

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT  
ARXITEKTURA – QURILISH UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY  
DARAJALAR BERUVCHI PhD 26/26.01.2023.T.109.04 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT  
ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**MULLODJANOVA GULNOZA MUXIDDINOVNA**

**GEOINNOVATSION TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA YER YUZASIDAGI  
DEFORMATSION O‘ZGARISHLARNI MONITORING QILISH  
USULINI TAKOMILLASHTIRISH  
(Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida)**

**11.00.07 – Geoinformatika**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Samarqand – 2025**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)  
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Mullodjanova Gulnoza Muxiddinovna**

Geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o‘zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish (*Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida*).....3

**Муллоджанова Гулноза Мухиддиновна**

Совершенствование метода мониторинга деформационных изменений земной поверхности на основе геоинновационных технологий (*на примере газового месторождения Кандым в Бухарской области*) ..... 21

**Mullodjanova Gulnoza Muxiddinovna**

Improving the method of monitoring surface deformation based on Geoinnovative technologies (a case study of the Kandym gas field in Bukhara region)..... 41

**E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 45

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT  
ARXITEKTURA – QURILISH UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY  
DARAJALAR BERUVCHI PhD 26/26.01.2023.T.109.04 RAQAMLI ILMIY  
KENGASH ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

---

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT  
ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**MULLODJANOVA GULNOZA MUXIDDINOVNA**

**GEOINNOVATSION TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA YER YUZASIDAGI  
DEFORMATSION O‘ZGARISHLARNI MONITORING QILISH  
USULINI TAKOMILLASHTIRISH  
(Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida)**

**11.00.07 – Geoinformatika**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Samarqand – 2025**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4PhDT5191 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume) universitet Ilmiy kengashining veb sahifasi ([www.samdaqu.uz](http://www.samdaqu.uz)) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portaliga ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

<b>Ilmiy rahbar:</b>	<b>Suyunov Abdusali Samatovich</b> texnika fanlari doktori, professor
<b>Rasmiy opponentlar:</b>	<b>Reyimov Polat Rasbergenovich</b> geografiya fanlari doktori (DSc), professor <b>Mamatqulov Zoxid Jonqobilovich</b> texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent
<b>Yetakchi tashkilot:</b>	<b>Buxoro davlat texnika universiteti</b>

Dissertatsiya himoyasi Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura- qurilish universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD 26/26.01.2023.T.109.04 Ilmiy kengash asosidagi bir martalik ilmiy kengashning «24» oktabr 2025-yil soat 15<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 140147, Samarqand sh., Lolazor ko'chasi, 70. Tel. (998-66) 237-15-93, Fax (99866) 237-26-30. E-mail: samdaqu@edu.uz, samdaquarm@samdaqi.edu.uz).

Dissertatsiya bilan Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura-qurilish universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ \_\_\_\_\_ raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 140147, Samarqand sh., Lolazor ko'chasi, 70. Tel. (998-66) 237-06-06.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil, "10" "10" kuni tarqatildi.  
(2025-yil "10" "10" dagi 03 raqamli reyestr bayonnomasi).



**D.Sh. Fazilova**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
Ilmiy kengash rais o'rinbosari, f.m.f.d., professor

**V.R. Niyazov**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**S.B. Abbasov**

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik  
ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi,  
g.f.d., professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda va uning turli mintaqalarida texnogen hamda tabiiy jarayonlarning yer yuzasiga ko'rsatadigan sezilarli ta'siri natijasida yuzaga kelayotgan deformatsion jarayonlarni masofadan zondlash hamda geoaxborot tizimlari texnologiyalari asosida tahlil qilish va o'rganish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda jahonning rivojlangan mamlakatlarida yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni monitoring qilishni avtomatlashtirish, inson aralashuvini minimallashtirish va innovatsion yechimlardan keng foydalanish dolzarb vazifalardan biri sifatida qaralmoqda. Bu borada 2015–2030-yillarga mo'ljallangan ofatlar xavfini kamaytirish bo'yicha Sendai doirasidagi harakatlar dasturida (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030)<sup>1</sup> masofadan zondlash texnologiyalaridan foydalanish ofatlar oqibatlarini baholash va ularni boshqarishda ustuvor yo'nalish sifatida belgilangan. Shuningdek, yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni doimiy monitoring qilish, geoinformatsion usullar orqali ularni aniqlash va tahlil qilish imkonini beruvchi samarali kuzatuv tizimlarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda masofadan zondlash ma'lumotlarini geoaxborot tizimlari (GAT) bilan integratsiya qilish asosida yer yuzasidagi geodinamik jarayonlarni monitoring qilish usullarini takomillashtirishga alohida ahamiyat berilmoqda. Gaz konlarida geodezik va geoaxborot monitoringi orqali deformatsion jarayonlarni aniqlash, raqamli modellarni yaratish hamda geoinnovatsion texnologiyalar asosida kartografik ma'lumotlar tayyorlash ustuvor masala sifatida qaralmoqda. Shu jihatdan, InSAR – (Interferometric Synthetic Aperture Radar) texnologiyasi asosida yaratilgan raqamli relyef modeli (RRM, DEM) aniqligini baholash orqali yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish samaradorligini oshirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda tasdiqlangan farmon va qarorlarda iqtisodiyot tarmoqlari va aholiga neft-gaz mahsulotlarini uzluksiz yetkazib berilishini ta'minlash maqsadida konlarda seysmogeodinamik jarayonlarni monitoring qilishni rivojlantirish bilan bog'liq chora-tadbirlarni amalga oshirish, xususan, geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan, «.....sun'iy yo'ldosh texnologiyasi orqali masofadan zondlab aniqlash va ta'mirlashga zamonaviy texnologiyalarni joriy etish»<sup>2</sup> bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, gaz konlarida geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilishda masofadan zondlash va geoaxborot tizimi texnologiyalaridan foydalanish usullarini ishlab chiqish, yer yuzasini monitoring qilish texnogen va tabiiy ta'sirlarga duch keladigan hududlarni asrash va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

<sup>1</sup> [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)

<sup>2</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 28.01.2022-yildagi PF-60-sonli "2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 30-dekabrda PQ-72-sonli “O‘zbekiston Respublikasining 2022–2026 yillarga mo‘ljallangan investitsiya dasturini tasdiqlash hamda investitsiya loyihalarini boshqarishning yangi yondashuv va mexanizmlarini joriy etish to‘g‘risida”gi Qarori, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2015-yil 19-maydagi 127-sonli “Qandim gazni qayta ishlash zavodi tashqi infrastruktura obyektlari qurilishini tashkil qilish to‘g‘risida”gi Qarori va 2020-yil 25-noyabrda 746-sonli “Neft va gaz konlarini o‘zlashtirishning seysmogeodinamik jarayonlarga ta‘sirini monitoring qilish tizimini takomillashtirish to‘g‘risida”gi Qarori hamda mazkur faoliyatga oid boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlar doirasida belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot - kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” hamda VIII. “Yer haqidagi fanlar” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Mazkur soha bo‘yicha ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, gaz konlarining geodinamik poligonlarida yer yuzasidagi o‘zgarishlarni monitoring qilish bo‘yicha tadqiqotlar nafaqat xorijiy mamlakatlar va MDH davlatlari olimlari, balki respublikamiz olimlari tomonidan ham amalga oshirilgan. Ushbu tadqiqotlarda geodezik, masofadan zondlash va geoaxborot texnologiyalari qo‘llanilgan.

Yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni monitoring qilish hamda geodinamik monitoring texnologiyalarining nazariy va uslubiy asoslarini rivojlantirish masalalari bir qator xorijiy tadqiqotchilar tomonidan o‘rganilgan. Jumladan, M. Bouaziz, Y. Bendorff, M. Blanche, N. Zhuskar, P. Ganie, R. Posti, K. Kunal, Sh. Yan, Zh. Chenning, T. Webster, M. Pritchard, Z. Yang, Z. Zhang, A. Dairu, N. Jusca, Sh. Yan, Zh. Chen, G. Dias va boshqa olimlar tomonidan mazkur yo‘nalishda muhim natijalarga erishilgan.

MDH mamlakatlari tadqiqotchilari orasida esa A.A. Abetov, Yu.O. Kuzmin, G.I. Griva, A.V. Brushko, V.P. Melnikov, V.V. Samsonova, A.V. Deshcherevskiy, E.A. Fattaxova, D.K. Kuzmina, A.A. Kazakov, D.V. Aman, A.V. Zemtsova, N.N. Melnikov, A.I. Kalashnik, I.V. Bychkova, V.N. Oparin, V.P. Potapov, A.A. Panzhin, N.A. Panzhina, S.S. Qudayberganova, K.N. Akatov va boshqalarning hissasi alohida ahamiyat kasb etadi. Ularning ilmiy taklif va tavsiyalari zamonaviy amaliyotda qo‘llanilmoqda.

Respublikamiz olimlari E.R. Mirmakhmudov, D.Sh. Fazilova, A.S. Suyunov, O.Z. Arabov, V.R. Niyazov va boshqalar global navigatsion sun‘iy yo‘ldosh tizimi (GNSS) ma‘lumotlariga asoslangan geodezik monitoring masalalari hamda fazoviy ma‘lumotlarni geomodellashtirish muammolari bilan shug‘ullanib, ijobiy natijalarga erishganlar.

Bugungi kunda, mamlakatimizning turli hududlarida masofadan zondlash va geoaxborot texnologiyalari asosida yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni monitoring qilish va tahlil qilish masalasi yetarlicha o‘rganilmagan. Xususan, gaz konlarining geodinamik poligonlarida monitoring usullarini takomillashtirish,

deformatsion o'zgarishlarning raqamli modelini yaratish, InSAR texnologiyasi asosida yer yuzasi deformatsiyasini aniqlash uchun DEM modelining aniqligini baholash hamda topografik-geodezik usullarni geoinformatsion texnologiyalar bilan integratsiya qilish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Shu sababli, geofazoviy texnologiyalarni qo'llash uslubiyatini takomillashtirish zarurati paydo bo'lmoqda.

**Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura - qurilish universiteti ilmiy - tadqiqot ishlari rejasining "Geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish (Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida" mavzusidagi loyihasi (2023-2025 yy), Dissertatsiya tadqiqoti Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti ilmiy tadqiqot ishlar rejasining Yevropa ittifoqi tomonidan e'lon qilingan Erasmus+ 585718+YeRR-1-2017-1-HUEPPKA2-CBHE-JP «DSinGis: Geoinformatika sohasida doktorantura» xalqaro loyihasi (15.10.2017y.-14.10.2020y) ilmiy tadqiqotlar doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** geoaxborot tizimi va masofadan zondlash texnologiyalari asosida gaz konlarining geodinamik poligonlari yer yuzasida deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish bo'yicha taklif va tavsiyalar ishlab chiqish.

**Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat:**

geodezik, masofadan zondlash va GAT texnologiyalarining integratsiyasi asosida neft va gaz konlaridagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish;

zamonaviy texnologiya va masofadan zondlash ma'lumotlari asosida fazoviy o'zgarishlar inobatga olinib tadqiqot obyektidagi deformatsiyalarni aniqlash metodikasini takomillashtirish;

yer yuzasida kuzatilayotgan deformatsiyani aniqlashda InSAR texnologiyasidan foydalanib yaratilgan relyefning raqamli modellarining (DEM)larning aniqligini baholash usulini takomillashtirish;

davriy Sentinel-1 SAR tasvirlaridan yaratilgan relyefning raqamli modellarining (DEM)larni ArcGIS dasturiga integratsiya qilish orqali tadqiqot obyektidagi yer yuzasida uchrayotgan deformatsion jarayonlarni vizual kuzatish va tahlil qilish uchun elektron kartani yaratish.

**Tadqiqot obyekti** Buxoro viloyatidagi Qandim gaz koni hududi hisoblanadi.

**Tadqiqot predmetini** InSAR ma'lumotlari asosida GAT tahlili va gaz konida geodezik monitoring bilan uyg'unlashtirgan holda yer yuzasining deformatsiya maydonlarini modellashtirish tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida masofadan zondlash (Sentinel-1 SAR) ma'lumotlari va topografiko-geodezik o'lchashlar; GAT texnologiyalari va geovizuallashtirish vositalari; SAR interferometriyasi (InSAR); geoma'lumotlar va solishtirma tahlil; korrelyatsion tahlil; o'rtacha kvadrat xato (RMSE) orqali aniqlikni baholash; geodinamik modellashtirish; deformatsion kartalar yaratish kabi usullardan foydalanilgan.

### **Tadqiqotning ilmiy yangiligi:**

geodezik, masofadan zondlash va geoaxborot texnologiyalari asosida neft va gaz konlaridagi deformatsion o'zgarishlarini monitoring qilish usuli takomillashtirilgan;

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) texnologiyasi hamda Sentinel Application Platform (SNAP) dasturi yordamida vertikal o'zgarishlar inobatga olinib gaz konlari hududidagi deformatsiyalarni aniqlash metodikasi ishlab chiqilgan;

yer yuzasida kuzatilayotgan deformatsiyani aniqlashda InSAR usulidan foydalanib yaratilgan relyefning raqamli modellari aniqligini baholash usuli takomillashtirilgan;

Qandim konidagi deformatsion jarayonlarni ilmiy asosda kartalashtirish uchun masofadan zondlash ma'lumotlari va SNAP dasturida hisoblangan relyefning raqamli modellarini ArcGIS muhitiga integratsiya qilish metodologiyasi ishlab chiqilgan.

### **Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

tadqiqot obyekti Qandim gaz koni yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usuli geodezik tahlil, masofadan zondlash va GAT texnologiyalari asosida takomillashtirilgan;

Qandim gaz koni hududidagi deformatsiya zamonaviy texnologiya va dasturlar yordamida fazoviy o'zgarishlar inobatga olingan holda aniqlangan;

deformatsiyani aniqlashda hamda baholashda masofadan zondlash usullaridan foydalangan holda obyekt relyefning raqamli modeli (DEM) yaratilgan;

ArcGIS muhitida Sentinel-1 SAR ma'lumotlari asosida yaratilgan DEMlar integratsiya qilish orqali Qandim gaz koni hududining yer yuzasi deformatsion kartasi yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va moliya vazirligi huzuridagi Kadastr agentligi va uning huzuridagi Respublika aerogeodeziya markazining Xorazm hududlararo bo'limasi, Qandim gazni qayta ishlash majmuasining ma'lumotlaridan foydalanilganligi, tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan uslub va tavsiyalarning amaliyotga joriy etilganligi, olingan natijalarning vakolatli tuzilmalar tomonidan tasdiqlanganligi, bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy mohiyati geodezik va geoinformatsion texnologiyalar negizida gaz konlarining geodinamik monitoring qilishning informatsion ta'minoti imkoniyatlarini kengayganligi bilan baholanadi.

Geoinnovatsion texnologiyalar asosida neft va gaz konlarida deformatsion jarayonlarni monitoring qilish usullari takomillashtirildi. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish orqali uzluksiz va davriy geodezik kuzatishlarni takomillashtirish yo'nalishlari taklif etildi, ular matematik qayta ishlash, o'lchashlarni taqqoslash va tahlil qilish jarayonlari o'z ichiga oladi. Bundan tashqari, maqsadli davlat dasturlarini ishlab chiqish hamda korxonalar uchun amaliy tavsiyalarni tayyorlash bo'yicha takliflar ishlab chiqildi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

-geodezik, masofadan zondlash va GAT texnologiyalari asosida neft va gaz konlaridagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish bo'yicha takliflar Respublika aerogeodeziya markazining Xorazm hududlararo bo'linmasida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va moliya vazirligi huzuridagi Kadastr agentligining 05/527-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, neft va gaz konlaridagi deformatsiyalarni aniqlash natijalaridagi dispersiyani kamaytirishga, qayta ishlangan experiment natijalaridagi ishonchlilikni oshirish hamda shunga mutanosib ravishda noaniqlikni kamaytirishga erishilgan;

-tadqiqot maydonida kuzatilgan deformatsiyani aniqlashda InSAR texnologiyasidan foydalanib yaratilgan DEMlarning aniqligini baholash usuli takomillashtirilishi Respublika aerogeodeziya markazining Xorazm hududlararo bo'linmasida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va moliya vazirligi huzuridagi Kadastr agentligining 05/527-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, masofadan zondlash texnologiyalarini qo'llash orqali deformatsiyalarni monitoring qilish va ilmiy jihatdan tahlil qilishda sezilarli afzalliklarga erishilgan. Bu esa, murakkab va bajarish qiyin bo'lgan Respublikamiz hududlarida aniqlash samaradorligi jiddiy oshirilishiga erishilgan;

-masofadan zondlash ma'lumotlari va SNAP dasturida olingan DEM modelini ArcGIS dasturiga integratsiya qilish asosida Qandim gaz koni hududining yer sirtida uchrayotgan deformatsion jarayonlar xaritasi ishlab chiqilgan. Natijada, zondlash ma'lumotlari va GAT texnologiyalarining integratsiyasi deformatsiyalarning yuqori aniqlikdagi xaritasi Respublika aerogeodeziya markazining Xorazm hududlararo bo'linmasida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va moliya vazirligi huzuridagi Kadastr agentligining 05/527-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, zondlash ma'lumotlari va GAT texnologiyalarining integratsiyasi deformatsiyalarning yuqori aniqlikdagi xaritasini yaratish imkonini bergan. Bu esa neft va gaz konlarida geodinamik jarayonlarni vizual monitoring qilish va prognozlash samaradorligini 8-10% ga oshirgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 8 ta ilmiy-amaliy anjumanlarda, jumladan, 6 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy muhokamadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarning e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 16 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan 7 ta ilmiy maqola O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan jurnallarida, jumladan 6 ta Respublika va 2 ta xorijiy jurnallarda nashr qilingan.

**Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi.** Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish qismida** dissertatsiya tadqiqotining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqot maqsadi va vazifalari hamda obyekt va predmetlari shakllantirilib, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishiga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan. Olingan natijalarning ishonchliligi, nazariy va amaliy ahamiyatlari keng ochib berilib, tadqiqot natijalarining joriy qilinganligi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Gaz konlari hududida yer yuzasidagi deformatsion o‘zgarishlarni monitoring qilishning ilmiy va nazariy asoslari”** deb nomlangan birinchi bobida gaz konlari hududida yer yuzasida kechadigan o‘zgarishlarni monitoring qilishning nazariy va amaliy ahamiyati, yer yuzasidagi deformatsion o‘zgarishlarni kuzatishda xalqaro tajribalar tahlil qilinib, kon hududlarida geodezik usullardan foydalanishning samaradorligi ilmiy asoslangan. Shuningdek, geodezik usullarning deformatsion jarayonlarni aniqlash va baholashdagi o‘rni hamda amaliy qo‘llanish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan.

Ilmiy adabiyotlar tahlili va olib borilgan tadqiqotlar natijasida neft va gaz qazib olish geodinamik buzilishlar xavfi bilan bog‘liqligi aniqlangan. Ilmiy adabiyotlarda Gazli (O‘zbekiston) va Neftogorsk (Saxalin)da sodir bo‘lgan zilzilalarning konlarni ekspluatatsiya qilish jarayonlari bilan bog‘liq bo‘lishi mumkinligi haqida fikrlar ilgari surilgan.

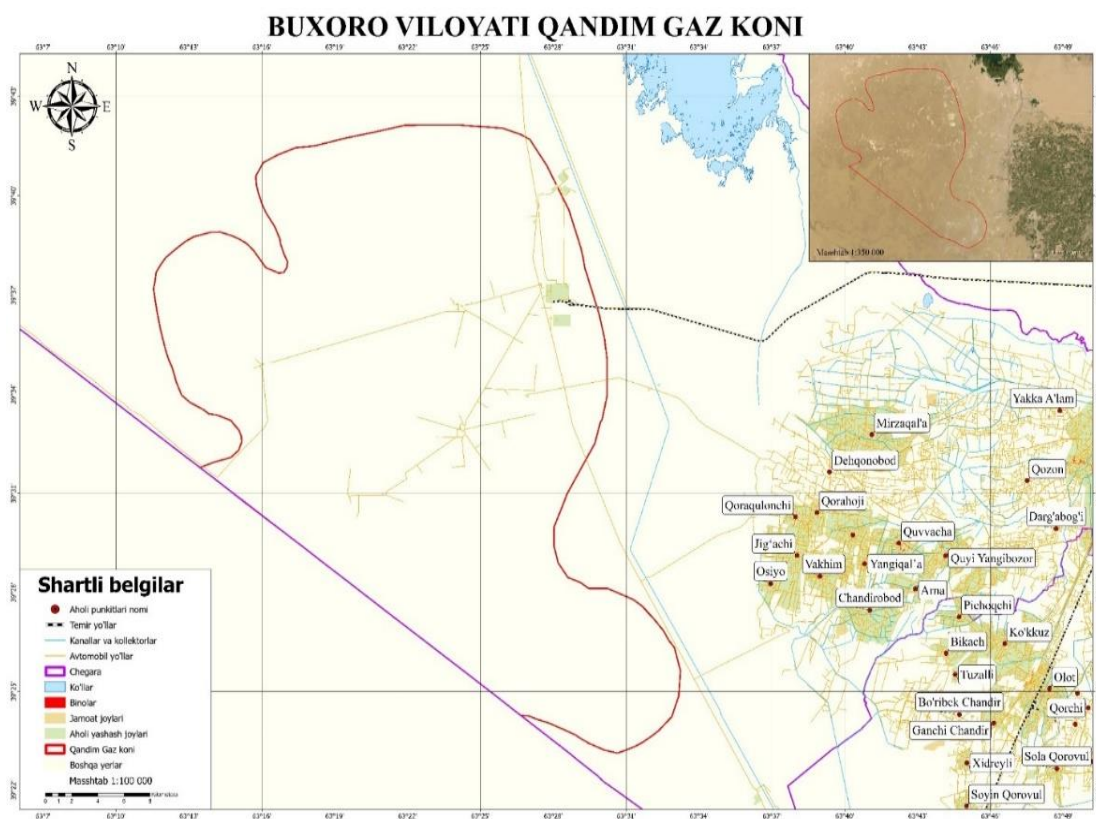
80 dan ortiq ilmiy manbalarni tahlil qilish asosida, yuqori aniqlikdagi nivelirlash, GNSS, InSAR, LIDAR va gravimetrik kuzatuvlar deformatsion jarayonlarni aniqlashda samarali natija berishi aniqlangan. Biroq, mavjud tadqiqotlarda ko‘proq instrumental nazoratga urg‘u berilib, fazoviy-vaqt tahlili va kompleks yondashuv yetarli darajada qo‘llanilmagan. Shu sababli, kon hududlarida ko‘p komponentli, integratsiyalashgan va raqamli modellashtirishga asoslangan monitoring tizimlari dolzarb yechim sifatida asoslab berilgan.

Shuningdek, geodezik usullar yuqori aniqlik ta’minlashini ko‘rsatadi: I va II sinf nivelirlashda  $\pm 2-3$  mm, GNSS texnologiyalarida esa RTK rejimida 3–5sm gacha. Shu bilan birga, nivelirlash katta vaqt va mehnat talab etishi (1 km uchun 4–6 soat), GNSS esa signal sifati, geoid modeli aniqligi va koordinatalarni transformatsiya qilish bilan bog‘liq cheklovlarga ega ekani ham ta’kidlangan.

Dissertatsiyaning **“Geoinformatsion va geodezik usullar asosida Qandim gaz koni hududidagi yer yuzasidagi o‘zgarishlarni aniqlash”** deb nomlangan ikkinchi bobi Qandim gaz koni hududining tabiiy-geografik xususiyatlari tadqiq qilish, neft va gaz konlarida geodezik punktlarni joylashtirish hamda ulardan foydalanishda zamonaviy usul va texnologiyalarni qo‘llash, kon hududida mavjud geodezik punktlar holatini zamonaviy o‘lchash vositalari yordamida kuzatish, masofadan zondlash texnologiyalari asosida yer yuzasida kechayotgan o‘zgarishlarni aniqlash va monitoring qilishning ilmiy-amaliy ahamiyati kabi masalalarga asoslangan.

Qandim gaz koni O‘zbekistonning Respublikasi Buxoro viloyati Qorako‘l tumaning Janubiy - G‘arbiy qismida joylashgan. Qandim gaz koni 1980 yilda

ochilgan bo‘lib, ushbu kon Buxoro-Xiva neft - gaz mintaqasiga tegishlidir. Qandim koni Qandim-Xauzak-Shodi neft loyihasining bir qismi hisoblanadi. Gazni qayta ishlash majmuasi qurilishi 2016-yil 19-aprelda boshlanib, 2018-yil 19-aprel kuni Qandim konlar guruhining gazni qayta ishlash majmuasi rasman ishga tushirildi.



**1-rasm. Qandim gaz koning joylashuv kartasi**

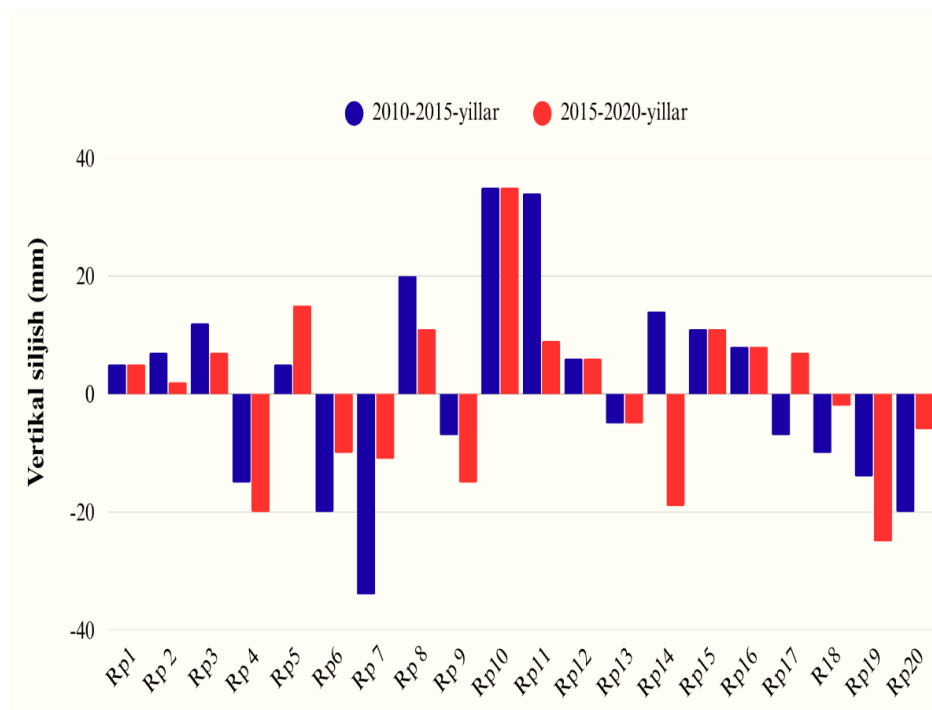
Gidrogeologik jihatdan birinchi suv qatlami quyi antropogen-pliosen qumlari va qumtoshlari bilan chegaralangan. Relyefi va litologik farqiga qarab 2,5 -7,0 dan 10 m gacha chuqurlikda joylashgan bo‘lib, sifati achchiq sho‘r hisoblanadi.

O‘simliklari-juda ham jonsiz bo‘lib, shuningdek yoz davomida butunlay yonib ketadigan o‘tsimon shaklda bo‘ladi.

Tadqiqot davomida geodinamik faollikni baholash uchun geodezik va masofadan zondlash (GNSS, yuqori aniqlikdagi nivelirlash, masofadan zondlash texnologiyalari) usullarini kompleks qo‘llash zarurligi asoslandi. Tadqiqot maydonida rekognosirovka va nivelirlash ishlari olib borildi, mavjud geodezik tarmoqning tayanch punktlari aniqlanib, ularning texnik holati tahlil qilindi. Geodinamik poligonda GNSSning statik usulida geodezik o‘lchashlar bajarildi, reperlarning koordinatalari xalqaro WGS-84 tizimida aniqlandi, bu esa geodinamik jarayonlarni keyingi monitoringi uchun mezonlarni shakllantirishga imkon berdi.

Reperlarning tenglashtirilgan koordinatalari 2010, 2015, 2020 yillarda bajarilgan “Qandim konida yer yuzasining harakatini kuzatish loyihasini amalga oshirish - geodinamik monitoring” obyektining reperlari koordinatalarini “Trimble business center” dasturida tuzildi va natijalar olindi .

Keyingi bosqichda geodinamik kuzatuvlar jarayonida 2015-2020-yillar davriga oid ma’lumotlar asosida reperlar balandliklaridagi o‘zgarishlar tahlil qilindi.

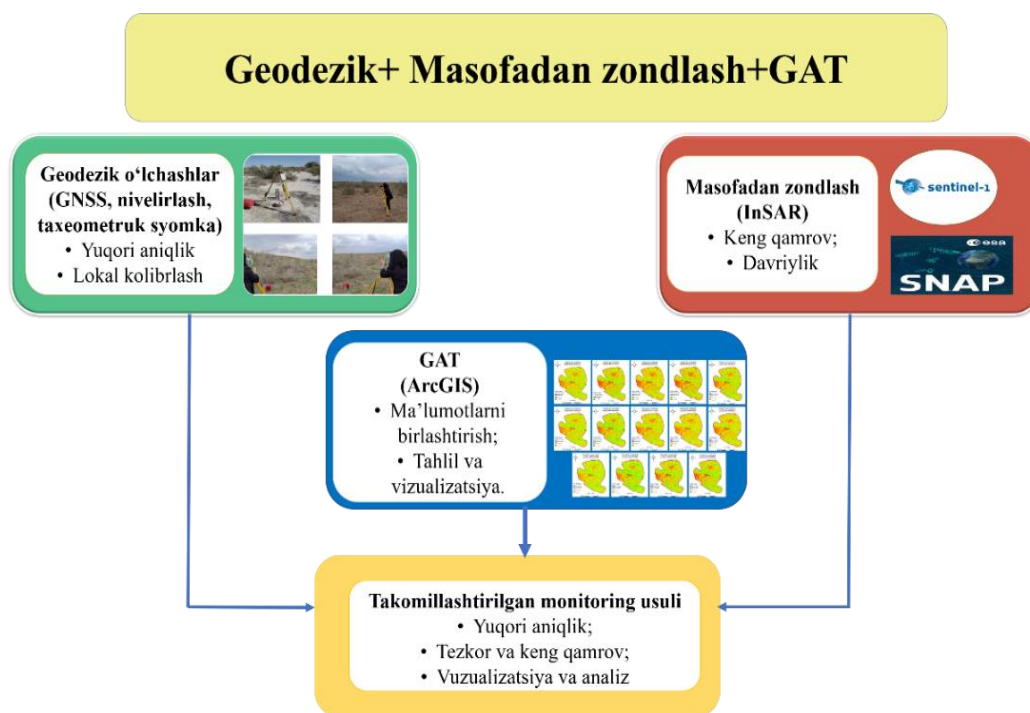


**2-rasm. Qandim gaz koni reperlarning vertikal siljishi natijasi 2010-2020 yillar grafigi**

Keltirilgan ma'lumotlardan ko'rinadiki, 2010–2015 yillar davrida ayrim reperlarda yer yuzasining cho'kishi qayd etilgan bo'lsa, 2015–2020 yillarda ularning ko'tarilishi kuzatilgan. Xususan, Rp10 va Rp11 punktlarida vertikal ko'tarilish 30–35 mm gacha bo'lgan, boshqa bir qator punktlarda esa cho'kishlar aniqlangan (2-rasm). Olingan natijalar tadqiqot maydonida geodinamik jarayonlarning notekis rivojlanishini hamda deformatsion hodisalarining fazoviy va vaqtinchalik o'zgaruvchanligini tasdiqlashi isbotlandi.

Olib borilgan kompleks tadqiqotlar asosida yer yuzasidagi geodinamik jarayonlarni aniqlash va monitoring qilishning takomillashtirilgan usuli ishlab chiqildi. Mazkur usul geodezik o'lchashlar, masofadan zondlash texnologiyalari va GAT integratsiyasiga asoslangan. Geodezik o'lchashlar (GNSS, yuqori aniqlikdagi nivelirlash va taxeometrik s'yomkalar) lokal masshtabda yuqori aniqlik bilan balandlik va koordinata aniqlash imkonini beradi. Masofadan zondlash usuli, xususan InSAR texnologiyasi, keng hududlarni muntazam kuzatish va deformatsion jarayonlarni davriy qayd etish imkoniyatini yaratadi. GAT (ArcGIS) turli manbalardan olingan ma'lumotlarni integratsiyalash, ularni raqamli modellashtirish, fazoviy-vaqt tahlilini amalga oshirish hamda vizualizatsiya qilishni ta'minlaydi (3-rasm).

