


UO‘K: 528.8:622.1

 10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.22

**SENTINEL-1 TASVIRLARI YORDAMIDA YER OSTI KONCHILIK
FAOLIYATI NATIJASIDA YUZAGA KELGAN YER YUZASI
DEFORMATSIYASINI INSAR USULI ORQALI MONITORING QILISH**



**Botirov Shoxbos
Soibovich**

Katta o‘qituvchi, Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Termiz, O‘zbekiston
E-mail: shoxbos.b@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-3045-4217
Science ID: MFR-0925-0068



**Nomdorov Rustam
Uralovich**

PhD, dotsent, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: rustannomdorov@mail.ru
ORCID ID: 0009-0000-6987-8995
Science ID: FQD-0425-0028



**Abdisamatov Boboyor
Azamat o‘g‘li**

Talaba, Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: boboyorabdisamatov@gmail.com
Science ID: BSN-0326-0005

Annotatsiya. Annotatsiya. Surxondaryo viloyatining Sariosiyo tumanida joylashgan Xondiza polimetall konida yer osti qazib olish jarayonlari natijasida yer yuzasida deformatsion o‘zgarishlar yuzaga kelishi mumkin. Tog‘ jinslarining geologik murakkabligi va kon ishlari intensivligi cho‘kish jarayonining fazoviy va vaqt bo‘yicha notekis rivojlanishiga sabab bo‘ladi. Ushbu tadqiqotda Sentinel-1 sun‘iy yo‘ldoshining 7 va 18 kunlik qayta kuzatuv davriga ega radar tasvirlari asosida InSAR texnologiyasi qo‘llanildi. Vaqtinchalik dekorrelyatsiya ta‘sirini minimallashtirish hamda aniqlanadigan deformatsiya gradientini oshirish maqsadida SBAS (Small Baseline Subsets) va IPTA (Interferometric Point Target Analysis) algoritmlari integratsiyalangan holda qo‘llandi. Qayta ishlash natijasida kon hududida deformatsiyaning fazoviy uzluksiz modeli shakllantirildi va ayrim faol qazib olinayotgan uchastkalarda yiliga bir necha o‘n santimetrga yetuvchi cho‘kish tezliklari aniqlandi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, deformatsiya jarayonining intensivligi va fazoviy taqsimoti qazib olish chuqurligi, ruda qatlaminin qalinligi hamda tektonik uzilishlar tizimi bilan uzviy bog‘liqdir. Monitoring natijalari kon infratuzilmasi barqarorligini baholash, yer usti inshootlarini himoyalash hamda ishlab chiqarish xavfsizligini ta‘minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Olingan natijalar Xondiza konida geodinamik jarayonlarni masofadan monitoring qilish, xavfsizlik choralari rejallashtirish va ekologik boshqaruvni takomillashtirish uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: InSAR, yer yuzasi cho‘kishi, yer osti kon ishlari, Sentinel-1, IPTA, SBAS, interferometriya, deformatsiyalar, monitoring, Surxondaryo viloyati, Xondiza koni, sun‘iy yo‘ldosh ma‘lumotlari.

**МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ,
ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕЙ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКА SENTINEL-1
МЕТОДОМ ИНСАР**

**Ботиров Шохбос
Соибович**

Старший преподаватель,
Термезский государственный
университет инженерии и
агротехнологий, Термез,
Узбекистан

**Номдоров Рустам
Уралович**

PhD, доцент, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Абдисаматов Бобоёр
Азамат угли**

Студент, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В полиметаллическом месторождении Хандиза, расположенном в Сариясийском районе Сурхандарьинской области, в результате подземной добычи полезных ископаемых могут возникать деформационные изменения земной поверхности. Геологическая сложность горных пород и интенсивность горных работ обуславливают неравномерное пространственно-временное развитие процесса просадки. В данном исследовании применена технология InSAR на основе радиолокационных изображений спутника Sentinel-1 с периодом повторного наблюдения 7 и 18 суток. Для минимизации влияния временной декорреляции и повышения обнаруживаемого градиента деформации были интегрированы алгоритмы SBAS (Small Baseline Subsets) и IPTA (Interferometric Point Target Analysis). В результате обработки сформирована пространственно непрерывная модель деформаций территории месторождения, а на отдельных активно разрабатываемых участках выявлены скорости просадки до нескольких десятков сантиметров в год. Анализ показал, что интенсивность и пространственное распределение деформаций тесно связаны с глубиной разработки, мощностью рудного пласта и системой тектонических нарушений. Результаты мониторинга имеют важное значение для оценки устойчивости горной инфраструктуры, защиты наземных сооружений и обеспечения промышленной безопасности. Полученные данные создают научную основу для дистанционного мониторинга геодинамических процессов и совершенствования экологического управления на месторождении Хандиза.

