

INTERFEROMETRIK SUN'IY RADAR VA MULTISPEKTRAL OPTIK MA'LUMOTLAR ASOSIDA XAVFLI GEOLOGIK JARAYONLAR MONITORINGINI TAKOMILLASHTIRISH

Axrorova Sevara Suloymon qizi

axrorovasevara57@gmail.com

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

Jizzax filiali

Axrolova Mushtariy Suloymon qizi

axrolovamushtariy0@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada xavfli geologik jarayonlarni monitoring qilishda interferometrik sun'iy radar (InSAR) va multispektral optik ma'lumotlardan kompleks foydalanish masalalari yoritilgan. Xavfli geologik jarayonlar, jumladan, yer yuzasining cho'kishi, siljishi, deformatsiyasi va ko'chki jarayonlarini o'z vaqtida aniqlash hududlarning barqarorligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Maqolada sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanishning imkoniyatlari, interferometrik SAR tasvirlarini qayta ishlash, yer yuzasi deformatsiyalarini aniqlash hamda multispektral optik ma'lumotlar asosida hududning yer qoplami va holatini baholash masalalari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, Sentinel-1 va Sentinel-2 ma'lumotlarini birgalikda qo'llash orqali xavfli geologik jarayonlarni kompleks aniqlash va geoaxborot muhitida xavf zonalarini xaritalash imkoniyatlari tahlil qilinadi. Taklif etilayotgan yondashuv monitoring jarayonining aniqligi va axborot bilan ta'minlanganligini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: InSAR, SAR, multispektral ma'lumotlar, Sentinel-1, Sentinel-2, geologik jarayonlar, yer deformatsiyasi, masofadan zondlash, GIS, monitoring, xavfli hududlar.

Abstract. This article discusses the possibilities of using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) and multispectral optical data for monitoring hazardous geological processes. Timely detection of land subsidence, displacement, deformation, landslides and other geological processes is important for assessing the stability of territories and reducing potential risks. The article examines the possibilities of satellite remote sensing data, processing of interferometric SAR images, detection of surface deformation, and assessment of land cover and environmental conditions using multispectral optical data. The possibilities of integrating Sentinel-1 and Sentinel-2 data for comprehensive identification of hazardous geological processes and mapping risk zones in a geographic information environment are also considered. The

proposed approach can improve the information support and effectiveness of geological monitoring.

Keywords: InSAR, SAR, multispectral data, Sentinel-1, Sentinel-2, geological processes, surface deformation, remote sensing, GIS, monitoring, hazardous areas.

Kirish. Bugungi kunda tabiiy va antropogen omillar ta'sirida yuzaga keladigan xavfli geologik jarayonlarni o'rganish va monitoring qilish muhim ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Yer yuzasining cho'kishi, ko'chki, siljish, deformatsiya va boshqa geodinamik jarayonlar aholi yashash hududlari, transport infratuzilmasi, sanoat obyektlari va qishloq xo'jaligi yerlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Xavfli geologik jarayonlarni aniqlashda an'anaviy geodezik kuzatuvlar, dala tadqiqotlari va geologik tekshiruvlardan foydalanib kelinadi. Biroq katta hududlarni muntazam kuzatish, jarayonlarning vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlash va uzoq hududlarda kuzatuv olib borish uchun masofadan zondlash texnologiyalaridan foydalanish muhim imkoniyatlar yaratadi. Masofadan zondlash texnologiyalarining rivojlanishi natijasida sun'iy yo'ldoshlardan olingan radar va optik ma'lumotlarni geologik monitoringda qo'llash imkoniyatlari kengaydi. Ayniqsa, interferometrik sun'iy radar texnologiyasi yer yuzasidagi juda kichik deformatsiyalarni aniqlash imkonini beradi. InSAR texnologiyasi turli vaqtlarda olingan SAR tasvirlari orasidagi fazaviy farqni tahlil qilishga asoslanadi. Ushbu usul yordamida yer yuzasining cho'kishi yoki ko'tarilishi, gorizont va vertikal deformatsiyalar bilan bog'liq o'zgarishlarni aniqlash mumkin. Shu bilan birga, radar ma'lumotlari hududning barcha xususiyatlarini to'liq tavsiflab bera olmaydi. Multispektral optik tasvirlar esa yer qoplami, o'simlik holati, suv va namlik bilan bog'liq xususiyatlarni aniqlash imkonini beradi. Sentinel-2 sun'iy yo'ldoshi yuqori aniqlikdagi multispektral ma'lumotlarni taqdim etishi bilan geologik va ekologik monitoringda muhim manba hisoblanadi.

