

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI**

**DSc.02/30.12.2019. GM/FM.97.01 RAQAMLI ILMUY KENGASH
ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMUY KENGASH**

SEYSMOLOGIYA INSTITUTI

SADIROV FERUZ XASANOVICH

**ZILZILALARNI PROGNOZLASHDA GEOFIZIKAVIY AXBOROT
TEXNOLOGIYALARINI ISHLAB CHIQISH**

04.00.06 - «Geofizika. Foydali qazilmalarni qidirishning geofizik usullari»

**texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Sadirov Feruz Xasanovich Zilzilalarni prognozlashda geofizikaviy axborot texnologiyalarini ishlab chiqish....3	
Садиров Феруз Хасанович Разработка геофизических информационных технологий при прогнозировании землетрясений	21
Sadirov Feruz Khasanovich Development of geophysical information technologies for earthquake forecasting.39	
E’lon qilingan ishlar ro‘yxati Список опубликованных работ List of published works	42

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI**

**DSc.02/30.12.2019. GM/FM.97.01 RAQAMLI ILMUY KENGASH
ASOSIDAGI BIR MARTALIK ILMUY KENGASH**

SEYSMOLOGIYA INSTITUTI

SADIROV FERUZ XASANOVICH

**ZILZILALARNI PROGNOZLASHDA GEOFIZIKAVIY AXBOROT
TEXNOLOGIYALARINI ISHLAB CHIQISH**

04.00.06 - «Geofizika. Foydali qazilmalarni qidirishning geofizik usullari»

**texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.1.PhD/T4405 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Seysmologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.seismos.uz) va «ZiyoNet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Xusomiddin Sabriddin Samarovich
fizika-matematika fanlari doktori

Rasmiy opponentlar:

Djumanov Jamoljon Hudayqulovich
texnika fanlari doktori

Kuchkarov Kaxramon Israilovich
fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Yetakchi tashkilot:

O'zbekiston Milliy universiteti

Seysmologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01
raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik Ilmiy kengashning 2025 yil «9» dekabr soat «10⁰⁰» dagi
majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100128, Toshkent shahri, Zulfiyaxonim ko'chasi, 3 uy. Tel.: (+99871)
241-51-70, E-mail: seysmologiya@seismos.uz).

Dissertatsiya bilan Seysmologiya institutining Axborot-resurslar markazida tanishish mumkin
(1159-raqam bilan ro'yxatga olingan) (Manzil: 100128, Toshkent shahri, Zulfiyaxonim ko'chasi, 3 uy.
Tel.: (+99871) 241-51-70, E-mail: seysmologiya@seismos.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «25» noyabrdagi tarqatildi.

(2025 yil «25» noyabrdagi 18 raqamli reestr bayonnomasi)



S.X. Maksudov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash asosidagi bir martalik
ilmiy kengash raisi, f.-m.f.d., prof.

Z.F. Shukurov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash asosidagi bir martalik
ilmiy kengash ilmiy kotibi, g.-m.f.f.d. (PhD)

V.A. Ismailov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash asosidagi bir martalik
ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi, g.-m.f.d., prof.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahon amaliyotida zilzilalarni prognozlash, seysmik xavfni baholash va zilziladan ko'rildigan talafotlarni kamaytirish masalasi dolzarb ahamiyat kasb etadi. Bunda, zilziladan oldin sodir bo'ladigan geofizik anomaliyalarning fizik tabiatini tadqiq etishga, yer qobig'ining kuchlanganlik-deformatsion holatini baholashga, seysmik jarayonlarning geofizik maydonlarda namoyon bo'lish qonuniyatlarini o'rganishga alohida ahamiyat qaratilmoqda. Geologik-geofizik ko'rsatkichlarni real vaqt rejimida kuzatish, tahlil qilish va ularga asoslangan zamonaviy onlayn monitoring tizimlari va axborot texnologiyalarini ishlab chiqish zilzilalarni uzoq, o'rta, qisqa muddatlarda prognoz qilish tadqiqotlarini takomillashtirish imkonini beradi.

Dunyo miqyosida, xususan, AQSh, Yaponiya, Xitoy, Rossiya, Italiya, Germaniya kabi rivojlangan davlatlarda zilzilalarni prognozlashda geologik-geofizik kuzatuv tizimlaridan foydalanish, seysmik jarayonlarni real vaqt rejimida monitoring qilish hamda yer qobig'ining deformatsion holatini modellashtirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Zamonaviy axborot texnologiyalari asosida ishlab chiqilayotgan prognozlash tizimlari favqulodda vaziyatlar yuzaga kelishidan oldin aholini tezkor ogohlantirish, evakuatsiya choralarini va transport-kommunikatsiya infratuzilmalarini himoya qilish kabi amaliy xavfsizlik choralarini samarali tashkil etishga xizmat qilmoqda. Bugungi kunda raqamlashtirish yo'nalishida yaratilayotgan monitoring klasterlari, raqamli ma'lumotlarni qayta ishslash algoritmlari va prognozlash dasturiy modullarini ishlab chiqishga alohida ahamiyat berilmoqda.

O'zbekiston Respublikasi hududining katta qismi seysmik faol zonalarda joylashganligi, bu faol hududlarda kuchli zilzilalar sodir bo'lganda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan iqtisodiy va ijtimoiy yo'qotishlar xavfini kamaytirish masalasi hududlarning jadal o'zlashtirilishida dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Uzoq, o'rta va qisqa muddatli zilzila darakchilarini aniqlash, geofizik maydon parametrlarining fazoviy-vaqt bo'yicha o'zgarishlarini tahlil qilish, seysmoprogностик kuzatuv tarmoqlarini modernizatsiya qilish va monitoring tizimlarini zamonaviy raqamli axborot texnologiyalari asosida takomillashtirish respublika miqyosida olib borilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022–2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"¹gi PF-60-sonli Farmonida, jumladan "...ekologiya va atrof muhitni muhofaza qilish, shahar va tumanlarda ekologik ahvolni yaxshilash..." vazifalari belgilab berilgan. Shu munosabat bilan zilzilalarni prognozlashda geofizikaviy axborot texnologiyalarini ishlab chiqish seysmik xavfsizlik sohasini takomillashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 9 avgustdag‘i “Seysmologiya, seysmik chidamli qurilish hamda O‘zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligi sohasida ilmiy tadqiqotlar olib borishni takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-3190-son Qarori, 2020 yil 30 iyuldag‘i «O‘zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta‘minlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4794-son Qarori, 2023 yil 16 maydag‘i “O‘zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta‘minlash tizimini yanada takomillashtirishga oid qo‘srimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-158-son Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Ushbu tadqiqot Respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning “Yer haqidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xomashyoni qayta ishslash)” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darjasи. Keng ko‘lamdag‘i zilzila darakchilarini izlash, prognoz qilishga oid izlanishlar Xitoy, sobiq SSSR, Yaponiya, AQSh va boshqa davlatlar tomonidan o‘tgan asrning ikkinchi yarmidan amalga oshirila boshlandi. Ushbu mamlakatlarning olimlari tomonidan muammoning dolzarb masalalarini hal qilish yechimlari o‘rtaga tashlangan. Geofizik, gidrogeologik, geodinamik va boshqa maydonlarning zilzilaga sezuvchan parametrlari va uzoq, o‘rta muddatli zilzila darakchilarini izlash uslubiyati hamda zilzilaning tayyorlanishi to‘g‘risidagi modellarni ishlab chiqishda quyidagi olimlar katta hissa qo‘sishgan: C.Y. King, V. Corouff, P.M. Davis, J.S. Derr, F. Lafeuvre, J. Milne, T. Nagata, M. Parrot, F.D. Stasy, O.M. Barsukov, I.N. Vasilev, A.A. Vorobev, G.A. Gambursev, V.P. Golovkov, M.B. Goxberg, I.L. Gufeld, I.P. Dobrovolskiy, I.G. Kissin, V.A. Morgunov, V.I. Myachkin, A.V. Ponomarev, O.A. Poxotelov, T. Rikitake, M.A. Sadovskiy, A.Ya. Sidorin, Yu.P. Skovorodkin, G.A. Sobolev, V.I. Ulomov, K.N. Abdullabekov, V.N. Yakovlev, S.X. Maksudov, S.S. Xusomiddinov, A.I. To‘ychiev, A.R. Yarmuxamedov va boshqalar.

Izlanishlar davomida mutaxassislar tomonidan geofizik, gidrogeologik, geodinamik maydonlarning ko‘pchilik parametrlarining zilzilaning tayyorlanish jarayoniga sezuvchan ekanligi aniqlangan. Olimlar izlanishlar mobaynida ilgari ma‘lum bo‘lman tabiat hodisalarini aniqladilar: “Zilzila oldidan tog‘ jinslari qarshiligining anomal o‘zgarishlari” (Barsukov O.M.), “Zilzilalar oldidan va ularga hamroh bo‘lgan davrlarda yer osti suvlarining kimyoviy va gaz (elementlar va izotoplar) tarkibidagi o‘zgarishlar” o‘zgarishi” (Mavlonov G.A. va boshq.). Olingan bilimlar natijasida zilzila tayyorlanishining bir qator modellari yaratildi hamda zilzilani prognoz qilishda bir qator aniq natijalarga erishildi. O‘zbekistonda zilzila darakchilarining fazo-vaqt bog‘liqlik qonuniyatlarini aniqlash uchun uchta geodinamik poligon tashkil qilingan. Hozirgi kunda shu sohadagi tadqiqot ishlarini

zamonaviy darajada olib borish uchun axborot texnologiyalaridan keng foydalanish talab etiladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Seysmologiya instituti ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq "Yer qobig'inining kuchlanganlik-deformatsion holatini statsionar va dala kuzatuv ishlari orqali monitoring tizimini yaratish. Seysmik tomografiya va seysmik profillash usullari bilan seysmogen zonalarning ichki tuzilishini o'rganish texnologiyasini ishlab chiqish" (2018-2020 yy.) va "O'zbekiston hududida zilzila kompleks darakchilarining takomillashgan monitoring tizimini ishlab chiqish" (2021-2023 yy.) mavzularidagi amaliy loyihamo bo'yicha bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi geologik-geofizik ko'rsatkichlar asosida real vaqt rejimida o'rta va qisqa muddatlar uchun zilzila sodir bo'lish ehtimolini baholashning geofizikaviy axborot texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

O'zbekiston geodinamik poligonlarida olib borilayotgan geofizik, geodinamik, gidrogeoseysmologik kuzatuvlarning ma'lumotlar bazasini (MB) yaratish;

geodinamik va magnitometrik kuzatuvlarni hamda kuzatuv ma'lumotlarini yig'ishni avtomatlashtirish;

geodinamik, magnitometrik, gidrogeoseysmologik va seysmoligik ma'lumotlar orqali o'rta va qisqa muddatli zilzila darakchilarini aniqlash algoritmi va dasturiy ta'minotini yaratish.

Tadqiqotning ob'ekti Toshkent, Farg'ona va Qizilqum geodinamik poligonlari.

Tadqiqotning predmeti geologik-geofizik ko'rsatkichlar majmuasini tadqiq etishda foydalanilgan zamonaviy axborot texnologiyalariga asoslangan monitoring tizimlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Geologik-geofizik ko'rsatkichlarni monitoring qilish usullari, jumladan elektrometriya, magnitometriya, GNSS, retrospektiv ma'lumotlarni raqamli qayta ishlash, regressiya va korrelyatsion bog'lanishlarni aniqlash usullaridan, spektral tahlil qilishda R matematik-statistik dasturiy muhiti, hamda Matlab, Mezozavr dasturlaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

geologik-geofizik ko'rsatkichlarni monitoring qilish klasterining raqamli apparat-dasturiy majmuasi yaratilgan, shu asosida zilzila darakchilarini aniqlashning geofizikaviy axborot texnologiyalari ishlab chiqilgan;

real vaqt rejimida seysmoprogностик kuzatuv ma'lumotlarini avtomatlashtirilgan tarzda yuboruvchi va qabul qiluvchi "Magnetic data transmission GEM-19T" dasturi hamda ma'lumotlarni qayta ishlovchi "DataVisualizer" dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan;

seysmoprognostik kuzatuv ma'lumotlarini saqlovchi, boshqaruvchi, tahrirlovchi "Geoseysmo" ma'lumotlar bazasi va bilimlar bazasi yaratilgan hamda ularni o'zaro bog'lovchi algoritmlar ishlab chiqilgan;

spektral tahlil, kuzatuv ma'lumotlarini chastotali filtrlash, geomagnit maydon komponentalari va gravitasiya ta'siridagi davriy o'zgarishlarda yer qobig'inining deformatsion darakchilari baholangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

kuzatuv ma'lumotlarini boshlang'ich qayta ishlovchi, uzilishlarni tiklovchi va trendlarni filtrlaydigan dasturiy ta'minot yaratilgan;

