MASOFAVIY ZONDLASH VA CHUQUR O‘RGANISH TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA QALMOQQIR CHUQUR RUDA KONI BORTLARIDA DEFORMATSIYAGA UCHRAGAN HUDUDLARNI ANIQLASH VA XAVFLILIK BO‘YICHA HUDUDLASHTIRISH

Dilmurodov Firdavs O‘ktamovich
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi magistranti
Kadirkulov Dilshod Iskandar o‘g‘li
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi assistenti
Ravshanov Zavqiddin Yahyo o‘g‘li
ToshDTU, “Konchilik ishi” kafedrasi katta o‘qituvchisi

Annotatsiya : Chuqur ruda konlarini ochiq usulda o‘zlashtirish jarayonida bortlarning deformatsiyaga uchrashi tog‘-kon sanoatida uchraydigan eng xavfli geomekanik muammolardan biri hisoblanadi. Kon ishlarining chuqurlashuvi natijasida tog‘ jinslari massivida kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi yuzaga keladi, bu esa bortlarda siljishlar, yoriqlanishlar va relyefning notekis deformatsiyalanishiga olib keladi. Bunday jarayonlarni o‘z vaqtida aniqlamaslik bortlarning qulashiga, ishlab chiqarishning to‘xtab qolishiga hamda jiddiy texnogen avariyalarga sabab bo‘lishi mumkin. Mazkur maqolada Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bortlarning deformatsiyaga uchragan hududlarini aniqlash va ularni xavflilik darajasi bo‘yicha hududlashtirish masalasi masofaviy zondlash va chuqur o‘rganishga asoslangan sun’iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash orqali tadqiq etilgan. Tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari yordamida olingan yuqori aniqlikdagi ortofotoplanlar hamda raqamli relyef modellari asosiy axborot manbai sifatida qabul qilindi va ular geomekanik monitoring natijalari bilan integratsiyalashgan holda tahlil qilindi. Bort yuzalaridagi deformatsion belgilarni, jumladan mikroyoriqlar, siljish izlari va relyefdagi keskin o‘zgarishlarni avtomatik aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlarga (CNN) asoslangan chuqur o‘rganish modeli ishlab chiqildi. Model bort deformatsiyalarining dastlabki va yashirin bosqichlarini aniqlash imkonini berib, an’anaviy kuzatuv usullariga nisbatan yuqori aniqlik va tezkorlikni ta’minladi. Olingan natijalar asosida Qalmoqqir koni bortlari past, o‘rta va yuqori xavflilik toifalariga ajratildi. Taklif etilgan yondashuv kon bortlari barqarorligini baholash, xavfli zonalarni erta aniqlash hamda kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari Qalmoqqir koni sharoitida sinovdan o‘tkazilib, kon xavfsizligini oshirish va avariya xavfini kamaytirishda yuqori amaliy samaradorlikka ega ekanligi tasdiqlandi.

Kalit so‘zlar: Qalmoqqir koni, chuqur ruda konlari, kon bortlari, bort deformatsiyasi, masofaviy zondlash, chuqur o‘rganish, sun’iy intellect,

konvolyutsion neyron tarmoqlar, ortofotoplan, raqamli relyef modeli, xavflilik bo‘yicha hududlashtirish, kon xavfsizligi.

Аннотация: В процессе освоения глубоких рудных месторождений открытым способом деформация бортов карьера является одной из наиболее опасных геомеханических проблем горнодобывающей промышленности. Увеличение глубины горных работ приводит к перераспределению напряжений в массиве горных пород, что способствует развитию смещений, трещиноватости и неравномерной деформации поверхности бортов. Несвоевременное выявление данных процессов может привести к обрушениям бортов, остановке производства и возникновению техногенных аварий. В данной статье рассматривается задача выявления деформированных участков бортов и их зонирования по степени опасности в условиях глубокого рудного месторождения Калмакыр с использованием технологий дистанционного зондирования и искусственного интеллекта, основанных на методах глубокого обучения. В качестве исходных данных использованы высокоточные ортофотопланы и цифровые модели рельефа, полученные с применением беспилотных летательных аппаратов, которые были проанализированы в интеграции с результатами геомеханического мониторинга. Для автоматизированного распознавания деформационных признаков, таких как микротрещины, следы смещений и резкие изменения рельефа, разработана модель глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей. Применение данной модели позволило выявлять начальные и скрытые стадии деформационных процессов, которые не всегда фиксируются традиционными методами наблюдений. На основе полученных результатов борта карьера Калмакыр были разделены на зоны с низкой, средней и высокой степенью опасности. Предложенный подход обеспечивает повышение надежности оценки устойчивости бортов, способствует раннему выявлению опасных зон и позволяет принимать научно обоснованные решения при планировании горных работ. Практическая апробация методики в условиях месторождения Калмакыр подтвердила ее высокую эффективность в повышении уровня безопасности горных работ и снижении риска аварийных ситуаций.

