



UDK: 550.34.06.013.3

Asilbek RAHMATOV,

PhD, katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: asilbekrahmatov3@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0003-3065-1824>

Eldor YADIGAROV,

PhD, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti laboratoriya mudiri, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: eldoradigarov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2305-279X>

Musurmonqul QODIROV,

Katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: musulmonqodirov69@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0005-9457-5482>

Xusniddin BOBOYOROV,

Katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: hboboyorov@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5260-1375>

Asilbek QODIRBOYEV,

Yetakchi muhandis, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: asilbekkomiljonovich@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7623-2834>

PhD I. Allamberdiyev taqrizi asosida

MIKROSEYSMIK TEBRANISHLAR ASOSIDA TERMIZ SHAHRI HUDUDIDA TARQALGAN GRUNTLARINING DINAMIK TAVSIFI VA SEYSMIK ZAIFLIGINI BAHOLASH

Annotatsiya

Ushbu maqolada Termiz shahri hududida mikroseysmik kuzatuvlar asosida gruntlarning seysmik zaifligini baholash masalalari yoritilgan. Tadqiqotda Nakamura (HVSr) usuli yordamida gruntlarning ustun rezonans chastotasi, spektral kuchaytirish koeffitsienti hamda grunt zaifligi indeksi (K_g) hisoblandi. Olingan natijalar Geopsy va SESAME dasturlari yordamida qayta ishlanib, GAT texnologiyalari asosida Termiz shahri hududi uchun gruntlarning seysmik zaiflik indeksi xaritasi ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari lyossimon va suvga to'yingan gruntlar tarqalgan hududlarda gruntlarning seysmik tasirlarga nisbatan zaifligi yuqori ekanligini ko'rsatdi. Ishlab chiqilgan xarita seysmik rayonlashtirish, qurilish maydonlarini tanlash hamda muhandislik-geologik baholash ishlarida amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: mikroseysmik, grunt, zaiflik, chastota, spektr, zilzila, seysmometr, tektonik, tebranishlar, seysmogen zona.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТОВ ГОРОДА ТЕРМЕЗА И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЛАБОТЫ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Аннотация

В статье представлены результаты оценки сейсмической уязвимости грунтов территории города Термеза на основе микросейсмических наблюдений. Для определения преобладающей резонансной частоты, коэффициента спектрального усиления и индекса уязвимости грунтов (K_g) применен метод H/V (HVSr), предложенный Накамура. Обработка данных выполнена с использованием программ Geopsy и SESAME, а на основе ГИС-технологий построена карта распределения коэффициента сейсмической уязвимости грунтов. Полученные результаты показали, что наиболее высокие значения K_g характерны для лессовых и водонасыщенных грунтов, обладающих повышенной восприимчивостью к сейсмическим воздействиям. Разработанная карта может быть использована при инженерно-геологических изысканиях, сейсмическом микрорайонировании и проектировании зданий и сооружений.

Ключевые слова: микросейсмический, грунт, слабость, частота, спектр, землетрясение, сейсмометр, тектонический, колебания, сейсмогенная зона.

ASSESSMENT OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS AND SEISMIC VULNERABILITY OF SOILS IN THE TERRITORY OF TERMEZ CITY BASED ON MICROSEISMIC VIBRATIONS

Annotation

This study presents the assessment of soil seismic vulnerability in the city of Termez based on ambient microtremor measurements. The Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) method proposed by Nakamura was applied to determine the fundamental resonance frequency, spectral amplification factor, and soil vulnerability index (K_g). The recorded microtremor data were processed using the Geopsy and SESAME software packages, and a GIS-based seismic vulnerability map of the study area was developed. The results indicate that loess and water-saturated soils exhibit relatively high K_g values, reflecting greater susceptibility to seismic loading and potential soil instability. The obtained vulnerability map provides valuable information for seismic microzonation, engineering geological investigations, and earthquake-resistant urban planning.

Keywords: microseismic, ground, weakness, frequency, spectrum, earthquake, seismometer, tectonic, vibrations, seismogenic zone.