Ключевые слова: InSAR, просадка земной поверхности, подземные горные работы, Sentinel-1, IPTA, SBAS, интерферометрия, деформации, мониторинг, Сурхандарьинская область, месторождение Хандиза, спутниковые данные.

MONITORING OF SURFACE DEFORMATION CAUSED BY UNDERGROUND MINING ACTIVITIES USING THE INSAR TECHNIQUE BASED ON SENTINEL-1 IMAGERY

**Botirov Shoxbos
Soibovich**

Senior Lecturer, Termez State
University of Engineering and
Agrotechnologies, Termez,
Uzbekistan

**Nomdorov Rustam
Uralovich**

PhD, Docent, Karshi State
Technical University, Karshi,
Uzbekistan

**Abdisamatov Boboyor
Azamat ugli**

Student of Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. At the Khandiza polymetallic deposit located in the Sariosiyo district of Surkhandarya region, underground mining activities may lead to deformation of the earth's surface. The geological complexity of the rock mass and the intensity of mining operations cause uneven spatial and temporal development of subsidence processes. In this study, InSAR technology based on Sentinel-1 satellite radar imagery with revisit periods of 7 and 18 days was applied. To minimize the effect of temporal decorrelation and enhance the detectable deformation gradient, SBAS (Small Baseline Subsets) and IPTA (Interferometric Point Target Analysis) algorithms were integrated. As a result of data processing, a spatially continuous deformation model of the deposit area was generated, and subsidence rates of up to several tens of centimeters per year were identified in actively mined zones. The analysis showed that the intensity and spatial distribution of deformations are closely related to mining depth, ore body thickness, and the system of tectonic faults. The monitoring results are of significant importance for assessing the stability

of mining infrastructure, protecting surface structures, and ensuring industrial safety. The obtained data provide a scientific basis for remote monitoring of geodynamic processes and for improving environmental management at the Khandiza deposit.

Keywords: *InSAR, land subsidence, underground mining, Sentinel-1, IPTA, SBAS, interferometry, deformation, monitoring, Surkhandarya region, Khandiza deposit, satellite data.*

Kirish. Yer yuzasining cho‘kishi tog‘-kon sanoati rivojlanayotgan hududlarda barqaror ijtimoiy-iqtisodiy taraqqiyotga salbiy ta‘sir ko‘rsatuvchi muhim geodinamik jarayonlardan biridir. Ayniqsa, yer osti usulida foydali qazilmalarni qazib olish jarayonida tog‘ jinslari massivida hosil bo‘ladigan bo‘shliqlar va kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi natijasida yer yuzasida deformatsion o‘zgarishlar kuzatiladi. Surxondaryo viloyatining Sariosiyo tumanida joylashgan Xondiza polimetall koni ham shunday murakkab geologik sharoitga ega hududlardan biri hisoblanadi. Kon hududi Hisor tog‘ tizmasining janubiy qismida joylashgan bo‘lib, qo‘rg‘oshin, rux, mis va boshqa metallar rudalari bilan tavsiflanadi. Yer osti qazib olish ishlari jadallashgan sari tog‘ massivi barqarorligi va yer yuzasi holatini doimiy nazorat qilish zarurati ortib bormoqda. Xondiza konida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan deformatsiya jarayonlari ko‘pincha murakkab bog‘lanishga ega xarakterga ega bo‘lib, ular qazib olish chuqurligi, qatlam qalinligi, tektonik uzilishlar hamda tog‘ jinslarining fizik-mexanik xususiyatlariga bog‘liq holda turlicha namoyon bo‘ladi. Ayrim hollarda cho‘kish jarayoni markaziy zonada intensiv kechib, periferiya hududlarida asta-sekin kamayib boradi. An‘anaviy geodezik o‘lchash usullari ma‘lum aniqlikni ta‘minlasada, katta maydonlarni qamrab olish va vaqt bo‘yicha uzluksiz monitoring olib borishda cheklangan imkoniyatlarga ega. Shu sababli so‘nggi yillarda masofadan zondlash texnologiyalari, xususan Interferometrik Sintetik Aperturali Radar (InSAR) usuli keng qo‘llanilmoqda. InSAR texnologiyasi radar to‘lqinlarining faza farqini tahlil qilish orqali yer yuzasidagi millimetr darajasigacha bo‘lgan siljishlarni aniqlash imkonini beradi. Interferometriya nazariyasiga ko‘ra, maksimal aniqlanadigan deformatsiya gradienti piksel o‘lchami va radar to‘lqin uzunligiga bog‘liq bo‘lib, $u \, dx = \lambda / (2\eta)$ (1) ifodasi bilan tavsiflanadi. Bu yerda λ — radar to‘lqin uzunligi, η esa tasvir pikselining o‘lcha-

