



DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_309
FTAXP 67.21.17

ШӨГІНДІ ТОПЫРАҚТАРДАҒЫ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫСҚА ЫҚПАЛЫ

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF TYPE I COLLAPSIBLE SOILS FOR FOUNDATION DESIGN IN LOESS REGIONS

Г.А. Жаирбаева ^{1*}, А.Ж. Жусупбеков ^{1,2}, Н.У. Шакирова ^{1,3},
А.С. Мукашева ¹, А.К. Абишева ^{1,3}

¹Д.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

²Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу қ., Ресей

³Шәкәрім Университеті, Семей қ., Қазақстан

*Жауапты-автор: Жаирбаева Гульназ Аскарловна, e-mail: gulnaz.W@mail.ru

Түйінді сөздер:

топырақтың физикалық қасиеттері, инженерлік-геологиялық ізденістер, лабораториялық сынақтар, деформацияны модельдеу, шөгінді топырақтар.

ТҮЙІНДЕМЕ

Осы зерттеуде Солтүстік Қазақстанның құрылыс алаңында инженерлік-геологиялық ізденістер кезінде анықталған шөгінді топырақтардың физикалық-механикалық қасиеттерін зертханалық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Негізгі назар I түрдегі шөгетін қасиеттері бар құмайтқа (ИГЭ-1) аударылды. Зертханалық зерттеулер қолданыстағы нормативтік құжаттарға (МемСТ 23161, МемСТ 12248, МемСТ 20522 және т.б.) сәйкес жүргізілді.

Топырақтың тығыздығы, ылғалдылығы, кеуектілігі, ағымдық және илемдік шектер, сығылғыштық коэффициенттері мен деформация модульдері анықталған 50 үлгі зерттелді. Табиғи ылғалдылық кезіндегі орташа тығыздық 1,76 г/см³, ал кеуектілік коэффициенті – 0,61. Құмайттардың консистенциясы қатты, ағымдылық көрсеткіші орта есеппен – 1,65. Деформация модулі шамамен 22,5 МПа.

Вертикалды жүктеме 0,10 МПа-дан асқанда көпшілік үлгілердің салыстырмалы шөгуі $\epsilon_{sl} \geq 0,01$ болғаны анықталды, бұл олардың шөгетін топырақтарға жататындығын көрсетеді. Бастапқы шөгу қысымы шамамен 0,1 МПа деп бағаланды.

Алынған нәтижелер шөгу қасиеттерді іргетас жобалауда міндетті түрде ескеру қажеттігін көрсетеді. Топырақ негізін тұрақтандыру үшін дренаж, нығыздау және қадалық іргетастарды қолдану ұсынылады. Зерттеу нәтижелері шөгетін топырақтар таралған аймақтарда жобалық шешімдерді оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін.

Ключевые слова:

физические свойства грунтов, инженерно – геологические изыскания, лабораторные испытания,

АННОТАЦИЯ

В настоящем исследовании представлены результаты лабораторного изучения физико-механических свойств просадочных грунтов, выявленных при инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства Северного Казахстана. Основное внимание уделено супесям (ИГЭ-1), обладающим признаками просадочности



моделирование
деформируемости,
просадочные грунты.

I типа. Лабораторные испытания проводились в соответствии с действующими нормативами (ГОСТ 23161, ГОСТ 12248, ГОСТ 20522 и др.).

Исследовано 50 образцов, отобранных с разных глубин. Определялись плотность, влажность, пористость, пределы текучести и раскатывания, коэффициенты сжимаемости и модули деформации. Средняя плотность грунта при естественной влажности составила 1,76 г/см³, пористость — 0,61. Консистенция супесей определена как твёрдая, с низким показателем текучести (среднее -1,65). Модуль деформации — около 22,5 МПа.

Установлено, что при вертикальной нагрузке выше 0,10 МПа большинство образцов демонстрируют относительную просадочность $\epsilon_{sl} \geq 0,01$, что подтверждает их просадочные свойства. Начальное просадочное давление составило около 0,1 МПа.

