркшейдерских, геодезических и геоинформационных технологий. [2]

В связи с этим актуальной задачей является разработка методики, позволяющей объединить различные источники пространственных данных и обеспечить их комплексный анализ для оценки деформационных процессов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предлагаемая методика комплексного мониторинга деформаций бортов карьеров основана на интеграции маркшейдерско-геодезических наблюдений, дистанционных методов съёмки и геоинформационного моделирования. Методика включает последовательные этапы: сбор, обработку, моделирование и анализ данных. [3].

Сбор данных осуществляется с применением комплекса современных геодезических и дистанционных методов, обеспечивающих получение высокоточной пространственно-

временной информации о состоянии бортов карьера.

Основными источниками данных являются:

1. GNSS-наблюдения

Используются для определения координат контрольных маркшейдерских пунктов с высокой точностью (до миллиметров при статических наблюдениях). GNSS позволяет фиксировать как горизонтальные, так и вертикальные смещения в динамике. [2]

2. Электронные тахеометры

Применяются для детальной съёмки поверхности бортов карьера, а также для мониторинга локальных деформаций (трещины, уступы, откосы). Обеспечивают высокую точность измерения углов и расстояний.

3. Геометрическое нивелирование

Используется для определения вертикальных перемещений (осадок и поднятий), особенно в зонах повышенного риска деформаций.

4. БПЛА (аэрофотосъёмка)

Позволяют оперативно получать ортофотопланы и облака точек высокой плотности. Использование фотограмметрических методов обеспечивает создание детализированных цифровых моделей рельефа.

Комплексное применение указанных методов позволяет повысить полноту и достоверность исходных данных.





Рис. 1. Приборы (Электронные тахеометры, БПЛА (аэрофотосъёмка) GNSS-наблюдения)

На этапе обработки выполняется приведение разнородных данных к единой системе координат и повышение их точности. Основные процедуры включают:

1. Уравнивание геодезических сетей выполняется с использованием метода наименьших квадратов для устранения случайных погрешностей измерений и обеспечения согласованности координат пунктов наблюдений.

2. Фильтрация и контроль ошибок

Проводится анализ измерений с целью выявления грубых ошибок и аномалий. Используются статистические методы (сигма-контроль, анализ выбросов).

3. Формирование базы данных наблюдений создаётся единая цифровая база, включающая:

- координаты пунктов;
- временные ряды наблюдений;
- результаты измерений.

База данных организуется с учётом последующей интеграции в геоинформационную систему.

Геоинформационное моделирование [3]

На данном этапе осуществляется пространственный анализ и визуализация деформационных процессов с использованием ГИС-технологий. Основные операции:

1. Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) ЦМР формируется на основе данных GNSS, тахеометрии и фотограмметрии.

Используются методы триангуляции (TIN) и регулярных сеток (GRID).

2. Создание 3D-модели карьера. Формируется пространственная модель, отражающая геометрию бортов, уступов и откосов. Это позволяет анализировать изменения формы карьера во времени.

Этапы построения 3D-модели:

1. Формирование облака точек на основе фотограмметрической обработки аэрофотоснимков (Structure-from-Motion) и данных наземных измерений создаётся трёхмерное облако точек, описывающее поверхность бортов, уступов и откосов.

2. Геопривязка и трансформация координат. Облако точек приводится к единой системе координат с использованием опорных геодезических пунктов, полученных по GNSS-наблюдениям.

3. Построение цифровой модели рельефа

На основе облака точек формируется:

нерегулярная триангуляционная сеть (TIN);
либо регулярная цифровая модель (GRID).

Это позволяет получить непрерывное представление поверхности карьера.

4. Создание 3D-поверхности карьера

Выполняется генерация полигональной (mesh) модели, отражающей:

геометрию бортов;
конфигурацию уступов;
углы откосов.

Для повышения наглядности модель может быть дополнена ортофотопланами, полученными с БПЛА.