Ushbu integratsiyalashgan yondashuv monitoring natijalarining aniqligi va samaradorligini oshirib, yer yuzasida sodir bo'ladigan deformatsion jarayonlarning har tomonlama tizimli tahlilini amalga oshirish imkonini beradi. Shuningdek, neft va gaz konlaridagi deformatsiyalarni aniqlash natijalaridagi dispersiyani kamaytirishga, qayta ishlangan eksperimental natijalar ishonchliligini oshirishga hamda mutanosib ravishda noaniqlikni kamaytirishga erishildi.



**3-rasm. Yer yuzasida sodir bo‘ladigan deformatsion o‘zgarishlarni monitoring qilishning takomillashtirilgan usuli**

Dissertatsiyaning “**Geoinnovatsion texnologiyalar asosida Qandim gaz koni hududida yer yuzasidagi deformatsion o‘zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish**” deb nomlangan uchunchi bobida masofadan zondlash texnologiyalaridan foydalangan holda hududning vertikal deformatsion jarayonlari tahlil qilish, InSAR texnologiyasi asosida yer yuzasi deformatsiyalarini aniqlash uchun raqamli relyef modellarini (DEM) yaratish va ularning aniqligini baholash, masofadan zondlash ma’lumotlari yordamida Qandim gaz koni hududida kuzatilayotgan deformatsion jarayonlarni aniqlash va monitoring qilish usulini takomillashtirish ishlari amalga oshirilgan.

InSAR texnologiyasining ishlash prinsipi shundan iboratki, sun’iy yo‘ldosh bir xil hududni turli vaqtlarda bir necha marta radar nurlari yordamida skanerlaydi. Radar nurlari yer yuzasiga tushib, qaytgan signal qayd etiladi. Bir nechta kuzatuv natijasida hosil bo‘lgan fazaviy farqlar interferogramma yordamida o‘lchanadi. Ushbu fazaviy farqlar yer yuzasidagi kichik deformatsiyalarning natijasidir.

Tadqiqot doirasida Sentinel-1 SAR tasvirlarining ko‘p davrli tahlili InSAR texnologiyasi orqali Qandim gaz koni hududida yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni aniqlash maqsadida amalga oshirildi.

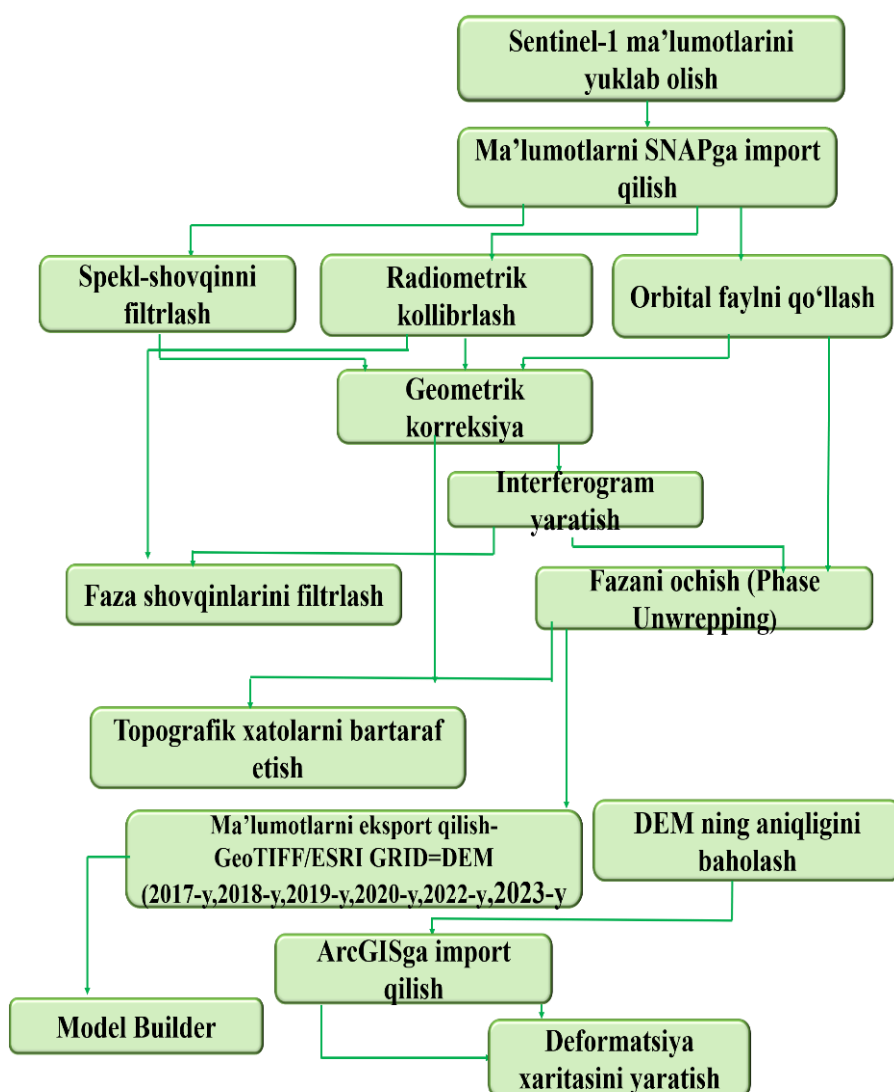
Mazkur texnologiya deformatsion jarayonlarni aniqlash, baholash, kartalash, tahlil qilish va monitoring qilishning barcha asosiy bosqichlarini qamrab oladi.

Ma’lumotlarni tanlash jarayonida hududning qamrov doirasi belgilandi hamda VV+VH qutblanish tizimi tanlandi. Ushbu tanlov Sentinel-1 sun’iy yo‘ldoshining C-diapazonida ishlashi va ikki xil qutblanish rejimida ma’lumot to‘plash imkoniyatiga ega ekanligi bilan bog‘liqligiga asoslanildi. Ikki qutblanish tizimidan foydalanish turli yuzaga xos xususiyatlarni yaxshiroq ajratib olishga yordam berdi va yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarni aniq kuzatish imkoni yaratildi.

Ma'lumotlarni olish va qayta ishlash hamda natijalar aniqligini yuqori darajada ta'minlash maqsadida SNAP dasturi yordamida deformatsiyalarni aniqlash metodikasi ishlab chiqildi (4-rasm).

Ushbu metodika tasvirlarni oldindan qayta ishlash, xatoliklarni tuzatish, interferogrammalarni hosil qilib va RRMLarni yaratish bosqichlarini o'z ichiga oladi, bu esa tadqiq etilayotgan gaz koni hududidagi deformatsion jarayonlarni ishonchli va miqdoriy aniqlashni ta'minlaydi.

Geometrik kalibrlash natijasida yer yuzidagi obyektlarni aniq joylashtirish va tahlil qilish imkoniyati tug'ildi. Radiometrik kalibrlash tasvirlarning radiometrik xususiyatlarini aniqlash va standartlashtirishga yordam beradi. Bu jarayon orqali tasvirlarda aks etgan elektromagnit to'lqinlarning qayd etilgan intensivligi aniq va standart o'lchov birliklarida ko'rsatiladi. Natijada, tasvirlarning nisbiy va absolyut qiymatlari yanada ishonchli bo'ladi.



**4-rasm. Sentinel-1 ma'lumotlari asosida InSAR texnologiyasidan foydalanib yer yuzasining deformatsiyasini kartalash algoritmi**

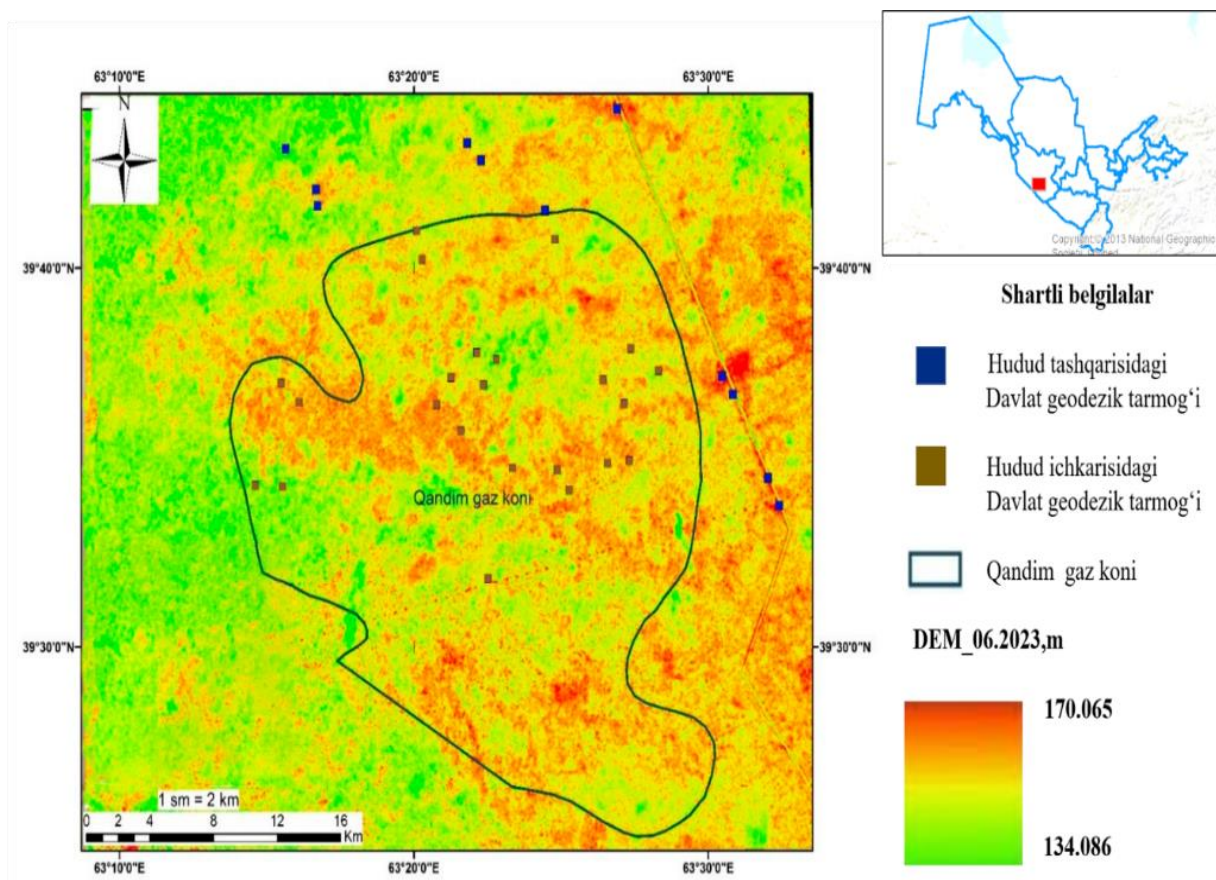
Fazaviy ma'lumotlarning sifatini oshirish maqsadida filtrlash (denoising) usulli qo'llanildi. Xususan, to'lqinli (wavelet) texnika ma'lumotlarni chastota komponentlariga ajratish orqali shovqinni kamaytirib, asosiy fazaviy

xususiyatlarning saqlanishini ta'minlaydi. Ikki tomonlama filtrlash spekl-shovqinni kamaytirishda fazoviy o'xshashliklarni hisobga olgan holda ma'lumotlarning muhim belgilarini saqlab qolishga xizmat qiladi. Mahalliy bo'lmagan o'rtacha (Non-local Means, NLM) filtri esa tasvirdagi kamroq shovqinli qismlarga asoslanib, shovqinni filtrlash va fazoviy izchillikni ta'minlash imkonini beradi.

Fazani ochish (unwrapping) texnikasi esa faza qiymatlarini qayta tiklashda va faza farqlarini izchil saqlashda muhim rol o'ynaydi, bu esa InSAR ma'lumotlarining fazaviy qamrovini kengaytiradi. Shu usullar yordamida InSAR ma'lumotlaridan to'g'ri va aniq natijalar olishga erishiladi.

Integratsiyalashgan Sentinel-1 + InSAR + SNAP + ArcGIS metodikasini qo'llash yer yuzasining vertikal deformatsiyalarini yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi - qisqa muddatli kuzatuvlarda  $\pm 1-5$  mm, uzoq muddatli davrlarda  $\pm 1-2$  sm. Hisob-kitob aniqligi bir qator omillarga xususan, atmosfera shovqinlari, relyef burchagi, o'simlik qoplami zichligi va xususiyatlari, boshlang'ich sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarining sifati hamda interferometrik ishlov berish parametrlariga bog'liq. InSAR texnologiyasi yordamida deformatsion jarayonlar kartalarini 10–30 m fazoviy aniqlikdan 2–5 m gacha oshirish mumkin bo'lib, bu 1:10 000 – 1:25 000 bo'lgan yirik masshtabli kartalarni hosil qilishga imkon beradi.

Tadqiqot davomida Qandim gaz koni poligoni hududida jami joylashgan 24 ta hamda geodinamik hudud ta'siridan tashqarida bo'lgan jami 20 ta geodezik punktlardan nazorat nuqtalari sifatida foydalanildi (5-rasm).



**5-rasm. Qandim gaz koni hududi va atrofidagi geodezik punktlar**

Baholashning yuqori aniqligi va ishonchliligini ta'minlash maqsadida tezkor geodezik kuzatishlar va masofadan zondlash texnologiyalarining integratsiyasiga asoslangan ma'lumot yig'ish usuli qo'llanildi. Mazkur yondashuv tadqiqot obyektlarini kompleks tahlil qilish va natijalarning ishonchliligini kafolatlash imkonini berdi.

Vertikal aniqlik vertikal o'rta kvadratik xatolik (RMSE) yordamida hisoblanadi. Ushbu matematik formula 1970 - yillarning oxiridan keng qo'llaniladi. RMSE DEM balandliklarining qiymatlari va etalon GPS o'lchovlari qiymatlari orasidagi farqni o'lchaydi. Ushbu nuqtalar orasidagi farqlari "iskajeniye" deb ham ataladi va RMSE esa ularni bitta umumiy aniqlik ko'rsatkichi sifatida ifodalaydi.

RMSE formulasi quyidaga ko'rinishda bo'ladi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{vi}^2} \quad (1)$$

Bundan,

$$e_{vi}^2 = v_{ri} - e_{mi} \quad (2)$$

Bu yerda,

*RMSE*- o'rta kvadratik xatolik;

$e_{vi}^2$ - *i* nuqtadagi DEM balandlik bilan nazorat nuqtalar farqi;

$v_{ri}$ - DEMdagi *i* nuqta balandligi;

$e_{mi}$ - *i* nazorat nuqtasi balandligi

*n*- nazorat nuqtalar soni

## 1 -jadval

### Yaratigan DEMga oid statistik ma'lumotlar

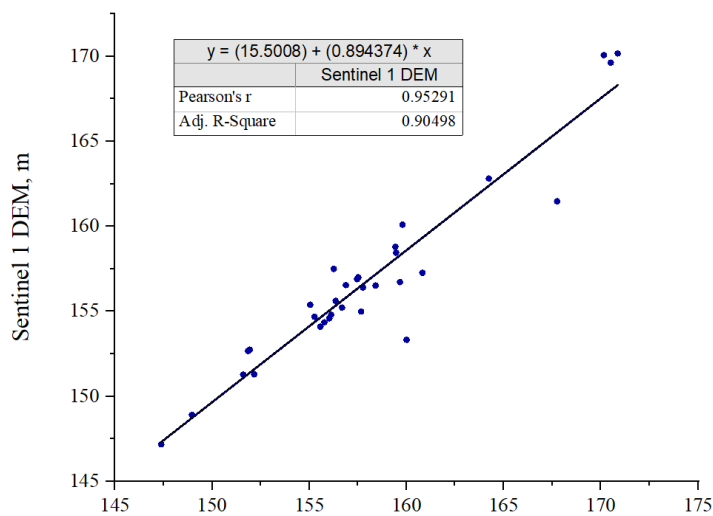
Model	Min, m	Max, m	O'rta, m	RMSE	GNSS va DEM korrelyasiya tenglamasi	Korrelyasiya koeffisienti R
GNSS	147,383	170,872	157,981	0,003	$y = (15,5008) + (0,89437) * x$	0,95
Sentinel-1 DEM	147,376	170,875	157,977			

Yuqoridagi hisoblashlarga asoslanib, GNSS va Sentinel-1 DEM modellarining o'rtacha balandlik qiymatlari juda yaqin aniqlandi, bu esa ikki model orasidagi farq minimal ekanligini ko'rsatadi. GNSS modeli uchun o'rtacha balandlik qiymati 157,981 m, Sentinel-1 DEM modelida esa 157,977 m bo'lib, bu farq faqat 0.004 m ni tashkil qiladi. Ushbu farq juda kichik bo'lib, Sentinel-1 DEMning yuqori aniqlikka ega ekanligini bildiradi.