Kirish. Bizga ma'lumki Zilzila insonlar hayoti va mol-mulkiga doimo tahdid solib kelgan eng vayronkor tabiiy ofatlardan biri hisoblanadi. Zilzilaning eng muhim oqibatlaridan biri gruntlarning quyqalanishi jarayonidir. Gruntlarning quyqalanishi

natijasida grunt massalarining cho'kishi va barqarorligini yo'qotishi kuchli zilzilalar vaqtida yuzaga keladigan eng xavfli ikkilamchi geologik jarayonlardan biri hisoblanadi. Ushbu jarayon asosan illar, changsimon qumlar, qumoq va qumloq kabi mayda dispersli fraksiyalardan tashkil topgan cho'kindi jinslarda kuzatiladi. Mazkur jarayonni o'rganish uning tarqalish hududlarini aniqlash hamda zilzilalar vaqtida kelib chiqadigan vayronkor oqibatlarini kamaytirish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish uchun muhim ahamiyatga ega [1-6].

Hozirgi vaqtda gruntlarning quyqalanishi va cho'kishi bilan bog'liq potensial geotexnik xavflarni baholashda mikroseysmik kuzatuvlar ma'lumotlari asosida hisoblanadigan grunt zaifligi indeksi (K_g) muhim ko'rsatkich sifatida qo'llanilmoqda. Mikroseysmik tebranishlarni tahlil qilishning turli usullari mavjud bo'lib, ushbu tadqiqotda amaliy jihatdan sodda va ishonchli natijalar berishi sababli Nakamura tomonidan taklif etilgan gorizont va vertikal spektrlar nisbatiga asoslangan HVSR usulidan foydalanildi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Mikroseysmik o'lchovlar olib borilgan Termiz shahri uchun 35 ta nuqtada o'tkazildi va shularga mos ravishda seysmik mikrorayonlashtirish xaritasiga ko'ra shahar 7-8 balli zonalar sarasiga kiradi. Nakamura usuliga keladigan bo'lsak, barcha mikroseysmik stansiyalar uchun H/V spektral nisbatlari, asosiy chastota va kuchaytirish koeffitsienti, zaiflik indeksi (K_g) hisoblab chiqildi.

H/V spektral nisbati tahlili asosida tadqiqot nuqtalari uchun grunt qatlamlarining ustun rezonans chastotasi (f_0) hamda maksimal spektral kuchaytirish amplitudasi (A) aniqlandi. Bundan tashqari, Nakamura [7-8] tomonidan gruntlarning dinamik barqarorligi va seysmik ta'sirlarga moyilligini baholash uchun zaiflik indeksi (K_g) taklif qilingan bo'lib, mazkur tadqiqotda ham ushbu ko'rsatkichdan foydalanildi.

Nakamura tomonidan taklif etilgan zaiflik indeksi gruntlarning seysmik ta'sirlar natijasida suyulishga moyillik darajasini baholash uchun qo'llaniladi [7-8]. Ushbu indeks H/V spektral nisbatining maksimal amplitudasi va gruntning ustun chastotasi asosida quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$(K_g = \frac{A^2}{f_0})$$

Tadqiqot metodologiyasi. Mikroseysmik tebranishlarni qayd etish metodikasi texnologik nuqtai nazardan seysmik hodisalarni ro'yxatga olish usuli bilan o'xshashlikka ega. Unda orttirma seysmik intensivlikning nisbiy o'zgarishi stansiyalar orasidagi maksimal amplitudalar nisbati hamda spektral amplituda nisbatlari asosida baholanadi. Biroq seysmik mikrorayonlashtirish ishlarida mikroseysmik tebranishlarni kuzatish davomiyli seysmik hodisalarni kuzatishga nisbatan qisqaroq bo'ladi. Shu bilan birga, tabiiy mikroseysmal darajasining kun davomidagi o'zgaruvchanligini va stansiyalar orasidagi nisbatlarini ishonchli baholash maqsadida uzluksiz kuzatuvlar kamida 20 soat davomida olib borilishi tavsiya etiladi.