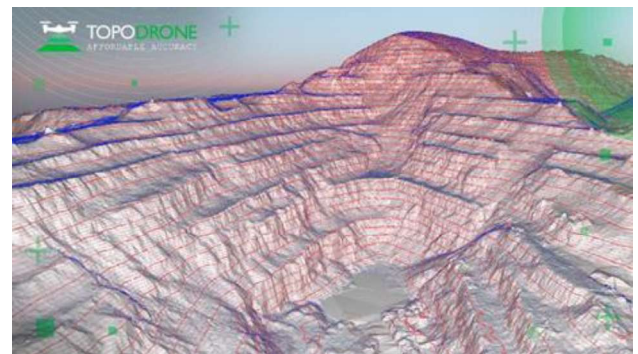


Рис.2 Геоинформационное моделирование

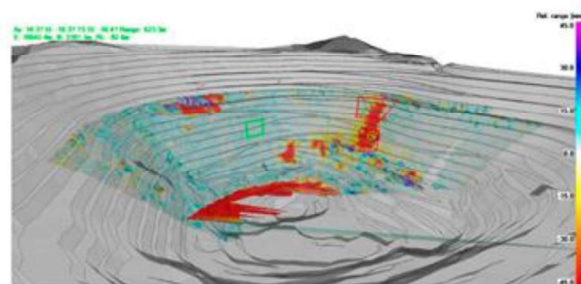
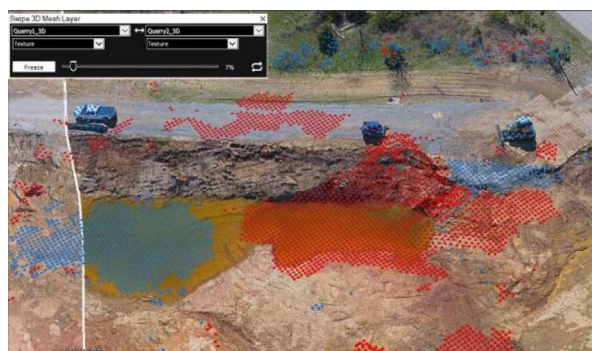
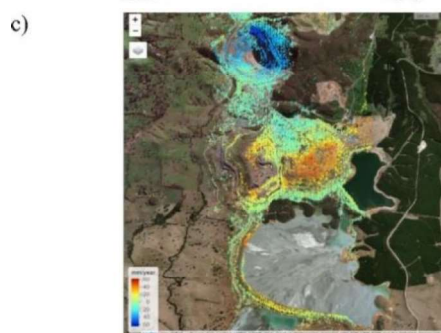
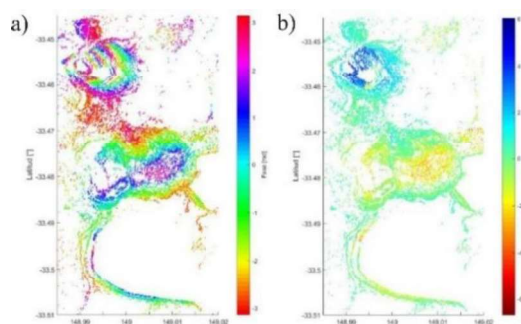
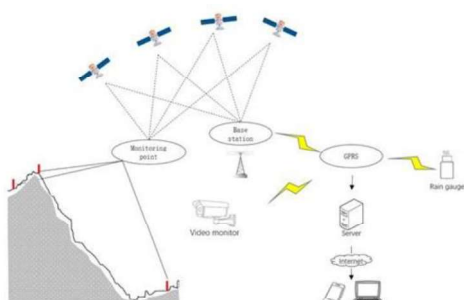
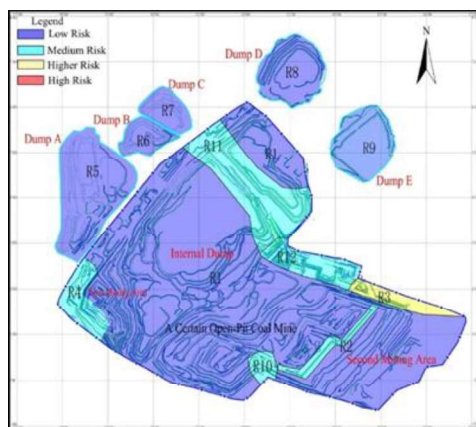


Рис.3 Анализ деформационных процессов

Анализ деформаций направлен на выявление закономерностей изменения состояния бортов карьера и оценку их устойчивости. Пространственно-временной (4D) анализ.

