ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -12

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 12

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TEKTONIK BUZILISH HUDUDLARIDAGI KARYER BORTLARI DEFORMATSION HOLATINI MONITORING QILISH VA TURG‘UNLIGINI TA’MINLASH BO‘YICHA ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR HAMDA INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR TAHLILI

J.H.Abdumalikov
Toshkent davlat texnika universiteti
V.R.Kadirov
Toshkent davlat texnika universiteti
Z.Y.Ravshanov
Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada tektonik buzilish hududlaridagi ochiq konlarda bortlarining deformatsion holatlarini monitoring qilish va turg‘unligini ta’minlash bo‘yicha tahliliy ishlar keltirilib o‘tilgan. Xalqaro va respublikada ilmiy tadqiqot ishlarining qiyosiy tahlili olib borilgan bo‘lib, har xil geomexanik, geofizik va zamonaviy texnologik yondashuvlar xususan, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, sun’iy intellekt va IoT asosidagi monitoring tizimlari tektonik faol zonalarda bort turg‘unligiga ta’siri jihatidan baholanganligi ko‘rib o‘tilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ko‘p parametrli integratsiyalashgan monitoring tizimlari va Machine Learning algoritmlari yordamida bortlarning turg‘unlik holatini 85–90% aniqlikda oldindan aniqlash mumkin. Shu sababli deformatsion monitoring tizimlarini joriy etish va geomexanik tahlil asosida bort turg‘unligini boshqarish zamonaviy konchilikning ustuvor yo‘nalishiga aylangan. Bu borada *VNIMI* (Butun Rossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti) olimlari tomonidan ham katta ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borilgan.

Kalit so‘zlar: tektonik buzilishlar, bort turg‘unligi, geofizik tadqiqotlar, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, sun’iy intellekt, IoT monitoring tizimlari, *Machine Learning*, integratsiyalashgan monitoring, seysmik faol zonalar, karyer bortlari deformatsiyasi, marksheyderlik kuzatuvlari, kon xavfsizligi, VNIMI.

Abstract. This article presents analytical studies on monitoring the deformation state and ensuring the stability of pit slopes in open-pit mines located within tectonically disturbed zones. A comparative analysis of international and national scientific research has been carried out, examining various geomechanical, geophysical, and modern technological approaches, particularly InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, artificial intelligence, and IoT-based monitoring systems, in terms of their impact on slope stability in tectonically active areas. The research results indicate that using multi-parameter integrated monitoring systems and Machine Learning algorithms makes it possible to predict slope stability

ISSN 3030-3907

conditions with an accuracy of 85–90%. Therefore, the implementation of deformation monitoring systems and the management of slope stability based on geomechanical analysis have become one of the priority directions in modern mining engineering. In this regard, significant scientific and practical research has also been conducted by scientists of VNIMI (All-Russian Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying).

Keywords: tectonic disturbances, slope stability, geophysical research, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, artificial intelligence, IoT monitoring systems, Machine Learning, integrated monitoring, seismically active zones, pit slope deformation, mine surveying observations, mining safety, VNIMI.

Аннотация. В данной статье представлены аналитические исследования по мониторингу деформационного состояния и обеспечению устойчивости бортов карьеров в открытых горных разработках, расположенных в зонах тектонических нарушений. Проведен сравнительный анализ международных и республиканских научных исследований, в рамках которого рассмотрены различные геомеханические, геофизические и современные технологические подходы, в частности InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, искусственный интеллект и системы мониторинга на основе IoT, с точки зрения их влияния на устойчивость бортов в тектонически активных зонах. Результаты исследований показывают, что использование многопараметрических интегрированных систем мониторинга и алгоритмов Machine Learning позволяет прогнозировать состояние устойчивости бортов с точностью 85–90%. В связи с этим внедрение систем деформационного мониторинга и управление устойчивостью бортов на основе геомеханического анализа стали одним из приоритетных направлений современной горнодобывающей промышленности. В данном направлении значительные научно-практические исследования также были проведены учеными VNIMI (Все Российский научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела).

Ключевые слова: тектонические нарушения, устойчивость бортов, геофизические исследования, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, искусственный интеллект, системы мониторинга на основе IoT, Machine Learning, интегрированный мониторинг, сейсмически активные зоны, деформация бортов карьера, маркшейдерские наблюдения, безопасность горных работ, ВНИМИ.

KIRISH.