GPS kuzatuv nuqtalarining global joylashuvini aniqlash usulini qo'llash asosida yer qobig'inining zamonaviy harakatlari baholangan;

ma'lumotlarni yig'ish, saqlash, dastlabki ishlov berish va ma'lumotlarni yig'ish markaziga avtomatlashtirilgan onlayn rejim shaklida uzatish uchun qurilma va dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliliga ikki amaliyot bilan erishildi. Birinchisida asbob uskunalarni metrologik tekshirish O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Fizika-texnika instituti bilan birgalikda ishlab chiqilgan maxsus stend orqali amalga oshirildi. Ikkinchisida retrospektiv seysmofaol vaqt oraliqlari materiallari bo'yicha tadqiqot natijalari bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati seysmik jarayonlar dinamikasini axborot texnologiyalari vositasida modellashtirish orqali zilzila darakchilarini aniqlash, geologik-geofizik ko'rsatkichlarni statistik va spektral tahlil qilish, ularning o'zaro korrelyatsion bog'liqligini aniqlashda ma'lumotlar bazasi va algoritmlar yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati O'zbekiston hududlarida kutilayotgan zilzilalarning qisqa, o'rta va uzoq muddatli darakchilarini aniqlash uchun qurilma, algoritm, dasturiy ta'minot hamda ma'lumotlar bazasi ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Zilzilalarni prognozlashda geofizikaviy axborot texnologiyalarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

zilzilalarni prognozlashda geomagnit maydon, elektromagnit impuls, elektrotellurik maydon ma'lumotlarini yig'ish, ma'lumotlar markaziga yuborish va ma'lumotlar bazasida saqlashning avtomatlashgan axborot tizimi "Magnetic data transmission GEM-19T", "Seismoweb", "DataVisualizer" dasturiy ta'minotlar va "Geoseysmo" ma'lumotlar bazasi Seysmoprognostik monitoring Respublika markaziga joriy etilgan (Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2025 yil 14 yanvardagi № 2/4/36-103-soni ma'lumotnomasi). Natijada, kuzatuv ma'lumotlarini yig'ish, saqlash, dastlabki ishlov berish va ma'lumotlarni Seysmoprognostik monitoring Respublika markaziga avtomatlashtirilgan onlayn rejimda uzatish imkonini bergen;

geofizik, geodinamik, gidrogeoseysmologik va global pozisiyalash kuzatuv ma'lumotlari tahlili asosida zilzila darakchilarini aniqlash algoritmi va dasturiy ta'minoti Seysmoprogностик monitoring Respublika markaziga joriy etilgan (Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2025 yil 14 yanvardagi № 2/4/36-103-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, kuchli zilzilalarni prognozlashda darakchilarni tezkor aniqlash imkonini bergen;

kompleks kuzatuv ma'lumotlarini dastlabki qayta ishlovchi, uzilishlarni tiklovchi va trendlarni filtrlovchi "DataVisualizer" dasturiy ta'minoti Seysmoprogностик monitoring Respublika markaziga joriy etilgan (Favqulodda vaziyatlar vazirligining 2025 yil 14 yanvardagi № 2/4/36-103-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot kuchli zilzilalarni prognozlash samaradorligini oshirish imkonini bergen.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 2 ta xalqaro va 4 ta Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda ma'ruza qilinib muhokamasi amalga oshirildi.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusiga oid jami 16 ta ilmiy ishlar nashr etilgan, jumladan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda 5 ta maqola, shu jumladan, 1 ta xorijiy ilmiy jurnallarda chop etilgan. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk Agentligidan ma'lumotlar bazasi va dasturiy taminotlar uchun 5 ta avtorlik guvohnomasi olingan.

Dissertatsyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsyaning umumiyligi 108 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida olib borilgan tadqiqotning dolzarbliji va unga bo'lgan talab, tadqiqot maqsadi hamda vazifalari asoslangan, tadqiqot obyekti, predmeti tavsiflangan. Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiq kelishi ko'rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, ularning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyatga joriy qilinishi, nashr etilgan ishlar bo'yicha ma'lumotlar hamda dissertatsiya tuzilishi keltirilgan.

Dissertatsyaning «**Zilzilalarning prognozlash muammosi bo'yicha izlanishlarning hozirgi holati**» deb nomlangan birinchi bobida zilzilani prognozlash bo'yicha jahon ilm-fani natijalarining tahlili sharhi, mamlakatimiz olimlarining bu sohadagi amalga oshirgan ishlari, yer qobig'idagi kuchlanish va deformatsyaning asosiy manbalari, kuchlanagan-deformatsiyalangan holatni baholash metodikasi, zilzila o'chog'i mexanizmi va hududning seysmikligini kuzatuvlari natijalariga asoslanganligi yoritilgan. Kuchlangan-deformatsiyalangan holatni monitoring qilish va baholash hamda o'zgarishlarning monitoringi geofizikaning eng qiyin masalalaridan biri ekanligi asoslangan. Mamlakatimiz

hududidagi mavjud geodinamik poligonlar to‘g‘risida qisqacha ma’lumotlar berilgan.

GPS tizimi asosida kuzatuv nuqtalarining global joylashuvini aniqlash usullari, uning O‘zbekistonda qo‘llanilishi, olingan ma’lumotlarni qayta ishslash, GPS tayanch stansiyalar global sun’iy yo‘ldosh navigatsiya tizimi to‘g‘risidagi ma’lumotlar keltirilgan.

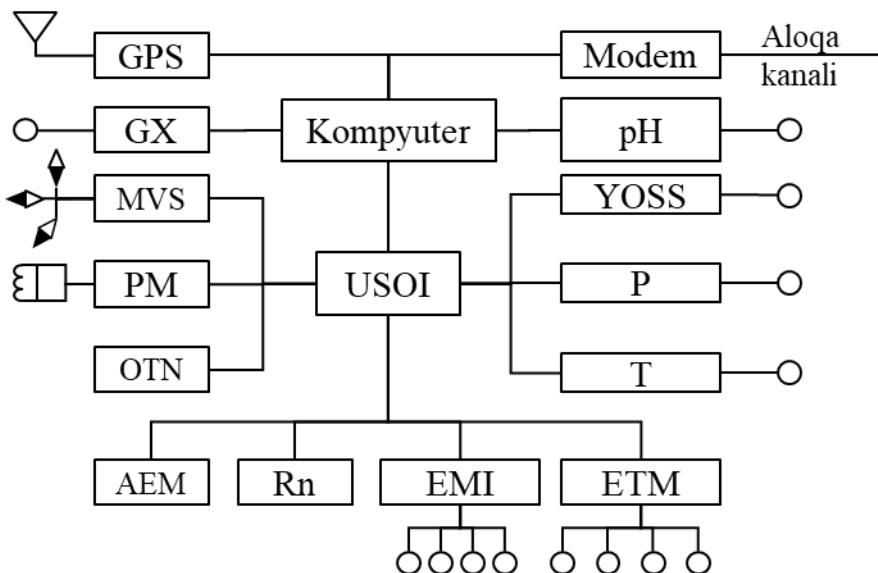
Mavjud geodinamik poligonlar seysmik faolligining yuqoriligi va mintaqaning geologik, geofizik hamda seysmotektonik sharoitlarining batafsil o‘rganilganligi seysmik prognozlashni osonlashtirsa, murakkab geologik-tektonik tuzilish, blokli tuzilmalar uni qiyinlashtiradi. GPS tizimiga asoslangan kuzatuv nuqtalarining global joylashishni aniqlash usulidan foydalangan holda monitoring uchun o‘lchash intervallarini qisqartirish zarurligi ta’kidlangan.

Dissertatsiyaning «**Seysmoprognostik monitoring tizimining tuzilishi**» deb nomlangan ikkinchi bobida monitoring vazifasining mohiyati, uning apparat-dasturiy ta’minoti ko‘rsatib o‘tilgan. Zilzilalarni proqnoz qilishda geofizik, geodinamik, va gidrogeoseysmologik ma’lumotlar kompleksidan foydalaniladi.

Monitoring tizimining klaster shaklida tuzilishi, ishslash printsiplari tavsiflangan. Xalqaro va mamlakatimiz miqyosida olingan natijalarni o‘rganish asosida monitoring tizimining yuqori samara beruvchi parametrlar kombinatsiyasi aniqlandi.

Monitoring tizimi o‘zaro zamonaviy telekommunikatsiya tizimi orqali bog‘langan klaster shaklidagi- quyi bo‘g‘in va yuqori bo‘g‘in-ma’lumotlarni qayta ishslash markazidan iborat. Stansiyalar tarmog‘i server bilan birgalikda o‘tkazish quvvati 256 Kbit/s dan kam bo‘lmagan seysmoprognostik tizimni tashkil etadi.

Klaster O‘zR FA Seysmologiya instituti va Fizika-texnika instituti tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, u kuzatilayotgan parametrlar majmuasini boshqarish uning asosiy vazifasiga aylandi. Ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishslash, saqlash, birlamchi o‘lchov datchiklaridan ma’lumotlarni markazga yuborish uchun mo‘ljallangan. Klasterning o‘zi uch pog‘onali tuzilishga ega. Birinchi daraja seysmik xavfning informativ belgilarini fizikaviy holatini parametrlovchi geofizik va gidrofizik ko‘rsatkichlardan iborat. Ikkinci darajada signallarni qayta ishslash va ichki xotiraga qayd etish, keyinchalik iste’molchilarga ma’lumotlarni uzatish amalga oshiriladi. Uchinchi daraja-sanoat kompyuteri bo‘lib u registratorlardan ma’lumotlarni yig‘ish, arxivlash hamda qayta ishslash markaziga o‘tkazilishini ta’minlaydi (1-rasm).



1-rasm. O‘zR FA Seysmologiya instituti va Fizika-texnika instituti tomonidan ishlab chiqilgan klaster tizimining sxemasi

Geofizik maydonlarning ba’zi parametrlari monitoringi klaster markazi orqali boshqariladi. Klaster orqali bir vaqtning o‘zida 16 tagacha qurilmalarda 5, 10, 20, 30 yoki 60 daqiqalik intervalllar bilan o‘lchovlar o‘tkazilishi mumkin.

Klasterning funksional tuzilishi quyidagi bloklarni o‘z ichiga oladi. Elektrotellurik maydon o‘zgarishlarini o‘lhash qurilmasi, atmosfera elektr maydonining gradientini o‘lhash qurilmasi, yer osti suvlarining parametrlarini o‘lhash bloki.

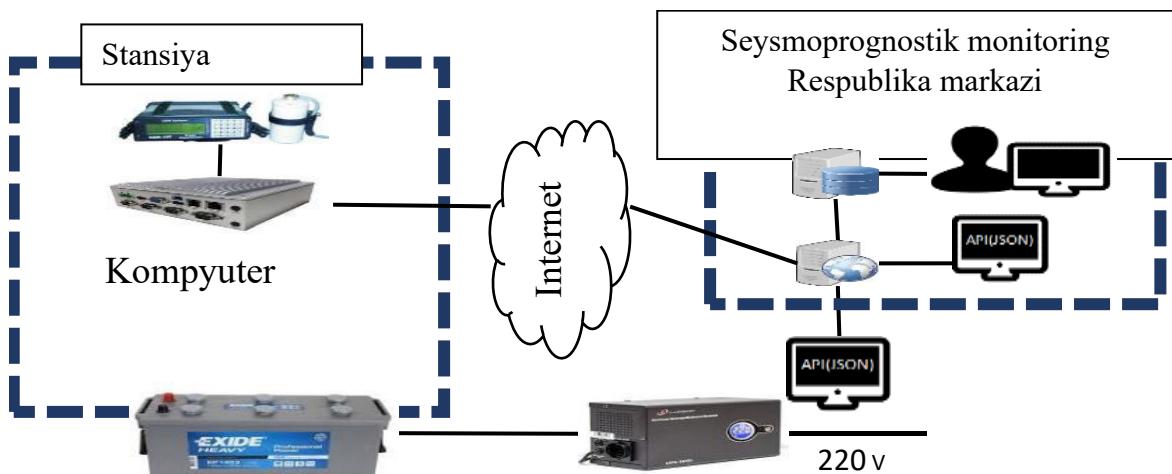
Seysmogen tabiatli elektromagnit nurlanishlarining hosil bo‘lishi, olingan ma’lumotlarni qayta ishlash ko‘rsatib o‘tilgan. Shuningdek zilzilaning elektrotellurik darakchilarining namoyon bo‘lishi xususiyatlari, uning o‘zgarishlari tahlili, elektr-tellurik maydon(ETM) anomaliyalarining namoyon bo‘lishi yaqqol misollarda ko‘rsatib berilgan (1985 yilgi $M=5,6$ Qayroqqum zilzilasi; 1987 yilgi $M=5,7$ Oloy zilzilasi). Shuningdek mustaqil ishlaydigan elektromagnit nurlanishlarini raqamli qabul qilish uskunasi sifatida monitoring tizimida foydalaniadi.

Zilzilalarning cheklangan statistikasi, poligonlardagi stansiyalar sonining yetarli emasligi hozirgi bosqichda ETMning anomaliyalarining statistik-ehtimoliy xarakteristikalarini to‘liq baholay olmasligi ko‘rsatib o‘tilgan.

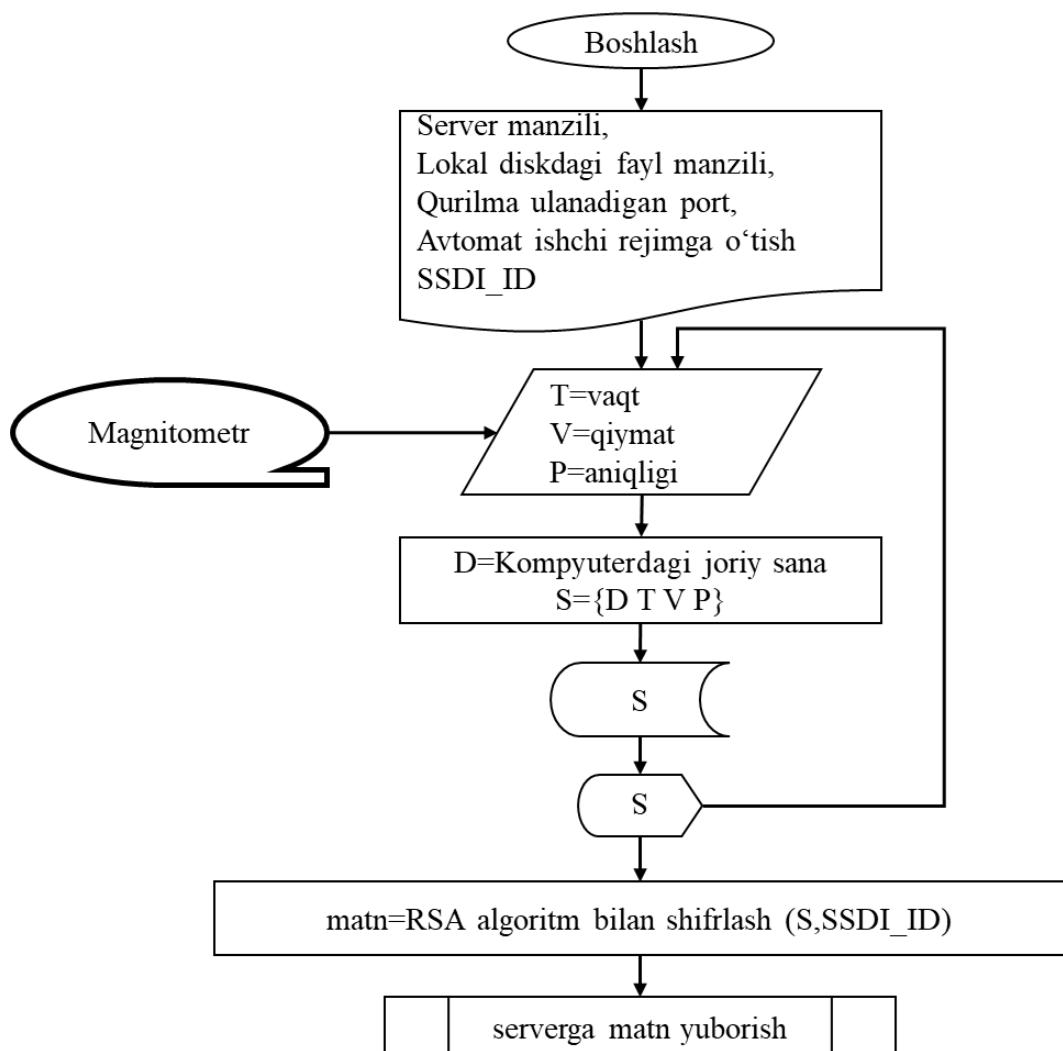
Geomagnit tadqiqotlar zilzilalarni prognozlashda keng qo‘llaniladi. Magnitonosfera observatoriyasida GSM-19T magnitometr tayanch punktida o‘rnatalgan (2-rasm).