Полученные данные подчёркивают необходимость учёта деформационных характеристик просадочных грунтов при проектировании фундаментов. Рекомендуется предусматривать мероприятия по стабилизации оснований: дренаж, уплотнение и использование свайных фундаментов.

Keywords:

physical properties of soils, engineering and geological investigations, laboratory testing, deformation modelling, subsidence soils.

ABSTRACT

This study presents the results of laboratory research into the physical and mechanical properties of subsiding soils identified during engineering-geological surveys at the construction site in Northern Kazakhstan. The main focus was on loess-like sandy loams (IGE-1) that exhibit signs of Type I collapsibility. Laboratory testing was conducted in accordance with current national standards (GOST 23161, GOST 12248, GOST 20522, etc.).

A total of 50 samples from various depths were tested to determine density, moisture content, porosity, Atterberg limits, compressibility coefficients, and deformation moduli. The average bulk density under natural moisture conditions was 1.76 g/cm³, and the average porosity coefficient was 0.61. The consistency of the soils was assessed as stiff, with a low liquidity index (average -1.65). The average deformation modulus was approximately 22.5 MPa.

It was found that under vertical loads exceeding 0.10 MPa, most samples showed relative collapsibility values (ϵ_{sl}) ≥ 0.01 , confirming their classification as collapsible soils. The initial collapse pressure was estimated to be around 0.1 MPa.

These results highlight the necessity of accounting for collapsible behavior during foundation design. Appropriate stabilization measures—such as compaction, drainage, and the use of pile foundations—are recommended to ensure structural stability.

КІРІСПЕ

Шөгінді топырақтың физикалық-механикалық сипаттамаларын зерттеу олардың қасиеттерінің, құрылымдарының өзгеруін түсіну және топырақтың шөгуіне байланысты ықтимал қауіптерді азайту үшін өте маңызды. Топырақтар әртүрлі геологиялық және экологиялық факторлардың әсерінен шөгуін немесе отыруын шөгетін топырақтар ретінде қарастырылады, сондықтан бұл факторлар олардың физикалық-механикалық қасиеттерін айтарлықтай өзгерте алады (Hamdy D.B., 2024 & Хансиварова Н.М. et. al., 2015). Бұл топырақтарды географиялық таралуына, құрамына және ерекше қасиеттеріне қарай жіктеуге болады, бұл олардың әртүрлі жағдайлардағы бірегей сипаттамалары мен мінез-құлқын анықтау үшін маңызды (Alfred W. O. et. al., 2022). Шөгінді топырақтардың негізгі



