

KARTOGRAFIYA VA KADASTR SOHASIDA GEOFAZOVIIY FOUNDATION MODELLAR: QO'LLASH IMKONİYATLARI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI

Hamroyeva Kamola Rauf qizi

Respublika aerogeodeziya markazi,

Texnik loyiha va hisobotlar tuzish bo'limi II toifali muhandisi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21696748>

Kalit so'zlar: kartografiya, kadastr, sun'iy intellekt (SI), geofazoviy sun'iy intellekt (GeoAI), geofazoviy foundation model (GeoFM), foundation model, masofadan zondlash, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, aerokosmik tasvirlar, GIS, geofazoviy ma'lumotlar, avtomatik segmentatsiya, obyektlarni aniqlash, geofazoviy tahlil, raqamli xaritalash, chuqur o'rganish (Deep Learning), mashinali o'rganish (Machine Learning), katta til modellari (LLM), multimodal modellar, geofazoviy ma'lumotlar bazasi.

Annotatsiya: Ushbu tezisda kartografiya va geodeziya sohasida sun'iy intellekt texnologiyalarining yangi bosqichi hisoblangan **geofazoviy foundation modellar (Geo Foundation Models, GeoFM)** ning mazmun-mohiyati, rivojlanish bosqichlari, zamonaviy holati, amaliy qo'llanilish imkoniyatlari hamda istiqbollari tahlil qilingan. Shuningdek, dunyo miqyosida ushbu yo'nalishda olib borilayotgan ilg'or ilmiy tadqiqotlar va ularning natijalari umumlashtirilib, ularni O'zbekiston Respublikasi kartografiya va kadastr tizimiga joriy etishning ilmiy, texnologik hamda huquqiy jihatlari yoritilgan. Tadqiqot davomida GeoFM texnologiyalarini milliy geofazoviy axborot tizimlariga integratsiya qilishning mavjud muammolari, istiqbollari va kutilayotgan samaradorligi ilmiy asosda baholangan.

Kirish. So'nggi yillarda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining jadal rivojlanishi dunyoning deyarli barcha sohalarida qatori geodeziya, kartografiya va kadastr tizimlarini ham tubdan o'zgartirmoqda. Ayniqsa, geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlash, sun'iy yo'ldosh tasvirlarini tahlil qilish hamda kartografik ma'lumotlarni avtomatik yaratish va yangilash jarayonlarida sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanilishi yangi bosqichga ko'tarildi. Ushbu jarayonning mantiqiy davomi sifatida geofazoviy foundation modellar (Geo Foundation Models – GeoFM) shakllanib, geofazoviy sun'iy intellekt (GeoAI) rivojlanishining yangi avlod texnologiyasi sifatida e'tirof etilmoqda[2].

O'zbekiston Respublikasida ham sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri etib belgilangan. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilgacha rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi qarori bilan mamlakatda sun'iy intellekt texnologiyalarini keng joriy etish, ilmiy tadqiqotlarni qo'llab-quvvatlash, "katta ma'lumotlar" (Big Data) bazalarini shakllantirish hamda davlat boshqaruvi va iqtisodiyot tarmoqlarida sun'iy intellektdan foydalanishni kengaytirish bo'yicha ustuvor vazifalar belgilab berildi. Mazkur strategiyada geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlash uchun zarur bo'lgan hisoblash infratuzilmasini yaratish va sun'iy intellekt asosidagi axborot tizimlarini rivojlantirish ham alohida e'tiborga olingan[1].

Shuningdek, geodeziya, kartografiya va davlat kadastri sohalarida foydalaniladigan geofazoviy ma'lumotlarning muhim qismi xizmat doirasida foydalanish uchun yoki cheklangan axborot toifasiga kirishi sababli ular bilan ishlash, saqlash va ulardan foydalanish O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan tasdiqlangan davlat siri va xizmat doirasida foydalaniladigan ma'lumotlar bilan ishlash tartibi asosida amalga oshiriladi. Mazkur talablar

xorijiy bulutli sun'iy intellekt platformalaridan foydalanishda axborot xavfsizligi, ma'lumotlar maxfiyligi hamda milliy geofazoviy ma'lumotlarni himoya qilish masalalarini dolzarb ilmiy-amaliy muammoga aylantirmoqda.

An'anaviy kartografik ishlar ko'p yillar davomida mutaxassislarning qo'l mehnatiga asoslanib kelgan bo'lib, sun'iy yo'ldosh tasvirlarini tahlil qilish, obyektlarni raqamlashtirish, chegaralarni aniqlash va xaritalarni yangilash ko'p vaqt talab qiladigan jarayon hisoblangan. So'nggi yillarda mashinali o'rganish (Machine Learning) va chuqur o'rganish (Deep Learning) modellaridan foydalanish ushbu jarayonlarni qisman avtomatlashtirdi. Biroq bunday modellar odatda ma'lum bir vazifa yoki hudud uchun ishlab chiqilganligi sababli yangi sharoitlarda qayta o'qitishni talab qiladi hamda katta hajmdagi ma'lumotlarsiz samarali ishlay olmaydi.