Ключевые слова: месторождение Калмакыр, глубокие рудные карьеры, борта карьера, деформация бортов, дистанционное зондирование, глубокое обучение, искусственный интеллект, сверточные нейронные сети, ортофотоплан, цифровая модель рельефа, зонирование по степени опасности, безопасность горных работ.

Abstract: In the development of deep open-pit ore deposits, slope deformation represents one of the most critical geomechanical challenges in the mining

ISSN 3030-3907

industry. As mining depth increases, stress redistribution occurs within the rock mass, leading to slope displacements, fracturing, and irregular surface deformation. Failure to detect these processes in a timely manner may result in slope failures, production interruptions, and serious geotechnical accidents. This paper addresses the problem of identifying deformed slope areas and performing hazard-based zoning under the conditions of the Kalmakyr deep open-pit deposit through the application of remote sensing and artificial intelligence technologies based on deep learning methods. High-resolution orthophotos and digital elevation models acquired using unmanned aerial vehicles were employed as primary data sources and analyzed in integration with geomechanical monitoring results. To automatically detect deformation indicators such as micro-cracks, displacement traces, and abrupt changes in surface morphology, a deep learning model based on convolutional neural networks was developed. The proposed model enables the identification of early-stage and latent deformation processes that are often difficult to detect using conventional monitoring techniques. Based on the obtained results, the pit slopes of the Kalmakyr deposit were classified into zones of low, moderate, and high hazard levels. The proposed approach improves the reliability of slope stability assessment, facilitates early detection of hazardous areas, and supports scientifically grounded decision-making in mine planning. Practical implementation of the methodology under the conditions of the Kalmakyr deposit demonstrated its high effectiveness in enhancing mining safety and reducing the risk of slope instability and accident-related events.

Keywords: Kalmakyr deposit**,** deep open-pit mines, pit slopes, slope deformation, remote sensing, deep learning, artificial intelligence, convolutional neural networks, orthophoto, digital elevation model, hazard zoning, mining safety.

Kirish

Chuqur ruda konlarini ochiq usulda o‘zlashtirish jarayonida kon bortlarining deformatsiyalanishi tog‘-kon sanoatida uchraydigan eng murakkab va xavfli geomekanik jarayonlardan biri hisoblanadi. Qazib olish chuqurligining ortib borishi bilan tog‘ jinslari massivida kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi sodir bo‘ladi, natijada bortlarda siljishlar, yoriqlanishlar hamda relyefning notekis deformatsiyasi rivojlanadi. Ushbu jarayonlar kon xavfsizligiga jiddiy tahdid tug‘dirib, ishlab chiqarish barqarorligining pasayishiga va texnogen avariyalar yuzaga kelishiga olib kelishi mumkin.

Amaliy tajribalar shuni ko‘rsatadiki, bort deformatsiyalari ko‘pincha dastlabki bosqichlarda aniq vizual belgilar bilan namoyon bo‘lmaydi. An’anaviy geodezik va geomekanik kuzatuv usullari ma’lum darajada natija bersa-da, yirik maydonli va chuqur ochiq konlarda deformatsion jarayonlarning fazoviy tarqalishini to‘liq qamrab olish imkoniyati cheklangan. Shu bois bortlarning

ISSN 3030-3907

holatini doimiy, tezkor va yuqori aniqlikda baholashga imkon beruvchi zamonaviy texnologiyalarni joriy etish dolzarb ilmiy-amaliy vazifaga aylanmoqda.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum hududida joylashgan bo‘lib, ochiq usulda o‘zlashtirilayotgan yirik konlardan biridir. Konning chuqurlashib borishi, bort qiyaliklarining katta burchaklarga ega bo‘lishi hamda tog‘ jinslarining murakkab geologik tuzilishi bort deformatsiyalarining rivojlanish ehtimolini oshiradi. Shu sababli Qalmoqqir koni bortlar holatini masofaviy zondlash va sun’iy intellekt texnologiyalari asosida baholash uchun muhim tadqiqot obyekti hisoblanadi.