Shu sababli InSAR va multispektral optik ma'lumotlarni birgalikda qo'llash xavfli geologik jarayonlarni kompleks monitoring qilish uchun samarali yondashuv sifatida qaralishi mumkin.

Asosiy qism. Xavfli geologik jarayonlarning shakllanishi va rivojlanishiga geologik tuzilish, relyef, yer osti suvlari, yog'ingarchilik, seysmik faollik hamda insonning xo'jalik faoliyati kabi omillar ta'sir ko'rsatadi. Ushbu omillarning birgalikdagi ta'siri natijasida yer yuzasida turli xil deformatsiyalar va siljishlar yuzaga kelishi mumkin. Geologik monitoringning asosiy vazifalaridan biri bunday jarayonlarni imkon qadar erta aniqlash va ularning rivojlanish dinamikasini kuzatishdan iborat. Buning uchun hududning turli vaqt oraliq'ida olingan ma'lumotlarini taqqoslash talab etiladi. InSAR texnologiyasining muhim afzalligi shundaki, bir xil hududga tegishli turli vaqtlarda olingan radar tasvirlarini taqqoslash orqali yer yuzasidagi deformatsiyalar haqida ma'lumot olish mumkin. Radar

interferometriyasining nazariy va amaliy asoslari R. Hanssen tomonidan batafsil yoritilgan. SAR tasvirlarida har bir nuqtaning amplitudasi bilan birga fazaviy ma'lumotlari ham mavjud bo'ladi. Turli vaqtlarda olingan tasvirlarning fazaviy farqi yer yuzasidagi o'zgarishlarni aniqlash uchun ishlatiladi. Radar interferometriyasi yer yuzasidagi o'zgarishlarni aniqlashda samarali masofadan zondlash usullaridan biri sifatida qaraladi. InSAR usulining rivojlanishi natijasida doimiy radar aks ettiruvchilaridan foydalanadigan Persistent Scatterer Interferometry (PSI) usuli ishlab chiqildi. PSI usuli uzoq vaqt davomida barqaror radar signalini qaytaradigan obyektlarni kuzatish orqali yer yuzasining deformatsiya dinamikasini aniqlash imkonini beradi.

Shuningdek, Small Baseline Subset (SBAS) yondashuvi turli vaqtlarda olingan SAR tasvirlari orasidagi kichik bazisli interferogrammalardan foydalanib, yer yuzasi deformatsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlash imkonini beradi.

InSAR texnologiyasidan foydalanishda radar tasvirlarining sifati, atmosfera ta'siri, relyef, tasvirlar orasidagi bog'liqlik va boshqa omillarni hisobga olish zarur. Shu sababli SAR ma'lumotlarini qayta ishlash bir necha bosqichda amalga oshiriladi. Dastlab SAR tasvirlari tanlanadi va dastlabki qayta ishlashdan o'tkaziladi. Keyingi bosqichda tasvirlar geometrik jihatdan moslashtiriladi va interferogramma shakllantiriladi. Shundan so'ng fazaviy shovqinlar kamaytiriladi, faza ochiladi va yer yuzasi deformatsiyasi hisoblanadi. Persistent Scatterer Interferometry usulining rivojlanishi katta hududlarda deformatsiyalarni muntazam kuzatish imkoniyatlarini kengaytirdi. Ushbu texnologiyaning geologik monitoringdagi imkoniyatlari turli tadqiqotlarda keng tahlil qilingan. Yer yuzasining deformatsiyasini aniqlash bilan bir qatorda, xavfli jarayon sodir bo'layotgan hududning tabiiy xususiyatlarini ham baholash zarur. Bunda multispektral optik ma'lumotlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Multispektral tasvirlar yer yuzasini elektromagnit spektrning turli diapazonlarida kuzatish imkonini beradi. Turli obyektlar spektral diapazonlarda turlicha aks ettirish xususiyatiga ega bo'lganligi sababli ularni tasvirdan ajratish va tahlil qilish mumkin. Sentinel-2 sun'iy yo'ldoshi turli spektral diapazonlarda ma'lumotlarni taqdim etadi. Ushbu ma'lumotlardan o'simlik qoplami, suv obyektlari, tuproq va yer qoplamini o'rganishda foydalanish mumkin [6].