GNSS modelining RMSE qiymati 0,003 m bo'lib, bu o'lchovlarning o'rtacha xatolik darajasini bildirib, modelning aniqligi yuqori ekanligini ko'rsatadi. Sentinel-1 DEM modelining RMSE o'rtacha balandlik qiymatining GNSS ga juda yaqinligi, uning ham ishonchli ekanligini ko'rsatadi.

GNSS va DEM modellarining orasidagi korrelyasiya tenglamasi  $y = (15,5008) + (0,894374) * x$  va korrelyasiya koeffisienti  $R = 0,95$  bo'lib, bu juda yuqori bog'liqlikni bildirgani (6-rasm). Demak, GNSS va Sentinel-1 DEM orasidagi

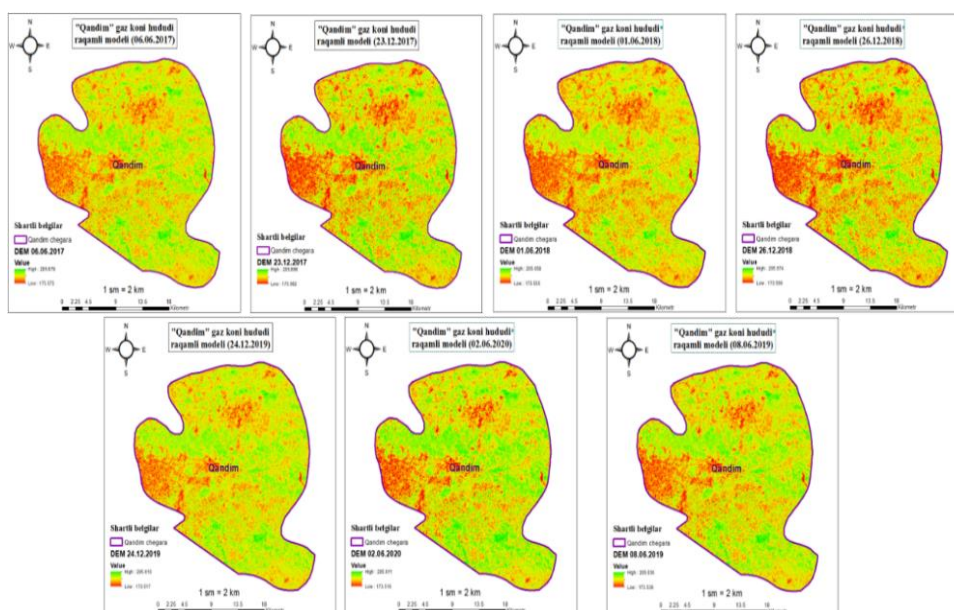
o‘lchashlar orasidagi munosabatlar juda yaxshi moslashadi va o‘zaro ishonchli ekanligini ko‘rsatadi.



### 6-rasm. GNSS va DEM modellarining orasidagi korrelyatsion bog‘liqlik

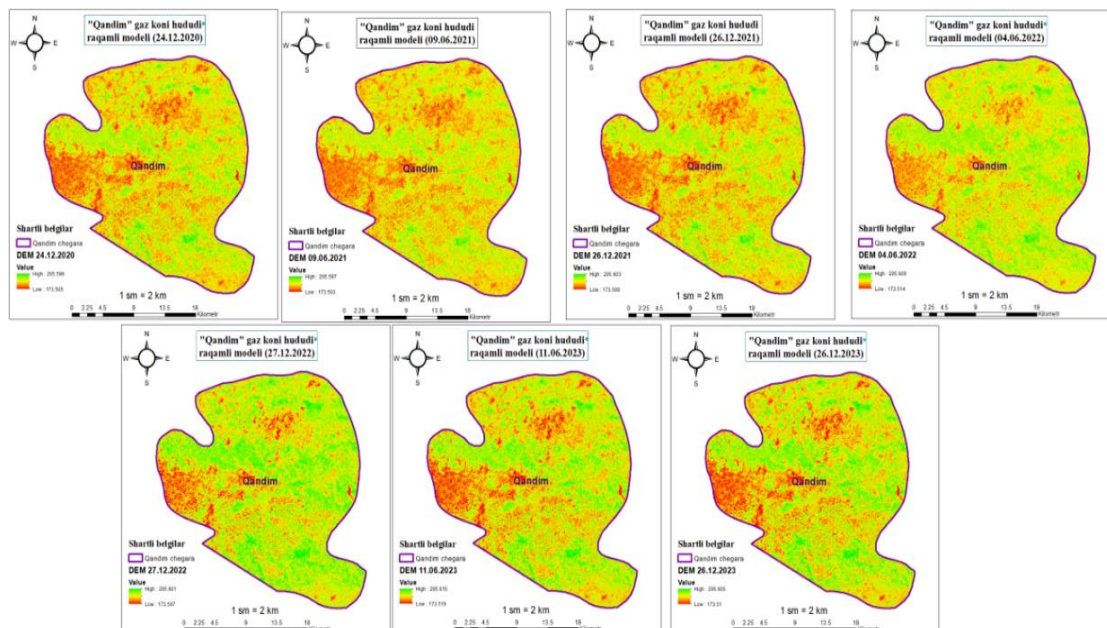
SNAP dasturida yaratilgan raqamli relyef modellar (DEM) ArcGIS muhitiga import qilindi va Clip Raster algoritmi yordamida Qandim gaz koni hududi alohida ajratildi. Shunga o‘xshash amallar 2017–2023 yillar davomida olingan boshqa RRMlar uchun ham bajarildi. ArcGISdagi Raster Calculator algoritmi yordamida relyefning yillik fazoviy o‘zgarishlari tahlil qilindi. Deformatsion jarayonlarni uzluksiz monitoring qilishni tashkil etish uchun ModelBuilder muhiti qo‘llanilib, ma’lumotlarni qayta ishlash va hisob-kitoblarni avtomatlashtirish ta’minlandi.

Tadqiq etilayotgan hududda geodinamik faollikni baholash maqsadida 2017–2023 yillar davomida yaratilgan jami 14 ta RRM (DEM) ishlatildi, ular yarim yillik interval bilan tuzilgan (7–8-rasm).



7-rasm .Qandim gaz koni hududining 2017 yildan 2019 yilgacha bo‘lgan yarim yillik DEM tasvirlari

Tuzilgan kartalarda qoʻllanilgan rangli gradatsiya balandlik qiymatlarining farqlanishini aks ettiradi: qizil va toʻq sariq ranglar yer yuzasining choʻkish holatini, yashil hamda och sariq ranglar esa nisbatan barqaror yoki koʻtarilgan zonalarni koʻrsatadi. DEM tahlillari natijasida aniqlangan balandlik qiymatlari -1,527 dan +1,567 metr gacha oʻzgarib, bu holat choʻkish jarayonlari bilan bir qatorda yer yuzasining ayrim qismlarida koʻtarilish tendensiyalarining ham mavjudligini isbotlaydi. InSAR texnologiyasi olingan kosmo surat maʼlumotlari aniqligi bir pikselda 30×30m boʻlib, bunda masshtab aniqligi boʻyicha 1:300000 ga tengdir.



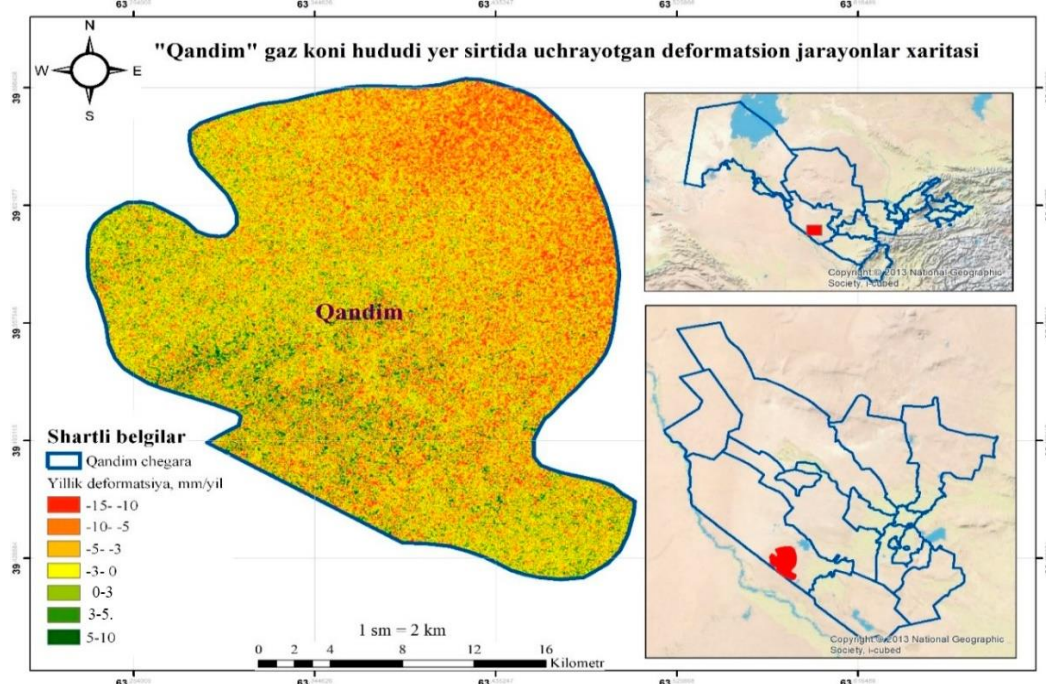
**8-rasm .Qandim gaz koni hududining 2020 yildan 2023 yilgacha boʻlgan yarim yillik DEM tasvirlari**

Tadqiqot davomida foydalanilgan InSAR texnologiyasi asosida olingan tasvir maʼlumotlari har bir tasvir uchun sanalar, kontur ramkasi, orbita yoʻnalishi, polarizatsiya rejimi, model va tushish yoʻlagi kabi muhim parametrlariga asoslanildi. Bu parametrlar InSAR tasvirlarini tahlil qilishda yer yuzasidagi deformatsiyalarni aniqlash va monitoring qilishda foydalanildi.

Orbita yoʻnalishi (ascending) tasvirlarni yuqoridan pastga qarab olishni anglatib, yer yuzasidagi oʻzgarishlarni aniqroq tahlil qilish imkonini beradi. Vertikal-vertikal (VV) polarizatsiya rejimi deformatsiyalar va harakatlarni yuqori aniqlikda aniqlashga yordam beradi. Model parametri (IW) esa tasvirlarning qamrov hududini koʻrsatadi

Masofadan zondlash, xususan, InSAR texnologiyasining asosiy afzalligi katta hududlarni qisqa vaqtda, jismoniy mavjud boʻlish talab qilinmasdan qamrab olish imkoniyatidir. Bu 1:300000 deformatsion kartalar yaratishda dala oʻlchash ishlarini arzonlashtirib, maʼlumotlarni tez toʻplash va tadqiq qilish imkonini beradi. Shuningdek, ochiq sunʼiy yoʻldosh maʼlumotlari moliyaviy xarajatlarni kamaytiradi, GAT tizimlari bilan integratsiya esa kompleks tahlilni taʼminlaydi. Biroq, usulning baʼzi cheklolari mavjud boʻlib, ular sunʼiy yoʻldosh maʼlumotlarining mavjudligiga va tashqi omillar, masalan, ob-havo sharoitlari va oʻsimliklar qoplaminig taʼsiriga bogʻliqdir.

Qandim gaz koni hududidagi maydonning yer yuzasidagi uchrayotgan deformatsion jarayonlarning o‘rtacha- yillik monitoring kartasi yaratildi (9-rasm).



**9-rasm. Qandim Gaz koni hududidagi maydonning yer yuzasidagi o‘rtacha-yillik deformatsion jarayonlar kartasi**

Tadqiqot obyekti hududida o‘simliklar qoplamasining minimal bo‘lishi tufayli, masofadan zondlash usuli, xususan InSAR, deformatsiya jarayonlarini tahlil qilishda yuqori aniqlikni ta‘minlaydi. Kam o‘simlik qoplamasi vegetatsiya shovqinining interferometrik ma‘lumotlarga ta‘sirini kamaytiradi, bu esa o‘lchovlar aniqligi va natijalar ishonchligini oshiradi. Tadqiqot davomida sun‘iy yo‘ldosh texnologiyalaridan tabiiy va sun‘iy obyektlarning holatini aniq va tezkor monitoring qilishda foydalanildi.

Tadqiqotni amalga oshirish jarayonida masofadan zondlash usuli orqali monitoring qilish usullarining hamda an‘anaviy geodezik usullarning afzalliklari va cheklolari o‘rganildi.

Olib borilgan tadqiqotlar InSAR texnologiyasining yer yuzasida sodir bo‘ladigan vertikal deformatsion jarayonlarni aniqlash va monitoring qilishda samaradorligini oshishi tasdiqladi. Sentinel-1 ma‘lumotlari SNAP muhitida 2×2 m piksel o‘lchamida qayta ishlanib, ArcGIS tizimiga integratsiya qilindi va deformatsion karta yaratildi. Karta WGS84 koordinata tizimida (UTM proyeksiyasi) ishlandi va etalon geodezik nuqtalarga bog‘lash orqali tekshirildi. DEMning aniqligi RMSE orqali baholangan.

## XULOSA

Geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o‘zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish (Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida) mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiya bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Olib borilgan tadqiqotlar asosida yer yuzasidagi geodinamik jarayonlarni aniqlash va monitoring qilish uchun geodezik o'lchashlar (GNSS, yuqori aniqlikdagi nivelirlash, taxeometrik s'yomkalar), masofadan zondlash (InSAR) va GAT (ArcGIS) integratsiyasiga asoslangan, lokal va keng hududlarda deformatsiyalarni yuqori aniqlikda aniqlash, fazoviy-vaqt tahlilini amalga oshirish hamda natijalarni vizuallashtirish imkonini beradigan takomillashtirilgan usul ishlab chiqildi.

2. Tadqiqot davomida yer yuzasining vertikal deformatsiyalarini yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradigan ( qisqa muddatli kuzatuvlarda  $\pm 1-5$  mm, uzoq muddatli davrlarda  $\pm 1-2$  sm), Sentinel-1 + InSAR + SNAP + ArcGIS metodikasi ishlab chiqildi. Ushbu metodika yordamida keng maydonlarni geodezik dala o'lchash ishlarini o'tkazmasdan monitoring qilish, hamda monitoring xarajatlarini 30–40% ga kamaytirish imkoni borligi aniqlandi.

3. InSAR texnologiyasi yordamida deformatsion jarayonlarning fazoviy aniqligi 2–5 m gacha oshirilishi mumkinligi, bu 1:10 000–1:25 000 masshtabdagi yirik kartalarni yaratishga imkon berishi aniqlandi. Shu bilan birga hisob-kitoblar aniqligi atmosfera shovqinlari, relyef burchagi, o'simlik qoplami zichligi va xususiyatlari, boshlang'ich sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarining sifati hamda interferometrik ishlov berish parametrlariga bog'liqligi o'z isbotini topdi.

4. Sentinel-1 ma'lumotlari asosida InSAR texnologiyasi yordamida yer yuzasidagi deformatsiyalarni aniqlashda eng yuqori aniqlik vegetatsiya qoplami kam bo'lgan hududlarda va ochiq joylarda erishilishi aniqlandi.