Uskunaning o‘lhash diskretligi operator tomonidan 3 sekund yoki undan ortiq qilib belgilanadi. Serverda kunlik ma’lumotlarni onlayn kuzatish uchun veb interfeysi yaratilgan.

Yaratilgan “Magnetic data transmission GEM-19T” dasturiy ta’minotining algoritmi blok-sxema shaklida 3-rasmda keltirilgan.

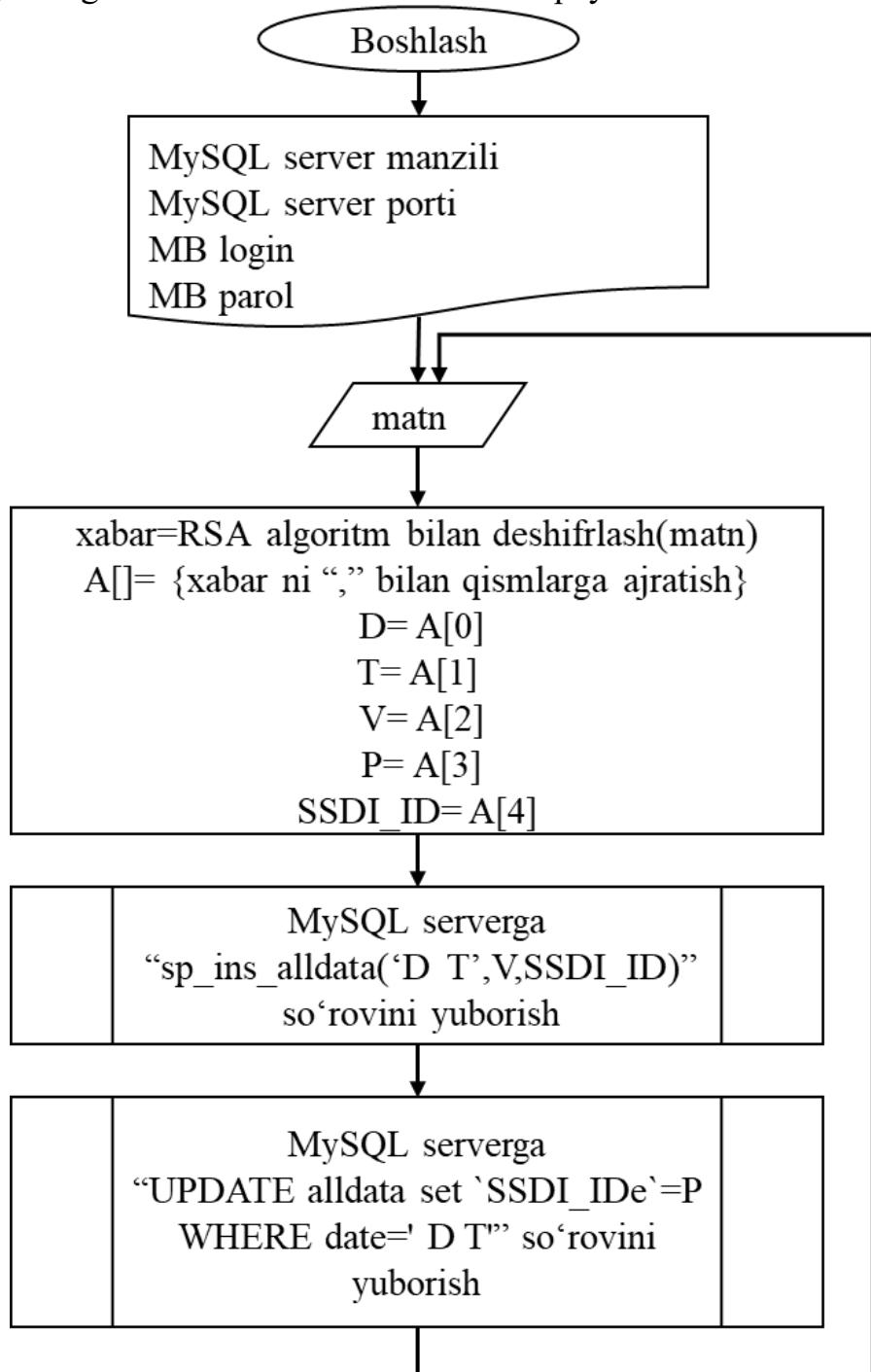


2-rasm. Magnitometrning ulanish sxemasi



3-rasm. “Magnetic data transmission GEM-19T” dasturiy ta’minotining blok-sxema shaklidagi algoritmi

U serverga kelgan ma'lumotlarni real vaqtida 4-rasmda keltirilgan blok-sxema shaklidagi algoritmga asosan ma'lumot bazasida saqlaydi.



4-rasm. Ma'lumotlarni qabul qilish va saqlashning blok-sxema shaklidagi algoritmi

Hisoblashlar tadqiqot davomida ishlab chiqilgan ma'lumotlarni qayta ishlovchi “DataVisualizer” va “R” interaktiv dasturiy paketi bilan amalga oshiriladi.

Ma'lumotlar bazasidan ma'lumot olishni dasturlash uchun interfeys (API) ishlab chiqilgan. Ma'lumotlarni yaratilgan “DataVisualizer” dasturi orqali ham olsa bo'ladi.

“Magnetic data transmission GEM-19T” dasturiy ta’minot Windows operatsion tizimida ishlaydi. Dastur avtomatik ravishda ma’lumotlarni qayd etadi. Joriy ma’lumot fayli operator aralashuviziz hosil qilinadi. Dasturiy ta’minot magnit komponentasidan tashqari o’lchov aniqligini ham qayd etadi.

Seysmoprogностик monitoring тизимидаги xодимларнинг исхунини ошириш, осонлаштириш учун О‘zbekistonda биринчи маротаба геодинамик полигонларда о‘лчangan геофизик, seysmik, гидроgeoseysmologik va геодинамик параметрларни саqlash учун mijoz-server архитектурасини qо‘llovchi relyatsion ma’lumotlar bazasi (MB) yaratildi. Yaratilgan MBda 1941 - 2020 yillarda kuzatilgan геофизик, seysmik, гидроgeoseysmologik va геодинамик параметрлarning natijalari mavjud. Jami kuzatilgan параметрлар soni 653 tadan ortiq, kuzatishlar natijasida олинган о‘лчов natijalari soni 5 275 000 dan ortiq.

Oлинган ma’lumotlardan ilmiy tadqiqot ishlarida, zilzilalarni prognozlashda foydalanish mumkin.

Yuqori aniqlikda олинган geomagnit maydon kuzatuvlarining ma’lumotlarini inson omilisiz jamlash va saqlash zilzila darakchilarini aniqlash samaradorligini оширади. Tadqiqot jarayonida elektrotellurik, elektromagnit maydonlar va suvning fizik xossalarini avtomat tarzda o‘lchovchi qurilmalar, ularni ishlatuvchi, testlovchi dasturiy ta’minotlar ishlab chiqildi.

Dissertatsiyaning **«Zilzila darakchilarini qidirish va prognozlashda geofizikaviy axborot texnologiyalarini ishlab chiqish»** deb nomlangan uchinchi bobida zilzila darakchilarini aniqlashning fizikaviy asoslari, aniqlash algoritmlari, олинган ma’lumotlarni qayta ishlash, prognostik ma’lumotlar bazasi (MB)ni boshqarish hamda ma’lumotlar bazasi bilan ishlovchi dasturiy ta’minot, GPS kuzatuvlari natijalari to‘g‘risida ma’lumotlar berilgan. Shuningdek geologik-геофизик ma’lumotlarni yaratilgan algoritmlar va dasturiy ta’minotlardan foydalanib уларда zilzila darakchilarini qidirish natijalari yoritilgan.

Akademik M.A. Sadovskiy boshchiligidagi katta hajmdagi statistik ma’lumotlarni tahlili asosida seysmik o‘choq hajmi bilan zilzilaning tayyorlanish vaqtiga va energiyasi orasidagi quyidagi bog‘lanishlarni aniqlashdi. Xususan: $lg\tau(E, erg)=0.295K-5$, τ - zilzilaning tayyorlanish vaqtiga, yillar; $E=10^3V$; E – zilzila energiyasi, erg, K -zilzila klassi, V - hajm, sm^3 ; bu yerda: $LgE=1.5Ms+11.8$; $V=(L*W)^{1.5}$; L - o‘choq uzunligi, sm, W - o‘choq kengligi sm da, $L/W=2,9$; $lg(L/W)=0,14Ms-0,58$; M - zilzila magnitudasi.

Zilzila darakchilarini izlashning birinchi bosqichi-seysmik faol zonalarni aniqlash учун O‘zbekiston va unga yondosh hududlardagi seysmoaktiv zonalaridagi seysmotektonik holatni baholashdan iborat.

Zilzila tayyorlanishining ishlab chiqilgan modellarida asosiy omil-tog‘ jinslarining konsolidatsiyalashgan massivining anomal deformatsiyalari hisoblanadi. Zilzilalarni prognozlashning aniq bir matematik ifoda ko‘rinishda ko‘rsatish imkonи yo‘qligi учун uni prognozlash masalasining muammolari bilan bog‘liq shakllangan bosqichli algoritmga ega.

Seysmoprogностик баҳолашнинг исончлилигини та’минлаш учун геофизик, геодинамик ва гидрогеосейсмологик параметрлар маҷмумаларининг о‘згаришларини кузатиш исhlari olib boriladi. Ularni o‘lchash usullari, o‘lchov materiallarining tasvirlanishi, o‘lchash intervallaridagi farqlar ularni solishtirishni qiyinlashtiradi. Tahlil qilinayotgan qatorlarda bo‘lishi mumkin bo‘lgan uzilishlarni tiklash, qatorlardagi xatolarni aniqlash va statsionar qatorning normal taqsimlanganligini tekshirish “R” tizimida amalga oshirilishi keltirilgan.

Kuzatilayotgan параметрлар natijalari MB da saqlanadi. MBni boshqarish tizimi ma’lumotlarni saqlash tartib qoidalarini optimallashtiradi, foydalanuvchilarga qulay sharoitlar yaratadi. Relyatsion MB boshqarish tizimi kuzatuv ma’lumotlarining elektron MB va uni boshqaruvchi veb interfeysdan tashkil topgan. Kuzatuv natijalari relyatsion shaklda saqlanadi.

MB геофизик ва гидрогеосейсмологик кузатувлар natijalariga qo‘sishimcha ravishda stansiylar, sodir bo‘lgan zilzila, datchiklar, kuzatuv o‘lchovlarining vaqt intervallari, saqlangan ma’lumotlar hajmi, foydalanuvchilar ro‘yxati va fayllar bilan ishlovchi(FTP) serveri bilan ishlash учун zaruriy ma’lumotlarni saqlaydi. Kelib tushgan ma’lumotlar mavjud 38 ta relyatsion jadvallarda saqlanadi.

Ma’lumotlar bazasida jadvallardan tashqari ularni saqlash, qayta ishslash va saralash учун qo‘sishimcha protseduralar, triggerlar, ko‘rinishlar yaratilgan.