So‘nggi yillarda masofaviy zondlash texnologiyalarining, xususan uchuvchisiz uchish apparatlari yordamida olingan yuqori aniqlikdagi ortofotoplanlar va raqamli relyef modellarining qo‘llanilishi kon bortlarining fazoviy holatini batafsil tahlil qilish imkonini bermoqda. Biroq ushbu ma’lumotlar hajmining katta bo‘lishi ularni an’anaviy usullar bilan qayta ishlashni murakkablashtiradi. Shu nuqtayi nazardan, tasvirlarni avtomatik tahlil qilish va deformatsion belgilarni aniqlash uchun chuqur o‘rganishga asoslangan sun’iy intellekt modellarini qo‘llash zarurati yuzaga kelmoqda.

Shu sababli ushbu maqolada Qalmoqqir chuqur ruda koni sharoitida bortlarning deformatsiyaga uchragan hududlarini aniqlash va xavflilik bo‘yicha hududlashtirish masalasi masofaviy zondlash va konvolyutsion neyron tarmoqlarga asoslangan chuqur o‘rganish texnologiyalarini qo‘llash orqali tadqiq etiladi. Taklif etilgan yondashuv bort deformatsiyalarini erta bosqichda aniqlash, xavfli zonalarni aniq belgilash hamda kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

Zamonaviy masofaviy zondlash texnologiyalari bort yuzalarini yuqori aniqlikda kuzatish, deformatsion o‘zgarishlarni fazoviy va vaqt bo‘yicha baholash imkonini beradi. Ushbu ma’lumotlarni sun’iy intellekt, xususan chuqur o‘rganish algoritmlari yordamida qayta ishlash deformatsiya jarayonlarini aniqlashda yangi sifat darajasini ta’minlaydi.

Qalmoqqir ruda koni Markaziy Qizilqum mintaqasida joylashgan bo‘lib, murakkab geologik va geomekanik sharoitlarga ega. Kon ochiq usulda o‘zlashtiriladi va qazib olish chuqurligining ortishi bilan bort qiyaliklarida deformatsion jarayonlar faollashib boradi.

Kon hududida bortlar turli ekspozitsiya va qiyalik burchaklariga ega bo‘lib, bu deformatsiya jarayonlarining notekis rivojlanishiga olib keladi. Shu sababli Qalmoqqir koni masofaviy zondlash va sun’iy intellekt asosidagi monitoring tizimlarini joriy etish uchun qulay tadqiqot obyekti hisoblanadi.

Tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) yordamida olingan quyidagi ma’lumotlardan foydalanildi:

ISSN 3030-3907

- bort yuzalarining ortofotoplanlari;
- raqamli relyef modellari (RRM);
- balandlik farqlari va notekislik xaritalari.

1-jadval

Masofaviy zondlash ma’lumotlarining asosiy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat
Tasvir aniqligi	3–5 sm/piksel
Parvoz balandligi	80–120 m
Qamrov maydoni	1,5–2,0 km²
Takroriy suratga olish	10–15 kun

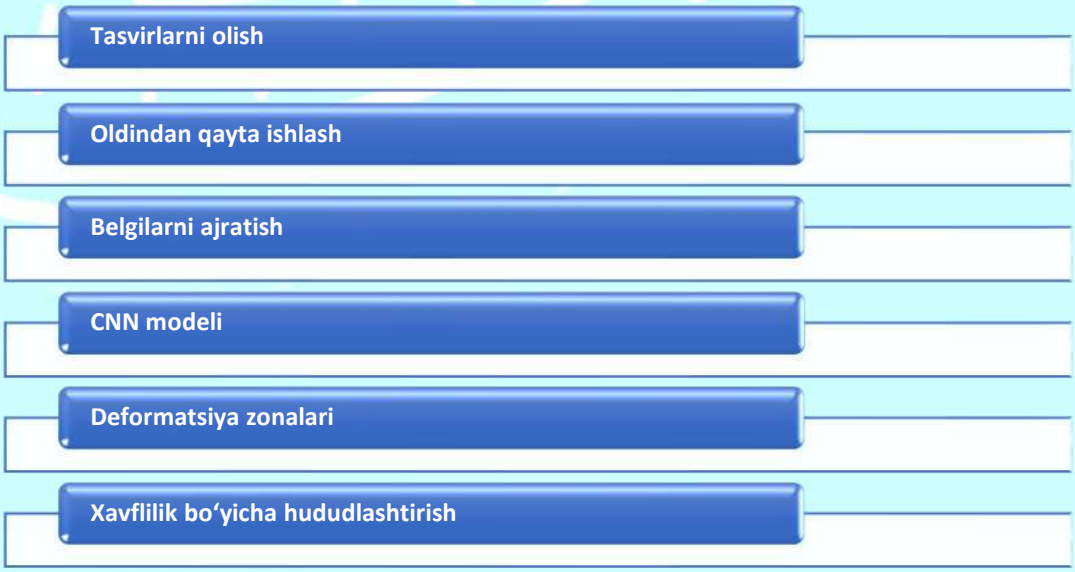
Bort deformatsiyalarini aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlarga (CNN) asoslangan chuqur o‘rganish modeli ishlab chiqildi. Model bort yuzalaridagi deformatsion belgilarni avtomatik aniqlashga mo‘ljallangan.