5. 2017-yil iyunidan 2023-yil dekabrigha qadar Qandim gaz koni hududida geodinamik faolligni baholash maqsadida 16 ta DEMlari tahlil qilindi. Tahlil natijalariga ko'ra, markaziy texnogen faol hududlarda o'rtacha yillik vertikal deformatsiya  $-10$  mm/yarim yil (cho'kish), chekka hududlarda esa vertikal deformatsiya  $\pm 50$  mm doirasida cheklanganligi aniqlandi. Mavsumiy o'zgarishlar  $\pm 10-20$  mm ni tashkil qilib, hududdagi geodinamik jarayonlarning barqaror va nazorat ostida ekanligi aniqlandi.

6. Yaratilgan RRMLarning aniqligi Davlat geodezik tarmog'i ma'lumotlari asosida baholandi. GNSS va Sentinel-1 DEM modellarining o'rtacha balandlik qiymatlari juda yaqin (GNSS – 157,981 m, Sentinel-1 DEM – 157,977 m; farq – 0,004 m), bu Sentinel-1 DEMning yuqori aniqligini tasdiqlaydi. GNSS modelining RMSE qiymati 0,003 m bo'lib, Sentinel-1 DEMning RMSE bilan yaqinligi uning ham ishonchligi baholandi.

7. Murakkab algoritmlar va jarayonlarni yaratishda ModelBuilderdan foydalangan holda Qandim gaz koni hududida yer yuzasidagi deformatsion jarayonlarning o'rtacha- yillik monitoring kartasi ishlab chiqildi.

8. Tadqiqot natijalari Sentinel-1 va InSAR texnologiyalari vertikal deformatsiyalarni aniqlashda samarali ekanligini ko'rsatdi, 100–5000 km<sup>2</sup> gacha bo'lgan hududni qamrab olish imkoniga egadir. Ma'lumotlarni tez va xavfsiz yig'ish imkoniyati, shuningdek, ochiq sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarining mavjudligi monitoring samaradorligini oshiradi. Ushbu yondashuv boshqa gaz konlari hududlarida geodinamik jarayonlarni nazorat qilish uchun ham qo'llanilishi mumkinligi o'z isbotini topdi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
PhD.26/26.01.2023.Т.109.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА**

---

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА**

**МУЛЛОДЖАНОВА ГУЛНОЗА МУХИДДИНОВНА**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА МОНИТОРИНГА  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
НА ОСНОВЕ ГЕОИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
(На примере газового месторождения Кандым Бухарской области)**

**11.00.07 – Геоинформатика**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Самарканд – 2025**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инновации Республики Узбекистан под номером B2024.4PhDT5191.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном архитектурно-строительном университете имени Мирзо Улугбека.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) на веб-сайте Научного совета ([www.samdaqu.uz](http://www.samdaqu.uz)) и на информационно-образовательном портале «Zionet» (<http://www.zionet.uz>).

Научный руководитель:	Суёнов Абдусали Саматович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Реймов Полат Расбергенович доктор географических наук (DSc), профессор Маматкулов Зоҳид Жонқобилович доктор философии технических наук (PhD), доцент
Ведущая организация:	Бухарский государственный технический университет

Защита диссертации состоится "24" октября 2025 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании разового научного совета при Научном совете PhD 26/26.01.2023.Т.109.04 Самаркандском государственном архитектурно-строительном университете (Адрес: 140147, г. Самарканд, улица Лолазор, 70. Тел. (998-66) 237-15-93, Факс (99866) 237-26-30, E-mail: [samdaqu@edu.uz](mailto:samdaqu@edu.uz), [samdaqum@samdaqi.edu.uz](mailto:samdaqum@samdaqi.edu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета имени Мирзо Улугбека (зарегистрирована за номером № 275) Адрес: 140147, г. Самарканд, улица Лолазор, 70. Телефон: (998-66) 237-15-93.

Автореферат диссертации разослан "10" 10 2025 года,  
(реестр протокола рассылки "03" 10.10 2025 года)



**Д.Ш. Фазилова**  
Заместитель председателя разового Научного совета по присуждению ученой степени, д.ф-м.н., профессор

**В.Р. Ниязов**  
Ученый секретарь разового Научного совета по присуждению ученой степени, доктор философии по техническим наукам (PhD)

**С.Б. Аббасов**  
Председатель научного семинара при разовом Научном совете по присуждению ученой степени, д.г.н., профессор

## ВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** В мире и в различных его регионах особое значение приобретает развитие исследований, направленных на анализ и изучение деформационных изменений земной поверхности, возникающих под воздействием техногенных и природных процессов, с применением технологий дистанционного зондирования (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС). В настоящее время в развитых странах мира одной из актуальных задач является автоматизация мониторинга деформационных процессов на поверхности земли, минимизация человеческого фактора и широкое внедрение инновационных решений. В связи с этим в Сендайской рамочной программе действий по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030)<sup>3</sup> использование технологий ДЗЗ определяется в качестве ведущих направлений при оценке последствий чрезвычайных ситуаций и их управлении. Также особое внимание уделяется таким важным вопросам как разработка эффективных систем наблюдения, обеспечивающих возможность постоянного мониторинга деформационных процессов на поверхности земли, их выявления и анализа с применением геоинформационных методов.

В мире приоритетное значение придается научно-исследовательским работам, направленным на совершенствование методов мониторинга деформационных изменений земной поверхности на основе интеграции данных ДЗЗ с технологиями ГИС. В связи с этим одной из важнейших задач является повышение эффективности мониторинга деформационных изменений земной поверхности в районах газовых месторождений посредством оценки точности цифровых моделей рельефа (ЦМР, DEM), созданных с применением технологии InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), а также разработки цифровых карт на основе современных геоинформационных технологий.

В нашей Республике реализуются комплексные меры, направленные на развитие систем мониторинга сейсмогеодинамических процессов на нефтегазовых месторождениях, включая внедрение геоинновационных технологий для наблюдения деформационных изменений земной поверхности, совершенствование методик их анализа и повышение эффективности управления результатами геодинамических исследований. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы, в частности, определены важные задачи по «...внедрению современных технологий дистанционного зондирования и восстановления посредством спутниковых технологий»<sup>4</sup>. В реализации данных задач, важное значение приобретает разработка методов использования технологий ДЗЗ и ГИС систем, проведение

---

<sup>3</sup> [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf)

<sup>4</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 28.01.2022-yildagi PF-60-sonli “2022 - 2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi Farmoni

научных исследований по сохранению территорий, подверженных техногенным и природным воздействиям, а также по рациональному использованию природных ресурсов.

Данная диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, определённых следующими нормативно-правовыми актами: Постановлением Президента Республики Узбекистан от 30 декабря 2021 года № ПП-72 «Об утверждении инвестиционной программы Республики Узбекистан на 2022–2026 годы и внедрении новых подходов и механизмов управления инвестиционными проектами», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 мая 2015 года № 127 «О мерах по организации строительства объектов внешней инфраструктуры Кандымского завода по переработке газа», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 25 ноября 2020 года № 746 «О совершенствовании системы мониторинга воздействия освоения нефтегазовых месторождений на сейсмогеодинамические процессы», а также другими нормативно-правовыми документами, регулирующими данную сферу.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и техники Республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики VIII. «Науки о Земле», IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Анализ научной литературы, относящейся к данной области, показывает, что исследования по мониторингу изменений земной поверхности на геодинамических полигонах газовых месторождений проводились как учеными из зарубежных стран, стран СНГ, так и в нашей республике.

Вопросы мониторинга деформационных изменений земной поверхности и развития теоретических и методических основ технологий геодинамического мониторинга изучались рядом зарубежных исследователей, среди которых M. Bouaziz, Y. Bendorff, M. Blanche, N. Zhuskar, P. Ganie, R. Posti, K. Kunal, Sh. Yan, Zh. Chenning, T. Webster, M. Pritchard, Z. Yang, Z. Zhang, A. Dairu, N. Jusca, Sh. Yan, Zh. Chen, G. Dias и другие учёные, добившиеся положительных результатов.

Среди исследователей стран СНГ значительный вклад внесли А.А. Абетов, Ю.О. Кузьмин, Г.И. Грива, А.В. Брушко, В.П. Мельников, В.В. Самсонова, А.В. Дещеревский, Е.А. Фаттахова, Д.К. Кузьмина, А.А. Казаков, Д.В. Аман, А.В. Земсова, Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, И.В. Бычкова, В.Н. Опарин, В.П. Потапов, А.А. Панжин, Н.А. Панжина, С.С. Кудайбергана, и К.Н. Акатов. Их предложения и рекомендации находят применение в современной практике.

Среди отечественных учёных Е.Р. Мирмахмудов, Д.Ш. Фазилова, А.С. Суюнов, О.З. Арабов, В.Р. Ниязов и другие занимались вопросами геодезического мониторинга на основе данных глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), а также проблемами геомоделирования пространственных данных, получив при этом положительные результаты.

В настоящее время в ряде регионов страны вопросы мониторинга и анализа деформационных процессов земной поверхности с использованием дистанционного зондирования и геоинформационных технологий недостаточно изучены. Актуальными остаются задачи совершенствования методов мониторинга на геодинамических полигонах газовых месторождений, создания цифровых моделей деформаций, оценки точности ЦМР по технологии InSAR, а также интеграции топографо-геодезических и геоинформационных методов. В связи с этим необходимо совершенствование методологии применения геопространственных технологий.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательской работы высшего учебного заведения, в котором выполняется диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских работ Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета имени Мирзо Улугбека по проекту «Совершенствование метода мониторинга деформационных изменений земной поверхности на основе геоинновационных технологий (на примере Кандымского газового месторождения Бухарской области)» (2023–2025 гг.). Кроме того, диссертационная работа реализована в рамках научно-исследовательских планов Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета и международного проекта Европейского Союза Erasmus+ 585718+YeRR-1-2017-1-HUEPPKA2-CBHE-JP «DSinGis: Докторантура в области геоинформатики» (15.10.2017–14.10.2020 гг.).

**Целью исследования** является разработка предложений и рекомендаций по совершенствованию метода мониторинга деформационных изменений земной поверхности геодинамических полигонов газовых месторождений на основе геоинформационных систем и технологий дистанционного зондирования.

**Задачи исследования:**

совершенствование метода мониторинга деформационных изменений на нефтяных и газовых месторождениях на основе интеграции геодезических, дистанционного зондирования и ГИС технологий;

совершенствование методики выявления деформаций исследуемого объекта с учётом пространственных изменений на основе современных технологий и данных дистанционного зондирования;

совершенствование метода оценки точности цифровых моделей рельефа, созданных с применением технологии InSAR, при выявлении деформаций земной поверхности;

создание цифровой карты для визуального мониторинга и анализа деформаций земной поверхности исследуемого объекта в ArcGIS путём интеграции ЦМР, построенных по периодическим снимкам Sentinel-1 SAR.

**Объектом исследования** является месторождение Кандым, расположенное в Бухарской области.

**Предметом исследования** является моделирование деформационных полей земной поверхности на основе данных InSAR в сочетании с ГИС-анализом и геодезическим мониторингом на газовом месторождении.

**Методы исследования.** В работе применялись данные ДЗЗ (в т.ч. Sentinel-1 SAR) и топографо-геодезические измерения; ГИС-технологии и средства геовизуализации; интерферометрия SAR (InSAR); геопространственный и сопоставительный анализ; корреляционный анализ; оценка точности по среднеквадратическим погрешностям (RMSE); геодинамическое моделирование; построение деформационных карт.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

усовершенствована методика мониторинга деформационных изменений на нефтегазовых месторождениях на основе геодезических методов, технологий дистанционного зондирования и геоинформационных систем;

разработана методика выявления деформаций на территории газовых месторождений с учётом вертикальных смещений с использованием технологии интерферометрического радара с синтезированной апертурой (InSAR) и программы Sentinel Application Platform (SNAP);

усовершенствована методика оценки точности цифровых моделей рельефа, созданных с помощью метода InSAR для определения наблюдаемых на поверхности деформаций;

разработана методология интеграции данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа, рассчитанных в программе SNAP, в среду ArcGIS для научного картографирования деформационных процессов на Кандымском месторождении.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

усовершенствована методика мониторинга деформационных изменений на поверхности объекта исследования Кандымского газового месторождения на основе геодезического анализа, дистанционного зондирования и ГИС технологий;

определены деформации в районе газового месторождения Кандым с помощью современных технологий и программ с учетом пространственных изменений;

создана цифровая модель рельефа (ЦМР) объекта с использованием методов дистанционного зондирования для обнаружения и оценки деформаций;

создана карта деформаций земной поверхности Кандымского газового месторождения на основе интеграции DEM, построенных по данным Sentinel-1 SAR, в среде ArcGIS.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается использованием данных Агентством кадастра при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан Республиканского аэрогеодезического центра Хорезмского межрегионального отделения, а также Кандымского газоперерабатывающего комплекса. Полученные результаты были одобрены уполномоченными структурами, что подтверждает их практическую значимость.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная ценность результатов заключается в расширении возможностей информационного обеспечения геодинамического мониторинга на основе

геодезических и геоинформационных технологий для газовых месторождений.

На основе геоинновационных технологий были усовершенствованы методы наблюдения деформаций на нефтегазовых месторождениях. По результатам исследования предложены пути совершенствования непрерывных и периодических геодезических наблюдений на нефтегазовых месторождениях с применением современных программных средств, включая математическую обработку, сопоставление и анализ измерений, а также для разработки целевых государственных программ и рекомендаций для предприятий.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по совершенствованию методов мониторинга деформационных изменений земной поверхности с применением геоинновационных технологий:

- предложения по совершенствованию метода мониторинга деформационных изменений на нефтяных и газовых месторождениях на основе интеграции геодезических методов, дистанционного зондирования и ГИС-технологий внедрены в Республиканском аэрогеодезическом центре Хорезмского межрегионального отделения (Справка № 05/527 Агентства кадастра при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан). В результате достигнуто снижение дисперсии в определении деформаций на нефтегазовых месторождениях, повышение достоверности обработанных экспериментальных результатов и соответственно, уменьшение погрешностей;

- усовершенствован метод оценки точности DEM, созданный с использованием технологии InSAR при определении деформаций на исследуемой территории, внедрён в Республиканском аэрогеодезическом центре Хорезмского межрегионального отделения (Справка № 05/527 Агентства кадастра при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан). В результате применение технологий дистанционного зондирования позволило достичь существенных преимуществ в мониторинге и научном анализе деформаций. Это, в свою очередь, обеспечило значительное повышение эффективности выявления деформаций в сложных и труднодоступных регионах Республики;

- разработана карта деформационных процессов земной поверхности Кандымского газового месторождения на основе интеграции данных дистанционного зондирования и DEM модели, полученной в программном обеспечении SNAP, в среду ArcGIS. Внедрение результатов в Республиканском аэрогеодезическом центре Хорезмского межрегионального отделения (Справка № 05/527 Агентства кадастра при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан) обеспечило возможность создания высокоточной карты деформаций на основе интеграции данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. В результате эффективность визуального мониторинга и прогноза геодинамических процессов на нефтяных и газовых месторождениях была повышена на 8–10 %.

**Апробация результатов исследования.** Полученные результаты исследования были обсуждены на 8 научно-практических конференциях, 6 международных и 2 республиканских.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 8 научных статей - в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 6 - в республиканских и 2 - в зарубежных изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 119 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В введении** обосновывается актуальность и необходимость диссертационного исследования, формулируются цели и задачи исследования, а также объекты и предметы, указывается соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан, описывается научная новизна и практические результаты исследования. Широко раскрывается теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования, опубликованных в научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Научные и теоретические основы мониторинга деформационных изменений земной поверхности в районах газовых месторождений»** проанализированы теоретическая и практическая значимость мониторинга изменений земной поверхности в пределах газовых месторождений, опыт наблюдений за деформационными изменениями земной поверхности, а также научно обоснована эффективность применения геодезических методов в пределах месторождений. Кроме того, подробно рассмотрены роль геодезических методов в выявлении и оценке деформационных процессов, а также возможности их практического применения.

В результате анализа научной литературы и проведенных исследований было установлено, что добыча нефти и газа связана с риском возникновения геодинамических нарушений. В научных источниках высказываются мнения о том, что землетрясения, произошедшие в Газли (Узбекистан) и Нефтегорске (Сахалин), могут быть связаны с процессами эксплуатации месторождений.