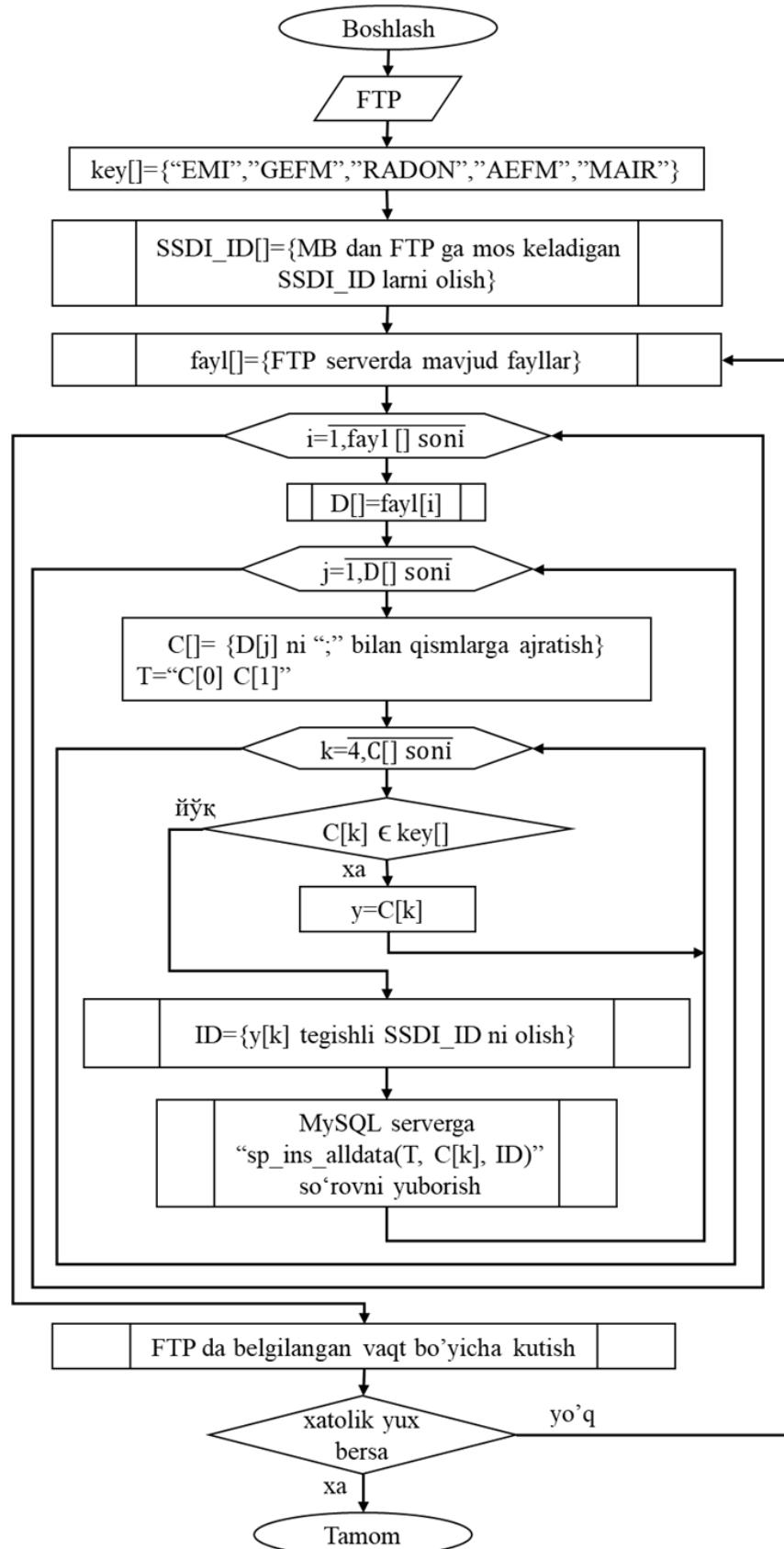
Foydalanuvchi veb interfeysining soddaligi-tizimning asosiy xususiyatlaridan hisoblanadi. Veb interfeys “Java” dasturlash tilida yaratildi.

FTP serverga kelgan ma’lumotlarni ma’lumotlar bazasida saqlash учун “ftp-to-db” dasturi ishlab chiqildi. Bu dasturning ishlashi blok-sxema shaklidagi algoritmi 5-rasmda keltirilgan.

Yaratilgan “DataVisualizer” dasturining ishlatilishi o‘qish, saqlash va DBASE III formatida ma’lumotlarni eksportida, MB da mavjud informatsiyalarni hisoblashda, yuqoridagi formatda bir necha ma’lumotlarni bирgalikda eksport qilishda, MB dagi parametrlearning sutkalik, doimiy tashkil etuvchilarini filtrlashda, foydalanuvchilar учун qayta ishlangan ma’lumotlarga kirishga imkonи borlar учун ikkilamchi MB da saqlash, saqlangan ma’lumotlarning yoki diskretlashni talab qiladigan intervaligacha qayta formatlab keyinchalik ikkilamchi bazada saqlash imkoniyatiga ega.

MB tuzilishiga qo‘sishimcha funktsiyalarni tadbiq qilish yangi kuzatuv punktlari tashkil etilganda, seysmoprogностик monitoring параметрларининг кузатиш usuli yoki o‘lchash chastotasi o‘zgarishlarida talab qilinadi.

Global sun’iy yo‘ldosh navigatsiya tizimining ishlash mohiyati uchta funktsional tizimdan iborat bo‘lib ular koinotda joylashgan tizim, Yer yuzasida joylashgan tizim va GPS ma’lumotlaridan foydalanuvchi tizimining tuzilish segmentlari to‘g‘risidagi ma’lumotlar keltirilgan.



5-rasm. FTP serverdan ma'lumotlarni o'qib MBga saqlovchi jarayonning bloksxema shaklidagi algoritmi

GPS yordamida koordinatalarni olishning bir necha xil usullari mavjud. Umuman aytganda usullar uch sinfga bo'linishi mumkin.

1. Avtonom navigatsiya-yagona (avtonom) qabul qilgich ishlatiladi. Turistlar, qirg'oqdan uzoq kemalar navigatsiyasi va harbiylar tomonidan ishlatiladi. Fuqaro iste'molchilar uchun aniqlik 100 metr, harbiylar uchun 20 metrga yaqin.

2. Differentsial koordinatalar yoki DGPS koordinatalarini 0.5-5 metr aniqlikda olish imkonini beradi.

3. Geodezik o'lchovlar qurilish texnikasini boshqarishda qo'llaniladi. Differentsial faza o'lchashlari 0.5- 20 mm aniqlikga erishishni ta'minlaydi.

Kuzatuv punktining WGS84 tizimida koordinatasini aniqlash uchun sun'iy yo'ldoshdan (SY) yuborilgan radio to'lqinni chiqish vaqtini (t') va qurilma qabul qilgan vaqtini (T) ni qabul qiluvchi qurilma yozib oladi va quyidagi formula asosida SYgacha bo'lgan masofa aniqlanadi.

$$S=(t-t') \cdot S; S \approx 300\ 000 \text{ km/s} \quad (1)$$

Koordinatalar aniqligiga ta'sir qiluvchi quyidagi faktorlarni hisobga olish kerak:

1. Ionosfera va atmosferada ushlanib qolishlari.
2. Yo'ldosh va qabul qilgich soatlarining xatosi.
3. Takror qaytarilish.
4. Aniqlikning geometrik pasayishi.
5. Tanlangan kiruv (S/A).
6. Kod ma'lumotlarini shifrlash -Anti Spoofing (A-S).

Ionosfera elektron zichligi bilan xarakterlanadi. Uning dinamikasi sutka davomida turli balandliklarda turlicha, Quyoshning ta'sirida o'zgaradi.

Zilzilalarni prognozlash maqsadida Yangibozor va Farg'onadagi stansiyalarga o'rnatilgan yuqori aniqlikda o'lchovchi ikki chastotali Leica GPS1200 GPS qabul qilgich qurilmasi xarakteristikasi ishlash printsipi keltirilgan.

Yangibozorda o'rnatilgan GPS qabul qilgichi orqali sutkalik va 6 oy davomida o'lchanigan ma'lumotlarni qayta ishlab kuzatuv nuqtasining yuqori aniqlikdagi qiymatlari tahlil qilindi. Ma'lumotlarning gorizontal E va N komponentalarida o'rtacha kvadratik chetlanish 4 mm gacha vertikal H komponentasida 8 mm gachaligi aniqlandi. Spektral tahlilda 6, 8, 12 va 24,2 soatlik davriy komponentalari borligi aniqlandi.

Toshkent geodinamik poligonida mavjud GPS stansiyalarining ma'lumotlarini GAMIT-GLOBK dasturi orqali qayta ishlab stansiyalarining yillik o'rtacha gorizontal va vertikal harakatlarining tezligi jadvali olindi (jadval).

1-jadval

2021-2022 yillarda Toshkentoldi hududi va uning atrofida joylashgan, doimiy kuzatuvlar olib boriluvchi GPS stansiyalarining o'lchov natijalari

Uzunlik	Kenglik	E _{vel}	N _{vel}	H _{vel}	Kuzatuv nuqtasi
gradus	gradus	mm/yil	mm/yil	mm/yil	
71,78	40,37	-9,14	25,24	0,20	FGNA
71,72	41,20	-8,32	17,71	-4,47	YANN
69,58	41,30	-10,30	22,28	0,50	YNBZ
69,59	41,50	-9,32	21,09	0,78	CHIR
69,29	41,32	-4,5	22,39	12,18	TASH*
69,27	41,33	-10,04	19,25	-2,15	MAGK
69,04	41,11	-8,96	17,78	-0,93	YAN1
68,76	40,50	-9,51	19,25	-2,08	GULD
68,69	40,82	-9,98	28,69	7,75	SIRD
66,88	39,13	-5,21	20,95	9,12	KIT3*
68,03	40,53	-10,21	16,84	3,44	DUST

Bunda E_{vel} - sharqiy tashkil etuvchining yillik gorizontal harakati bu Grinvich 0° meridiandan GPS stansiyasigacha bo'lgan masofalar farqi, N_{vel} - shimoliy tashkil etuvchining yillik gorizontal harakati esa Yerning ekvator chizig'idan GPS stansiyasigacha bo'lgan masofalar farqi, H_{vel} - punktlarning yillik vertikal harakatlari, ya'ni Xalqaro yer osti tayanch hisoblash tizimi (International Terrestrial Reference Frame 2014) bo'yicha balandlik qiymatlari.

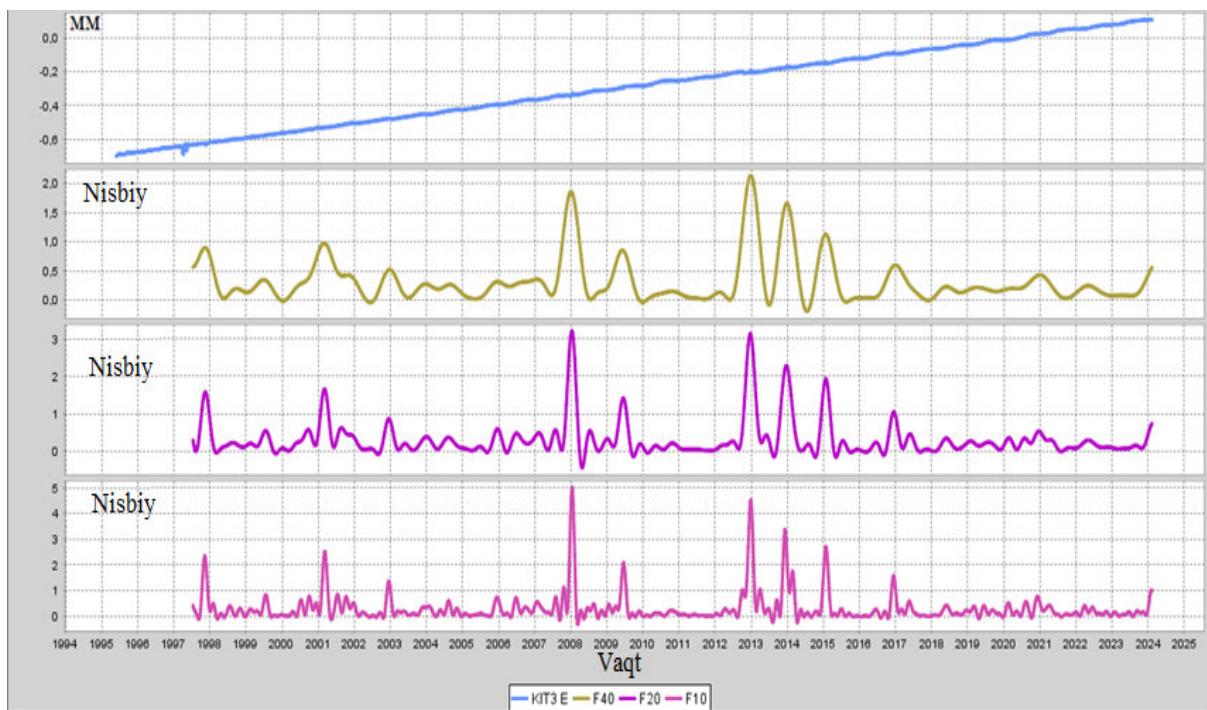
Zilzilaga tayyorgarlikning ma'lum modellarida seysmogen manba sifatida asosan endogen jarayonlar hisobga olingani va gravitatsion maydon hisobga olinmaganligi uning aniqligini kamaytiradi.

Gravitatsion manbalar hisobiga yer osti suvlaridagi o'zgarishlarni aniqlash va zilzila tayyorgarlik zonasi seysmogen jarayonlarini kuzatish mumkin. Yer osti suvlaridagi CO₂ parametrlarining sutkalik fon tebranishlariga oid spektral tahlil ularning ikki-to'rt haftalik davriy komponentalarni o'z ichiga olishini ko'rsatdi. Bu holat Oyning gravitatsion oqimlarni hosil qilish qobiliyati bilan izohlanadi. Ular yer osti suvlarining tahlil qilingan barcha parametrlari bo'yicha bir xil intensivlikda namoyon bo'ladi.

Yer yuzasining og'ishi bo'yicha olib borilgan kuzatuvlar natijalarida, spektral tahlil usuli yordamida davriy tarkibiy qismlarning vaqt bo'yicha o'zgarishi aniqlangan. Ushbu o'zgarishlar zilziladan oldin kuchayib, zilziladan keyin kamaygan.

Shuningdek Kitob stansiyasida kuzatilgan GPS ma'lumotlarining sharqiy komponentasini ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy ta'minotlar bilan tahlil qilindi (6-rasm).

Tahlillar shuni ko'rsatdiki zilziladan oldin kuchaygan davriy komponentalar bo'yicha ma'lumotlarni filtrlash aynan qidirilayotgan darakchini aniqlash imkonini beradi.



KIT3 E - Kitob stansiyasida kuzatilgan sharqiy komponentasining qiymatlari, F40 - 40 haftalik filtrlash natijasi, F20 - 20 haftalik filtrlash natijasi, F10 - 10 haftalik filtrlash natijasi.

6-rasm. Kitob stansiyasining GIPSYda hisoblangan sharqiy komponentasining variatsiyalari va ishlab chiqilgan algoritmlarga binoan qayta ishlangan ma'lumotlari

XULOSA

1. Zilzila darakchilarini aniqlashda, zilzilalarni prognozlashda, katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlashda, tahlil qilishda inson omilini kamaytirish uchun zamonaviy axborot texnologiyalari yechimlaridan va raqamli qurilmalaridan hamda sun'iy intellektdan keng foydalanish zarurligi keltirildi.