Geofazoviy foundation modellar esa millionlab sun'iy yo'ldosh tasvirlari va geofazoviy ma'lumotlar asosida oldindan o'qitilishi natijasida turli geografik hududlar, iqlim sharoitlari va obyekt turlarida yuqori aniqlik bilan ishlay oladi. Natijada obyektlarni avtomatik aniqlash, segmentatsiya qilish, kartografik qatlamlarni yaratish, noqonuniy qurilishlarni monitoring qilish hamda geofazoviy ma'lumotlarni real vaqtga yaqin tezlikda yangilash imkoniyati yuzaga kelmoqda. Bugungi kunda Esri, Google, Microsoft, NASA kabi yetakchi tashkilotlar ushbu modellarni kartografiya, kadastr, ekologik monitoring, qishloq xo'jaligi va shaharsozlik tizimlariga muvaffaqiyatli joriy etmoqda.

Shu bilan birga, O'zbekiston sharoitida GeoFM texnologiyalarini joriy etishda yuqori hisoblash resurslariga ehtiyoj, cheklangan geofazoviy ma'lumotlar bilan ishlash, axborot xavfsizligi talablari hamda milliy geoma'lumotlar bazalarining o'ziga xos xususiyatlari kabi qator ilmiy va amaliy masalalar mavjud.

Shu nuqtai nazardan, geofazoviy foundation modellarining ilmiy asoslarini o'rganish, ularning kartografiya va kadastr sohasidagi imkoniyatlarini baholash hamda O'zbekiston Respublikasida amaliyotga joriy etish istiqbollari aniqlash bugungi kunning dolzarb ilmiy-amaliy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Asosiy qism. Sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi natijasida geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlash usullari ham bosqichma-bosqich takomillashib bordi. Dastlab mashinali o'rganish (Machine Learning) algoritmlari qo'llanilgan bo'lsa, keyinchalik chuqur o'rganish (Deep Learning) modellarining rivojlanishi sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan obyektlarni aniqlash, segmentatsiya qilish va tasniflash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Biroq bunday modellar odatda ma'lum bir vazifa yoki hudud uchun ishlab chiqilganligi sababli yangi sharoitlarda qayta o'qitishni talab qilardi[2].

2021-yildan boshlab sun'iy intellekt **Foundation Model** konsepsiyasi shakllanib, u katta hajmdagi ma'lumotlar asosida oldindan o'qitilib, keyinchalik turli vazifalarni minimal moslashtirish (fine-tuning), kam namunali (few-shot) yoki hatto qayta o'qitmasdan (zero-shot) bajarishga qodir universal modellarni yaratishga asos soldi. Ushbu yondashuv til, tasvir va multimodal sun'iy intellekt tizimlarida yuqori samaradorlikni namoyish etgach, geofazoviy ma'lumotlar uchun ham moslashtirila boshlandi[2].

Geofazoviy Foundation Modellar (Geo Foundation Models — GeoFM) — bu millionlab sun'iy yo'ldosh tasvirlari, aerokosmik suratlar va boshqa geofazoviy ma'lumotlar asosida o'z-o'zini nazorat qiluvchi (self-supervised learning) usulda oldindan o'qitilgan sun'iy intellekt modellaridir. Ularning asosiy afzalligi turli geografik hududlar, iqlim sharoitlari va masofadan

zondlash sensorlari bilan ishlashda yuqori umumlashtirish (generalization) qobiliyatiga egaligidir[3]. Natijada bitta model ko'plab geofazoviy vazifalarni bajarishi mumkin.

GeoFM texnologiyalarining paydo bo'lishiga so'nggi yillarda Yer masofadan zondlash ma'lumotlari hajmining keskin ortishi, an'anaviy chuqur o'rganish modellarining tor ixtisoslashganligi hamda katta hajmdagi annotatsiyalangan ma'lumotlarga bo'lgan ehtiyoj sabab bo'ldi. Foundation modellar esa oldindan o'qitilgan bilimlardan foydalanish orqali yangi vazifalarga tez moslashadi, kamroq belgilangan ma'lumot talab qiladi va turli geofazoviy masalalarda yuqori aniqlikni ta'minlaydi[1,2]. Shu sababli GeoFM geofazoviy sun'iy intellektning yangi avlodi sifatida e'tirof etilmoqda.