физикалық қасиеттеріне тығыздық, ылғалдылық, гранулометриялық құрам, кеуектілік, беріктік және сығылу жатады. Бұл қасиеттер осы топырақтардың сыртқы жүктемелерге және қоршаған ортаның өзгеруіне реакциясын болжау үшін өте маңызды (Breno P. R. et. al., 2023 & Ankti S. et. al., 2024). Осы сипаттамаларды зерттеу әдетте үш осьті және одометрлік сынақтар сияқты зертханалық әдістерді қамтиды, олар топырақтың қасиеттерінің әрекетін бақылауға мүмкіндік береді, сонымен қатар дала әдістер де бар, олар қол жетімділік пен топырақтың нақты жағдайындағы күрделілігіне байланысты қиындықтар туғызуы мүмкін (Mohammad A.K. және басқа авторлар, 2023 & Hamdy D.B., 2024). Алдыңғы зерттеулер шөгінді топырақ туралы түсінігімізге айтарлықтай үлес қосты, олардың су деңгейі және геологиялық жағдайлар сияқты факторлардың қасиеттеріне әсерін атап өтті (Ahmed S. A. et. al., 2023 & Huda W. A. et. al., 2024). Сонымен қатар азаматтық құрылыс пен қала құрылысы үшін құнды сабақтар ұсына отырып, осы топырақты пайдаланудың нақты салдарын көрсетеді (Ramesh V. et. al., 2016, Коңдратъев С.А. et. al., 2016). Тұтастай алғанда, шөгінді топырақты жан-жақты зерттеу олардың жіктелуін, физикалық-механикалық қасиеттерін, зерттеу әдістерін және алдыңғы зерттеулерден алынған қорытындыларды қамтиды, мұның бәрі топырақтың шөгуінің салдарын азайту үшін тиімді шешімдерді әзірлеу үшін қажет.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу жүргізілген аумақ Павлодар қаласының Солтүстік өнеркәсіп аймағы ауданындағы жер учаскесінде орналасқан, Павлодар облысы, Қазақстан Республикасы. Зерттеу жүргізілген кезде, бұл учаске құрылыссыз болған. Бұл орын Павлодар қаласының Арнайы экономикалық аймағының (АЭА) бір бөлігі болып табылады, ол аймақтың өнеркәсіптік инфрақұрылымын әрі қарай дамыту үшін маңызды рөл атқарады. Құрылыс алаңы стратегиялық маңызды өңірде су объектілері мен көлік коммуникацияларына жақын аймақта орналасқан. Оның геореференциясы мен ландшафт ерекшеліктері оны жаңа өндірістік нысандарды жобалау және салу үшін тартымды етеді. Атап айтқанда, учаскеде Былқылдақ пен Қарабидайық көлі, сондай-ақ Ертіс өзені сияқты жақын маңдағы су айдындары жобалаудың гидрогеологиялық және экологиялық аспектілерінде маңызды рөл атқарады. Осылайша, Павлодарда зерттеу үшін таңдалған құрылыс аймағы гидрография, климаттық жағдайлар, жер бедері және техногендік нормалар мен стандарттарды сақтау қажеттілігі сияқты түрлі факторларды ескеретін кешенді табиғи-географиялық сипаттамаға ие.

Құрылыс зауытының инженерлік-геологиялық зерттеулерінің деректері бойынша геологиялық бөлімде 37 м тереңдікке дейін қабаттың тұрақты қуаты мен тереңдігі бар 6 инженерлік-геологиялық элемент бөлінді

Құрылыс объектісін инженерлік-геологиялық зерттеу кезінде күрделі топырақ жағдайлары анықталды, яғни топырақ бірінші типтегі шөгу қасиеттеріне ие. Топырақтың шөгуін бағалау үшін қолданыстағы МемСТ-пен есептік сипаттамаларды алу мақсатында зертханалық зерттеулер жүргізілді.

Бұрғылау процесінде ұңғымалардан іріктелген топырақты зертханалық зерттеу қолданыстағы нормативтік құжаттардың, нұсқаулықтардың және әдістемелік нұсқаулардың талаптарына сәйкес Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханаларында жүргізілді. Табиғи және суға қаныққан күйдегі тығыздық (үлес және көлемдік салмақ), ылғалдылық, деформациялық және беріктік сипаттамалары және т.б. сияқты физикалық-механикалық сипаттамаларын анықтау үшін таңдалған топырақтың 50 үлгісі сыналды.

Топырақ бөлшектерінің тығыздығы (үлес салмағы) бөлшектердің массасының олардың көлеміне қатынасымен анықталады. Топырақ бөлшектерінің тығыздығын анықтау ҚР СТ 1290-2004 10-тармағына сәйкес пикнометриялық әдіспен жүргізілді. Ауа