Asosiy aniqlanadigan belgilar:

- mikroyoriqlar va yoriqlar tizimi;
- siljish izlari;
- relyef notekisliklarining keskin o‘zgarishi.

1-sxema

Masofaviy zondlash va sun’iy intellekt asosida tahlil jarayoni



CNN modeli yordamida Qalmoqqir koni bortlarida deformatsiyaga uchragan hududlar aniqlanib, ular xavflilik darajasiga ko‘ra tasniflandi.

2-jadval

Bortlarning xavflilik bo‘yicha tasnifi

Xavflilik darajasi	Belgilar tavsifi
Past	Deformatsiya belgilari kuzatilmaydi
O‘rta	Mahalliy yoriqlar va siljish izlari

ISSN 3030-3907

Yuqori	Yirik yoriqlar, aktiv siljish zonalari

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, sun’iy intellekt asosidagi tasvirlarni tahlil qilish usuli deformatsiyani aniqlashda yuqori aniqlikni ta’minlaydi va monitoring jarayonini sezilarli darajada tezlashtiradi.

Olingan natijalar masofaviy zondlash va chuqur o‘rganish texnologiyalarining kon bortlari barqarorligini baholashdagi yuqori salohiyatini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv inson omiliga bog‘liq subyektiv baholashlarni kamaytiradi va deformatsion jarayonlarni real vaqt rejimiga yaqin sharoitda aniqlash imkonini beradi.

Qalmoqqir koni sharoitida mazkur texnologiyalarni joriy etish bortlarni mustahkamlash va kon ishlarini rejalashtirishda ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilishga xizmat qiladi.

Masofaviy zondlash va chuqur o‘rganishga asoslangan sun’iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash Qalmoqqir chuqur ruda konida bortlarning deformatsiyaga uchragan qismlarini aniqlashda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Taklif etilgan metodika bortlar xavfliligini hududlashtirish aniqligini oshiradi va kon xavfsizligini ta’minlashda muhim amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Хукер В., Брей Дж. Механика горных пород и устойчивость откосов. – М.: Недра, 1987. – 312 с.
2. Баклашов И.В. Геомеханика подземных и открытых горных работ. – М.: Горная книга, 2010. – 528 с.
3. Alekseev A., Petukhov I. Monitoring and forecasting of rock mass deformation // Journal of Mining Science. – 2018. – Vol. 54, №4. – P. 567–579.
4. Абдурахманов А.А., Исмоилов Ж.Ж. Открытые горные работы и устойчивость бортов карьеров. – Ташкент: Fan, 2016. – 284 с.
5. Қодиров С.А. Чуқур конларда геомеханик жараёнлар таҳлили. – Тошкент: Ўқитувчи, 2019. – 196 б.
6. НГМК. Қалмоққир конида геологик ва геомеханик кузатувлар ҳисоботи. – Навоий, 2021. – 145 б.
7. Ravshanov Z. et al. Methods of determining the safety and environmental impact of dust and explosion processes in mining enterprises //International Bulletin of Applied Science and Technology. – 2023. – Т. 3. – №. 4. – С. 415-423.
8. Ravshanov Z. Y., Ergasheva Z. A., Sailau A. M. Karyerlarning pastki gorizontlaridagi kon massasini avtomobil transportlarida tashish usullarini tanlash //Инновационные исследования в современном мире: теория и практика. – 2023. – Т. 2. – №. 20. – С. 4-6.

ISSN 3030-3907

9. Ravshanov Z., Ergasheva Z., Sailau A. Measures of recultivation of mining area in quarries //International Conference on Management, Economics & Social Science. – 2023. – Т. 1. – №. 3. – С. 54-56.
10. Ravshanov Z. Technological Stages of determining the Distance to the Location of Rocks in the Development of a 3D Model of Mining Enterprises //Scienceweb academic papers collection. – 2022.
11. Ravshanov Z. Mining processes of drilling machines //Information about the technological alarm system of drilling machines. – 2022.
12. Ravshanov Z. et al. Evaluation of the strength of rocks in open mining processes in mining enterprises //Science and innovation. – 2023. – Т. 2. – №. A4. – С. 96-100.
13. Ravshanov Z. Determination of mineral location coordinates in geotechnology and mining enterprises //Scienceweb academic papers collection. – 2023.

ISSN 3030-3907