Maydondagi seysmometrik tadqiqotlar Buyuk Britaniyaning Guralp kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan raqamli CMG-6TD rumumli seysmometrlar yordamida amalga oshirildi. Uch komponentli seysmometrning chastotaviy tavsifi 0,03-120 Hz chastotalar diapazonida chiziqli xususiyatga ega. Raqamlashtirish (otsifrovka) blokining razryadiligi 24 bitni tashkil etadi.

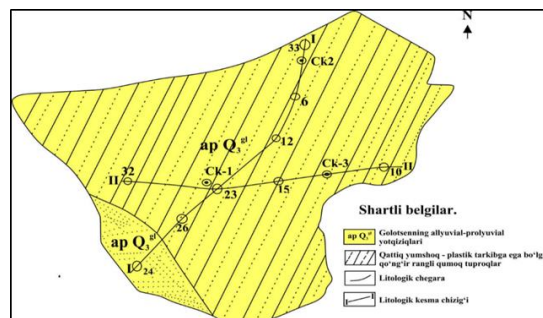
Seysmometrning sezgirlik ko'rsatkichlari quyidagilarni tashkil etadi:

- Vertikal komponent (Z) $-1.1285e^{-8}$ m/s
- Sharq-G'arb komponenti (EW) $-1.472e^{-8}$ m/s
- Shimol-Janub komponenti (NS) $-1.847e^{-8}$ m/s

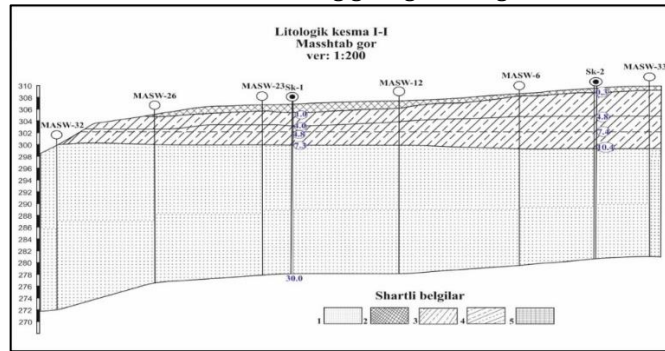
Tahlil va natijalar. Termiz shahri O'zbekistonning janubiy qismida joylashgan. Ma'muriy jihatdan u O'zbekiston Respublikasining Surxondaryo viloyati markazi hisoblanadi. Tadqiqot hududi murakkab tektonik tuzilish bilan tavsiflanadi. Hududning seysmik faolligi bevosita mazkur mintaqaning tektonik xususiyatlari bilan bog'liq. Kuchli zilzilalar asosan geologik rivojlanishning hozirgi bosqichida faollashgan yer qobig'ining yirik uzilma (razlom) zonalar doirasida kuzatiladi. Faol tektonik uzilmalarning dinamik ta'sir zonalar R.N. Ibragimov va hammualliflar tomonidan seysmogen zonalar sifatida ajratilgan.

O'tgan asr mobaynida Termiz shahri atrofida ko'plab sezilarli va kuchli seysmik hodisalar sodir bo'lgan. Ular orasida 1904 yilda magnitudasi $M=7,3$ va $M=7,4$ bo'lgan ikki martagi Qaratog' zilzilalari hamda 1991 yilda magnitudasi $M=5,3$ bo'lgan zilzila alohida ahamiyatga ega. Mazkur zilzila o'chog'i Termiz shahridan taxminan 75-80 km masofada joylashgan bo'lib, shahar hududida sezilarli seysmik ta'sir ko'rsatgan.