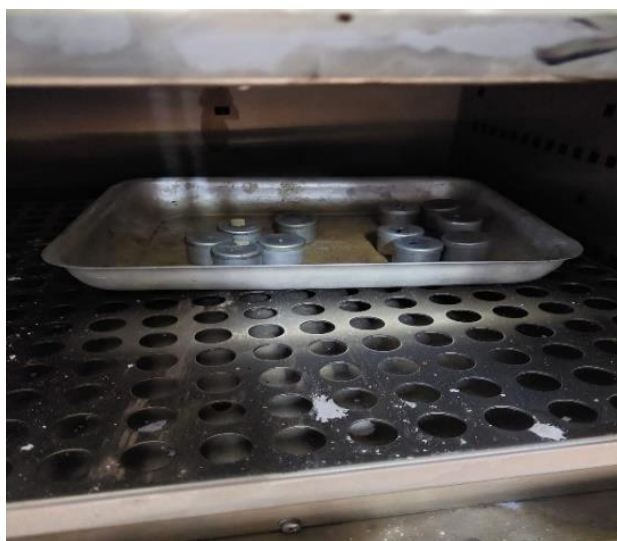
құрғақ күйдегі топырақ үлгісі ұнтақталып, № 2 електен өткізіліп, пикнометр көлеміне сәйкес аспа таңдалды. Ілмек алдын ала тұрақты массаға дейін кептірілді. Сынақтар үшін пикнометр, тазартылған су (алдын ала қайнатылған), Фарфор ерітіндісі, таразы, кептіру шкафы, құм моншасы және термометр қолданылды. Өлшеу температуралық түзетулерді ескере отырып, кейіннен сумен, топырақпен және онсыз пикнометрдің массасын анықтаумен жүргізілді.

Топырақтың көлемдік тығыздығын анықтау ҚР СТ 1290-2004 7-тармағына сәйкес парафинді үлгілер әдісімен орындалды. Монолиттен көлемі кемінде 50 см^3 болатын үлгі кесіліп, оған дөңгелек пішін берілді. Үлгі ілу үшін ілмегі бар берік жіппен байланады. Өлшенгеннен кейін топырақ герметикалық қабық пайда болғанға дейін балқытылған парафинге ($57-60 \text{ }^\circ\text{C}$) бірнеше рет батыру арқылы парафинді қабықпен жабылғанын қадағаланады. Парафинделген үлгі ауада және суда өлшенді, беттермен жанасуды болдырмады.

Қолданылатын құралдар: жоғары дәлдіктегі таразылар, су ыдысы, парафин, оны жылытуға арналған ыдыс, көпіршікті кетіретін ине, сүзгі қағазы, штатив немесе суда өлшеуге арналған стенд.

Топырақтың ылғалдылығы ҚР СТ 1290-2004 2-тармағына сәйкес тұрақты массаға дейін кептіру әдісімен анықталды. Топырақ аспасы ($15-50 \text{ г}$) қақпағы бар алдын ала кептірілген және өлшенген металл бюкстерге орналастырылды. Үлгіні өлшегеннен кейін оны кептіру шкафында (105 ± 2) $^\circ\text{C}$ температурада (гипстелген топырақтар үшін — 80 ± 2) $^\circ\text{C}$) тұрақты массаға дейін кептіріп, эксикаторда салқындағаннан кейін салмағын өлшеді.

Негізгі құралдар: кептіру шкафы, таразы, қақпағы бар металл шыныаяқтар, кальций хлориді эксикаторы, № 1 елек.



1-сурет. Топырақтың ылғалдылығын анықтау үшін (105 ± 2) $^\circ\text{C}$ температурада кептіру пештерінде үлгілерді кептіру

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу

Топырақтың аққыштық шекарасын анықтау ҚР СТ 1290-2004 4-тармағына сәйкес конустық әдіспен (Васильева конусы) жүргізілді. Дайындалған топырақ пастасы цилиндрлік шыныаяққа салынды, содан кейін оған тепе-теңдік конусы түсірілді. Конус өз салмағының әсерінен 5 секунд ішінде 10 мм батырылса, ылғалдылығы бойынша аққыштық шекарасы болып табылды.



Сынақтар үшін қолданылатын жабдықтар: құралмен тепе-теңдік конусы (Васильева конусы), цилиндрлік шыныаяқ, Фарфор шыныаяқ, шпатель, № 1 елек, қақпағы бар шыны ыдыс, сүзгі қағазы, тазартылған су, таразы, кептіру пеші. Аққыштық шекарасына жеткен кезде үлгілердің ылғалдылығы тұрақты массаға дейін кептіру әдісімен анықталды.