2. Seysmoprogностик monitoring tarmog'i uchun axborot ta'minotini amalga oshiruvchi sxemali modeli taklif qilindi va shu model asosida ishlovchi amaliy va tizimli dasturiy ta'minotlar, algoritmlar hamda ma'lumotlar bazalari yaratilib avtomatlashgan axborot tizimi shakllantirildi.

3. Geofizik, geodinamik va gidrogeoseysmologik parametrlardan zilzila darakchilarini aniqlovchi algoritm va dasturiy ta'minotlar yaratildi. Natijada

yaratilgan algoritm va dasturiy ta'minotlar kuchli zilzilalarni tezkor prognozlash imkonini beradi.

4. Kuzatilayotgan parametrlarda zilzila darakchilarini namoyon bo'ladigan chastotalarni aniqlash zilzilalarni prognozlash aniqligini oshiradi.
5. Uzoq, o'rta va qisqa muddatli zilzila darakchilarini qidirishda har bir vaqt uchun chastotalarini aniqlash zarurligi ko'rsatildi.
6. Sun'iy yo'ldosh navigatsiya tizimining yuqori aniqlikdagi ma'lumotlarini zilzilalarni prognozlashda qo'llash istiqbolliligi ko'rsatildi.
7. Ishlab chiqilgan EMI qurilmalarini qurilma joylashgan hududning geologik va geofizik xususiyatlariga moslashtirish zarurligi ko'rsatildi.
8. ETM qurilmasini zilzilalarni prognozlash yo'lida qo'llashni kengaytirish maqsadga muvofiq.
9. Zilzila darakchilarini aniqlash uchun yaratilgan algoritmlar zilzila darakchilarini bir xil modelga keltirishi zilzilalarni prognozlash uchun sun'iy intellekt modellarini oqitishda va foydalanishda samaradorlikni oshiradi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НУЧНОГО СОВЕТА
DSC.02/30.10.2019.GM/FM.97.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ПРИ ИНСТИТУТЕ СЕЙСМОЛОГИИ**

ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ

САДИРОВ ФЕРУЗ ХАСАНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

04.00.06 - Геофизика. Геофизические методы поиска полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Ташкент-2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером В2024.1.PhD/T4405.

Диссертация выполнена в Институте сейсмологии.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.seismos.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель

Хусомиддин Сабриддин Самарович
доктор физико-математических наук

Официальные оппоненты:

Джуманов Жамолжон Худайкулович
доктор технических наук

Кучкаров Каҳрамон Исаилович
доктор философии (PhD) по физико-
математическим наукам

Ведущая организация:

Национальный университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «9» декабря 2025 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Разового Научного совета на основе Научного совета DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 при Институте сейсмологии (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул. Зулфияхоним, 3. Тел.: (99871) 241-51-70, E-mail: seismologiya@seismos.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института сейсмологии (регистрационный номер №1159) (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул. Зулфияхоним, 3. Тел.: (99871) 241-51-70, E-mail: seismologiya@seismos.uz).

Автореферат диссертации разослан «25» ноября 2025 года.

(реестр протокола рассылки № 18 от «25» ноября 2025 года)



С.Х. Максудов

Председатель разового научного совета
при научном совете по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

З.Ф. Шукров

Учёный секретарь разового научного совета
при научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор философии (PhD) по г.-м.н.

В.А. Исмаилов

Председатель научного семинара при разовом
научном совете при научном совете
по присуждению ученых степеней,
д.г.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мировой практике вопросы прогноза землетрясений, оценки сейсмической опасности и снижения последствий сейсмических катастроф имеют актуальное значение. В частности, особое внимание уделяется исследованию физической природы геофизических аномалий, возникающих перед землетрясениями, оценке напряженно-деформационного состояния земной коры, а также изучению закономерностей проявления сейсмических процессов в геофизических полях. Создание современных онлайн-систем мониторинга и информационных технологий, обеспечивающих наблюдение и анализ геолого-геофизических параметров в режиме реального времени, позволяет совершенствовать исследования по долгосрочному, среднесрочному и краткосрочному прогнозированию землетрясений.

В мировом масштабе, в частности в развитых странах, как США, Японии, Китае, России, Италии, Германии для прогнозирования землетрясений проводятся исследования по использованию геолого-геофизических систем наблюдений, мониторингу сейсмических процессов в режиме реального времени, по моделированию деформационных процессов земной коры. Прогнозные системы, созданные на основе современных информационных технологий, используются для оперативного оповещения населения о надвигающейся угрозе, организации эвакуационных мероприятий, а также обеспечения защиты объектов инфраструктуры. В настоящее время особое внимание уделяется созданию цифровых кластеров мониторинга, алгоритмов обработки данных и программных модулей прогнозирования.

Большая часть территории Республики Узбекистан расположена в сейсмоактивных зонах, поэтому уменьшение экономических и социальных рисков, связанных с возможными сильными землетрясениями, является одной из актуальных задач при освоении территорий. Проводятся исследования в республиканском масштабе по выявлению долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений, анализируются пространственно-временные изменения параметров геофизических полей, модернизируются сети сейсмопрогностических наблюдений, внедряются современные цифровые системы мониторинга. В Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 годы» среди прочего обозначены задачи по «...охране экологии и окружающей среды, улучшению экологической обстановки в городах и районах...»¹. В связи с этим развитие геофизических информационных технологий в прогнозировании землетрясений приобретает особую значимость.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 годы»

Данная диссертационная работа в определенной степени служит реализации задач, определенных Постановлением Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года № ПП-3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 30 июля 2020 года № ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 16 мая 2023 года №ПП-158 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» и другими нормативными правовыми актами, касающимися данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетам республиканского научно-технического развития. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и техники республики «Науки о Земле» (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья).

Степень изученности проблемы. Поисками в широком масштабе предвестников землетрясений, исследованиями по прогнозированию со второй половины прошлого столетия занимаются учёные таких стран, как Китай, бывший СССР, Япония, США и другие. Ученые этих стран предложили пути решения актуальных вопросов проблемы. При разработке сейсмочувствительных параметров геофизических, гидрогеологических, геодинамических и других полей, методов поиска долго- и среднесрочных предвестников землетрясений, а также моделей подготовки землетрясений значительный вклад внесли следующие ученые: C.Y. King., V. Corouff, P.M. Davis, J.S. Derr, F. Lafeuvre, J. Milne, T. Nagata, M. Parrot, F.D. Stasy, К.Н. Абдуллабеков, О.М. Барсуков, Е.М. Безродный, И.Н. Васильев, А.В. Введенская, А.А. Воробьев, Г.А. Гамбурцев, В.П. Головков, М.Б. Гохберг, И.Л. Гуфельд, И.П. Добровольский, И.Г. Киссин, Г.А. Мавлянов, С.Х. Максудов, В.А. Моргунов, В.И. Мячкин, А.В. Пономарев, О.А. Похотелов, Т. Рикитаке, М.А. Садовский, А.Я. Сидорин, Ю.П. Сковородкин, Г.А. Соболев, Р.П. Соловьева, В.Н. Соломатин, А.Н. Султанходжаев, А.И. Тўйчиев, В.И. Уломов, С.С. Хусомиддинов, В.Н. Яковлев, И.Б. Яковleva, А.Р. Ярмухамедов и др.

В ходе исследований учеными были выявлены способность реагирования большинства параметров геофизических, гидрогеологических, геодинамических полей методов к процессу подготовки землетрясения. В ходе исследований ученыe обнаружили ранее неизвестные природные явления: “Аномальные изменения сопротивления горных пород перед

землетрясением” (Барсуков О.М.), «Изменение химического и газового состава (элементы и изотопы) подземных вод в периоды, предшествующие и сопутствующие землетрясениям» (Мавлонов Г.А. и др.). В результате полученных знаний учеными создан ряд качественных моделей подготовки землетрясений, а также достигнут ряд точных результатов в прогнозировании землетрясений. В Узбекистане созданы три геодинамических полигона для определения закономерностей проявления предвестников землетрясений и проведения научных исследований. На сегодняшний день для проведения исследований в этой области на современном уровне требуется широкое использование информационных технологий.

Связь диссертационного исследования с планами научных исследований научно-исследовательского учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан в рамках проектов: «Создание системы мониторинга напряженно-деформационного состояния земной коры на основе стационарных и полевых наблюдений. Разработка технологии изучения внутреннего строения сейсмогенных зон методами сейсмической томографии и сейсмического профилирования» (2018–2020 гг.), «Разработка усовершенствованной системы мониторинга комплексных предвестников землетрясений на территории Узбекистана» (2021–2023 гг.).

Цель исследования является разработка геофизической информационной технологии оценки вероятности возникновения землетрясений в реальном времени на средне и краткосрочную перспективу на основе геолого-геофизических показателей.

Задачи исследования состоят из нижеследующих:

Создание базы данных (БД) геофизических, геодинамических, гидрогеосейсмологических наблюдений, проводимых на геодинамических полигонах Узбекистана;

Автоматизация геодинамических и магнитометрических наблюдений и сбора данных наблюдений;

Разработка алгоритма и программного обеспечения для поиска средне- и краткосрочных предвестников землетрясений по геодинамическим, магнитометрическим, гидросейсмологическим и сейсмологическим данным.

Объект исследования геодинамические полигоны Ташкента, Ферганы и Кизилкума.

Предмет исследования мониторинговые системы, основанные на современных информационных технологиях, используемые для изучения комплекса геолого-геофизических параметров.

Методы исследования. методы мониторинга геофизических параметров (электрометрия, магнитометрия, GNSS), цифровая обработка ретроспективных данных, методы регрессионного и корреляционного

анализа, спектральный анализ в программной среде R, а также программные пакеты Matlab и Mezozavr.

Научная новизна исследования состоит из следующего:

создан цифровой аппаратно-программный комплекс кластерного мониторинга геолого-геофизических параметров и разработаны геофизические информационные технологии для выявления предвестников землетрясений.

разработаны программные средства «Magnetic data transmission GEM-19T» для автоматической передачи и приема данных сейсмопрогностических наблюдений в режиме реального времени, а также «DataVisualizer» для их обработки.

созданы базы данных и знаний «Geoseysmo», обеспечивающие хранение, управление и редактирование наблюдений, а также алгоритмы их межсистемной интеграции.

на основе спектрального анализа, частотной фильтрации и изучения периодических вариаций геомагнитного поля и гравитационных влияний оценены деформационные предвестники в земной коре.

Практические результаты исследования:

создано программное обеспечение, которое инициализирует данные отслеживания, восстанавливает сбои и фильтрует тенденции;

оценены современные движения земной коры на основе применения метода глобального позиционирования GPS-наблюдательных пунктов;

разработан комплекс устройств и программного обеспечения для сбора, хранения, предварительной обработки и автоматизированной онлайн-передачи данных в центр.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования была достигнута за счет двух практик. В первой - оборудование проходит метрологический контроль посредством специального стенда, разработанного совместно с Физико-техническим институтом Академии наук Республики Узбекистан. Во втором объясняется результатами исследования материалов ретроспективных сейсмоактивных периодов.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость исследования заключается в моделировании динамики сейсмических процессов и выявлении предвестников землетрясений посредством информационных технологий, в разработке алгоритмов статистического и спектрального анализа геолого-геофизических параметров и их корреляционных взаимосвязей.

Практическая значимость состоит в разработке аппаратных средств, алгоритмов, программного обеспечения и баз данных для выявления краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных предвестников землетрясений на территории Республики Узбекистан.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных в разработке геофизических информационных технологий для прогнозирования землетрясений:

автоматизированная информационная система сбора, передачи в центр обработки данных и хранения в базе данных данных о геомагнитном поле, электромагнитном импульсе и электротеллурическом поле для прогноза землетрясений с использованием программного обеспечения «Magnetic data transmission GEM-19T», «Seismoweb», «DataVisualizer» и базы данных «Geoseysmo» внедрена в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга (Справка Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан №2/4/36-103 от 14 января 2025 г.). В результате появилась возможность осуществлять сбор, хранение, предварительную обработку и передачу данных наблюдений в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга в автоматизированном онлайн режиме;

разработанные на основе анализа геофизических, геодинамических, гидрогеосейсмологических данных наблюдений и данных глобального позиционирования алгоритм и программное обеспечение для выявления предвестников землетрясений внедрены в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга. (Справка Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан №2/4/36-103 от 14 января 2025 г.). Результаты позволили оперативно выявлять предвестники сильных землетрясений.

разработанное программное обеспечение “DataVisualizer” для первичной обработки комплексных данных наблюдений, восстановления прерываний и фильтрации трендов внедлено в Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга (Справка Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан №2/4/36-103 от 14 января 2025 г.). В результате разработанного программного обеспечения удалось повысить эффективность прогнозирования сильных землетрясений.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на 2 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 16 научных работ, в том числе 5 научных статей, 4 в республиканском, 1 в зарубежном журнале, рекомендованном Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, получены 5 авторских свидетельств Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на базы данных и программные продукты.

Структура и размер диссертации. состоит из введения, трех глав, заключения и раздела использованной литературы. Объем диссертации 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проводимого исследования, цель и задачи исследования, описываются объект и предмет исследования, показано, что исследование соответствует приоритетным направлениям исследования. Описаны развитие науки и техники республики, научная новизна и практические результаты исследований, раскрыта их научная и практическая значимость, приведены сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации под названием «**Современное состояние исследований по проблеме прогнозирования землетрясений**» содержит аналитический обзор результатов мировой науки по прогнозированию землетрясений, работ ученых нашей страны в этой области, основных источников стрессов и деформации в земной коре, методика оценки напряженно-деформированного состояния, механизм очага землетрясения и по результатам наблюдений за сейсмичностью местности. Мониторинг и оценка напряженно-деформированного состояния и мониторинг его изменений является одной из наиболее сложных задач геофизики. Данная краткая информация о существующих геодинамических полигонах на территории нашей страны.