midir [1-3]. Demak, yuqori fazoviy aniqlik va qisqa qayta tashrif davri deformatsiya gradientini aniqlash imkoniyatini oshiradi. Shuningdek, atmosfera ta‘siri va shovqin omillarini kamaytirish uchun differensial interferometriya usullari qo‘llanadi. Xondiza koni sharoitida Sentinel-1A va Sentinel-1B sun‘iy yo‘ldoshlari ma‘lumotlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ushbu sun‘iy yo‘ldoshlarning 6 yoki 12 kunlik qayta tashrif davri vaqtinchalik dekorrelyatsiya ta‘sirini kamaytirib, tez rivojlanadigan cho‘kish jarayonlarini aniqlash imkonini beradi. Interferogramma piksel o‘lchami 20×20 metr bo‘lgan holatda maksimal aniqlanadigan deformatsiya gradienti taxminan 1,4 sm ni tashkil etadi. Bu ko‘rsatkich eski avlod sun‘iy yo‘ldoshlari — masalan, 24 yoki 35 kunlik qayta tashrif davriga ega platformalarga nisbatan ancha yuqori aniqlik beradi va monitoring samaradorligini oshiradi. Small Baseline Subsets (SBAS) va Interferometric Point Target Analysis (IPTA) algoritmlarini birgalikda qo‘llash orqali Xondiza koni hududida deformatsiyaning fazoviy uzluksiz xaritasini tuzish mumkin. Ushbu yondashuv vaqt va fazo bo‘yicha barqaror nuqtalarni aniqlab, har bir nuqta uchun deformatsiyaning vaqt qatorini tiklash imkonini beradi. Dastlabki tahlillar ayrim faol qazib olinayotgan uchastkalarda yiliga bir necha o‘n santimetrgacha yetuvchi cho‘kish tezliklari kuzatilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shunday qilib, InSAR texnologiyasi Xondiza konida yer yuzasi deformatsiyasini tizimli ravishda monitoring qilish, sanoat xavfsizligini mustahkamlash hamda ekologik boshqaruvni takomillashtirish uchun samarali ilmiy asos yaratadi va kelgusida barqaror konchilik strategiyasini ishlab chiqishga xizmat qiladi.

InSAR deformatsiyani monitoring qilish texnologiyasi. SAR turidagi sun‘iy yo‘ldoshlar Yer yuzasini tasvirga olish jarayonida faza va intensivlik ma‘lumotlarini qayd etadi. Interferometrik Sintetik Aperturali Radar (InSAR) usulida ikki turli vaqt oralig‘ida olingan radar tasvirlari kompleks ko‘paytiriladi va natijada interferometrik faza farqi hosil