2-сурет. Топырақтың аққыштығын анықтау

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу

Илемділік шегі топырақ пастасын диаметрі 3 мм, ұзындықтары 3-10 мм дейін ширатқанда бөлшектерге ыдыраған бөліктерді кептіру арқылы анықтайды. Сынақтар үшін аққыштық шегін анықтау әдісімен дайындалған қоймалжың паста қолданылады. Топырақ пастасы мұқият араластырылып, алақанмен шыны немесе пластмасса тақтайшада жіңішке шиыршықтар пайда болғанша домалатылады. Бұл процесс бөлшектерге ыдырағанға дейін жалғасады. Бөлшектердің ұзындығы 3-10 мм бөліктерге ыдырай бастағанда, олар қақпағы бар бюкстерге жиналады. Бюкстердегі топырақтың массасы 10-15 г болуы керек, содан кейін ылғалдылық кептіру әдісімен анықталады. Құралдар: шыны немесе пластмасса табак, шпатель, қақпағы бар бюкс, таразы, кептіру шкафы.

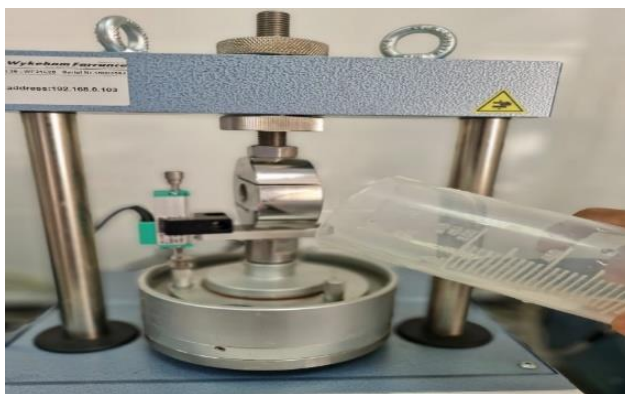


3-сурет. Илемділік шегін анықтау процесі

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу

Сазды топырақтардың деформациялық қасиеттерінің сипаттамалары зертханада топырақтың сығылғыштығын анықтау әдісімен айқындалады. Зерттеулер қосымша суға қанықтыру арқылы, МемСТ 12248-2010 талаптарына сәйкес АСИС ГТ 1.2.6 компрессиялық сығылу аспабында жүргізілді. Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде топырақтың деформация модулінің жекелеген мәндері алынып, топырақтың салыстырмалы сығылғыштығының қысымға тәуелділік графиктері тұрғызылды.

Топырақтардың шөгу қасиеттерінің сипаттамаларын зертханада анықтау үшін МемСТ 23161 бойынша ылғалдылығы табиғи күйдегі және суға қаныққан кезіндегі үлгілерге бірсатылы және екісатылы компрессиялық жүктеу әдістері қолданылды. Сынақтар тұрақты жүктеме кезінде үлгілерді суға қанықтыруға арналған құрылғылармен жабдықталған сақиналы немесе цилиндрлік пішінді компрессиялық аспаптарда жүргізіледі. Негізгі құралдар ретінде компрессиялық аспаптар, шөгу өлшегіштер (сағаттық индикаторлар), поршеньді сақиналы қалыптар, суға қанықтыру камералары, зертханалық таразылар, сондай-ақ ылғал анықтағыштар немесе кептіргіш шкафы бар эксикаторлар қолданылады.



4-сурет. Топырақтардың шөгуін анықтау

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу

Сазды топырақтардың беріктік сипаттамалары МемСТ 12248-2010 талаптарына сәйкес ығысу АСИС құрылғысына алдын ала тығыздау және суды сіңдіру арқылы топырақ үлгісін баяу нығайту әдісімен анықталды. Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде сазды топырақтар үшін ілінісу мен ішкі үйкеліс бұрышының жеке мәндері алынды және күштің қысымға тәуелділік графиктері салынды.