На основе изучения более 80 научных работ выявлено, что высокоточное нивелирование, GNSS, InSAR, LIDAR и гравиметрические наблюдения обеспечивают эффективные результаты при выявлении деформационных процессов. Однако, в существующих исследованиях основной акцент сделан на инструментальный контроль, тогда как пространственно-временной анализ и комплексный подход применяются недостаточно. В связи с этим обоснована актуальность внедрения на месторождениях многокомпонентных,



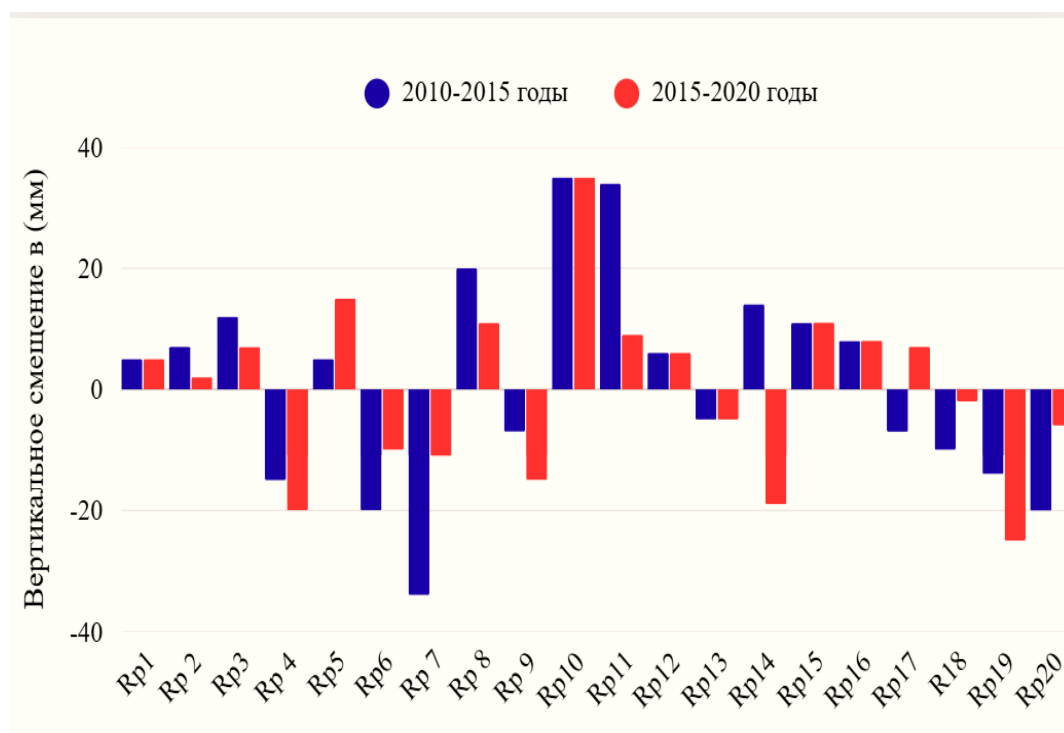
В гидрогеологическом отношении первый водоносный горизонт ограничен нижнеантропогенными и плиоценовыми песками и песчаниками. В зависимости от рельефа и литологических различий он залегает на глубине от 2,5–7,0 до 10 м и характеризуется горько-солёным качеством.

Растительный покров - крайне бедный, представлен преимущественно травянистыми формами, которые в течение лета полностью выгорают.

В ходе исследования обоснована необходимость комплексного применения геодезических и дистанционных методов (GNSS, высокоточное нивелирование, дистанционное зондирование) для оценки геодинамической активности. На территории Кандымского газового месторождения проведены рекогносцировочные и нивелирные работы, определены опорные пункты существующей геодезической сети и проанализировано их техническое состояние. На геодинамическом полигоне выполнены геодезические измерения статическим методом GNSS, координаты реперов уточнены в международной системе WGS-84, что позволило сформировать критерии для последующего мониторинга геодинамических процессов.

Уравненные координаты реперов за 2010, 2015 и 2020 годы были определены в рамках объекта «Реализация проекта по наблюдению за движением земной поверхности на Кандымском месторождении-геодинамический мониторинг» с использованием программы - Trimble Business Center, и были получены соответствующие результаты.

На следующем этапе в процессе геодинамических наблюдений на основе данных за период 2015–2020 годов был проведён анализ изменений высот реперов.



**Рис. 2. Вертикальные смещения реперов Кандымского газового месторождения за 2010–2020 годы**

Из представленных данных следует, что на отдельных реперах в период 2010–2015 годов фиксировались оседание земной поверхности, тогда как в 2015–2020 годах наблюдалось их поднятие. В частности, на пунктах Rp10 и Rp11 зарегистрированы вертикальные поднятия до 30–35 мм, тогда как на ряде других пунктов отмечены оседания (рис.2). Полученные результаты подтверждают неравномерное развитие геодинамических процессов на территории Кандымского газового месторождения, а также пространственно-временную изменчивость деформационных явлений.

На основе проведённых комплексных исследований была разработана усовершенствованная методика выявления и мониторинга геодинамических процессов на поверхности земли. Данная методика основана на геодезических измерениях, технологиях дистанционного зондирования и интеграции ГИС. Геодезические измерения (GNSS, высокоточное нивелирование и тахеометрическая съёмка) обеспечивают высокую точность определения высот и координат на локальном масштабе. Метод дистанционного зондирования, в частности технология InSAR, позволяет регулярно наблюдать за большими территориями и периодически фиксировать деформационные процессы. ГИС (ArcGIS) обеспечивает интеграцию данных из различных источников, их цифровое моделирование, проведение пространственно-временного анализа и визуализацию (рис. 3).

Данный интегрированный подход повышает точность и эффективность мониторинга, обеспечивая всесторонний системный анализ деформационных процессов на поверхности земли. Кроме того, он позволяет снизить дисперсию результатов при выявлении деформаций на нефтяных и газовых месторождениях, повысить надёжность обработанных экспериментальных данных и, соответственно, уменьшить неопределённость измерений.



**Рис. 3. Усовершенствованный метод мониторинга деформационных изменений, происходящих на поверхности земли**

В третьей главе диссертации под названием «**Совершенствование метода мониторинга деформационных изменений земной поверхности на территории Кандымского газового месторождения на основе геоинновационных технологий**» проведено определение вертикальных деформационных процессов с использованием технологий ДЗЗ, создание ЦМР на основе технологии InSAR с оценкой её точности, а также усовершенствование методов выявления изменений земной поверхности с применением геоинновационных технологий, включая разработку классификации деформационных показателей и интеграцию данных ДЗЗ с ГИС.

Принцип работы технологии InSAR заключается в том, что спутник несколько раз сканирует одну и ту же территорию в разное время с помощью радарного излучения. Радарные лучи отражаются от поверхности Земли, и возвращённый сигнал фиксируется. Фазовые различия, полученные в результате нескольких наблюдений, измеряются с помощью интерферограммы. Эти фазовые различия являются результатом малых деформаций земной поверхности.

В ходе исследования был проведён многопериодный анализ изображений Sentinel-1 SAR с использованием технологии InSAR для выявления динамики деформационных процессов в районе Кандымского газового месторождения.

Данная технология охватывает все основные этапы работы - выявление, оценку, картографирование, анализ и мониторинг деформационных процессов, обеспечивая комплексное наблюдение территории и позволяя получать количественные показатели изменений.

При отборе данных была определена зона охвата территории и выбрана система поляризации VV+VH. Такой выбор обусловлен тем, что спутник Sentinel-1 работает в С-диапазоне и способен собирать данные в двух режимах поляризации, что позволяет более точно выделять характеристики поверхности и фиксировать даже незначительные деформации.

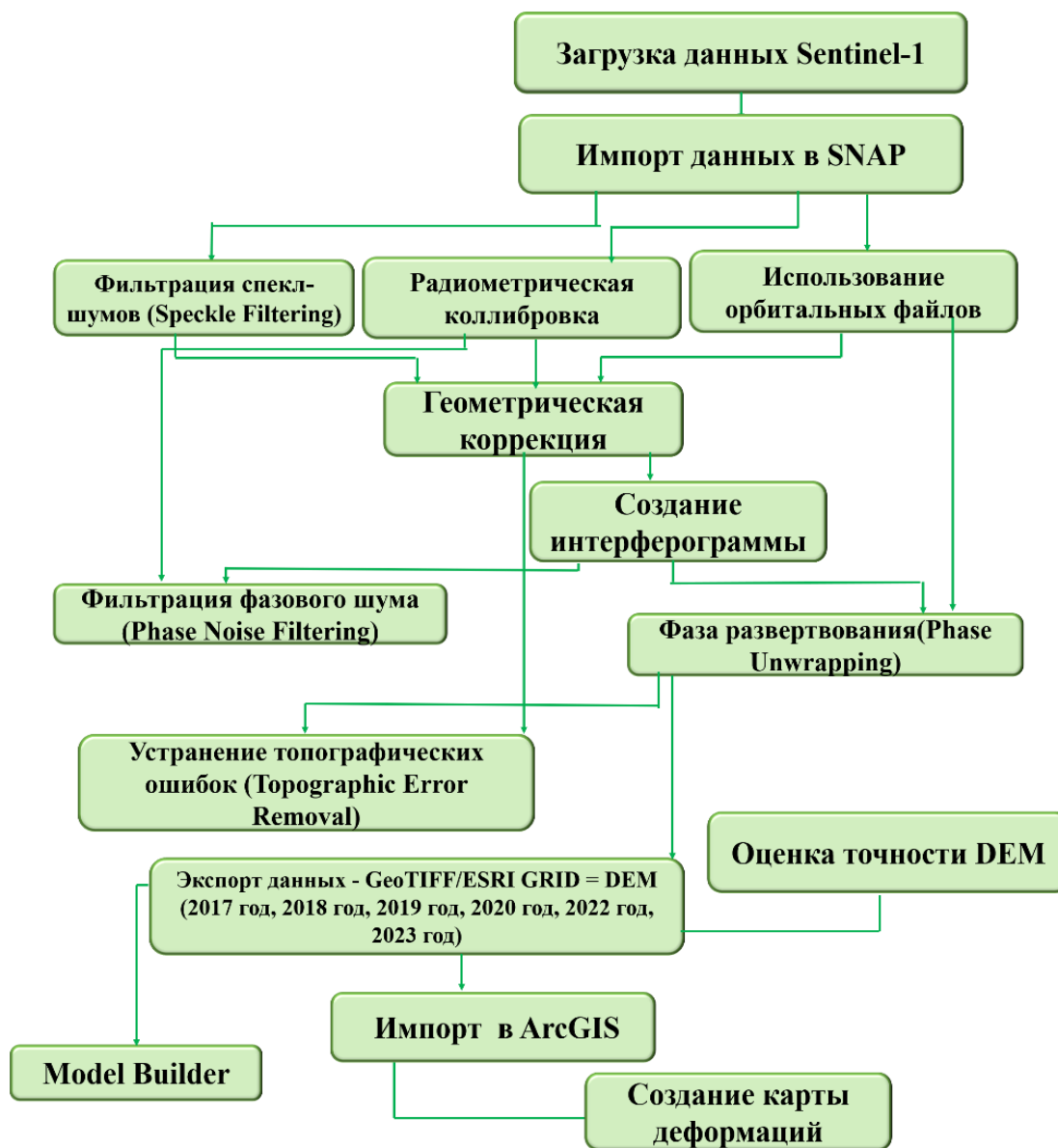
Для получения и обработки данных, а также обеспечения высокой точности результатов была разработана методика выявления деформаций с использованием программы SNAP (рис. 4).

Эта методика включает этапы предобработки изображений, коррекции ошибок, построения интерферограмм и генерации цифровых моделей рельефа, что обеспечивает надёжное количественное определение деформационных процессов на территории исследуемого газового месторождения.

Геометрическая калибровка InSAR-данных обеспечивает пространственную корректность изображений и их правильное совмещение. Это, в свою очередь, позволило проводить сравнение и объединение InSAR-данных, полученных в разные периоды времени.

В результате геометрической калибровки появилась возможность точного позиционирования и анализа объектов земной поверхности. Радиометрическая калибровка способствует определению и стандартизации радиометрических характеристик изображений.

В этом процессе интенсивность электромагнитных волн, отражённых на изображениях, фиксируется точно и отображается в стандартных единицах измерения. В итоге относительные и абсолютные значения изображений становятся более достоверными.



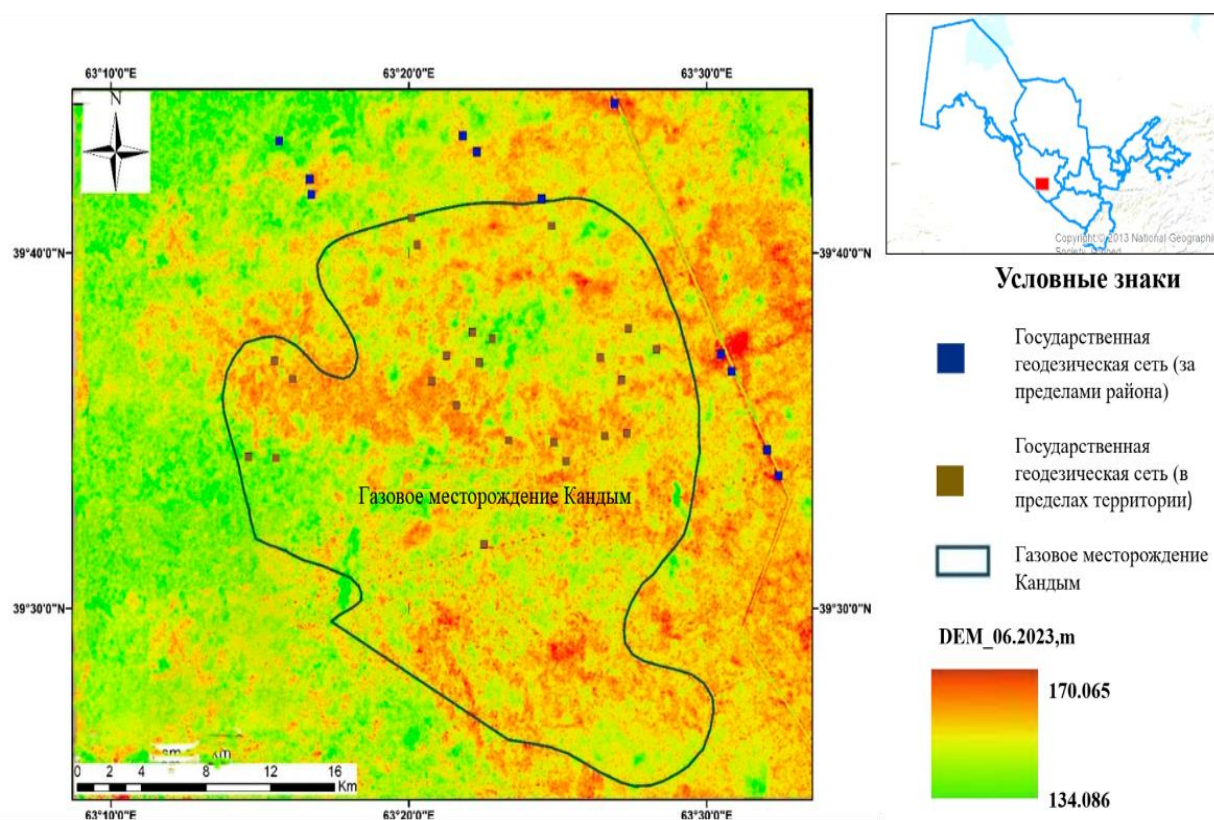
**Рис. 4. Алгоритм картографирования деформации земной поверхности с использованием технологии InSAR на основе данных Sentinel-1.**

Для повышения качества фазовой информации были применены методы сглаживания (denoising). В частности, вейвлет-техника позволяет разделять данные на частотные компоненты с целью уменьшения шума при сохранении основных фазовых характеристик. Двусторонняя фильтрация использована для подавления спекл-шума с учётом пространственных сходств, что обеспечивает сохранение информативных особенностей. Метод нелокальных средних (Non-local Means, NLM) способствует сглаживанию шумов на основе менее зашумленных фрагментов изображения при сохранении пространственной согласованности.

Техника фазы развёртывания (phase unwrapping) играет важную роль в восстановлении фазовых значений и обеспечении согласованности фазовых различий, что расширяет пространственный охват SAR-данных. С помощью этих методов достигается получение корректных и точных результатов из SAR-изображений.