GeoAI rivojlanishini shartli ravishda quyidagi bosqichlarga ajratish mumkin:

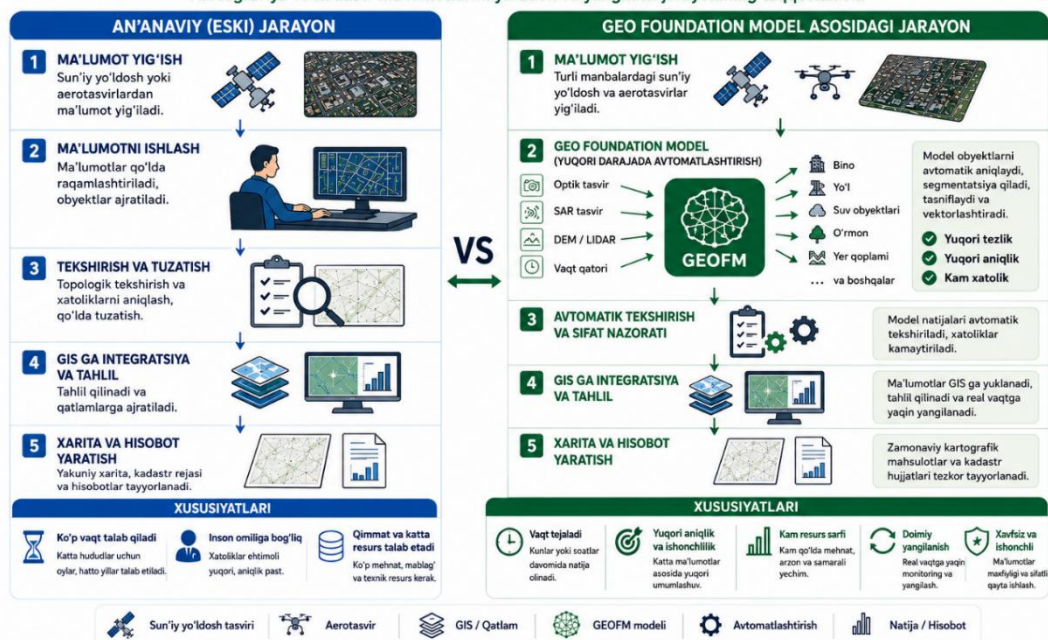
Masofadan zondlash → Mashinali o'rganish (Machine Learning) → Chuqur o'rganish (Deep Learning) → Foundation Models → Geofazoviy Foundation Models (GeoFM).

Bugungi kunda **NASA-IBM Prithvi, SatCLIP, GeoVLM, Clay, Prithvi-EO 2.0** kabi modellar kartografiya, kadastr, ekologik monitoring, qishloq xo'jaligi va shaharsozlik sohalarida keng qo'llanilmoqda hamda geofazoviy sun'iy intellektning istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda[4].

Geofazoviy Foundation Modellar (GeoFM) geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlashning an'anaviy yondashuvlarini tubdan o'zgartirib, kartografiya va kadastr sohalarida ko'plab jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini bermoqda. Oldindan o'qitilgan ushbu modellar sun'iy yo'ldosh va aerokosmik tasvirlardan geofazoviy obyektlarni avtomatik aniqlash, segmentatsiya qilish, tasniflash hamda o'zgarishlarni monitoring qilish kabi vazifalarni yuqori aniqlikda bajaradi. Natijada xaritalarni yaratish va yangilash jarayonlarining tezligi sezilarli darajada oshib, inson omiliga bog'liq xatoliklar kamaymoqda [6,7].

AN'ANAVIY ISH JARAYONI vs GEO FOUNDATION MODEL ASOSIDAGI ISH JARAYONI

Kartografiya va kadastr ma'lumotlarini yaratish va yangilash jarayonining taqqoslanishi