Топырақ сипаттамалары мәндерінің статистикалық өңдеуі МемСТ 20522-2012 талаптарына сәйкес орындалды. Топырақтың физикалық-механикалық қасиеттерінің қажетті есептік және нормативтік көрсеткіштерін алу үшін зертханалық жағдайда физикалық қасиеттер көрсеткіштерінің жекелеген мәндерін кемінде 10 рет және механикалық (беріктік пен деформациялық) қасиеттер көрсеткіштерінің мәндерін кемінде 6 рет анықтау жұмыстары ИГЭ-1 бойынша жүргізілді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зертханалық зерттеулердің нәтижелері инженерлік-геологиялық элементтің (ИГЭ-1) сазды топырақтарының физикалық-механикалық сипаттамаларын кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Тығыздықты, ылғалдылықты және беріктікті анықтау жұмыстары бұрын сипатталған стандартты әдістер мен аспаптарды қолдану арқылы жүргізілді. Топырақтың физикалық қасиеттерінің қорытынды көрсеткіштер 1-кестеде келтірілген.



1-кесте. ИГЭ-1 үшін тығыздық нәтижелері

Ұңғымалар нөмірі	Ұңғымалардың тереңдігі	Тығыздық, г/см ³			Кеуектілік коэффициенті, е
		ылғалдылығы табиғи күйдегі топырақ, ρ	кұрғақ топырақ ρ_d	топырақ бөлшектері ρ_s	
7-24	2,2	1,65	1,55	2,70	0,740
	3,5	2,13	1,88	2,70	0,436
8-24	2,2	1,78	1,67	2,70	0,617
20-24	2,1	1,81	1,60	2,70	0,690
29-24	1,20	1,71	1,63	2,70	0,656
54-24	1,2-1,5	1,62	1,55	2,70	0,742
82-24	3,3	1,76	1,70	2,67	0,570
157-24	1,5-1,8	1,69	1,59	2,70	0,698
	2,5-2,7	1,75	1,63	2,70	0,659
193-24	1,2-1,5	1,77	1,71	2,70	0,582
Орташа мәні		1,76	1,68	2,70	0,61

Ескерту – автор Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректері негізінде құрастырған

1-кесте деректеріне сәйкес топырақтың табиғи ылғалдылықтағы тығыздығы 1,65-2,13 г/см³ аралығында ауытқиды, орташа мәні 1,76 г/см³ құрайды, бұл топырақ түрінің орташа тығыздыққа жататынын көрсетеді. Сонымен қатар кеуектілік коэффициенті 0,436-дан 0,742-ге дейін өзгереді, бұл топырақ массивінің тығыздалу дәрежесі мен су ұстап тұру қабілетінің біртекті еместігін көрсетеді.

2-кесте. Топырақтың ылғалдылығын анықтау нәтижелері (ИГЭ-1)

Ұңғымалар нөмірі	Табиғи ылғалдылық w, %	Аққыштық шегі W _L , %	Ширату шегі W _p , %	Илемділік саны I _p	Аққыштық көрсеткіші (консистенция)
7-24	6,3	17	13	4	-1,65
	3,5	17	13	4	-2,20
8-24	6,3	17	13	4	-1,04
20-24	13,3	17	13	4	0,08
29-24	4,5	19	14	5	-1,90
41-24	4,5	15	10	5	-1,10
54-24	3,5	17	13	4	-2,38
157-24	6,3	18	14	4	-1,93
	7,5	18	14	4	-1,63
193-24	3,7	16	13	3	-3,10
Орташа мәні		17,1	13	4,1	-1.65

Ескерту – автор Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректері негізінде құрастырған

2-кестеде ылғалдылық пен аққыштық шегінің консистенция көрсеткіштері көрсетілген. Орташа табиғи ылғалдылық 5,9 %, ал аққыштық шегі мен шиыршықтау шегі сәйкесінше 17,1 % және 13 % құрайды. Топырақтың илемділік саны 3-5 және аққыштық