Masalan, o'simlik qoplamining holatini baholashda NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indeksidan foydalanish mumkin. Ushbu indeks quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Bu yerda NIR yaqin infraqizil diapazonni, Red esa qizil diapazonni bildiradi.

Suv va namlik bilan bog'liq hududlarni aniqlashda NDWI (Normalized Difference Water Index) kabi spektral indekslardan foydalanish mumkin. Bunday

indekslar hududning namlik xususiyatlarini baholash va geologik jarayonlarni keltirib chiqaruvchi ayrim omillarni aniqlashda qo'shimcha ma'lumot berishi mumkin.

Multispektral ma'lumotlardan foydalanishning yana bir muhim jihatini yer qoplamini tasniflash imkoniyatidir. Masalan, o'rmon, qishloq xo'jaligi yerlari, suv obyektlari, qurilgan hududlar va yalang'och tuproq maydonlarini ajratish mumkin.

Shu sababli InSAR va multispektral ma'lumotlarning vazifalari bir-birini to'ldiradi. InSAR ma'lumotlari asosan yer yuzasidagi deformatsiyalarni aniqlashga xizmat qilsa, multispektral ma'lumotlar ushbu hududning tabiiy va antropogen xususiyatlarini tavsiflash imkonini beradi. Sentinel-1 missiyasi radar kuzatuvlarini ta'minlaydi va turli sharoitlarda yer yuzasini monitoring qilish imkoniyatini beradi. Sentinel-2 esa multispektral optik kuzatuvlar uchun ishlatiladi. Ushbu ikki manbaning ma'lumotlarini birgalikda qo'llash geologik monitoringning axborot bazasini kengaytiradi. Ma'lumotlarni integratsiyalash jarayonida dastlab Sentinel-1 ma'lumotlari asosida deformatsiya xaritasi shakllantiriladi. Keyin Sentinel-2 ma'lumotlaridan foydalanib, hududning yer qoplamini va spektral ko'rsatkichlari aniqlanadi. Keyingi bosqichda ikkala turdagi ma'lumotlar yagona geografik koordinata tizimiga keltiriladi.

GIS texnologiyalari yordamida deformatsiya xaritalari, spektral indekslar, relyef, nishablik va yer qoplamini ma'lumotlarini birlashtirish mumkin. Natijada xavfli geologik jarayonlarning makoniy tarqalishini ko'rsatadigan kompleks xarita yaratish imkoniyati paydo bo'ladi. Bunday xaritalashda hududlarni xavf darajasi bo'yicha ajratish mumkin. Masalan, deformatsiya darajasi past bo'lgan hududlar past xavfli, deformatsiya va boshqa xavf omillari yuqori bo'lgan hududlar esa yuqori xavfli zonalar sifatida belgilanadi. Xavf darajasini aniqlashda bir nechta ko'rsatkichlardan foydalanish mumkin. Bunda InSAR orqali aniqlangan deformatsiya, deformatsiya tezligi, nishablik, namlik, yer qoplamini va boshqa omillar hisobga olinadi.

Ko'rsatkichlarni birlashtirish orqali quyidagi umumiy modelni shakllantirish mumkin:

$$H = w_1D + w_2S + w_3W + w_4L$$

Bu yerda H — kompleks xavf indeksi, D — deformatsiya ko'rsatkichi, S — nishablik ko'rsatkichi, W — namlik ko'rsatkichi, L — yer qoplamini ko'rsatkichi, w_1 , w_2 , w_3 va w_4 esa tegishli ko'rsatkichlarning og'irlik koeffitsiyentlaridir.

Mazkur yondashuv yordamida turli manbalardan olingan ma'lumotlarni yagona modelga kiritish mumkin. Natijada faqat deformatsiyani aniqlash emas, balki deformatsiya yuzaga kelayotgan hududning boshqa xususiyatlarini ham hisobga olish imkoniyati paydo bo'ladi. Xavfli geologik jarayonlarni monitoring qilishda masofadan zondlash ma'lumotlaridan foydalanish dala tadqiqotlarini to'liq almashtirmaydi. Aksincha, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari dala kuzatuvlarini rejalashtirish va xavfli

hududlarni oldindan aniqlash uchun qo'shimcha axborot manbai sifatida xizmat qilishi mumkin.