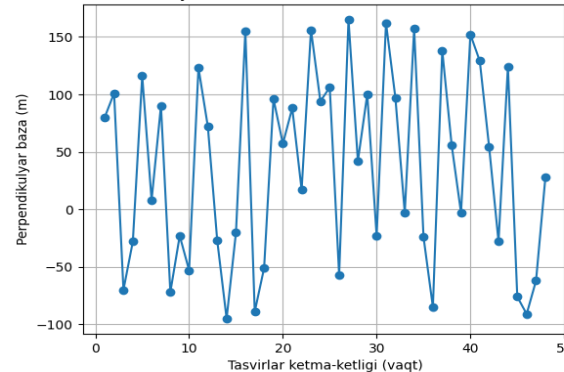
qilinadi. Mazkur faza farqi sensor bilan nishon orasidagi ko'rish yo'nalishi (LOS) bo'ylab sodir bo'lgan siljishni ifodalaydi. Surxondaryo viloyatining Sariosiyo tumanida joylashgan Xondiza polimetall koni sharoitida ushbu texnologiya yer osti qazib olish natijasida yuzaga keladigan deformatsion jarayonlarni baholashda qo'llanilishi mumkin. Interferometrik faza umumiy ko'rinishda $\varphi_{int} = \varphi_{top} + \varphi_{flat} + \varphi_{def} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_n$ (2) ifodasi bilan tavsiflanadi [3]. Bu yerda topografik faza relyef ta'sirini, tekislik fazasi geometrik tuzatishni, deformatsion faza esa yer yuzasining siljishini bildiradi. Atmosfera va shovqin omillari natijani buzishi mumkinligi sababli, tashqi raqamli relyef modeli (DEM) hamda geometrik parametrlar yordamida ortiqcha komponentlar ajratib tashlanadi. Shundan so'ng deformatsiya miqdori $\varphi_{def} = (4\pi / \lambda) \Delta R$ (3) tenglamasi asosida aniqlanadi [5]. Xondiza koni hududida atmosfera sharoitlari, baland tog' relyefi va o'zgaruvchan namlik fazoviy hamda vaqtinchalik dekorrelyatsiyani kuchaytirishi mumkin. Shu bois Small Baseline Subsets (SBAS) va Interferometric Point Target Analysis (IPTA) algoritmlarini birgalikda qo'llash maqsadga muvofiqdir. Ushbu yondashuv orbitaviy ajralishi kichik bo'lgan interferometrik juftliklarni tanlash, barqaror kogerent nuqtalarni aniqlash hamda har bir nuqta uchun deformatsiyaning vaqt qatorini tiklash imkonini beradi. Natijada kon hududida sodir bo'layotgan cho'kish jarayonlarini yuqori aniqlikda monitoring qilish va xavfsizlik choralarini belgilash imkoniyati yaratiladi.

Natijalar. Mazkur tadqiqotda Surxondaryo viloyatining Sariosiyo tumanida joylashgan Xondiza polimetall koni hududida yer yuzasi deformatsiyasini monitoring qilish maqsadida Sentinel-1 sun'iy yo'ldoshining IW (Interferometric Wide Swath) rejimidagi SLC ma'lumotlaridan foydalanildi. Tahlil jarayonida tashqi balandlik ma'lumotlari sifatida SRTM raqamli relyef modeli (DEM) qo'llanilib, interferometrik fazani topografik komponentdan tozalash amalga oshirildi [2-5].

2025-yil martidan 2026-yil yanvargacha bo'lgan davrni qamrab olgan 46 ta radar tasviri asosida IPTA (Interferometric Point Target Analysis) texnologiyasi yordamida deformatsiya hisoblandi. Vaqt bazasi 50 kundan kam hamda fazoviy baza 180 metr chegarasida tanlangan

interferometrik juftliklar orqali jami 162 ta interferogramma shakllantirildi. Bu 1-rasmdagi baza grafidagi ko'rsatilgan.

Xondiza koni (Sariosiyo tumani) uchun Sentinel-1 interferometrik baza grafigi

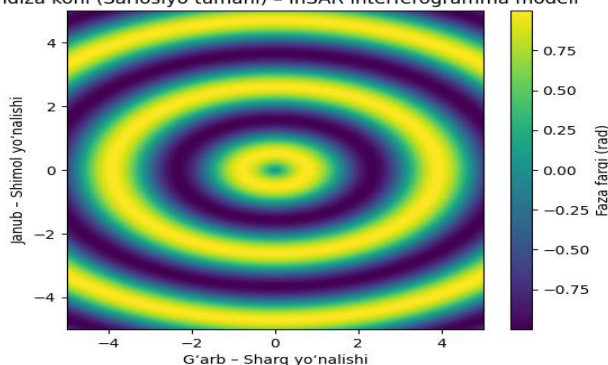


1-rasm. Interferometrik juftliklarni hisoblashda foydalanilgan baza chizig'i grafigi.