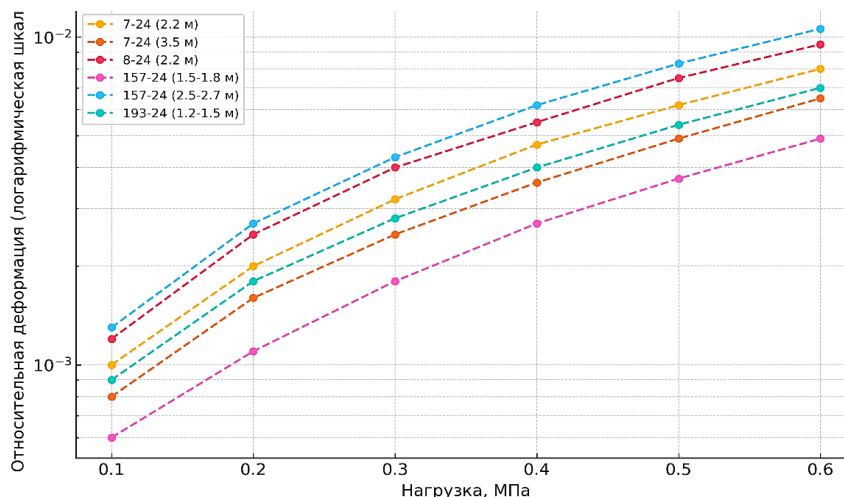
көрсеткішінің теріс мәндері (орта есеппен – 1,65) қатты консистенциядағы құмайғт екенін көрсетеді, бұл статикалық жүктемелер кезінде берік күйді көрсетуі мүмкін, бірақ сумен қанығу кезінде ықтимал шөгуді жоққа шығармайды. Ылғалдылық сипаттамаларын анықтау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

3-кесте. Сазды топырақтардың деформациялық қасиеттерінің нәтижелері (ИГЭ-1)

Ұңғыма нөмірі	Ұңғыма теңдігі	0,1-0,6 МПа аралығында сығылу коэффициенті	Қысу деформация модулі Ек (аралықта 0,1-0,6 МПа)	0,1-0,6 МПа аралығындағы одометриялық деформация модулі
7-24	2,2	0,059	17,5	29,5
	3,5	0,046	21,5	37,1
8-24	2,2	0,085	12,7	21,7
157-24	1,5-1,8	0,036	50,0	47,4
	2,5-2,7	0,095	12,7	18,2
193-24	1,2-1,5	0,048	21,0	33,3
Орташа мәні		0,061	22,5	31,2

Ескерту – автор Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректері негізінде құрастырған

Деформациялық сипаттамаларды талдауға көшкен кезде (3-кесте) сығылу коэффициенті 0,036-дан 0,095 МПа⁻¹-ге дейін, орташа мәні 0,061 шамасында өзгеретінін атап өткен жөн. Тиісінше, ϵ_k деформация Модулінің мәндері 12,7-ден 50,0 МПа-ға дейін өзгереді, бұл кері байланысты көрсетеді: сығылу коэффициенті неғұрлым жоғары болса, топырақтың беріктігі соғұрлым төмен болады. 157-24 ұңғымасы ерекше ерекшеленеді, мұнда деформация Модулінің 2,5-2,7 м тереңдікте күрт төмендеуі байқалады, сонымен бірге сығылу жоғарылайды, бұл кеуектіліктің жоғарылауымен байланысты және топырақтың тігінен гетерогенді құрылымын көрсетеді.



5-сурет. Әртүрлі ұңғымалар үшін жүктемеге түсірілгендегі салыстырмалы деформация графигі

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу



Зерттеу барысында 0.05-тен 0.30 МПа-ға дейінгі тік қысымның әсерінен сазды топырақтардың салыстырмалы шөгуінің (ε_{sl}) эксперименттік мәндері алынды. Талдау объектілері ретінде әртүрлі тереңдіктегі алты ұңғыманың үлгілері пайдаланылды: 7-24 (2,2 м және 3,5 м), 8-24 (2,2 м), 20-24 (2,1 м), 157-24 (2,5–2,7 м) және 193-24 (1,2 м).

ε_{sl} максималды мәндері 193-24 (1,2 м) және 8-24 (2,2 м) ұңғымалардан алынған үлгілерде байқалады, мұнда шөгу 0.04–0.05-тен асады, бұл құрылымның ылғалдану мен ығысуға жоғары сезімталдығын көрсетеді. Ең төменгі мәндер ұңғымалардан алынған үлгілерде 7-24 (3,5 м) және 20-24 (2,1 м) – 0.01-ден аз, бұл оларды аз шөгін құмай ретінде сипаттайды.