Shuningdek, masofadan zondlash ma'lumotlarini muntazam yangilab borish orqali hududdagi o'zgarishlarning vaqt bo'yicha dinamikasini kuzatish mumkin. Bu esa xavfli jarayonlarning rivojlanish tendensiyasini aniqlash va monitoring samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Xulosa. Interferometrik sun'iy radar va multispektral optik ma'lumotlardan kompleks foydalanish xavfli geologik jarayonlarni monitoring qilishning zamonaviy va istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. InSAR texnologiyasi yordamida yer yuzasidagi deformatsiya, cho'kish va siljish jarayonlarini aniqlash imkoniyati mavjud. PSI va SBAS kabi usullar esa deformatsiyalarning vaqt bo'yicha o'zgarishini kuzatish imkoniyatlarini kengaytiradi. Multispektral optik ma'lumotlar esa yer qoplami, o'simlik holati, suv va namlik bilan bog'liq ko'rsatkichlarni aniqlash imkonini beradi. Sentinel-2 ma'lumotlari asosida NDVI, NDWI kabi spektral indekslarni hisoblash orqali hududning qo'shimcha xususiyatlarini baholash mumkin. Sentinel-1 va Sentinel-2 ma'lumotlarini birgalikda qo'llash natijasida radar va optik ma'lumotlarning afzalliklarini birlashtirish imkoniyati paydo bo'ladi. InSAR orqali aniqlangan deformatsiya ma'lumotlarini multispektral ko'rsatkichlar, relyef va yer qoplami ma'lumotlari bilan integratsiyalash xavfli geologik jarayonlarni kompleks baholash imkonini beradi.

GIS texnologiyalari yordamida ushbu ma'lumotlarni yagona geoaxborot muhitida birlashtirish va xavfli hududlarning tematik xaritalarini yaratish mumkin. Taklif etilgan kompleks baholash modeli asosida hududlarni xavf darajasi bo'yicha zonalarga ajratish imkoniyati mavjud. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu metodikani aniq hudud misolida Sentinel-1 va Sentinel-2 ma'lumotlari, raqamli relyef modeli, geologik xaritalar va dala kuzatuvlari bilan birgalikda sinovdan o'tkazish maqsadga muvofiqdir. Bunday yondashuv xavfli geologik jarayonlarni erta aniqlash, ularning rivojlanish dinamikasini kuzatish va hududlarning xavf darajasini baholash imkoniyatlarini kengaytiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2026-yil 25-maydagi 275-son qarori. 2026–2030-yillar uchun O'zbekiston Respublikasida atrof tabiiy muhitning davlat monitoringi dasturini tasdiqlash to'g'risida.
2. Botirov Sh.S., Nomdorov R.U. Radar interferometriyasi texnologiyasining nazariy asoslari va yer yuzasi deformatsiyalarini monitoring qilish imkoniyatlari. *Саноатда рақамли технологиялар*. 2026. Vol. 4, No. 3.
3. Usmonov F. Sentinel-1 PSInSAR texnologiyasi asosida Qalmoqqir ochiq karyeri bortlarining deformatsiyasini sun'iy yo'ldosh orqali monitoring qilish. *Muhandislik va Iqtisodiyot*. 2026. Vol. 4, No. 9. P. 173–180.

4. Botirov Sh.S., Nomdorov R.U., Abdisamatov B.A. Monitoring of Surface Deformation Caused by Underground Mining Activities Using the InSAR Technique Based on Sentinel-1 Imagery. *Саноатда рақамли технологиялар*. 2026. Vol. 4, No. 1. P. 69–74.
5. European Space Agency. *Sentinel-1 Mission: Earth Observation and Radar Interferometry*. European Space Agency, 2025.
6. European Space Agency. *Sentinel-2 Mission: Multispectral Imaging and Land Monitoring*. European Space Agency, 2025.
7. Copernicus Land Monitoring Service. *European Ground Motion Service: Ground Motion Monitoring Using Sentinel-1 InSAR Data*. European Commission, 2025.
8. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2025*. United Nations, 2025.