Приведены методы определения глобального местоположения точек наблюдения на основе системы GPS, ее применение в Узбекистане, обработка полученных данных, информация о глобальной системе спутниковой навигации базовых станций GPS.

Высокий уровень сейсмической активности существующих геодинамических полигонов и детальное изучение геологических, геофизических и сейсмотектонических условий региона облегчают сейсмическое прогнозирование, тогда как сложное геолого-тектоническое строение и блоковое строение затрудняют его. Подчеркнута необходимость сокращения интервалов измерений для осуществления мониторинга методом глобального позиционирования точек слежения на основе системы ГПС.

Во второй главе диссертации, оглавленной «**Структура системы сейсмопронгостического мониторинга**», описывается сущность функции мониторинга и ее аппаратно-программное обеспечение. При прогнозе землетрясений используются комплексные геофизические, геодинамические и гидрогеосейсмологические данные.

Описаны структура системы мониторинга в виде кластера и принципы работы. На основе изучения результатов, полученных на международном и национальном уровне, определено сочетание высокоэффективных параметров системы мониторинга.

Система мониторинга состоит из кластерного нижнего звена и центра обработки данных верхнего звена, соединенных между собой современной телекоммуникационной системой. Сеть станций вместе с сервером образует

сейсмопрогностическую систему с пропускной способностью не менее 256 Кбит/с.

Кластер был разработан Институтом сейсмологии и Физико-техническим институтом АН РУз, и его основной задачей стало управление совокупностью контролируемых параметров. Он предназначен для сбора, обработки, хранения, отправки данных от первичных датчиков измерения в центр. Сам кластер имеет трехуровневую структуру. Первый уровень составляют геофизические и гидрофизические показатели, параметризующие физическое состояние информативных признаков сейсмического риска. На втором уровне сигналы обрабатываются и записываются во внутреннюю память, которая затем передает данные потребителям. Третичный промышленный компьютер, обеспечивающий передачу данных от регистраторов в центр сбора, архивирования и обработки данных (рисунок 1).

Мониторинг некоторых параметров геофизических полей осуществляется через кластерный центр. Через кластер можно одновременно измерять до 16 устройств с интервалом 5, 10, 20, 30 или 60 минут.

Функциональная структура кластера включает следующие блоки. Прибор для измерения изменений электротеллурического поля, прибор для измерения градиента атмосферного электрического поля, блок для измерения параметров подземных вод.

Показаны генерация сейсмогенных электромагнитных излучений, обработка полученных данных. Также приведены особенности проявления электротеллурических предвестников землетрясений, их изменений, а также наглядные примеры проявления аномалий электротеллурического поля (ЭТП) (Кайрокумское землетрясение от 1985 года, $M=5,6$; Алайское землетрясение от 1987 года, $M=5,7$). Он также используется в качестве цифрового приемного устройства электромагнитного излучения и системы мониторинга.

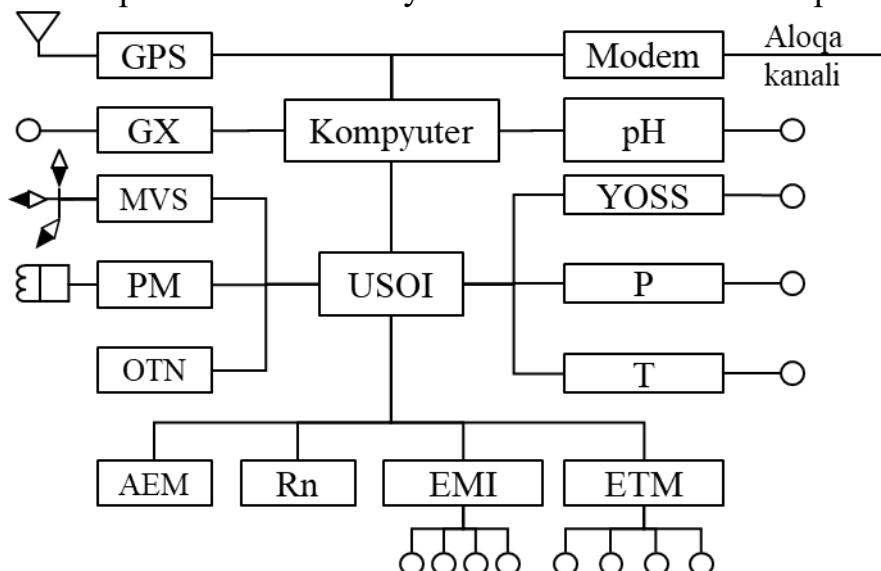


Рисунок-1. Схема кластерной системы, разработанная Институтом сейсмологии и Физико-техническим институтом АН РУз

Ограниченнaя статистика землетрясений, недостаточное количество станций на полигонах показывают, что на современном этапе они не могут в полной мере оценить статистико-вероятностные характеристики аномалий ЭТП.

Геомагнитные исследования широко используются при прогнозировании землетрясений. Магнитометр GEM-19T установлен в магнитоионосферной обсерватории (рисунок 2).

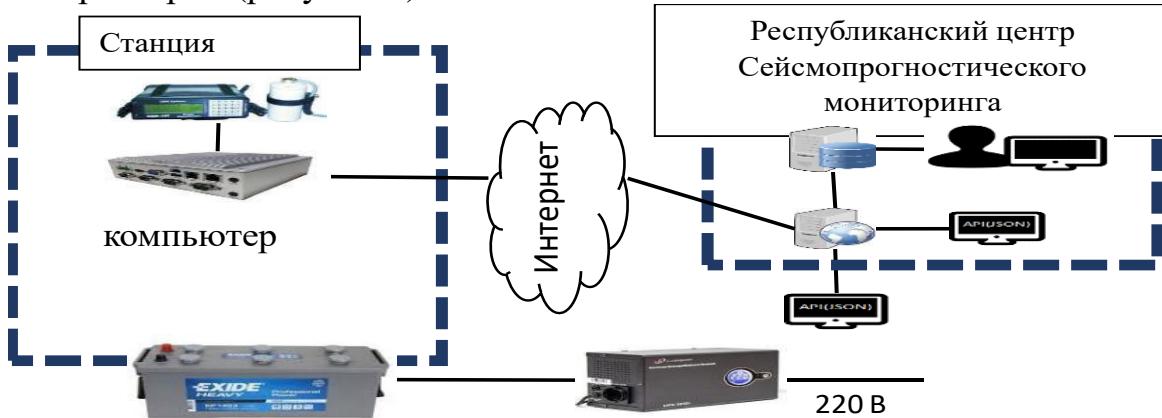


Рисунок-2. Схема подключения магнитометра

Дискретность измерения оборудования устанавливается оператором 3 секунды и более. Сервер имеет веб-интерфейс для онлайн-мониторинга ежедневных данных.

Алгоритм созданного программного обеспечения «Magnetic data transmission GEM-19T » представлен в виде структурной схемы на рисунок-3.

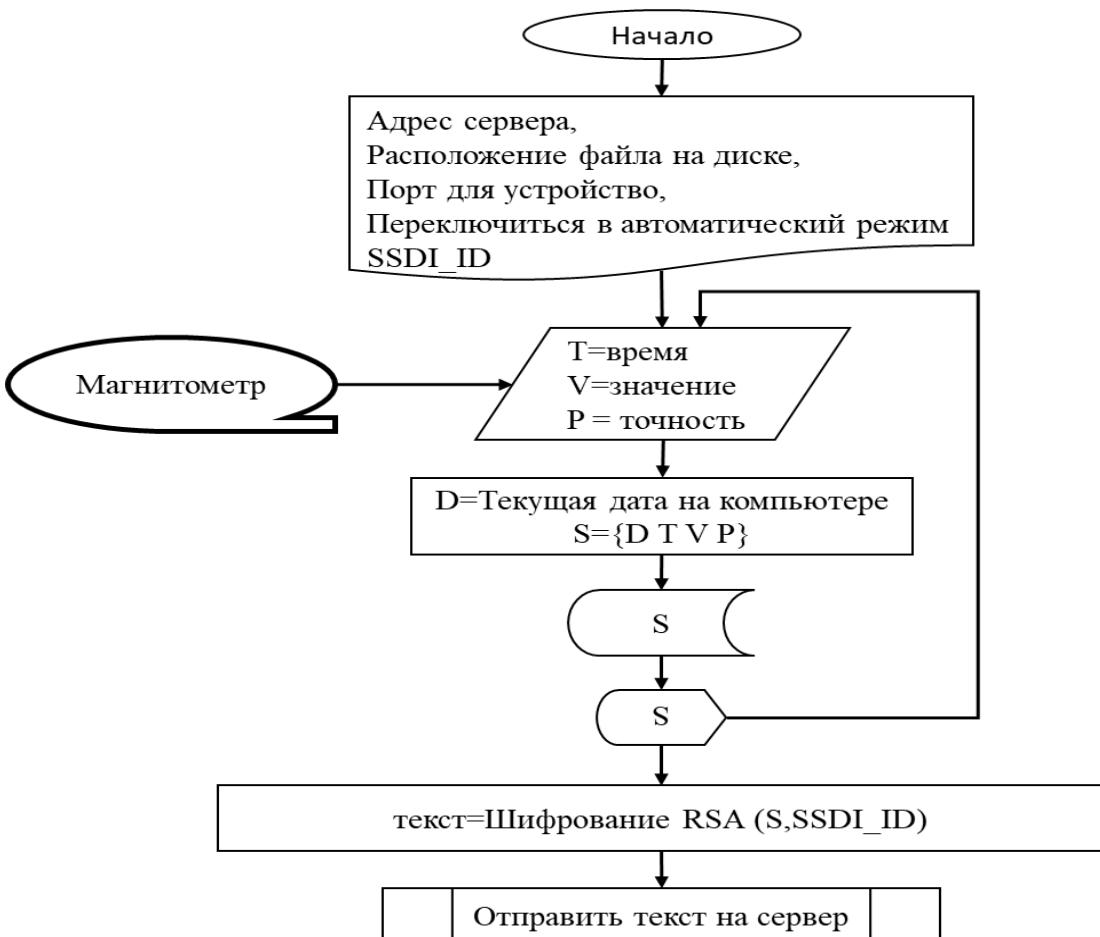


Рисунок-3. Алгоритм программного обеспечения “Magnetic data transmission GEM-19T” в виде блок схем

Он сохраняет полученные сервером данные в режиме реального времени в базе данных на основе алгоритма блок-схемы, показанного на рисунке 4.

Расчеты выполняются с помощью разработанного в ходе исследования программы «DataVisualizer» и интерактивного программного комплекса «R».

Разработан программный интерфейс (API) для получения информации из базы данных. Данные можно визуализировать с помощью программы «DataVisualizer».

Программное обеспечение «Magnetic data transmission GEM-19T» работает под управлением операционной системы Windows. Программа автоматически записывает данные. Текущий файл данных создается без вмешательства оператора. Программное обеспечение записывает точность измерения в дополнение к магнитной составляющей.

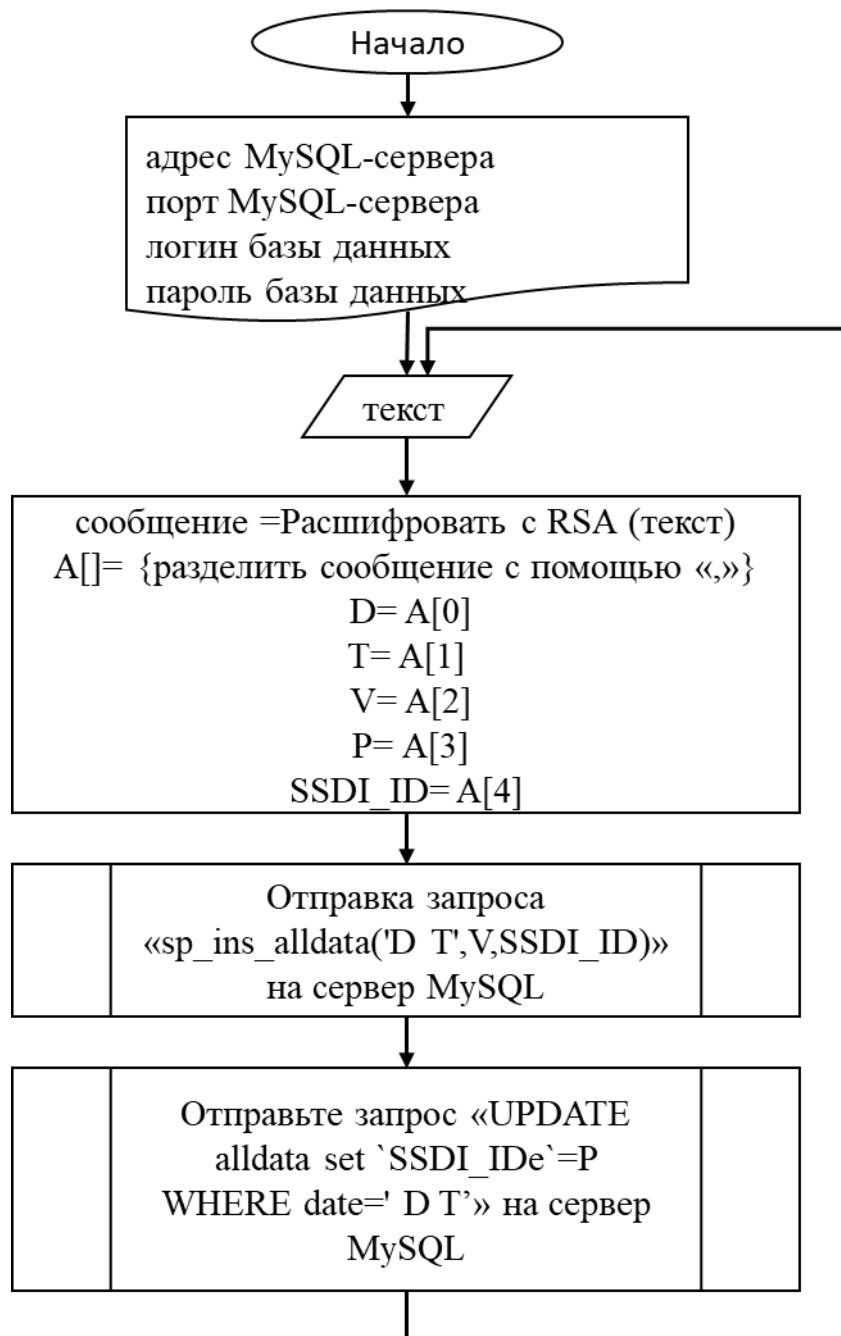


Рисунок-4. Алгоритм в виде структурной схемы приема и хранения данных

Впервые в Узбекистане создана реляционная база данных (БД) с использованием клиент-серверной архитектуры для хранения геофизических, сейсмических, гидрогеосейсмологических и геодинамических параметров, измеренных в геодинамических полигонах, с целью повышения производительности труда сотрудников системы сейсмопрогностического мониторинга. Созданный БД содержит результаты геофизических, гидрогеосейсмологических и геодинамических параметров, наблюдавшихся с 1941 по 2020 годы. Общее количество наблюдаемых параметров – более 653,

количество результатов измерений, полученных в результате наблюдений – более 5 275 000.