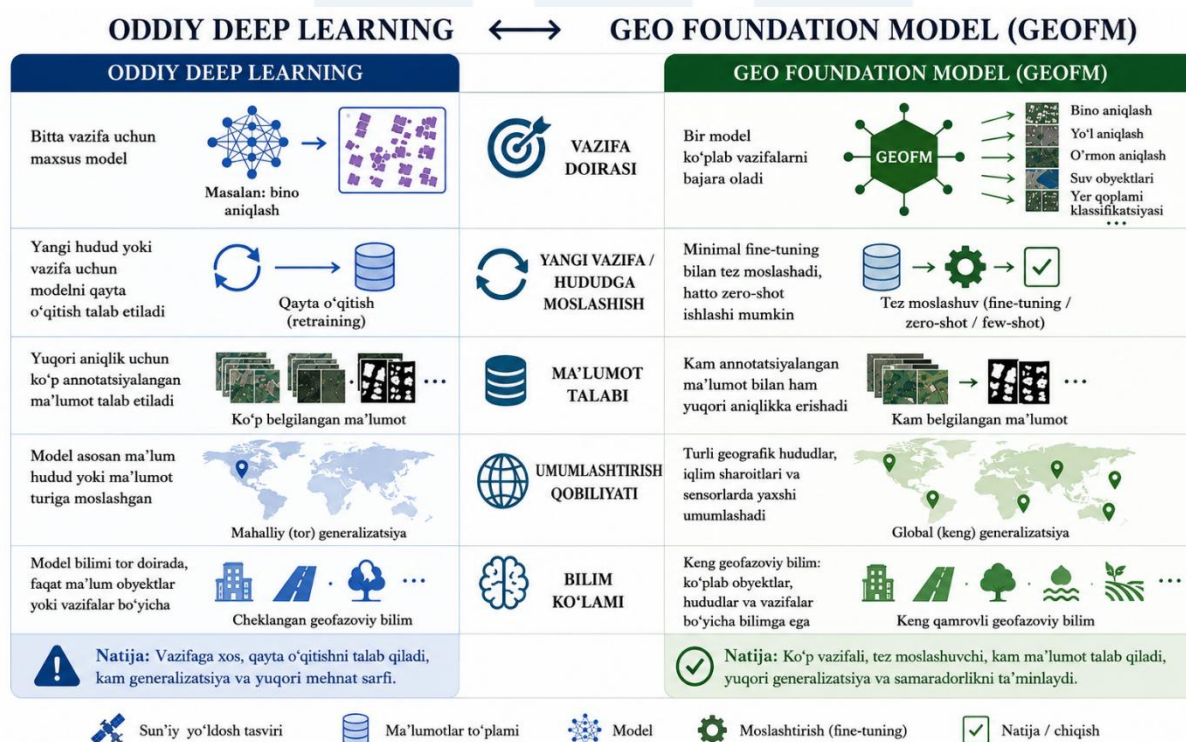
1-rasm. Ananaviy ish jarayonlari hamda geo foundation model asosidagi ish jarayonlarining taqqoslanishi.

Kartografiyada GeoFM texnologiyalarining eng muhim qo'llanilish yo'nalishlaridan biri sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida avtomatik kartografik qatlamlarni yaratish hisoblanadi.

Foundation modellar binolar, avtomobil yo'llari, temir yo'llar, gidrografiya obyektlari, o'rmonlar, qishloq xo'jaligi maydonlari va boshqa yer qoplam elementlarini avtomatik aniqlab, GIS tizimlari uchun tayyor vektor qatlamlarini shakllantirish imkonini beradi. Bundan tashqari, ular ortofotoplanlarni yangilash, yer qoplam klassifikatsiyasi (Land Cover Mapping), semantik segmentatsiya hamda turli davrlarga oid tasvirlarni taqqoslash orqali hududlarda yuz bergan o'zgarishlarni (Change Detection) aniqlashda yuqori samaradorlikni namoyon etmoqda [8,9].

An'anaviy chuqur o'rganish modellaridan farqli ravishda GeoFM modellar bir vaqtning o'zida bir nechta geofazoviy vazifalarni bajarishga qodir. Oldindan o'qitilgan bilimlardan foydalanish tufayli yangi hududlarda yoki yangi ma'lumotlar to'plamlarida minimal moslashtirish (fine-tuning) bilan yuqori aniqlikda ishlashi mumkin. Bu esa kartografik mahsulotlarni yaratish va yangilash muddatini sezilarli darajada qisqartiradi hamda geofazoviy ma'lumotlarning dolzarbligini ta'minlaydi [6,7].

Kadastr sohasida GeoFM texnologiyalari yer resurslarini boshqarish va monitoring qilish jarayonlarini avtomatlashtirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Mazkur modellar bino konturlarini avtomatik aniqlash, yer uchastkalari chegaralarini aniqlashtirish, noqonuniy qurilishlarni aniqlash, yerlardan foydalanish holatini monitoring qilish hamda kadastr ma'lumotlarini muntazam yangilab borish imkonini beradi. Sun'iy yo'ldosh tasvirlarini turli vaqt kesimlarida tahlil qilish orqali yer fondida sodir bo'lgan o'zgarishlarni tezkor aniqlash va ularni davlat kadastr ma'lumotlari bilan integratsiyalash imkoniyati yaratilmoqda [10,11].



2-rasm. Oddiy deep learning hamda GeoFM orqali vazifalar bajarilishining taqqoslanishi.

Bugungi kunda NASA-IBM Prithvi, SatCLIP, Clay, GeoVLM va boshqa geofazoviy foundation modellar kartografiya, ekologik monitoring, qishloq xo'jaligi, shaharsozlik va kadastr sohalarida amaliy sinovlardan muvaffaqiyatli o'tmoqda. Ushbu modellar katta hajmdagi geofazoviy ma'lumotlarni qisqa vaqt ichida qayta ishlashi, kamroq annotatsiyalangan

ma'lumot talab qilishi hamda turli geografik hududlarda yuqori aniqlikni saqlab qolishi bilan geofazoviy sun'iy intellektning istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda [9,12].