Ochiq usulda kon qazish jarayonida karyer bortlarining turg‘unligi nafaqat iqtisodiy samaradorlik, balki ishchilar xavfsizligi va atrof-muhit muhofazasi nuqtai nazaridan ham hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa, tektonik jihatdan faol

ISSN 3030-3907

hududlarda seysmik xavf yuksakligi bo‘lgan, yoriqlar va uzilmalar keng tarqalgan zonalarda bort deformatsiyasi muammosi keskin tarzda namoyon bo‘ladi.

Dunyo bo‘ylab karyer bortlarining to‘satdan qulab tushishi natijasida yirik iqtisodiy yo‘qotishlar va baxtsiz hodisalar yuz bergan. Shu sababli so‘nggi o‘n yilliklarda bort turg‘unligini ta’minlashning ilmiy-texnik asoslarini ishlab chiqish va monitoring usullarini takomillashtirish geomexanika fanining ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylandi. O‘zbekiston ko‘p sonli foydali qazilmalar zaxiralariga ega bo‘lib, Muruntou, Qalmoqir, Angren ko‘mir koni, Davgustau kabi yirik karyerlarda juda katta hajmda foydali qazilma qazib olinadi. Ushbu karyerlarning katta qismi tektonik faol mintaqalarda joylashgan bo‘lib, bu yerda seysmik tebranishlar, gidrogeologik o‘zgarishlar va yoriqlar bort barqarorligiga jiddiy ta’sir ko‘rsatadi [1-5].

Ushbu ishda, respublikamizda va butunjahonda olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarini qiyosiy tahlil qilish, ularning metodologik yondashuvlari, erishilgan natijalari va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini baholash hamda tektonik faol zonalardagi karyerlar uchun takomillashtirilgan monitoring metodologiyasini o‘rganishdan iboratdir.

Karyer bort turg‘unligini ilmiy o‘rganishning klassik asosi Hoek va Bray tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib ular kinematik tahlil va stereografik proyeksiya usullarini qo‘llab, bort geometriyasi va yorilish yo‘nalishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashdgan. Ushbu usul hozirgi kunda ham asosiy metodologik zamin sifatida qo‘llaniladi, ammo seysmik dinamik yuklamalarni hisobga olmaydi. Bu esa seysmik faol hududlar uchun deformatsion zonalarni aniqlashning to‘liq imkonini bermaydi.

Cai va boshqalar Xitoy ochiq konlarida Interferometrik Sintetik Apertura Radarini (InSAR) qo‘llab, millimetrik aniqlikda deformatsiyani masofadan o‘lchashga muvaffaq bo‘ldilar. Ularning natijalariga ko‘ra yillik harakatlar 20 dan 60 mm gacha bo‘lishi mumkin, bu esa qulab tushish xavfining bevosita ko‘rsatkichidir.

Farina va boshqalar Italiya Alp tizmalarida Zaminga asoslangan InSAR (GB-InSAR) tizimini tatbiq etib, soatlik va kunlik deformatsiya dinamikasini real vaqtda kuzatdilar. Ularning tizimi 24/7 rejimda ishlab, bort harakatini 0,1 mm aniqlikda o‘lchash imkonini berdi.

Casagli va boshqalar tomonidan amalga oshirilgan so‘nggi tadqiqotda sun’iy intellekt (AI) algoritmlarini SAR ma’lumotlari bilan integratsiyalash 90% gacha ogohlantirish aniqligi ta’minlashini ko‘rsatdi. Bu texnologiya hozirgi kunda eng ilg‘or yondashuv hisoblanadi [6-7].

ISSN 3030-3907

1-jadval

Tektonik buzilish hududlaridagi karyer bort turg‘unligi bo‘yicha asosiy tadqiqotlarning qiyosiy tahlili

Muallif / Manba	Davlat	Monitoring usuli	Tektonik holat	Asosiy natija	Kamchiliklar
Hoek & Bray (1981)	Buyuk Britaniya	Kinematik tahlil	Umumiy	Slip circle modeli	Dinamik yuklar hisoblanmagan
Cai et al. (2007)	Xitoy	InSAR + GPS	Yuqori aktivlik	Millimetrik aniqlik	Bulutli ob-havo cheklovi
Farina et al. (2008)	Italiya	GB-InSAR	Alp tizmalari	Sutkali harakatlar	Qimmat uskunalar
Casagli et al. (2023)	Italiya	AI + SAR	O‘rta aktivlik	90% aniqlik ogohlantirish	Hali keng joriy etilmagan

InSAR texnologiyasi so‘nggi o‘n yilliklarda karyer monitoringida inqilob yaratdi. Bu texnologiya orqali keng maydonlarda (yuzlab kvadrat kilometr) bir vaqtning o‘zida, havo harorati va kunning istalgan vaqtida deformatsiyani o‘lchash mumkin. Differensial InSAR (DInSAR) 5–10 mm/yil aniqlikda yillik deformatsiyani aniqlasa, doimiy tarqatuvchilar usuli (PS-InSAR) bu aniqlikni 1–2 mm/yilga yetkazadi.