Применение интегрированной методики Sentinel-1 + InSAR + SNAP + ArcGIS позволяет с высокой точностью определять вертикальные деформации земной поверхности  $\pm 1-5$  мм при краткосрочных наблюдениях и  $\pm 1-2$  см при долгосрочных периодах. Точность расчетов зависит от ряда факторов: атмосферного шума, угла наклона рельефа, плотности и характера растительного покрова, качества исходных спутниковых данных, а также параметров интерферометрической обработки. Карты деформаций могут быть созданы с пространственным разрешением 10–30 м, что обеспечивает возможность формирования карт в масштабе 1:10 000 – 1:25 000.

В ходе исследования на территории полигона Кандымского газового месторождения в качестве контрольных точек использовались 24 геодезических пункта, расположенных в пределах зоны геодинамического воздействия, и 20 пунктов, находящихся за её пределами (рис. 5).



**Рис. 5. Территория Кандымского газового месторождения и расположение геодезических пунктов вокруг него**

Для обеспечения высокой надежности оценки целесообразно использовать метод сбора данных посредством оперативных геодезических наблюдений. Такой подход позволяет провести более полный анализ объектов и гарантирует достоверность получаемых результатов исследования.

Вертикальная точность определяется с помощью вертикальной средней квадратической ошибки (RMSE). Данная математическая формула получила широкое применение с конца 1970-х годов. RMSE измеряет разницу между значениями высот DEM и эталонными GPS-измерениями. Разности между этими точками называются «искажением», а RMSE служит для их объединения в единый показатель точности прогноза.

Формула RMSE имеет следующий вид:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{vi}^2} \quad (1)$$

Где,

$$e_{vi}^2 = v_{ri} - e_{mi} \quad (2)$$

*RMSE*- среднеквадратическая ошибка;

$e_{vi}^2$ - разность между высотой DEM в точке *i* и соответствующей высотой контрольной точки;

$v_{ri}$ - высота точки *i* по DEM;

$e_{mi}$ - высота контрольной точки *i*;

*n*- количество контрольных точек.

**Таблица 1.**

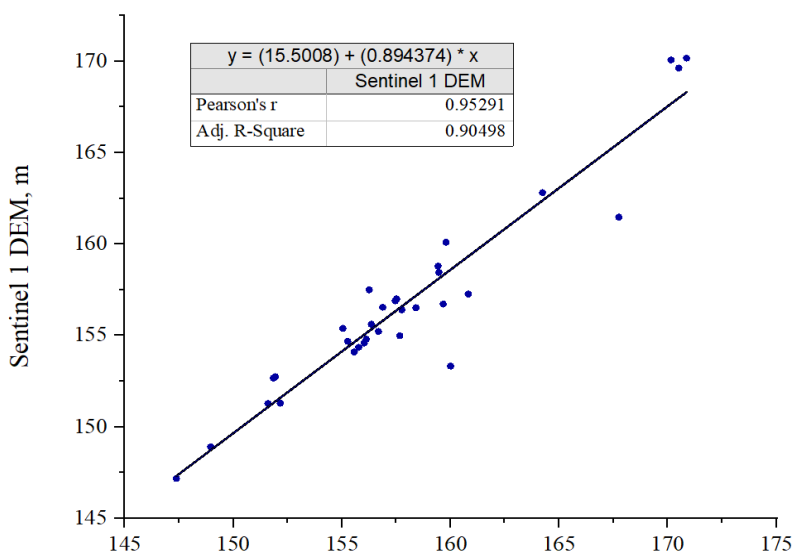
**Статистические данные, относящиеся к DEM**

Модель	Min, m	Max, m	Средняя, m	RMSE	Уравнение корреляции GNSS и DEM	Коэффициент корреляции R
GNSS	147,383	170,872	157,981	0,003	y = (15,5008) + (0,894374) * x	0,95
Sentinel-1 DEM	147,376	170,875	157,977			

На основе вышеуказанных расчетов средние значения высот по моделям GNSS и Sentinel-1 DEM оказались очень близкими, что указывает на минимальные различия между двумя моделями. Для модели GNSS среднее значение высоты составило 157,981 м, а для модели Sentinel-1 DEM - 157,977 м, что даёт разницу всего 0,004 м. Эта разница крайне мала, что свидетельствует о высокой точности модели Sentinel-1 DEM.

Значение RMSE для модели GNSS составляет 0,003 м, что отражает средний уровень погрешности измерений и подтверждает высокую точность модели. RMSE модели Sentinel-1 DEM и близость её среднего значения к GNSS указывают на её также высокую надёжность.

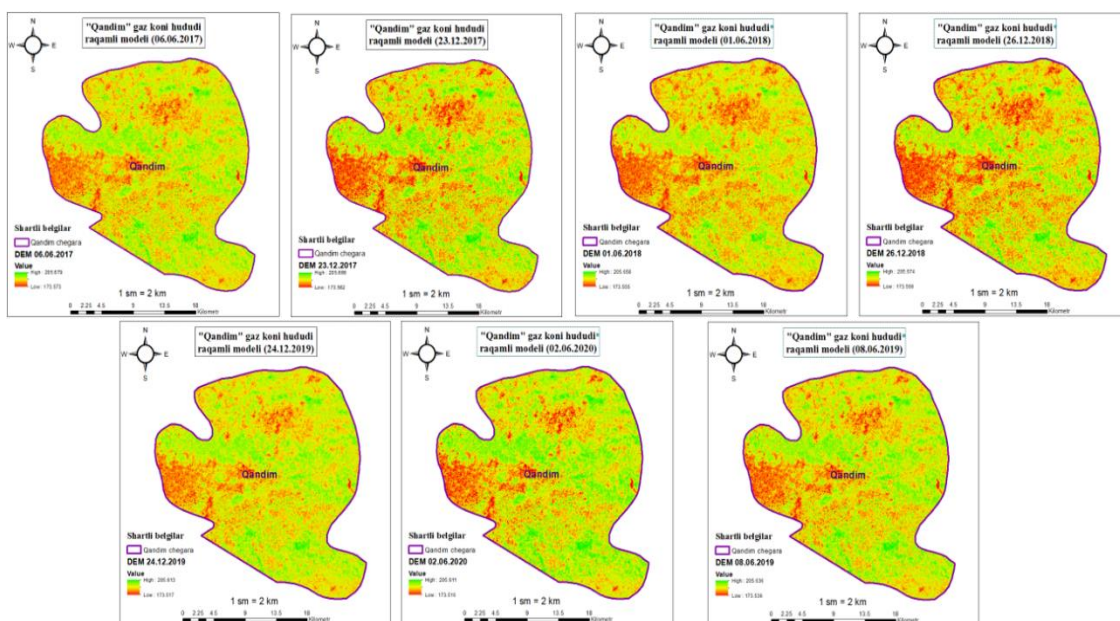
Уравнение корреляции между моделями GNSS и DEM имеет вид:  $y = (15,5008) + (0,894374) * x$ , а коэффициент корреляции  $R = 0,95$ , что указывает на очень сильную зависимость (рис. 6). Следовательно, измерения моделей GNSS и Sentinel-1 DEM хорошо согласуются и являются взаимно надёжными.



**Рис. 6. График корреляционной зависимости между моделями GNSS и DEM**

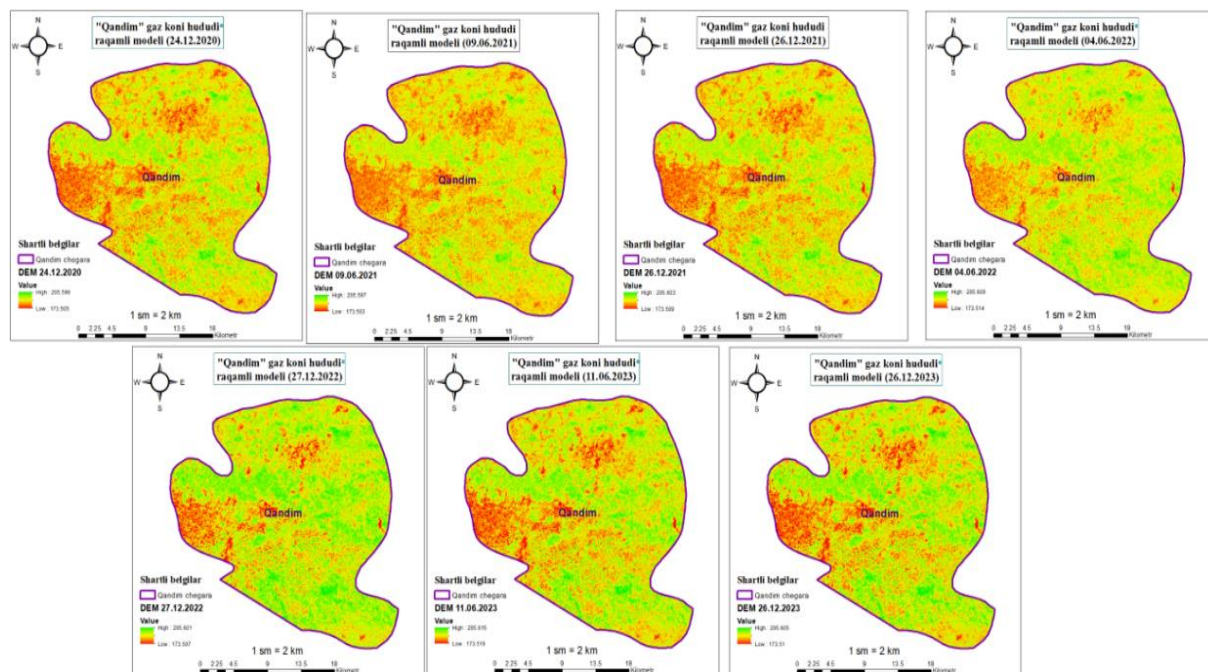
ЦМР, созданные в программе SNAP, были импортированы в ArcGIS, где с использованием алгоритма Clip Raster была выделена территория Кандымского газового месторождения. Аналогичные процедуры были проведены для остальных ЦМР за период 2017–2023 гг. С помощью алгоритма Raster Calculator в ArcGIS выполнялся анализ пространственных изменений рельефа по годам. Для организации непрерывного мониторинга деформационных процессов применялась среда ModelBuilder, обеспечивающая автоматизацию обработки данных и расчётов.

Для оценки геодинамической активности в исследуемом районе использовались всего 14 ЦМР (DEM), составленных за период с 2017 по 2023 годы с полугодовыми интервалами (рис. 7–8).



**Рис. 7. Полугодовые DEM-изображения территории Кандымского газового месторождения за 2017–2019 годы**

На созданных картах цветовая градация отражает различия высот: красные и тёмно-оранжевые оттенки показывают участки понижения поверхности, тогда как зелёные и светло-жёлтые - относительно стабильные или приподнятые зоны. По результатам анализа DEM выявленные значения высот варьировались от -1,527 до +1,567 метров, что свидетельствует о наличии не только процессов оседания, но и тенденций к поднятию отдельных участков земной поверхности. Точность данных космических снимков, полученных с использованием технологии InSAR, составляет 30×30 м на один пиксель, что соответствует масштабной точности 1:300 000.



**Рис. 8. Полугодовые DEM-изображения территории Кандымского газового месторождения за 2020–2023 годы**

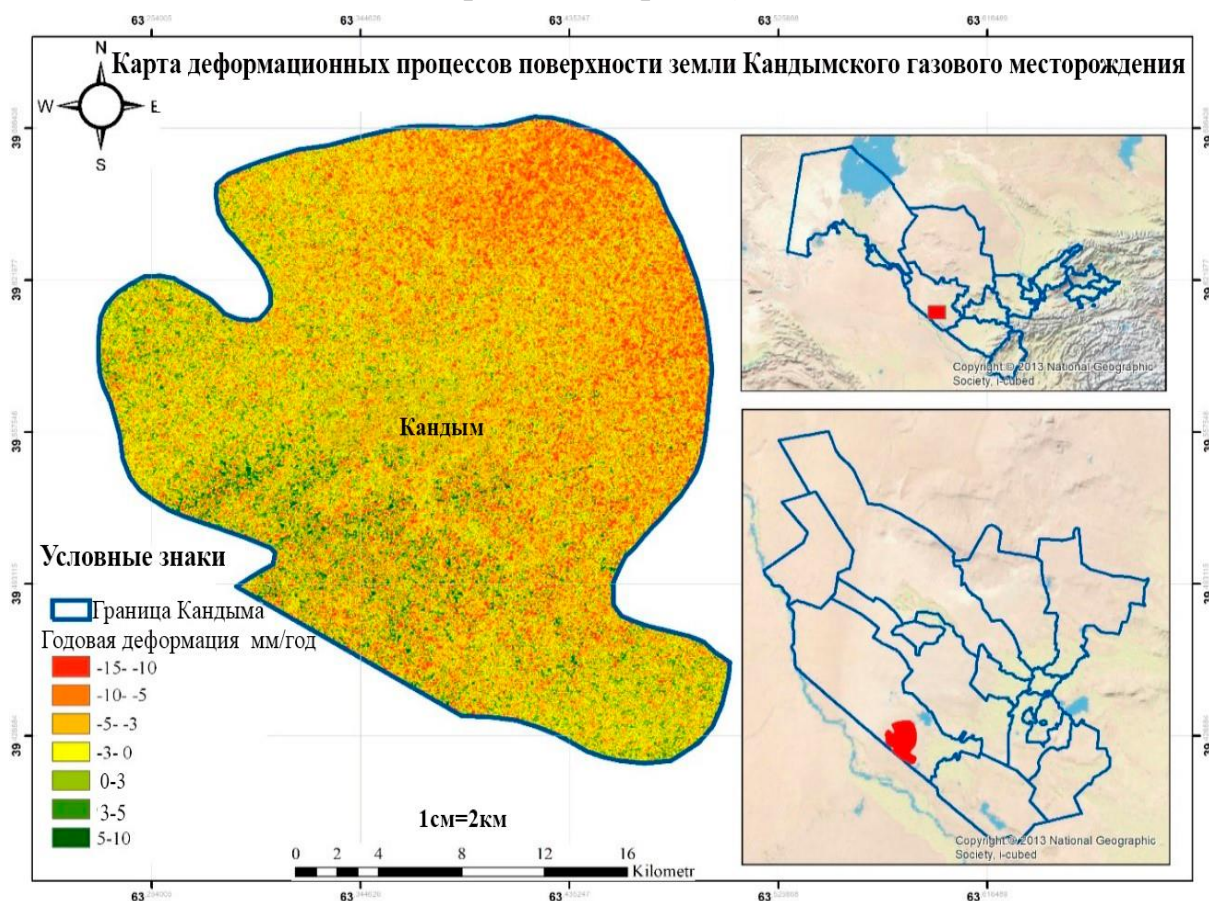
В ходе исследования использовались данные InSAR, для которых учитывались важные параметры каждого изображения: дата съёмки, контур кадра, направление орбиты, режим поляризации, модель и угол падения. Эти параметры применялись для анализа InSAR-изображений с целью выявления и мониторинга деформаций земной поверхности.

Направление орбиты (ascending) означает съёмку сверху вниз, что позволяет более точно анализировать изменения на поверхности. Режим поляризации вертикально-вертикальный (VV) обеспечивает высокоточное определение деформаций и перемещений. Параметр модели (IW) определяет площадь охвата изображения. Данные из таблицы позволяют эффективно использовать полученные изображения для выявления деформаций с помощью геодезических систем и моделей.

Основное преимущество дистанционного зондирования, в частности метода InSAR, заключается в возможности охвата больших территорий за короткое время без необходимости физического присутствия. Это сокращает финансовые расходы на полевые измерительные работы при создании карт

деформаций в масштабе 1:300000, также ускоряет процесс сбора и анализа данных. Открытые спутниковые данные снижают финансовые затраты, а интеграция с ГИС обеспечивает комплексный анализ. Однако метод имеет некоторые ограничения, зависящие от доступности спутниковых данных и влияния внешних факторов, таких как погодные условия и растительный покров.

В результате исследования была создана карта средне-ежегодного мониторинга деформационных процессов земной поверхности на территории Кандымского газового месторождения (рис. 9).