Mazkur imkoniyatlar geodeziya, kartografiya va davlat kadastr tizimlarida ma'lumotlarni yaratish hamda yangilashning an'anaviy usullaridan sun'iy intellekt asosidagi avtomatlashtirilgan geofazoviy axborot tizimlariga bosqichma-bosqich o'tishga zamin yaratmoqda.

Geofazoviy sun'iy intellektning rivojlanishi natijasida so'nggi yillarda turli maqsadlarga mo'ljallangan geofazoviy foundation modellar (GeoFM) ishlab chiqildi. Ushbu modellar millionlab masofadan zondlash tasvirlari, aerokosmik suratlar hamda geofazoviy ma'lumotlar asosida oldindan o'qitilib, kartografiya, kadastr, ekologik monitoring va boshqa geofazoviy vazifalarni yagona model yordamida bajarishga mo'ljallangan. Ilmiy adabiyotlarda GeoFM modellarining asosiy ustunligi sifatida yuqori umumlashtirish (generalization), kam annotatsiyalangan ma'lumot bilan ishlash va yangi vazifalarga minimal moslashtirish (fine-tuning) orqali tez moslashish imkoniyati ko'rsatib o'tilgan [2,3].

Bugungi kunda geofazoviy foundation modellar orasida Prithvi, Prithvi-EO 2.0, SatCLIP, Clay va GeoVLM eng istiqbolli modellar sifatida e'tirof etilmoqda. Ularning barchasi geofazoviy ma'lumotlarni tahlil qilishga xizmat qilsa-da, arxitekturasi, o'qitish usuli hamda qo'llanilish yo'nalishlari bo'yicha sezilarli farqlarga ega. Xususan, Prithvi va Prithvi-EO 2.0 modellar ko'p vaqtli (multi-temporal) Yer kuzatuv tasvirlarini tahlil qilishga yo'naltirilgan bo'lsa, SatCLIP geolokatsiya va joylashuv embeddinglarini yaratishga, Clay universal Earth Observation vazifalariga, GeoVLM esa geofazoviy tasvirlar va matnlarni birgalikda tahlil qilishga mo'ljallangan [4,8].

1-jadval. Zamonaviy geofazoviy foundation modellarni taqqoslash [4,5,6,7,8]

Model	Ishlab chiquvchi	Asosiy vazifasi	Kartografiya va kadastrdagi qo'llanilishi
Prithvi	NASA-IBM	Multi-temporal Earth Observation	Yer qoplami, o'zgarishlarni aniqlash (Change Detection), monitoring
Prithvi-EO 2.0	NASA-IBM	Universal Earth Observation Foundation Model	Kartografik yangilash, ekologik monitoring, qishloq xo'jaligi
SatCLIP	Google Research	Location Embedding	Geolokatsiya, xaritalash, GIS qidiruv tizimlari
Clay	Radiant Earth Foundation	Universal EO Foundation Model	Yer resurslari monitoringi, segmentatsiya, klassifikatsiya
GeoVLM	Esri Research	Vision-Language Foundation Model	GIS tahlili, obyektlarni aniqlash, geofazoviy qidiruv va xaritalash

Taqqoslash natijalari shuni ko'rsatadiki, zamonaviy GeoFM modellarining rivojlanish yo'nalishi ko'p funksiyali, multimodal va yuqori darajada umumlashtiriladigan geofazoviy sun'iy intellekt tizimlarini yaratishga qaratilgan. Mazkur modellar kartografiya va davlat kadastr sohalarida avtomatik xaritalash, semantik segmentatsiya, noqonuniy qurilishlarni aniqlash, yer uchastkalari monitoringi hamda geofazoviy ma'lumotlarni real vaqtga yaqin

tezlikda yangilash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirmoqda. Shu sababli GeoFM texnologiyalari geodeziya va kartografiyaning kelajakdagi asosiy sun'iy intellekt platformalaridan biri sifatida qaralmoqda [1,2,8].

GEO FOUNDATION MODELLARNI TAQQOSLASH

Asosiy xususiyatlari, ma'lumot manbalari va qo'llanilish yo'nalishlari

KATEGORIYA	PRITHVI NASA – IBM	PRITHVI-EO 2.0 NASA – IBM	SATCLIP Google Research	CLAY Radiant Earth Foundation	GEOVLM Esri Research
					