Litologik tuzilishi, genetik-yosh xususiyatlari, gruntlarning fizik-mexanik xossalari hamda maydonning gidrogeologik sharoitlariga muvofiq, 50,0 m chuqurlikkacha o'rganilgan grunt qatlami doirasida 3 (uchta) muhandislik-geologik element (IGE) ajratilgan (1-2-rasmlar). IGE-1. Och jigarrang rangli, qattiqdan qiyin eruvchan plastik konsistensiyagacha bo'lgan, cho'kuvchan, GSS (grunt suvlari sathi) dan yuqorida joylashgan lyossimon qumoq tuproqlar. Mazkur elementdagi tuproq qatlamining qalinligi 3,0 metrgacha o'zgarib turadi. Cho'kuvchanlik bo'yicha grunt sharoitlarining turi I (birinchi); 2-IGE. Och jigarrang rangli, yarim qattiqdan yumshoq plastik konsistensiyagacha bo'lgan, cho'kuvchan bo'lmagan, UPV dan pastda va kapillyar ko'tarilish zonasida joylashgan qumloq tuproq qatlamchalari mavjud bo'lgan lyossimon qumoq tuproqlar. Ushbu elementli gruntlarning qalinligi 3,3 m dan 4,4 m gacha o'zgaradi. IGE-3. Qum har xil donali, mayda va o'rta donali, kulrang-jigarrang, suvga to'yingan, o'rtacha zichlikka ega, qalinligi kam bo'lgan qumoq qatlamlardan iborat. IGE-3 gruntlarining qalinligi 42,7 dan 42,5 metrgacha o'zgaradi [9-10].



1-rasm. Termiz shahrining geologik-litologik xaritasi.

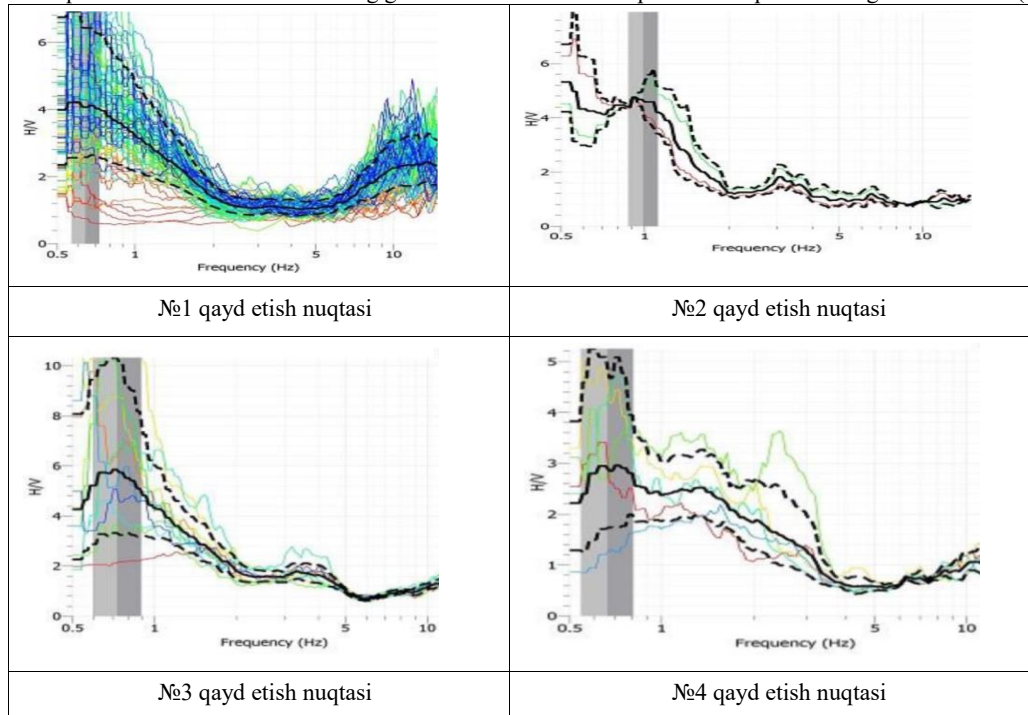


2-rasm. I-I chizig'i bo'yicha litologik kesim

Shartli belgilar: 1. Tuproq-o'simlik qatlami. 2. To'shilma qatlam. 3. Kam namli, qattiq konsistensiyali qumoq va qumloq tuproqlar. 4. Lyossimon, suvga to'yingan, oquvchan, suzuvchan qumoq va qumloq tuproqlar. 5. Mayda turli donadorlikdagi, kulrang-jigarrang tusli, suvga to'yingan, o'rtacha zichlikdagi, yupqa qumoq qatlamchalari bo'lgan qum.