Ushbu interferogrammalar SBAS yondashuvi bilan kombinatsiyalangan holda qayta ishlanib, vaqtinchalik va fazoviy dekorrelyatsiya ta'siri minimallashtirildi. Kogerent nuqtalarni aniqlash mezoni optimallashtirilib, yuqori barqarorlikka ega nuqtalar zichligi oshirildi. Natijada 1 milliondan ortiq kogerent nuqta nomzodlari ajratib olindi va ular asosida deformatsiyaning vaqt qatori tiklandi. GAMMA dasturiy muhitida amalga oshirilgan qayta ishlash jarayoni har bir nuqta bo'yicha cho'kish tezligini aniqlash hamda konchilik faoliyati bilan bog'liq deformatsiya dinamikasini baholash imkonini berdi. Shuningdek, fazoviy filtrlash va atmosfera ta'sirini kamaytirish bosqichlari qo'llanilib, yakuniy natijalarning ishonchligi oshirildi. Olingan ma'lumotlar GIS muhitida vizuallashtirilib, deformatsiya xaritalari tuzildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, faol qazib olinayotgan uchastkalarda maksimal vertikal siljish 0,12–0,27 metr diapazonda qayd etilgan. Ayrim zonalarda yiliga 8–10 sm gacha yetuvchi cho'kish tezliklari aniqlanib, ular kon ishlari jadalligi bilan bevosita bog'liq ekanligi kuzatildi. Deformatsiya maydoni fazoviy jihatdan uzluksiz bo'lib, markaziy cho'kish zonasi atrofida gradientning asta-sekin kamayishi qayd etildi. Oldingi avlod SAR ma'lumotlari bilan solishtirganda, Sentinel-1 ning 12 kunlik qayta tashrif davri tez rivojlanadigan deformatsiya jarayonlarini aniqlashda sezilarli ustunlik berdi. Deformatsiya vaqt qatori tahlili Xondiza konining ayrim uchastkalarida cho'kish jarayoni noxiziqli xarakterga ega ekanini, ya'ni

vaqt o'tishi bilan tezlikning o'zgarib borishini ko'rsatdi. Ayrim davrlarda qazib olish hajmining oshishi bilan siljish tezligi keskin ortgan, keyingi bosqichlarda esa nisbatan barqarorlashgan. Bu natijalar kon hududida geodinamik jarayonlarni nazorat qilish, yer usti inshootlari xavfsizligini baholash, sanoat infratuzilmasini himoyalash va uzoq muddatli monitoring tizimini shakllantirish uchun muhim ilmiy-amaliy asos yaratadi hamda hududiy rejalashtirish jarayonlarida samarali qo'llanishi mumkin.

Xondiza koni (Sariosiyo tumani) – InSAR interferogramma modeli

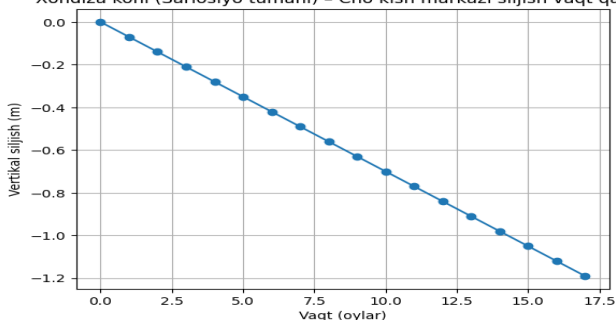


2-rasm. Xondiza koni (Sariosiyo tumani) hududining deformatsiya vaqt qatori.

(Pastki fon tasvirlari Sentinel-1 radar ma'lumotlari asosida shakllantirilgan bo'lib, ularning ustiga joylashtirilgan rangli interferensiya halqalari yer yuzasi siljish tezligini ifodalaydi; bitta rang sikli taxminan 12 sm vertikal cho'kish miqdoriga mos keladi.)

Vaqt qatori tahlilida yettinchi interferometrik tasvirda rasmning janubi-sharqiy qismida qo'shimcha uchta lokal cho'kish markazi aniqlanib, ular faol qazib olinayotgan uchastkalar bilan bog'liqligi kuzatildi.

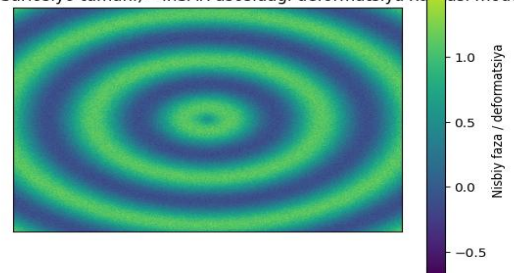
Xondiza koni (Sariosiyo tumani) – Cho'kish markazi siljish vaqt qatori



3-rasm. Xondiza koni (Sariosiyo tumani) hududidagi eng intensiv cho'kish kuzatilgan nuqtaviy nishonning vaqt qatori.