Полученные данные могут быть использованы в научных исследованиях и прогнозировании землетрясений.

Сбор и хранение данных наблюдений геомагнитного поля высокого разрешения без человеческого фактора повышает эффективность обнаружения предвестников землетрясений. В ходе исследований были разработаны устройства для автоматического измерения электротеллурических, электромагнитных полей и физических свойств воды, а также программное обеспечение для их использования и тестирования.

В третьей главе диссертации под названием «**Разработка геофизических информационных технологий поиска и прогнозирования предвестников землетрясений**» представлены физические основы обнаружения предвестников землетрясений, алгоритмы обнаружения, обработка данных, программное обеспечение для управления прогностической базой данных (БД) и обработки баз данных, результаты о GPS-наблюдениях. Также в них выделяются результаты поиска предвестников землетрясений с использованием алгоритмов и программного обеспечения, созданных по геолого-геофизическим данным.

Под руководством академика М. А. Садовского на основе анализа крупномасштабных статистических данных были установлены следующие связи между размерами сейсмического очага и временем подготовки и энергией землетрясения. В частности: $\lg t(E, \text{эр}g) = 0.295K - 5$, t - время подготовки землетрясения, годы; $E = 10^3 V$; E – энергия землетрясения, эрг, K -класс землятрясения, V - объём, см³; здесь: $\lg E = 1.5Ms + 11.8$; $V = (L * W)^{1.5}$; L - длина очага, см, W - ширина очага в см, $L/W = 2,9$; $\lg(L/W) = 0,14Ms - 0,58$; M - магнитуда землятрясения.

Первым этапом поиска предвестников землетрясений является оценка сейсмотектонической ситуации в сейсмически активных зонах Узбекистана и соседних регионов с целью определения сейсмически активных зон.

В разработанных моделях подготовки землетрясений основным фактором являются аномальные деформации консолидированного массива горных пород. В связи с тем, что невозможно показать прогноз землетрясений в виде конкретного математического выражения, он имеет пошаговый алгоритм, связанный с задачами прогнозирования.

Для обеспечения достоверности сейсмопрогностической оценки проводится мониторинг изменения комплексов геофизических, геодинамических и гидрогеосейсмологических параметров. Различия в методах измерения, описании измерительных материалов и интервалах измерений затрудняют их сравнение. Восстановление возможных разрывов анализируемых рядах, выявление ошибок в рядах и проверка нормальности распределения стационарного ряда выполняются в системе «R».

Результаты контролируемых параметров сохраняются в БД. Система управления БД оптимизирует правила хранения данных, создает комфортные условия для пользователей. Реляционная система управления БД состоит из электронного БД отслеживания данных и веб-интерфейса, осуществляющего управление ими. Результаты отслеживания хранятся в реляционной форме.

Помимо результатов геофизических и гидрогеосейсмологических наблюдений, БД хранит информацию, необходимую для работы со станциями, землетрясениями, датчиками, временными интервалами наблюдательных измерений, размером сохраняемых данных, списком пользователей и файловым (FTP) сервером. Полученные данные сохраняются в 38 реляционных таблицах.

Помимо таблиц в базе данных создаются дополнительные процедуры, триггеры, представления для их хранения, обработки и сортировки.

Простота пользовательского веб-интерфейса — одна из основных особенностей системы. Веб-интерфейс создан на языке программирования Java.

Программа «ftp-to-db» разработана для хранения данных, полученных на FTP-сервере, в базе данных. Алгоритм работы этой программы в виде структурной схемы представлен на рисунок 5.

Использование созданной программы «DataVisualizer» предназначено для чтения, сохранения и экспорта данных в формате DBASE III, расчета информации, имеющейся в БД, экспорта нескольких данных вместе в вышеуказанном формате, фильтрации суточных и постоянных показателей параметров в БД, для тех, кто иметь доступ к обработанным данным для пользователей, хранилище во вторичном БД имеет возможность переформатирования хранимых данных или интервала, требующего дискретизации, с последующим сохранением их во второй базе данных.

Применение дополнительных функций к структуре БД требуется при создании новых точек мониторинга, изменении метода мониторинга или частоты измерений параметров сейсмопрогностического мониторинга.

Сущность работы глобальной спутниковой навигационной системы состоит из трех функциональных систем: системы, расположенной в космосе, системы, расположенной на Земле, и информации о структурных сегментах системы, использующих данные GPS.

Существует несколько способов получения координат с помощью GPS. В целом методы можно разделить на три класса.

1. Автономная навигация – используется одиничный (автономный) приемник. Используется туристами, морскими судами и военными. Точность для гражданских потребителей составляет 100 метров, для военных – около 20 метров.

2. Позволяет получать дифференциальные координаты или координаты DGPS с точностью до 0,5-5 метров.

3. Дифференциальные фазовые измерения обеспечивают точность 0,5-20 мм. Геодезические измерения используются в управлении строительством.

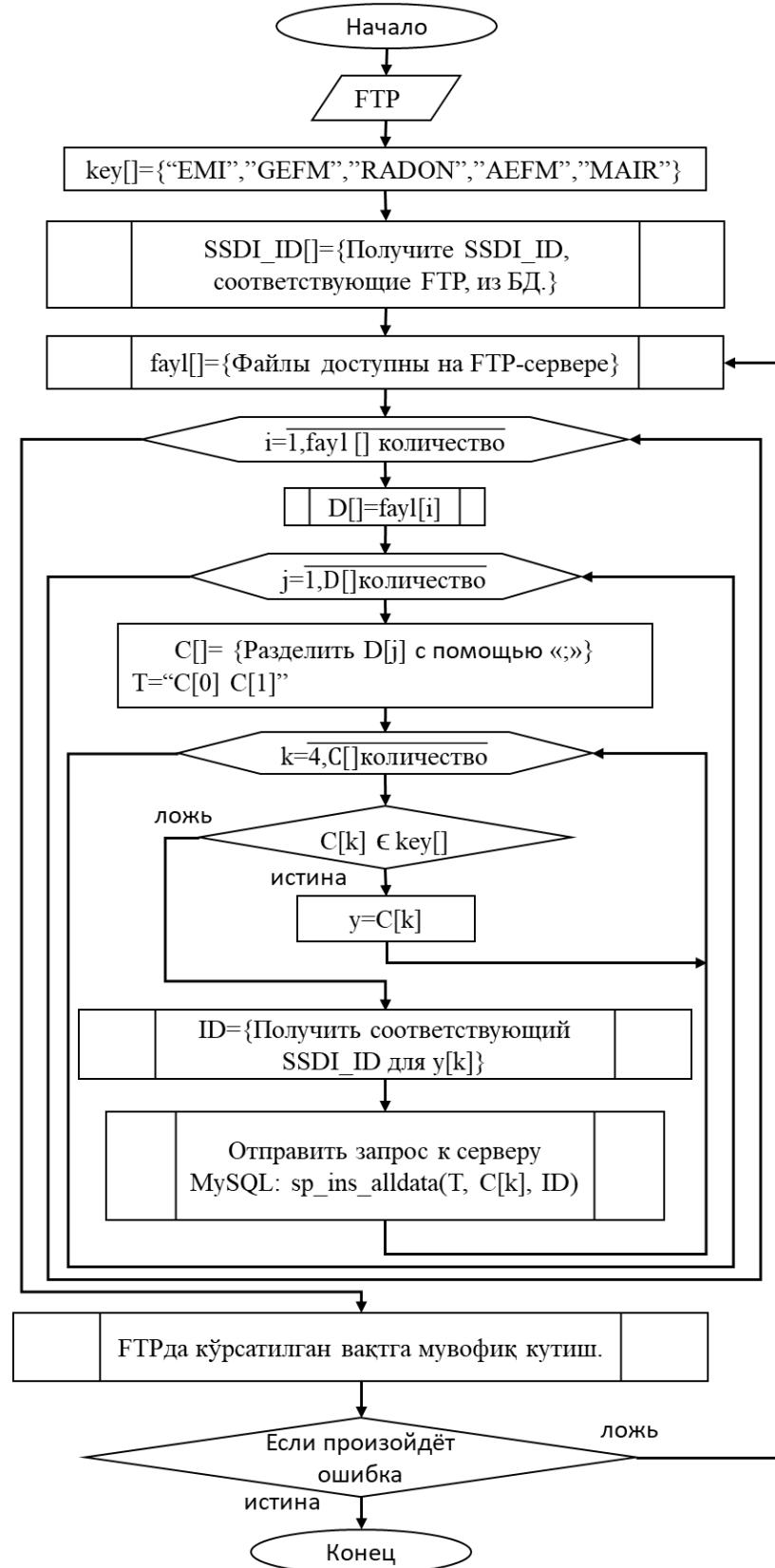


Рисунок-5. Алгоритм в виде структурной схемы процесса чтения данных с FTP-сервера и сохранения их на БД

Для определения координат точки наблюдения в системе WGS84 время выхода радиоволны (t'), отправленной со спутника (ИС), и время ее приема устройством (Т) фиксируются приемным устройством, а расстояние до ИС определяется по следующей формуле.

$$S=(t-t')\cdot C; C \approx 300\ 000 \text{ км/с} \quad (1)$$

Следует учитывать факторы, которые могут влиять на координаты:

1. Захватом в ионосфере и атмосфере.
2. Погрешность часов спутника и приемника.
3. Повторение.
4. Геометрическое снижение точности.
5. Избирательный доступ (S/A).
6. Шифрование кодовых данных – Anti Spoofing (A-S).

Ионосфера характеризуется электронной плотностью. Ее динамика меняется в течение дня на разных высотах под влиянием Солнца.

Представлен принцип работы двухчастотного высокоточного измерительного прибора Leica GPS1200, установленного на станциях в Янгибазоре и Фергане с целью прогноза землетрясений.

Высокоточные значения точки наблюдения были проанализированы путем обработки данных, измеренных за 24 часа и за 6 месяцев через GPS-приемник, установленный в Янгибазаре. Среднеквадратичное отклонение по горизонтальным компонентам Е и N данных составило до 4 мм, а по вертикальному компоненту Н - до 8 мм. Спектральный анализ выявил периодические составляющие 6, 8, 12 и 24,2 часа.

Таблица среднегодовых горизонтальных и вертикальных скоростей перемещений GPS-станций обработана с помощью программы GAMIT-GLOBK на Ташкентском геодинамическом полигоне (таблица).

В данных, полученных в результате наблюдений за отклонениями земной поверхности, методом спектрального анализа определялось изменение периодических составляющих во времени. Эти изменения усилились перед землетрясением и уменьшились после землетрясения.

Также с помощью разработанных алгоритмов и программного обеспечения был проанализирован восточный компонент GPS-данных, наблюдавшихся на станции Китаб (рисунок-6).

Тот факт, что в некоторых моделях подготовки землетрясений учитываются эндогенные процессы в качестве сейсмогенного источника и не учитывается гравитационное поле, снижает ее точность.

Можно определить изменения подземных вод за счет гравитационных источников и наблюдать сейсмогенные процессы в зоне подготовки землетрясения. Спектральный анализ суточных фоновых вариаций параметров CO₂ подземных вод показал, что они содержат двухчетырехнедельные периодические компоненты, которые объясняются способностью Луны генерировать гравитационные потоки. Они проявляются

с одинаковой интенсивностью по всем анализируемым параметрам подземных вод.

Таблица

Результаты измерений GPS-станций, расположенных в Ташкентской области и ее окрестностях, где ведутся непрерывные наблюдения, в 2021-2022 годах

Долгота	Широта	Evel	Nvel	Hvel	Точка наблюдения
Градус	градус	мм/год	мм/ год	мм/ год	
71,78	40,37	-9,14	25,24	0,20	FGNA
71,72	41,20	-8,32	17,71	-4,47	YANN
69,58	41,30	-10,30	22,28	0,50	YNBZ
69,59	41,50	-9,32	21,09	0,78	CHIR
69,29	41,32	-4,5	22,39	12,18	TASH*
69,27	41,33	-10,04	19,25	-2,15	MAGK
69,04	41,11	-8,96	17,78	-0,93	YAN1
68,76	40,50	-9,51	19,25	-2,08	GULD
68,69	40,82	-9,98	28,69	7,75	SIRD
66,88	39,13	-5,21	20,95	9,12	KIT3*
68,03	40,53	-10,21	16,84	3,44	DUST

В данном случае Evel - годовое горизонтальное перемещение восточного организатора, представляющее собой разницу расстояний от гринвичского меридиана 0° до станции GPS, Nvel - годовое горизонтальное перемещение северного организатора, разность расстояний от земного меридиана экватора до станции GPS, а Hvel - годовое вертикальное перемещение точек, то есть значения высоты Международной наземной базы согласно системе расчета (International Terrestrial Reference Frame 2014).