Ключевым элементом является анализ динамики деформаций во времени.

Формируется временной ряд наблюдений для каждого контрольного пункта, что позволяет:

- выявлять тенденции (стабилизация / ускорение деформаций);
- фиксировать критические изменения состояния массива;
- прогнозировать развитие деформационных процессов.

При этом особое внимание уделяется участкам с нелинейным характером деформаций, что может свидетельствовать о приближении предельного состояния устойчивости. Выявление опасных зон.

На основе рассчитанных параметров и интегрального показателя устойчивости выполняется классификация участков карьера по степени риска:

- устойчивые зоны (минимальные смещения);
- условно устойчивые зоны (умеренные деформации);
- неустойчивые зоны (интенсивные смещения и рост скорости).

Критерием выделения опасных зон является превышение допустимых значений смещений и скоростей деформаций.

Основные результаты анализа

В результате применения предложенной методики:

- получены детализированные пространственно-временные модели деформаций бортов карьера
- выявлены зоны активных смещений, приуроченные к участкам с неблагоприятными геометрическими и геомеханическими условиями
- установлены закономерности развития деформационных процессов, включая увеличение скорости смещений с ростом высоты борта и угла откоса

зафиксированы участки с ускоренным развитием деформаций, требующие повышенного контроля

В результате применения предложенной методики:

- получены пространственно-временные модели деформаций
- выявлены зоны активных смещений

- установлены закономерности развития деформационных процессов

Интеграция данных различных методов позволила повысить точность оценки деформаций по сравнению с традиционными подходами.

Особую эффективность показало использование БПЛА в сочетании с ГИС-технологиями, что обеспечило высокую детализацию моделей и оперативность обновления информации. [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика комплексного мониторинга деформаций бортов карьеров, основанная на интеграции маркшейдерско-

геодезических наблюдений, дистанционных методов и ГИС-технологий. Показано, что совместное применение GNSS, электронной тахеометрии, нивелирования и БПЛА значительно повышает точность и оперативность оценки деформационных процессов.

Предложенный подход обеспечивает эффективное выявление опасных зон и более достоверную оценку устойчивости бортов по сравнению с традиционными методами. Внедрение методики способствует повышению безопасности и эффективности горных работ.

KARYER BORTLARIDAGI DEFORMATSIYALARNI ZAMONAVIY RAQAMLI TEKNOLOGIYALAR VA GEOINFORMATSION MODELASHTIRISH ASOSIDA KOMPLEKS MONITORING VA TAHLIL QILISH METODIKASINI ISHLAB CHIQISH

Sh.A. Ochilov, I.S. Kushnazorov, O.X. Abbosxonova, M.M. Tuxtayeva

Geologiya fanlari universiteti, Toshkent sh., O'zbekiston

ANNOTATSIYA Maqolada karyer bortlarida yuz beradigan deformatsion jarayonlarni monitoring qilishning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqilgan bo'lib, ular marksheyderlik-geodezik kuzatuvlar hamda geoinformatsion modelashtirishni integratsiyalashga asoslanadi. Tadqiqotning dolzarbligi kon ishlarining jadallashuvi sharoitida karyer bortlarining barqarorligini baholash aniqligi va tezkorligini oshirish zarurati bilan izohlanadi. Kompleks monitoring metodikasi taklif etilgan bo'lib, u zamonaviy raqamli texnologiyalar (GNSS, elektron taximetriya, uchuvchisiz uchish apparatlari – BPLA) yordamida olingan ma'lumotlarini yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilishni o'z ichiga oladi. Shuningdek, ma'lumotlarni geoinformatsion muhitda integratsiyalash hamda keyinchalik deformatsiyalarning raqamli modellarini yaratishga mo'ljallangan algoritmi ishlab chiqilgan.