**Рис .9. Карта среднегодовых деформационных процессов земной поверхности на территории Кандымского газового месторождения**

В исследуемом районе, благодаря минимальному растительному покрову, метод дистанционного зондирования, в частности InSAR, обеспечивает высокую точность анализа деформационных процессов. Низкая плотность растительности снижает влияние интерференционного шума на данные, что повышает точность измерений и достоверность результатов. В ходе работы спутниковые технологии использовались для оперативного и точного мониторинга состояния природных и искусственных объектов. Полученные с помощью дистанционного зондирования данные продемонстрировали свою эффективность для повышения точности геодинамических, экологических и инженерных исследований, управления рисками и обоснованного принятия решений.

В процессе исследования также были изучены преимущества и ограничения методов мониторинга, основанных на дистанционном зондировании, и традиционных геодезических подходов.

Проведённые исследования подтвердили эффективность технологии InSAR в выявлении и мониторинге вертикальных деформационных процессов земной поверхности. Данные Sentinel-1 были обработаны в среде SNAP с пространственным разрешением 2×2 м и интегрированы в систему ArcGIS, на основе чего была создана карта деформаций. Карта выполнена в системе координат WGS84 (проекция UTM) и проверена посредством привязки к эталонным геодезическим пунктам. Точность ЦМР (DEM) была оценена с использованием показателя RMSE.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённых исследований по теме диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) «Совершенствование метода мониторинга деформационных изменений земной поверхности с использованием геоинновационных технологий (на примере Кандымского газового месторождения Бухарской области)» были сформулированы следующие выводы:

1. На основе проведённых исследований разработан усовершенствованный метод выявления и мониторинга геодинамических процессов на земной поверхности. Данный метод основан на интеграции геодезических измерений (GNSS, высокоточного нивелирования, тахеометрических съёмки), дистанционного зондирования (InSAR) и ГИС (ArcGIS), что позволяет с высокой точностью определять деформации как в локальном, так и в региональном масштабе, выполнять пространственно-временной анализ и обеспечивать визуализацию результатов.

2. В ходе исследования разработана методика Sentinel-1 + InSAR + SNAP + ArcGIS, обеспечивающая высокоточную идентификацию вертикальных деформаций земной поверхности ( $\pm 1$ –5 мм при краткосрочных наблюдениях и  $\pm 1$ –2 см при долговременных периодах). Данная методика позволяет осуществлять мониторинг обширных территорий без проведения наземных геодезических работ, а также снижать затраты на мониторинг на 30–40%.

3. Установлено, что с применением технологии InSAR пространственное разрешение карт деформационных процессов может быть повышено с 10–30 м до 2–5 м, что даёт возможность создавать крупномасштабные карты в масштабе 1:10000–1:25000. При этом точность расчётов определяется атмосферными шумами, углом наклона рельефа, плотностью и свойствами растительного покрова, качеством исходных спутниковых данных и параметрами интерферометрической обработки.

4. Наивысшая точность определения деформаций с использованием InSAR достигается на участках с низкой растительной покрывностью и на открытых территориях.

5. Для оценки геодинамической активности на территории Кандымского газового месторождения в период с июня 2017 года по декабрь 2023 года было проанализировано 16 цифровых моделей рельефа. По результатам анализа установлено, что в центральных техногенно - активных зонах среднегодовая вертикальная деформация составляет  $-10$  мм/полугодие (осадка), в периферийных районах вертикальные деформации ограничены диапазоном  $\pm 50$  мм. Сезонные изменения достигают  $\pm 10 - 20$  мм, что свидетельствует о стабильности геодинамических процессов на территории и их нахождении под контролем.

6. Точность созданных цифровых моделей рельефа была оценена на основе данных Государственной геодезической сети. Средние значения высот моделей GNSS и Sentinel-1 DEM оказались практически идентичными (GNSS –  $157,981$  м, Sentinel-1 DEM –  $157,977$  м; разница –  $0,004$  м), что подтверждает высокую точность модели Sentinel-1 DEM. При этом RMSE модели GNSS составил  $0,003$  м, близость этого показателя к RMSE Sentinel-1 DEM также подтверждает её надёжность.

7. С использованием ModelBuilder были разработаны сложные алгоритмы и процессы, что позволило построить карту среднегодового мониторинга деформационных процессов земной поверхности в пределах Кандымского газового месторождения.

8. Результаты исследований показали, что технологии Sentinel-1 и InSAR являются эффективными при выявлении вертикальных деформаций, обеспечивая охват территории площадью от  $100$  до  $5000$  км<sup>2</sup>. Возможность оперативного и безопасного сбора данных, а также доступность открытых спутниковых материалов повышают эффективность мониторинга. Отмечено, что данный подход может быть применён и для контроля геодинамических процессов на других газовых месторождениях.

**SCIENTIFIC COUNCIL CREATED ON THE BASIS OF A ONE-TIME  
SCIENTIFIC COUNCIL AT THE SCIENTIFIC COUNCIL  
PhD.26/26.01.2023.T.109.04 AT MIRZO ULUGBEK SAMARKAND STATE  
UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

---

**SAMARKAND STATE OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION  
UNIVERSITY NAMED MIRZO ULUGBEK**

**MULLODJANOVA GULNOZA MUKHIDDINOVNA**

**IMPROVEMENT OF THE METHOD OF MONITORING DEFORMATION  
CHANGES ON THE EARTH'S SURFACE BASED ON GEOINNOVATIVE  
TECHNOLOGIES**

**(On the example of the Kandym gas field in the Bukhara region)**

**11.00.07 – Geoinformatics**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION  
OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN TECHNICAL SCIENCE**

**Samarkand – 2025**

The topic of the dissertation for a Doctor of Philosophy ( PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2024.4PhDT5191

The dissertation was completed at the Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after Mirzo Ulugbek.

Abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary) on the website of the Scientific Council ([www.samdaqu.uz](http://www.samdaqu.uz)) and on the information and educational portal "Zionet" ([www.zionet.uz](http://www.zionet.uz)).

**Scientific supervisor:** Suyunov Abdufali Samatovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** Reymov Polat Rasbergenovich  
Doctor of Geography Sciences (DSc), Professor


Mamatkulov Zokhid Jonkobilovich  
Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD),  
Associate professor


**Leading organization:** Bukhara State Technical University


Defence of the thesis will be held « 24 » October 2025 y at 15<sup>00</sup> hours meeting of Scientific Council under the number PhD 26/26.01.2023 T.109.04 at the Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering. (Address: 140147, Samarkand, Lolazor street, 70. Tel. (998-66) 237-15-93, Fax (99866) 237-26-30. E -mail: [samdaqu@edu.uz](mailto:samdaqu@edu.uz), [samdaquarm@samdaqi.edu.uz](mailto:samdaquarm@samdaqi.edu.uz)).


The dissertation can be found at the Information Resource Center of the Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after Mirzo Ulugbek (registered with № \_\_\_\_\_) at the address: 140147, Samarkand, Lolazor Street, 70. Tel. (998-66) 237-15-93.

Abstract of dissertation sent out on " 10 " 10 2025.  
(Mailing report № 03 on " 10 " 10 2025).



  
**D.Sh. Fazilova**  
Deputy chairman of the one-time Scientific Council  
on award of scientific degrees,  
Doktor of Physics and Mathematical Sciences, Professor

  
**V.R. Niyazov**  
Scientific Secretary of the one-time Scientific  
Council on award of scientific degrees,  
Doctor of Philosophy (PhD), in Technical Sciences

  
**S.B. Abbasov**  
Chairman of the scientific seminar of the one-time  
Scientific Council on award of scientific degrees,  
Doctor of Geographical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (PhD thesis abstract)

**The purpose of the research** is to develop proposals and recommendations for improving the method of monitoring deformation changes to the Earth's surface in geodynamic polygons of gas fields, based on a geoinformation system and remote sensing materials.

**The object of the research** is the territory of the Kandym gas field, which is located in the Bukhara region.

**Scientific novelty of the research** work is as follows:

the methodology for monitoring deformation changes in oil and gas fields based on geodetic methods, remote sensing technologies, and geographic information systems has been refined;

a methodology has been developed to detect deformations in gas fields, accounting for vertical displacements, using interferometric synthetic aperture radar (InSAR) technology and the Sentinel Application Platform (SNAP).

the methodology for assessing the accuracy of digital elevation models (DEMs) generated using the InSAR method to detect surface deformations has been refined;

a methodology has been developed for integrating remote sensing data and digital elevation models (DEMs) generated in the SNAP program into the ArcGIS environment for scientific mapping of deformation processes at the Kandym gas field.

**Implementation of the research results.** On the basis of the obtained results on improvement of methods of monitoring of deformation changes of the earth surface with the use of geoinnovative technologies:

- Proposals for improving the method of monitoring deformation changes in oil and gas fields based on the integration of geodetic methods, remote sensing, and GIS technologies have been implemented at the Republican Aerogeodetic Centre of the Kharezsm Interregional Branch (Reference No. 05/527 of the Cadastre Agency under the Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan). As a result, the dispersion in determining deformations at oil and gas fields has been reduced, the reliability of the processed experimental results has increased, and, accordingly, errors have been minimized.

-The method for assessing the accuracy of digital elevation models (DEMs), created using InSAR technology to determine deformations in the study area, has been refined and implemented at the Republican Aerogeodetic Centre of the Kharezsm Interregional Branch (Reference No. 05/527 of the Cadaster Agency under the Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan). As a result, the application of remote sensing technologies has provided significant advantages in the monitoring and scientific analysis of deformations. This, in turn, has ensured a substantial improvement in the efficiency of detecting deformations in complex and hard-to-reach regions of the Republic.

-Based on the integration of remote sensing data and a digital elevation model (DEM) generated in the SNAP software and processed in the ArcGIS environment, a map of ground deformation processes at the Kandym gas field was developed. The implementation of the results at the Republican Aerogeodetic Centre of the Kharezsm

Interregional Branch (Reference No. 05/527 of the Cadaster Agency under the Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan) made it possible to create a high-precision deformation map through the integration of remote sensing data and GIS technologies. As a result, the efficiency of visual monitoring and forecasting of geodynamic processes at oil and gas fields was increased by 8–10%.

**The volume and structure of the thesis.** It consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a bibliography and appendices. The thesis has a total volume of 119 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; I part)**

1. Суюнов А.С., Муллоджанова Г.М. Мониторинг на геодинамических полигонах в Республике Узбекистан: значимость и особенности// Научно-технический журнал "Геодезия, картография и геоинформатика". 2024. Вып. 1. Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Решение Президиума ВАК от 30 ноября 2023 года, № 34/10).

2. Суюнов А.С., Муллоджанова Г.М. Цели и сущность проведения мониторинга на геодинамических полигонах в Республике Узбекистан// Научно-технический журнал // "Проблемы архитектуры и строительства". 2024. Вып. 1. Самаркандский архитектурно-строительный университет (05.00.00; № 14).

3. Муллоджанова Г.М. Применение спутниковых данных Sentinel-1 для мониторинга деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях // Научно-технический журнал "Проблемы архитектуры и строительства". – 2024. – Вып. 4. – Самарканд: Самаркандский архитектурно-строительный университет (05.00.00; № 14).

4. Суюнов А.С., Муллоджанова Г.М., Аминжанова М.Б. Концепция мониторинга смещений и деформаций поверхности земли по данным дистанционного зондирования // Экономика и социум. 2024. № 6 (121). ООО «Институт управления и социально-экономического развития» (11.00.00; № 11).

5. Suyunov A.S., Mullodjanova G.M., Xushmurodov F.M. Geodezik usullar va vositalarni tahlil qilish, geodinamik monitoring jarayonida qo'llaniladigan // O'zbekiston zamini. Ilmiy-amaliy va innovatsion jurnal. 2024. № 2. Davlat ilmiy-loyihalash instituti "Uzdavyerloyiha" (OAK Riyosiyosatining 2019-yil 28-fevraldagi qarori, № 262/9.2).

6. Mullodjanova G.M. Masofadan zondlash ma'lumotlari asosida yer sirtidagi o'zgarishlarni aniqlash va monitoring qilishning ahamiyati // "Geodeziya, kartografiya va geo informatika" ilmiy-texnika jurnali. – 2024. – №4. – Toshkent: Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti Milliy tadqiqot universiteti (OAK Riyosiyosatining 2023-yil 30-noyabrdagi qarori, № 34/10).

7. Suyunov A.S., Urakov O.A., Mirzaev A.A., Mullodjanova G.M. The results of the analysis of the accuracy of the permanent satellite state geodetic network in the Republic of Uzbekistan // 2nd International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022).

**II bo'lim (II часть; II part)**

8. Муллоджанова Г.М., Суюнов А.С., Аминжанова М.Б. Применение радарной спутниковой интерферометрии для мониторинга смещений земной поверхности на подрабатываемых территориях // Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции. Карши, издательство «Интеллект», 22 мая 2024

9. Муллоджанова Г.М. Преимущества GPS технологий при определении деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2024. № 1 (5). С. 115-123. EDN: AMJCFW.

10. Суюнов А.С., Муллоджанова Г.М. Преимущества наземного лазерного сканирования при создании цифровых моделей объектов // XXI международная техническая конференция «Новые технологии в учебном процессе и производстве». 12-14 апреля 2023. Россия, Рязань.

11. Суюнов А.С., Муллоджанова Г.М. Особенности создания геодезической основы для проведения геодинамического мониторинга на «Кандымском месторождении», Бухарской области // «МИРОВАЯ НАУКА ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ - 2023». Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, 15-16 декабря 2023. Отв. ред. Смирнова Т.В. – Издательство СРМ «Академия просвещения», Волгоград.

12. Suyunov A.S., Mullodjanova G.M. Gaz konlaridagi yer sirti o'zgarishlarini monitoring qilishda qo'llaniladigan geodezik kuzatish natijalarini qayta ishlovchi dasturiy ta'minotlar tahlili // «Yer resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirishda geomatika sohasida erishilgan yutuqlarni amaliyyotga joriy etishning dolzarb muammolari» mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. SamDAQU, Samarqand, 16 aprel.

13. Mullodjanova G.M., Suyunov A.S. Buxoro viloyatidagi Qandim gaz koni hududining tabiiy iqlim sharoitining o'ziga xos xususiyatlari // 1st International Scientific and Practical Conference. Urgent problems of improving the system of training of personnel in the fields of Architecture and Construction areas. November 8, 2023. Samarkand State University of Architecture and Construction named after Mirzo Ulugbek.

14. Suyunov A.S., Mullodjanova G.M. Neft va gaz konlarida geodinamik monitoring o'tkazishning metodologik asoslari // Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya «Energiya va resurslarni tejovchi zamonaviy qurilish materiallari ishlab chiqarishning istiqbollari». Toshkent, 20-21 noyabr 2023 yil.

15. Mullodjanova G. M., Suyunov A. S. Konlarda yer yuzasi deformatsiyalarini kuzatish sohasidagi tadqiqotlar sharhi: joriy holat va istiqbollar // Me'morchilik va qurilish muammolari: ilmiy-texnik jurnal. – 2024. – Maxsus son. – SamDAQIga universitet maqomi berilganligining 2 yilligiga bag'ishlangan “Ilg'or muhandislar va arxitektorlar: barqaror rivojlanish uchun ilm-fan va ta'limni modernizatsiya qilish” mavzusidagi II xalqaro ilmiy-amaliy anjumanida tanlangan ilmiy maqolalar to'plami (2024 yil 8-noyabr).

16. Mullodjanova G.M., Suyunov A.S, Geoinnovatsion texnologiyalar asosida yer yuzasidagi deformatsion o'zgarishlarni monitoring qilish usulini takomillashtirish (Buxoro viloyati Qandim gaz koni misolida). O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reestrda 2024 yilda ro'yxatdan o'tkazilgan. Guvohnoma № DGU 40 566

Avtoreferat “ME’MORCHILIK VA QURULISH MUAMMOLARI” ilmiy - texnik  
jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (rezyume) tillarida  
matnlar mosligi tekshirildi (02.10.2025y.).

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

2025-yil 7-oktabrda bosishga ruxsat etildi:  
Ofset bosma qog‘ozi. Qog‘oz bichimi 60x84<sub>1/16</sub>.  
“Times new roman” garniturasini. Ofset bosma usuli.  
Hisob-nashriyot t.: 2,9. Shartli b.t. 2,3.  
Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 07/10.

---

SamDCHTI tahrir-nashriyot bo‘limida chop etildi.  
Manzil: Samarqand sh., Gagarin ko‘chasi, 43.