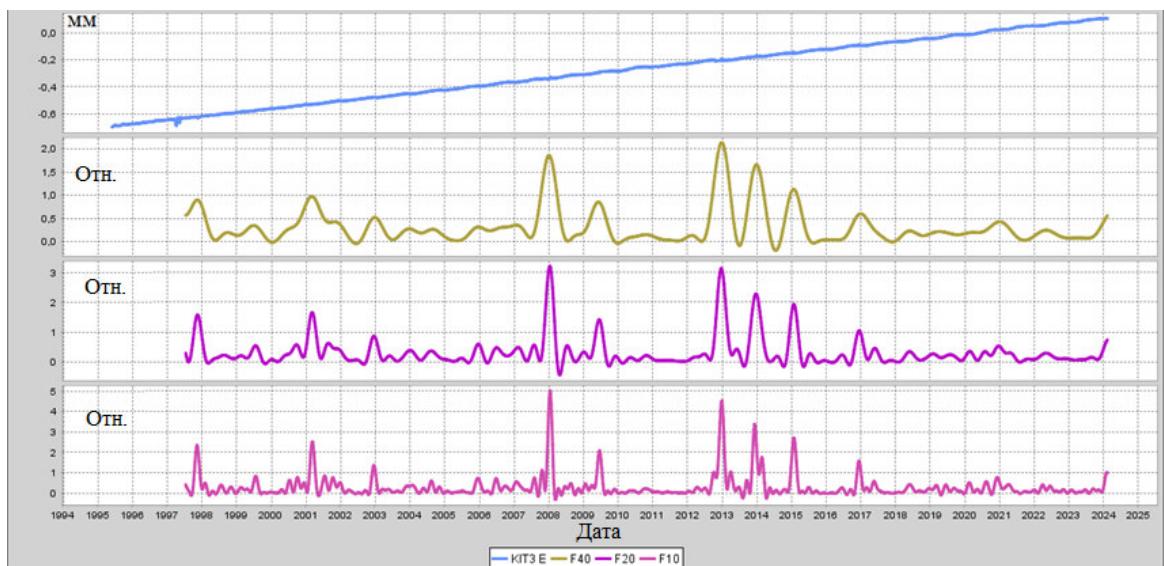


Рисунок-6. Вариации восточной составляющей станции Китаб, рассчитанные в GIPSY и обработанные данные по разработанным алгоритмам

KIT3 E - значения восточной составляющей, наблюдаемые на станции Китаб, F40 - результат 40-недельной фильтрации, F20 - результат 20-недельной фильтрации, F10 - результат 10-недельной фильтрации.

Анализ показал, что фильтрация данных по периодическим компонентам, увеличившимся перед землетрясением, позволяет точно идентифицировать нужный предвестник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обосновано необходимость широкого использования современных информационно-технологических решений и цифровых устройств, а также искусственного интеллекта для снижения человеческого фактора при обнаружении предвестников землетрясений, прогнозировании землетрясений, обработке и анализе больших объемов данных.

2. Предложена структурная модель информационного обеспечения сети сейсмопрогностического мониторинга, на основе которой созданы практическое и системное программное обеспечение, алгоритмы и базы данных, сформирована автоматизированная информационная система.

3. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для обнаружения предвестников землетрясений по геофизическим, геодинамическим и гидрогоеосейсмологическим параметрам. Полученные алгоритмы и программное обеспечение позволяют оперативно прогнозировать сильные землетрясения.

4. Определение частот, на которых в наблюдаемых параметрах появляются предвестники землетрясений, повышает точность прогнозирования землетрясений.

5. При поиске долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений было показано, что необходимо определять их частоту для каждого момента времени.

6. Показана перспективность использования данных высокого разрешения спутниковой навигационной системы при прогнозировании землетрясений.

7. Показано, что необходимо адаптировать разрабатываемые устройства ЭМИ к геолого-геофизическим особенностям района их размещения.

8. Целесообразно расширить применение прибора ЭТП для прогнозирования землетрясений.

9. Алгоритмы, разработанные для идентификации предвестников землетрясений, которые сопоставляют предвестники землетрясений с одной и той же моделью, повышают эффективность обучения и использования моделей искусственного интеллекта для прогнозирования землетрясений.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON SCIENTIFIC COUNCIL
AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc.02/30.10.2019.GM/FM.97.01
AT INSTITUTE OF SEISMOLOGY**

INSTITUTE OF SEISMOLOGY

SADIROV FERUZ KHASANOVICH

**DEVELOPMENT OF GEOPHYSICAL INFORMATION TECHNOLOGIES FOR
EARTHQUAKE FORECASTING**

04.00.06 – Geophysics. Geophysical methods of mineral prospecting

**ABSTRACT
of the doctor of philosophy (PhD) dissertation on technical sciences**

Tashkent-2025

The theme of doctor philosophy (PhD) registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2024.1.PhD/T4405.

The dissertation has been prepared at the Institute of Seismology.

The abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English) languages on the website of the Scientific Council (www.seismos.uz) and on the website of «ZiyoNet» information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: Khusomiddin Sabriddin Samarovich
Doctor of physical and mathematical sciences

Official opponents: Djumanov Jamoljon Khudayqulovich
Doctor of technical science

Kuchkarov Kakhramon Israilovich
Doctor of philosophy in physical and mathematical sciences (PhD)

Leading organization: National university of Uzbekistan

The defense of the dissertation will take place on «9» december 2025 at «10⁰⁰» hours at a meeting of the Single Scientific Council based on the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 at the Institute of Seismology (Address: 100128, Tashkent city, Zulfiyakhonum street, 3. Ph.: +99871 241-51-70; +99871 241-74-98; E-mail: seismologiya@mail.ru).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the Institute of Seismology (is registered under №1159) (Address: 100128, Tashkent city, Zulfiyakhonum street, 3. Ph.: +99871 241-51-70).

Abstract of distribution sent out on 25 november 2025.

(register of this distributed protocol from № 18 «25» november 2025)



S.Kh. Maksudov

Chairman of single scientific council
based on scientific council awarding
of scientific degrees, doctor of physical and
mathematical sciences, professor

Z.F. Shukurov

Scientific secretary of single scientific council
based on scientific council awarding
of scientific degrees, doktor of philosophy

V.A. Ismailov

Chairman of the scientific seminar under the
single scientific council based on
scientific council awarding of scientific degrees,
doctor of geological and mineralogical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to develop geophysical information technology for assessing the probability of earthquakes in real time in the medium and short term based on geological and geophysical indicators.

The objects of the research work are Tashkent, Fergana, and Kyzylkum geodynamic polygons.

Scientific novelty of the research work is:

a digital hardware-software complex for cluster-based monitoring of geological and geophysical parameters has been developed, and geophysical information technologies for identifying earthquake precursors have been created.

software tools "Magnetic data transmission GEM-19T" for automated real-time transmission and reception of seismopredictive monitoring data, as well as "DataVisualizer" for their processing, have been developed.

the "Geoseysmo" database and knowledge base have been created to store, manage, and edit observational data, along with algorithms for their intersystem integration.

based on spectral analysis, frequency filtering, and the study of periodic variations in the geomagnetic field and gravitational influences, deformation precursors in the Earth's crust have been evaluated.

Implementation of research results

Based on the scientific results obtained in the development of geophysical information technologies for earthquake forecasting:

an automated information system for collecting, transmitting, and storing data on geomagnetic fields, electromagnetic impulses, and electrotelluric fields was developed. This system, integrating the 'Magnetic Data Transmission GEM-19T', 'Seismoweb', 'DataVisualizer' software, and the 'Geoseysmo' database, has been implemented in the Ministry of emergency situations of the Republic of Uzbekistan (reference No. 2/4/36-103 January 14, 2025). The system enables the collection, storage, preliminary processing, and automated online transmission of monitoring data to the Republican seismoprogностic monitoring center.

an algorithm and supporting software for identifying earthquake precursors were created, based on the analysis of geophysical, geodynamic, hydrogeoseismological, and global positioning observation data. This system has also been implemented in the Ministry of emergency situations of the Republic of Uzbekistan (reference No. 2/4/36-103 January 14, 2025). The results facilitate the rapid detection of earthquake precursors, significantly enhancing earthquake forecasting capabilities.

the 'DataVisualizer' software was developed to process complex observational data, restore interrupted datasets, and filter trends. This software has been implemented in the Ministry of emergency situations of the Republic of Uzbekistan (reference No. 2/4/36-103 January 14, 2025). As a result, it enhances the efficiency and accuracy of strong earthquake forecasts.

The structure and volume of the dissertation.

The dissertation comprises an introduction, three chapters, a conclusion, and a references section, with a total volume of 108 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Shukurov Z.F., Nurmatov U.A., Sadirov F.X., Allaev X.O. Respublikaning doimiy ishlovchi GPS stansiya ma'lumotlari asosida Karjantau yer yorig'i zonasiga yer qobig'inining zamонавиј harakatlarini aniqlash // O'zR FA ma'ruzalari, №4, Toshkent, 2022 yil. 87-92 b. (04.00.06; №1).
2. Maksudov S.X., Sagdullaeva K.A., Sadirov F.X., Isroilov X.B. O'zbekiston xududida zilzila darakchilarini geofizik usullar majmuasi bilan monitoring qilishni takomillashtirishga doir // Seysmologiya muammolari, № 1, 2023 yil. 18-28 b. (04.00.06; №4).
3. Sadirov F.X. Yer qobig'inining zamонавиј harakatlarida davriy o'zgarishlarning xususiyatlari // O'zMU xabarlari, 3/2, 2022 yil. 309-311 b. (04.00.06; №4).
4. Хусомиддинов С.С., Исламова Н., Хусомиддинов А.С., Садиров Ф.Х. Особенности наклонов Земной поверхности в сейсмоактивных зонах Узбекистана // Экологический вестник Узбекистана, №11, 2015, Ташкент, С. 26-29. (04.00.06; №4).
5. S.S. Khusomiddinov, F.Kh. Sadirov, A.S. Khusomiddinov. The increasing intensification event of the tidal deformation in the earthquake preparing area // International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences, India, 2020, Vol. 10(2) September-December, ISSN: 2277-2081. pp. 103-107. (04.00.06; №7).

II bo'lim (II часть; part II)

6. Sadirov F.X., Xusomiddinov A.S. Seysmologiyada DataVisualizer // Проблеми сейсмической опасности и риска в Узбекистане, обеспечение безопасности населения при землетрясениях // Труды и тезисы Республиканской научно-практической конференции, Ташкент 17-18 ноября, 2015 г. с.105.
7. Садиров Ф.Х. Система управлениям базами прогностических данных // Проблеми сейсмической опасности и риска в Узбекистане, обеспечение безопасности населения при землетрясениях // Труды и тезисы Республиканской научно-практической конференции, Ташкент, 17-18 ноября, 2015 г. с.105.
8. Садиров Ф.Х., Хусомиддинов С.С., Сагдуллаева К.А. Некоторые особенности методики GPS измерений современных вертикальных движений земной поверхности // XIV Международная конференция молодых учёных и

студентов. Современные техника и технологии в научных исследованиях. 22-24 апреля 2022 г. Бишкек с.198-170.

9. Хусомиддинов С.С., Садиров Ф.Х. Информационно-аппаратная система прогноза вероятности землетрясения в реальном времени // “Зилзила билан боғлиқ юзага келиши мумкин бўлган фавқулодда вазиятларда ахолининг хавфсизлигини таъминлаш масалалари” мавзусида Республика илмий-амалий семинари, 12-октябрь 2019 й. Тошкент. 22-29 б.

10. Хусомиддинов С.С., Хусомиддинов А.С. Садиров Ф.Х., Исломова Н.Ф. Особенности нарастающей интенсификации приливных деформаций в области готовящегося землетрясения // Замонавий сейсмологиянинг долзарб муаммоларини ечишда геофизик усувлари // Халқаро илмий конференция, Тошкент, 2018 й. С.63-66.

11. Юсупов В.Р., Садиров Ф.Х., Исроилов.Х.Б. Изучение магнитного поля земли по данным магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ и обсерватории Янгибазар (Узбекистан) // XV Международная конференция молодых учёных и студентов. Современные техника и технологии в научных исследованиях. 26-28 апреля 2023 г. Бишкек, С.237-239.

12. Sadirov F.X., Xusomiddinov S.S., Xusomiddinov A.S. Geofizik, gidrogeoseysmologik, seysmologik, geodinamik ma'lumotlarni matematik-statistik qayta ishlovchi va natijalarni grafik va xarita shaklida tasvirlovchi dasturiy vosita. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi guvohnomasi, № DGU 04868, 24.11.2017 yilda berilgan.

13. Xusomiddinov S.S., Sadirov F.X. Geofizik, seysmologik, gidrogeoseysmologik, geodinamik ma'lumotlarni saqlovchi relyatsion ma'lumotlar bazasi. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi guvohnomasi, № DGU 04869, 24.11.2017 yilda berilgan.

14. Sadirov F.X. Geofizik, gidrogeoseysmologik, seysmologik, geodinamik ma'lumotlarni saqlovchi relyatsion ma'lumotlar bazasini boshqaruvchi dasturiy vositasi. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi guvohnomasi, № DGU 04649, 09.08.2017 yilda berilgan.

15. Abdullabekov K.N., Maksudov S.X., Yusupov V.R., Sadirov F.X., Isroilov X.B. Magnitometrik qurilmalardan olingan ma'lumotlarni saqlovchi va serverga ma'lumotlarni RSA algoritmi orqali shifrlab yuboruvchi dasturiy vosita. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi guvohnomasi, № DGU 18006, 02.08.2022 yilda berilgan.

16. Abdullabekov K.N., Maksudov S.X., Yusupov V.R., Sadirov F.X., Isroilov X.B., Sagdullayeva K.A. Tarmoq orqali olingan magnitometrik ma'lumotlarni RSA algoritmi orqali shifrdan chiqarib relyatsion ma'lumotlar bazasiga saqlovchi va tasvirlovchi dasturiy vositasi. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi guvohnomasi, № DGU 27343, 25.09.2023 yilda berilgan.

Avtoreferat «Seysmologiya muammolari» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib,
o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi

Bosishga ruxsat etildi: 11.11.2025 yil
Bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda chop etildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,0. Adadi 80. Buyurtma № 28-11

“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahri, Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.