Ma'lumotlarga ishlov berish uchun Geopsy dasturiy ta'minotidan foydalanildi. Seysmik intensivlik ortishini baholash usuli ikki yoki undan ortiq nuqtalarda tabiiy mikroseysmik shovqinlarni sinxron qayd etish hamda keyinchalik ularning amplituda-spektral xususiyatlarini o'zaro taqqoslashga asoslangan.

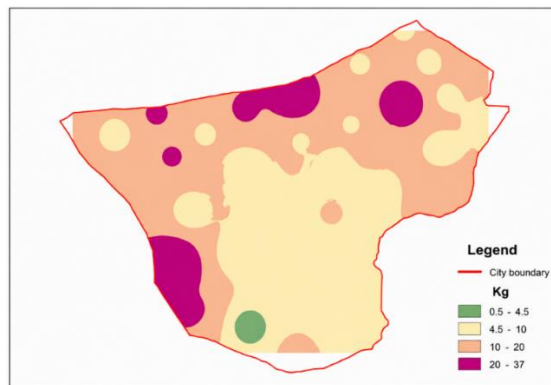
Hisoblash ishlarida Fransiyaning ENTPE muassasasi mutaxassisi Stephane Hans tomonidan Matlab 7 dasturiy muhiti uchun ishlab chiqilgan skriptdan foydalanildi. Davomiyligi bir soatdan bo'lgan bir nechta mikroseysma yozuvlari 10 daqiqalik intervallarga ajratildi, har bir interval uchun spektral tahlil amalga oshirildi hamda tasodifiy impulsli xalaqt beruvchi tebranishlarni bartaraf etish maqsadida filtrlandi. Shundan so'ng gorizontaal va vertikal komponentalar spektrlarining nisbati olindi (3-rasm).



3-rasm. 1- 4 qayd etish nuqtalari uchun HVSr spektrlari

SESAME dasturi yordamida ma'lumotlarga ishlov berish natijasida H/V spektral nisbati (gorizontaal va vertikal tebranishlar nisbati, Nakamura usuli, 1991) baholandi. Ma'lumotlarga ishlov berish jarayonida texnogen va boshqa manbalardan kelib chiqqan shovqin hamda xalaqitlar vaqt qatoridan ajratib tashlandi. H/V parametrlarini nazorat qilish va tekshirish maqsadida Geopsy dasturidan ham foydalanildi.

Yuqorida keltirilgan metodikalar hamda GAT (geoaxborot tizimlari) texnologiyalari asosida Termiz shahri hududi uchun seysmik zaiflik indeksi (K_g) xaritasi ishlab chiqildi (4-rasm).



4-rasm. Termiz shahri hududi bo'yicha K_g koeffitsientining taqsimlanish xaritasi

Xulosa va takliflar. Termiz shahri hududida olib borilgan mikroseysmik kuzatuvlar natijasida gruntlarning dinamik xususiyatlari va seysmik zaifligi HVSR usuli asosida baholandi. Hisoblashlar natijasida gruntlarning ustun rezonans chastotasi, spektral kuchaytirish koeffitsienti hamda grunt zaifligi indeksi (K_g) aniqlandi. Olingan natijalar asosida Termiz shahri uchun 0,5-4,5; 4,5-10; 10-20 va 20-30 oraliqlardagi K_g qiymatlarining hududiy taqsimlanish xaritasi ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari lyossimon hamda suvga to'yingan gruntlar tarqalgan hududlarda gruntlarning seysmik ta'sirlarga nisbatan zaifligi yuqori ekanligini ko'rsatdi. Ishlab chiqilgan seysmik zaiflik xaritasi qurilish maydonlarini tanlash, muhandislik-geologik izlanishlar, seysmik mikrorayonlashtirish hamda zilzilabardosh inshootlarni loyihalashda ishonchli ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining amaliy loyiha mavzusi bo'lgan "Grunt-inshoot tizimining seysmik tebranishlari xususiyatlarini tadqiq qilish va zilzila ta'sirini kamaytirish usullarini ishlab chiqish" moliyaviy ko'magi yordamida amalga oshirildi.