Model turi	Vision Transformer asosidagi EO foundation model	Universal, ko'p maqsadli EO foundation model	Vision-language model (contrastive learning)	Vision Transformer asosidagi universal EO model	Vision-language model (GISga ixtisoslashgan)
Asosiy ma'lumot manbalari	Landsat, Sentinel-1/2, MODIS va boshqalar (> 36 mln tasvir)	Landsat, Sentinel, MODIS, VIIRS, DEM va boshqalar (ko'p va xilma-xil manbalar)	Sentinel-2, Landsat, boshqa global sun'iy yo'ldosh tasvirlari (400 mln+ juftlik)	Optik, radar, DEM, SAR, iqlim va boshqa EO ma'lumotlari	Optik tasvirlar, xaritalar, vektor ma'lumotlar va matnlar
O'qitish usuli	Self-supervised (masked autoencoders)	Self-supervised + multi-task pretraining	Contrastive learning (CLIP asosida)	Self-supervised + cross-modal pretraining	Vision-language pretraining (geo-ma'lumotlar va matn)
Asosiy imkoniyatlari	Ko'p vaqtli tahlil, obyektlarni aniqlash, change detection	Klassifikatsiya, segmentatsiya, regressiya, change detection va h.k.	Geolokatsiya aniqlash, location embedding	Klassifikatsiya, segmentatsiya, obyektlarni aniqlash, model transferi	Matn-so'rov orqali geofazoviy qidiruv, obyekt topish, xarita tahlili
Kartografiya va kadastrdagi qo'llanilishi	Yer qoplamini xaritalash, monitoring, tabiiy ofatlar tahlili	Avtomatik kartografik qatlamlar yaratish, multi-temporal monitoring	Geolokatsiya, xaritalash, GIS qidiruv tizimlarini qo'llab-quvvatlash	Yer resurslari monitoringi, qishloq xo'jaligi, ekologiya, shaharsoslik	Kadastr ma'lumotlarini tahlil qilish, obyektlarni aniqlash, GIS integratsiyasi
Ustunliklari	Katta hajmli vaqt qatori ma'lumotlarda yuqori samaradorlik	Universal model, yuqori aniqlik va yaxshi umumlashuv	Global miqyosda joylashuv aniqligida yuqori generalizatsiya	Turli sensor va ma'lumot turlarini birlashtirish imkoniyati	Matn va tasvirni birga tushunish, GISga moslashgan kontekst
Cheklovlari	Matn bilan ishlash imkoniyati yo'q, faqat EO tasvirlar	Hisoblash resurslariga yuqori talab	Asosan geolokatsiya va retrieval vazifalariga ixtisoslashgan	Yangi model bo'lgani sababli ba'zi vazifalarda hali to'liq baholanmagan	Hozircha kichikroq hajmdagi matnli GEO ma'lumotlar bazasiga ega

ASOSIY QO'LLANILISH SOHALARI

 Kartografiya
  Qishloq xo'jaligi
  Atrof-muhit monitoringi
  Shaharsoslik va infratuzilma
  Davlat kadastri va mulk boshqaruvi
  Geoportal va raqamli xizmatlar

 Optik tasvirlar
  Radar (SAR)
  DEM / LIDAR
  Iqlim ma'lumotlari
  Vektor ma'lumotlar
  Matn ma'lumotlari

Izoh: Baho – mavjud tadqiqotlar va nashrlar asosida nisbiy baholash (2024–2025).

1-rasm. Zamonaviy geo foundation modellarining turlari va o'zaro taqqoslanishi.

O'zbekiston Respublikasida geodeziya, kartografiya va davlat kadastri tizimlarini raqamlashtirish bo'yicha keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilgacha rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi qarori mamlakatda sun'iy intellekt texnologiyalarini davlat boshqaruvi va iqtisodiyotning ustuvor tarmoqlariga joriy etishning strategik yo'nalishlarini belgilab berdi. Mazkur strategiya geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlashda zamonaviy sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish uchun ham muhim huquqiy asos bo'lib xizmat qiladi [1,2].

Geo Foundation Modellarini O'zbekiston sharoitida joriy etish kartografiya va davlat kadastri tizimlarini yangi bosqichga olib chiqish imkonini beradi. Xususan, GeoFM modellaridan foydalanish orqali davlat kadastri ma'lumotlarini avtomatik yangilash, yaratilayotgan ortofotoplanlar va topografik xaritalarni tezkor tahlil qilish, noqonuniy qurilishlarni aniqlash, yer uchastkalari chegaralarini monitoring qilish hamda yer qoplamini o'zgarishlarini real vaqtga yaqin kuzatish imkoniyatlari kengayadi. Shuningdek, ushbu modellar Milliy geoportal, fazoviy ma'lumotlar infratuzilmasi, aqlli shahar (Smart City) tizimlari va qishloq xo'jaligi monitoringi uchun ham muhim texnologik yechim bo'lib xizmat qilishi mumkin [2–4].