KALIT SO'ZLAR marksheyderlik monitoringi, karer bortlari deformatsiyasi, GIS, geodeziya, BPLA, raqamli texnologiyalar, bort barqarorligi

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR COMPREHENSIVE MONITORING AND ANALYSIS OF QUARRY SLOPE DEFORMATIONS BASED ON MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES AND GEOINFORMATION MODELING

Sh.A. Ochilov, I.S. Kushnazorov, O.Kh. Abboskhonova, M.M. Tukhtayeva

University of Geological Sciences, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT This article examines modern approaches to monitoring deformation processes of open-pit mine slopes, based on the integration of mine surveying and geodetic observations with geoinformation modeling. The relevance of the study is the need to improve the accuracy and efficiency of slope stability assessment under conditions of intensified mining operations. A comprehensive monitoring methodology is proposed, including the acquisition, processing, and analysis of spatiotemporal data obtained using advanced digital technologies such as GNSS, electronic total stations, and unmanned aerial vehicles (UAVs). An algorithm for data integration within a geoinformation environment has been developed, followed by the construction of digital deformation models. The results obtained enhance the reliability of geodynamic process assessment and enable the timely identification of potentially hazardous zones, thereby contributing to improved safety in mining operations.

KEYWORD mine surveying monitoring, open-pit slope deformation, GIS, geodesy, UAV, digital technologies, slope stability

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии. <https://www.uzgeolcom.uz>
2. Xiaoli Ding et al. GNSS-based deformation monitoring: A review. Engineering Geology, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.10.012>
3. В. В. Ржевский [2] Открытые горные работы. – Москва: Недра, 1985. <https://www.elibrary.ru>
4. Zhilin Li, Zhu Q., Gold C. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. – CRC Press, 2005. Paul R. Wolf, Bonnie A. Dewitt <https://doi.org/10.1201/9780203493188>

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Ochilov Shuhratilla	– Head of the Department of Geological Exploration Techniques and Technology, DSc, Associate Professor, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0000-0002-5611-482X E-mail: o.shuhrat@mail.ru
Khushnazarov Ibrohim	– Senior lecturer, Head of the Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0008-2651-7645, E-mail: kushnazarov1109@gmail.com
Abboskhanova Orzugulxon	– Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0000-1624-5369, E-mail: abbasxonova97@mail.ru
Tukhtayeva Makhfuza Muminovna	– Department of Mining and Technology, University of Geological Sciences, 100164, Tashkent, Mirzo Ulugbek district, Olimlar Str., 64, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0009-0005-0834-3643, E-mail: maxfuzatuxtayevaO@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ

У.М. Халикулов, Ш.А. Мухаметджанова, С.Р. Худояров, М.З. Убайдуллаев, Е.И. Руклинская

Алматынский государственный технический институт, Алматы, Узбекистан
Алматынский филиал НИТУ «МИСИС», Алматы, Узбекистан

Doi: 10.5281/zenodo.20280009

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты анализа влияния горячебрикетированного железа (ГБЖ) на формирование химического состава хромомолибденовой стали при выплавке в дуговой сталеплавильной печи. Целью исследования явилось установление закономерностей распределения вредных примесей таких как фосфор, сера и азот при изменении доли ГБЖ в металлической шихте. Экспериментальная база включала массивы данных промышленных плавов с содержанием ГБЖ от 0 до 35%. Проведены термодинамические расчёты равновесного коэффициента распределения фосфора и выполнена статистическая обработка полученных зависимостей. Показано, что увеличение доли ГБЖ способствует снижению концентрации фосфора в металлической фазе вследствие формирования более окислительных и основных шлаков, которые обеспечивают рост коэффициента распределения фосфора между шлаком и металлом. Установлено, что в процессе дефосфорации повышение температуры выпуска снижает эффективность удаления фосфора и требует контроля теплового режима, а также перемешивания. Дополнительно выявлено закономерное уменьшение содержания серы, азота, при увеличении доли ГБЖ, что объясняется низкой концентрацией этих элементов в самом горячебрикетированном железе и разбавляющим эффектом по отношению к лому. Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность использования ГБЖ для повышения чистоты и стабильности химического состава стали, оптимизации процессов дефосфорации и снижения риска превышения нормативного содержания вредных примесей в готовом полупродукте.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

горячебрикетированное железо, выплавка стали, дефосфорация, шихтовый материал, чистота металла, вредные примеси, металлошихта.