ADABIYOTLAR

1. Ismailov V.A., Yodgorov Sh.I., Khusomiddinov A.S., Yadigarov E.M., Allayev Sh.B., Aktamov B.U. New classification of soils by seismic properties for the building code in Uzbekistan // *Geomechanics and Geoengineering*. – 2023 y. – Vol. 18. – P. 1–21. DOI: 10.1080/17486025.2023.2296975.
2. Ismailov V.A., Yadigarov Sh.I., Khusomiddinov A.S., Yadigarov E.M., Aktamov B.U., Avazov Sh.B. Assessment of seismic risk for the territory of Uzbekistan // *Problems of Engineering Seismology*. – 2023 y. – No. 4. – P. 5–24. DOI: 10.21455/VIS2023.4-1.
3. Bozorov J., Oripov N., Yadigarov E., Khusomiddinov A. Assessment of Seismic Impact Change Through Engineering-Technical Reinforcement of Loess Soils // *International Conference "Ensuring Seismic Safety and Seismic Stability of Buildings and Structures, Applied Problems of Mechanics"*. – AIP Conference Proceedings. – 2025 y. – Vol. 3265. – Article 040003. – P. 040003-1–040003-9. DOI: 10.1063/5.0265140.
4. Aktamov B., Yodgorov S., Avazov S. Seismic risk assessment of residential buildings in the city of Jizzakh in terms of economic indicators // *Proceedings of the 6th International Conference for Physics and Advance Computation Sciences (ICPAS 2024)*. – Baghdad, Iraq, 2025 y. – AIP Conference Proceedings. – Article 040011. DOI: 10.1063/5.0265044.
5. Ismailov V., Ibragimov R., Yodgorov S., Nurmatov L.I., Aktamov B. Assessment of seismic hazard of the territory of Tashkent city as a basis for the development of simulation modeling of the consequences of strong earthquakes // *Proceedings of the 6th International Conference for Physics and Advance Computation Sciences (ICPAS 2024)*. – Baghdad, Iraq, 2025 y. – AIP Conference Proceedings. – Article 040002. DOI: 10.1063/5.0265039.
6. Yodgorov S., Aktamov B., Avazov S., Teshayeva R. Seismic risk assessment for Ferghana region // *Proceedings of the 6th International Conference for Physics and Advance Computation Sciences (ICPAS 2024)*. – Baghdad, Iraq, 2025 y. – AIP Conference Proceedings. – Article 040013. DOI: 10.1063/5.0265049.
7. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI* 2019 y, 30: 25 - 33.
8. Nakamura Y. Real-time information systems for hazard mitigation In: *Proceedings of the 10th World Conference in Earthquake Engineering*. Spain, Madrid, 1996 y.
9. Oripov N., Alimukhamedov L., Yanbukhtin I., Musaev U., Zakirov A., Mamazozikov T. Analysis of vulnerability and dynamic characteristics of a monolithic building using microtremor measurements // *ANAS Transactions, Earth Sciences*. – 2024 y. – No. 2. – P. 68–76. DOI: 10.33677/ggias20240200127.
10. Oripov N., Yanbukhtin I., Bozorov J. Evaluation of resonance risk and strength of a high-rise building using the microtremor method // *International Conference "Ensuring Seismic Safety and Seismic Stability of Buildings and Structures, Applied Problems of Mechanics"*. – AIP Conference Proceedings. – 2025 y. – Article 040010. – P. 040010-1–040010-7. DOI: 10.1063/5.0265163.
11. Ismailov V.A., Bozorov J.Sh., Khusomiddinov A.S., Yadigarov E.M., Mansurov A.F. Determination of changes in soil parameters using the PLAXIS 3D program by reinforcement with bored piles // *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. – 2025 y. – Vol. 3, No. 471. – P. 69–82. DOI: 10.32014/2025.2518-170X.461.