Biroq GeoFM texnologiyalarini amaliyotga joriy etishda qator ilmiy va tashkiliy muammolar ham mavjud. Birinchidan, geodeziya va kartografiyaga oid ma'lumotlarning muhim qismi cheklangan foydalanishdagi axborot hisoblanadi, bu esa xorijiy bulutli sun'iy

intellekt platformalaridan foydalanishni cheklaydi. Ikkinchidan, GeoFM modellarini samarali qo'llash uchun yuqori unumdor grafik protsessorlar (GPU), katta hajmdagi hisoblash resurslari va milliy geofazoviy ma'lumotlar to'plamlari zarur. Uchinchidan, mamlakatimiz sharoitiga moslashtirilgan o'zbek geofazoviy ma'lumotlar bazalari hamda milliy GeoFM modellarining mavjud emasligi ularni amaliyotga joriy etish jarayonini murakkablashtirmoqda [3,5].

Yuqoridagi muammolarni bartaraf etish maqsadida O'zbekiston Respublikasining tabiiy-geografik sharoiti, iqlim xususiyatlari, yer qoplam turlari hamda davlat geodeziya va kartografiya ma'lumotlarini hisobga olgan holda milliy geofazoviy foundation model (Local GeoFM) ni ishlab chiqish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Bunday model geofazoviy tashkilotlar tomonidan yaratilgan ortofotoplanlar, topografik xaritalar, davlat kadastr ma'lumotlari, aerokosmik va sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida oldindan o'qitilishi mumkin. Natijada geofazoviy ma'lumotlarning maxfiyligi va axborot xavfsizligi ta'minlanadi, xorijiy bulutli platformalarga qaramlik kamayadi hamda milliy geofazoviy ma'lumotlar bazasiga mos, yuqori aniqlikdagi sun'iy intellekt modeli shakllantiriladi.

Shuningdek, Local GeoFM modeli noqonuniy qurilishlarni avtomatik aniqlash, davlat kadastrlarini muntazam yangilash, yer monitoringini amalga oshirish, ortofotoplan va topografik xaritalarni tezkor tahlil qilish, Milliy geoportal hamda "Aqlli shahar" (Smart City) platformalarini geofazoviy sun'iy intellekt bilan ta'minlash imkonini beradi. Kelgusida mazkur modelni geodeziya, kartografiya va kadastr sohalarining yagona milliy sun'iy intellekt platformasi sifatida rivojlantirish mumkin. Mazkur yondashuv O'zbekiston Respublikasida geofazoviy sun'iy intellektni rivojlantirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida qaraladi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, geofazoviy foundation modellar (Geo Foundation Models – GeoFM) geofazoviy sun'iy intellektning yangi avlod texnologiyasi bo'lib, ular kartografiya va kadastr sohalarida geofazoviy ma'lumotlarni yaratish, qayta ishlash va tahlil qilish jarayonlarini tubdan takomillashtirish imkoniyatiga ega. An'anaviy mashinali o'rganish va chuqur o'rganish modellaridan farqli ravishda GeoFM texnologiyalari katta hajmdagi geofazoviy ma'lumotlar asosida oldindan o'qitilishi, yuqori umumlashtirish qobiliyati, kamroq annotatsiyalangan ma'lumot bilan ishlashi hamda turli geofazoviy vazifalarni yagona model doirasida bajarishi bilan ajralib turadi.

Tahlillar natijasida Prithvi, Prithvi-EO 2.0, SatCLIP, Clay va GeoVLM kabi zamonaviy geofazoviy foundation modellar kartografik xaritalarni yaratish va yangilash, obyektlarni avtomatik aniqlash, semantik segmentatsiya, yer qoplam klassifikatsiyasi, o'zgarishlarni monitoring qilish hamda davlat kadastr ma'lumotlarini yangilashda yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi. Mazkur modellar geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonlarining tezligini oshirishi, inson omiliga bog'liq xatoliklarni kamaytirishi va boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun ishonchli geoma'lumotlarni shakllantirish imkonini beradi. Shuningdek, O'zbekiston Respublikasida sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish bo'yicha qabul qilinayotgan davlat dasturlari va geofazoviy axborot infratuzilmasini rivojlantirishga qaratilgan islohotlar GeoFM texnologiyalarini kartografiya va davlat kadastr amaliyotiga bosqichma-bosqich joriy etish uchun qulay sharoit yaratmoqda. Biroq geofazoviy ma'lumotlarning maxfiyligi, yuqori hisoblash resurslariga ehtiyoj, milliy geofazoviy ma'lumotlar to'plamlarining yetarli emasligi hamda mahalliy sun'iy intellekt modellarining mavjud emasligi ushbu texnologiyalarni keng joriy etishdagi asosiy muammolar sifatida baholandi. Mazkur tadqiqot natijalari geofazoviy foundation modellar geodeziya, kartografiya