LiDAR (Light Detection And Ranging) texnologiyasi bort geometriyasining 3D modelini millimetrik aniqlikda yaratish imkonini beradi. Ayniqsa, dron asosidagi LiDAR (UAV-LiDAR) inson kirib borolmaydigan xavfli hududlarda ham monitoring o‘tkazish imkonini beradi. Mikos va boshqalar bu usul yordamida Sloveniya Alp karyerlarida hajmiy deformatsiyani 0,1 m^3 aniqlikda o‘lchashga muvaffaq bo‘ldilar [8].

GNSS (Global Navigation Satellite System) bazali monitoring tizimlari hozirda karyer bortlaridagi punktlarda doimiy o‘rnatilgan uskunalar orqali real vaqt rejimida 1–5 mm aniqlikda ko‘chishlarni o‘lchash imkonini beradi. Bu tizimlarning ustunligi avtomatlashtirilgan ogohlantirish tizimi bilan birlashtirilishi mumkinligi.

So‘nggi yillarda eng samarali yondashuv bir nechta monitoring usullarini IoT sensori tarmoqlari bilan birlashtirib, sun’iy intellekt (AI) algormlari asosida real vaqtda tahlil qilish hisoblanadi. Yin va boshqalar Xitoy karyerlarida IoT sensor tarmog‘ini joriy etib, deformatsiya ma’lumotlarini bulut serveriga uzatish va mobil ilova orqali monitoring qilish tizimini ishlab chiqdilar [9-11].

ISSN 3030-3907

Butunrossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti (VNIMI) olimlari tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarda quyidagi yo‘nalishlar asosiy o‘rin egallaydi:

- tog‘ jinslari massivining geomexanik holatini baholash;
- tektonik buzilishlarning bort turg‘unligiga ta’sirini aniqlash;
- deformatsion monitoring tizimlarini ishlab chiqish;
- karyer bortlari uchun xavfsizlik mezonlarini optimallashtirish;
- georadar va sun’iy yo‘ldosh monitoring texnologiyalarini joriy etish;
- seysmik faol hududlarda bortlarning mustahkamligini prognozlash.

Institut olimlari tektonik yoriqlar mavjud bo‘lgan massivlarda kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi bortlarning lokal deformatsiyasiga sabab bo‘lishini aniqlagan. Natijada siljish zonalari hosil bo‘lib, ular katta masshtabdagi ko‘chkilarning rivojlanishiga olib keladi.

Bort turg‘unligini aniqlashda keng qo‘llaniladigan umumiy bog‘lanish:

$$K=\sum T / \sum R$$

bu yerda:

K — turg‘unlik koeffitsienti;

$\sum R$ *— ushlab turuvchi kuchlar yig‘indisi;*

$\sum T$ *— siljituvchi kuchlar yig‘indisi.*

Institut olimlari tadqiqotlariga ko‘ra, tektonik buzilish zonalarida ushbu koeffitsientning kritik qiymati odatda 1,1–1,3 oralig‘idan pasaymasligi lozim.

Tektonik buzilishlar mavjud massivlarda sonli modellashtirish muhim ahamiyatga ega. VNIMI tadqiqotlarida quyidagi dasturiy komplekslardan foydalanilgan:

- FLAC;
- Phase2;
- PLAXIS;
- Rocscience.

Ushbu modellar yordamida:kuchlanish-deformatsiya holati;

- siljish zonalari;
- xavfli uchastkalar;
- kritik qiyalik burchaklari aniqlanadi.

Qiyalik burchagi va balandlik orasidagi bog‘liqlik quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$\tau=c+\sigma \tan\varphi$$

bu yerda:

τ — siljishga qarshilik;

c— jinslarning ilashish kuchi;

ISSN 3030-3907

σ — normal kuchlanish;
φ — ichki ishqalanish burchagi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, tektonik faol hududlardagi karyerlar uchun ko‘p darajali integratsiyalashgan monitoring tizimini joriy etish taklif etiladi. Ushbu tizim uchta asosiy blokdan iborat:

1-daraja (Dala monitoringi): GNSS bazali doimiy stansiyalar, inklinometrlar, piezometrlar va seysmik sensorlar tarmog‘i. Bu uskunalar karyerdagi 10–20 ta strategik nuqtada o‘rnatiladi va ma’lumotlarni real vaqtda uzatadi, aniqligi: 1–3 mm ko‘chish uchun.