Mazkur grafikda eng faol deformatsiya zonasida joylashgan tanlangan nuqtaning (nuqta ID: XZ-01, piksel koordinatalari x: 2249, y: 331) vaqt bo'yicha vertikal siljishi tasvirlangan. Hisob-kitoblarga ko'ra, ushbu nuqtada o'rtacha cho'kish tezligi yiliga taxminan 12 sm ni tashkil etadi [6]. Vaqt qatori tahlili deformatsiya jarayonining bosqichma-bosqich kuchayib borishini hamda qazib olish ishlari jadalligi bilan uzviy bog'liqligini ko'rsatadi.

Xondiza koni (Sariosiyo tumani) – InSAR asosidagi deformatsiya xaritasi



4-rasm. Xondiza koni (Sariosiyo tumani) hududining InSAR asosidagi deformatsiya xaritasi.

4-Rasmda Sentinel-1 ma'lumotlari asosida modellashtirilgan interferometrik faza taqsimoti ko'rsatilgan. Fon qismi hududning umumiy relyef va yer qoplamasi xususiyatlarini aks ettiradi, markaziy qismda esa konsentrik interferensiya halqalari faol cho'kish zonasini ifodalaydi. Rang o'zgarishlarining zichlashuvi deformatsiya gradientining ortib borishini bildiradi.

Markaziy cho'kish hududi Xondiza konining faol qazib olinayotgan uchastkalariga to'g'ri keladi. Periferik zonalarda esa deformatsiya intensivligi pasayib boradi, bu tog' jinslari massividagi kuchlanishlarning fazoviy taqsimlanishi bilan izohlanadi. Ushbu xarita kon hududida geodinamik jarayonlarni baholash, xavfli zonalarni aniqlash va monitoring strategiyasini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda Surxondaryo viloyati Sariosiyo tumanida joylashgan Xondiza polimetall konida yer yuzasi deformatsiyasini aniqlash maqsadida Sentinel-1 SAR ma'lumotlari asosida InSAR texnologiyasi qo'llanildi. SBAS va IPTA algoritmlarini birgalikda qo'llash orqali kon hududida yuzaga kelayotgan deformatsiyaning fazoviy taqsimoti hamda vaqt bo'yicha rivojlanish dinamikasi baholandi. Natijalar yer osti qazib olish

jarayonlari ta'sirida ayrim uchastkalarda yiliga 10–12 sm gacha yetuvchi tez cho'kish kuzatilishini ko'rsatdi. Har bir barqaror kogerent nuqta uchun siljishning yig'ma vaqt qatori aniqlanib, deformatsiya jarayonining bosqichma-bosqich o'zgarishi tahlil qilindi. Qisqa qayta tashrif davriga ega Sentinel-1 ma'lumotlari tez rivojlanadigan geo-

dinamik jarayonlarni aniqlashda yuqori samaradorlik ko'rsatdi. InSAR natijalarini yer usti geodezik kuzatuvlari bilan integratsiyalash Xondiza konida xavfsizlikni oshirish va ekologik boshqaruvni takomillashtirish uchun muhim ilmiy-amaliy asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for monitoring surface deformation based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, 2375–2383.
- [2] Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 8–20.
- [3] Graham, L. C. (1974). Synthetic interferometric radar for topographic mapping. *Proceedings of the IEEE*, 62, 763–768.
- [4] Werner, C., Wegmuller, U., Strozzi, T., & Wiesmann, A. (2003). Interferometric point target analysis for deformation mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 4362–4364.
- [5] Zhang, X. D., Ge, D. Q., Wu, L. X., Zhang, L., Wang, Y., & Guo, X. F. (2012). Monitoring land subsidence in mining cities based on coherent target small baseline InSAR. *Journal of China Coal Society*, 37, 1606–1611.
- [6] Ботиров, Ш. С., & Номдоров, Р. У. (2025). Мониторинг деформаций земной поверхности, вызванных подземными горными работами на месторождении Хондиза, на основе технологии InSAR и спутниковых изображений Sentinel-1. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 3(3), 88–93. <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.30>