va davlat kadastri sohalarini raqamli transformatsiya qilishning muhim texnologik asosi ekanligini ko'rsatadi. Ularning amaliyotga joriy etilishi geofazoviy ma'lumotlarning aniqligi va dolzarbligini oshirish, kartografik mahsulotlarni yaratish muddatini qisqartirish, yer resurslarini samarali monitoring qilish hamda davlat boshqaruvida geofazoviy axborotlardan foydalanish samaradorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi. Shu bois geofazoviy foundation modellarni O'zbekiston sharoitiga moslashtirish va ularni milliy geofazoviy axborot tizimlariga integratsiya qilish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish dolzarb ilmiy-amaliy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Muallifning ilmiy taklifi. Tadqiqot natijalari hamda xorijiy tajribalar tahliliga asoslanib, geofazoviy foundation modellarni O'zbekiston sharoitida samarali qo'llash uchun quyidagi ilmiy-amaliy takliflar ilgari suriladi:

- O'zbekiston Respublikasining tabiiy-geografik, iqlimiy va landshaft xususiyatlarini hisobga olgan holda milliy geofazoviy foundation model (Local GeoFM) konsepsiyasini ishlab chiqish hamda uni mahalliy geofazoviy ma'lumotlar asosida oldindan o'qitish maqsadga muvofiq.
- Sun'iy yo'ldosh tasvirlari, aerofotosuratlar, ortofotoplanlar, topografik xaritalar va davlat geofazoviy ma'lumotlari asosida yagona milliy geofazoviy ma'lumotlar to'plami (National Geo Dataset)ni shakllantirish tavsiya etiladi. Mazkur ma'lumotlar bazasi GeoFM modellarini o'qitish va baholashning ishonchli manbai bo'lib xizmat qiladi.
- Geofazoviy ma'lumotlarning maxfiyligi va axborot xavfsizligi talablarini inobatga olgan holda, internetga bog'liq bo'lmagan, yopiq (offline) muhitda ishlovchi sun'iy intellekt infratuzilmasini yaratish zarur. Bu geofazoviy ma'lumotlarning tashqi platformalarga uzatilish xavfini kamaytiradi va milliy axborot xavfsizligini ta'minlashga xizmat qiladi.
- GeoFM texnologiyalarini kartografik mahsulotlarni yaratish va yangilash, davlat kadastri ma'lumotlarini yuritish, yer resurslarini monitoring qilish, noqonuniy qurilishlarni aniqlash hamda geofazoviy tahlil jarayonlariga bosqichma-bosqich integratsiya qilish tavsiya etiladi.

Taklif etilgan yondashuvlar geofazoviy ma'lumotlarni qayta ishlash samaradorligini oshirish, kartografiya va kadastr sohalarini raqamli transformatsiya qilish, geofazoviy ma'lumotlarning aniqligi hamda dolzarbligini ta'minlash, shuningdek, milliy geofazoviy sun'iy intellekt ekotizimini shakllantirish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini taqsdqlash to'g'risida"gi 2024-yil 14-oktyabrdagi PQ-358-son qarori.
2. Mai G., Huang W., Sun J. et al. *On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for GeoAI (Vision Paper)*. ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems, 2024, Vol. 10, No. 2, Article 11. DOI: 10.1145/3653070.
3. Mai G. *Geo-Foundation Models*. Wiley Encyclopedia of GIS, 2024. DOI: 10.1002/9781118786352.wbieg2206.
4. Szwarcman D., Roy S. et al. *Prithvi-EO-2.0: A Versatile Multi-Temporal Foundation Model for Earth Observation Applications*. arXiv:2412.02732, 2024.
5. Hsu C.-Y., Li W., Wang S. *Geospatial Foundation Models for Image Analysis: Evaluating and Enhancing NASA-IBM Prithvi's Domain Adaptability*. International Journal of Geographical

Information Science, 2024. DOI: 10.1080/13658816.2024.2397441

6. Mai G., Huang W., Sun J., et al. *On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for GeoAI (Vision Paper)*. ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems, 2024.
7. Mai G. *Geo-Foundation Models*. Wiley Encyclopedia of GIS, 2024.
8. Hsu C.-Y., Li W., Wang S. *Geospatial Foundation Models for Image Analysis: Evaluating and Enhancing NASA-IBM Prithvi's Domain Adaptability*. International Journal of Geographical Information Science, 2024.
9. Szwarcman D., et al. *Prithvi-EO-2.0: A Versatile Multi-Temporal Foundation Model for Earth Observation Applications*. arXiv, 2024.
10. Klemmer K., et al. *SatCLIP: Global, General-Purpose Location Embeddings with Satellite Imagery*. NeurIPS, 2024.
11. Clay Foundation Team. *Clay Foundation Model for Earth Observation*. Radiant Earth Foundation, 2024.
12. Esri Research. *GeoVLM: Vision-Language Foundation Model for Geospatial Artificial Intelligence*. 2025.