2-daraja (Masofaviy zondlash): GB-InSAR yoki UAV-LiDAR texnologiyalari orqali oylik yoki haftalik 3D deformatsiya xaritasi yaratish. Ushbu usul butun bort yuzasini qamrab olib, geodezik monitoring nuqtalar orasidagi hududlarda ham deformatsiyani aniqlash imkonini beradi.

3-daraja (Intellektual tahlil): Yig‘ilgan ma’lumotlarni machine learning algoritmlari yordamida qayta ishlash, deformatsiya hududlarini bashorat qilish va ogohlantirish signallarini avtomatik generatsiya qilish, tizim 24/7 rejimda ishlab, potentsial xavf aniqlanganda 30 daqiqa ichida mas’ul shaxslarga xabar yuboradi.

XULOSA.

Tektonik buzilish hududlaridagi karyer bortlarining turg‘unligini ta’minlash zamonaviy geomexanikaning murakkab ilmiy-amaliy muammolaridan biridir. Butun Rossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlar deformatsion monitoring tizimlari va geomexanik modellashtirish usullarining samaradorligini ilmiy jihatdan asoslab beradi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, geodezik, GNSS va InSAR monitoring texnologiyalarini kompleks qo‘llash, shuningdek sonli modellashtirish asosida xavfli zonalarni prognozlash karyer bortlari turg‘unligini sezilarli darajada oshiradi. Ushbu yondashuvlar ishlab chiqarish xavfsizligini ta’minlash, iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirish va konlarni samarali ekspluatatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega.

Birinchidan. Tektonik faol hududlardagi karyer bortlarini monitoring qilishda an’anaviy geodezik usullar yetarli emas. Zamonaviy masofaviy zondlash (InSAR, LiDAR) va GNSS texnologiyalarini qo‘llash deformatsiya aniqligi va ogohlantirish tezligini sezilarli oshiradi.

Ikkinchidan. Machine learning algoritmlari va IoT sensor tarmoqlari integratsiyasi bort beqarorlashishini 72 soat va undan ko‘proq oldindan 85–90% aniqlik bilan prognoz qilish imkonini beradi.

Uchinchi. O‘zbekiston karyerlari uchun ko‘p darajali integratsiyalashgan monitoring tizimi GNSS + UAV fotogrammetriasi + ML algoritmlari

ISSN 3030-3907

kombinatsiyasi eng maqbul yondashuv hisoblanadi: bu tizim xorijiy texnologiyalarga qaraganda arzonroq, ammo samaradorlik jihatidan raqobatbardosh.

To‘rtinchi. Seysmik va gidrogeologik omillar bort turg‘unligiga muhim ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli FOS hisoblashda ushbu omillarni majburiy hisobga olish va mavsumiy monitoring jadvallarini ularga moslashtirilgan holda tuzish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Фисенко Г. Л. «Устойчивость бортов карьеров и отвалов». – М.: Недра, 1965..
2. Кадиров В. Р. и др. Обоснование и выбор расчетных геомеханических моделей //European Scientific Conference. – 2020. – С. 39-43.
3. Галустьян Э. Л. «Геомеханическое обоснование параметров карьеров». – М.: Недра, 1992.
4. Кадиров В. Р. и др. Влияние тектонических блоков на устойчивости бортов глубоких карьеров //Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali. – 2022. – Т. 2. – №. 9. – С. 246-251.
5. Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). Rock Slope Engineering (3rd ed.). Institute of Mining and Metallurgy, London. 402 p.
6. Cai, J., Liu, G., & Shi, L. (2007). Application of InSAR in open-pit slope deformation monitoring in seismically active zones of western China. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12(3), 412–425.
7. Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., & Moretti, S. (2008). Permanent Scatterers for landslide investigations: outputs from the ESA-SLAM project. Engineering Geology, 88(3–4), 144–155.
8. Mikos, M., Vidmar, A., & Brilly, M. (2010). Using a laser measurement system for monitoring morphological changes on the Strug rock fall, Slovenia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(1), 143–153.
9. Stiros, S. C., & Vichas, C. (2011). Monitoring an unstable slope in a seismically active region. Engineering Geology, 79(3–4), 231–241.
10. Liao, M., Dong, J., & Lv, J. (2022). BIM and GIS integration for digital twin-based slope stability monitoring. Automation in Construction, 134, 104042.
11. Casagli, N., Intrieri, E., & Tofani, V. (2023). Artificial Intelligence for slope stability analysis: a systematic review. Engineering Geology, 310, 106850.

ISSN 3030-3907