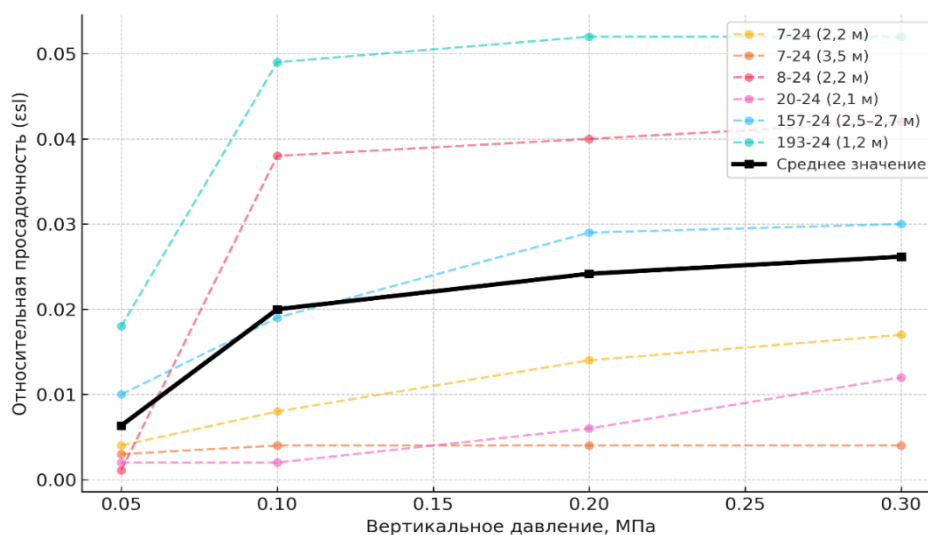
Алынған нәтижелер 8-суретте келтірілген, онда әр үлгінің әрекеті көрсетілген, сонымен қатар барлық алты ұңғыманың орташа шөгу қисығы есептелген. Тік қысым деңгейлері бойынша ε_{sl} орташа мәндері 4-кестеде ұсынылған.

4-кесте. Топырақтың салыстырмалы шөгуінің орташа мәні (ИГЭ-1)

Орташа салыстырмалы шөгу, ε_{sl}	Тік қысым, МПа			
	0.05	0.10	0.20	0.30
		0,006	0,020	0,024

Ескерту – автор эксперимент деректері негізінде құрастырған

Тік жүктеме кезінде 0,05 МПа орташа $\varepsilon_{sl} < 0,01$, бұл айқын құрылымдық шөгудің жоқтығын көрсетеді. Бірақ, алайда, 0.10 МПа және одан жоғары болған кезде орташа ε_{sl} $0,01 \leq \varepsilon_{sl} \leq 0,03$ диапазонында болады, бұл МемСТ 25100 – 2020 сәйкес топырақты шөгінділерге жатқызу критерийлеріне сәйкес келеді. Осылайша, шөгу (I тип) пайда болады – деформация ылғалдандыру мен сыртқы жүктеменің бірлескен әрекеті кезінде пайда болады. 0,05-0,1 МПа интерполяциясы бойынша бастапқы шөгу қисымы (P_{sl}), онда $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ алғаш рет тіркеледі, орта есеппен 0,64 Мпа, ал 0,05 – 0,3 МПа интерполяциясы бойынша 0,1 МПа құрайды.



8-сурет. Көрсетілген ұңғымалар үшін ε_{sl} тік қысымға тәуелділік графигі

Ескерту – Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ зертханасында жүргізілген эксперимент деректеріне негізделген авторлық әзірлеу



ҚОРЫТЫНДЫ

Салыстырмалы шөгуді эксперименттік анықтау нәтижелері (ε_{sl}) зерттелген сазды топырақтардың көпшілігінде шөгу белгілері (I типті) бар екенін көрсетті. 0,10-дан 0,30 МПа-ға дейінгі тік қысым кезінде сумен қанықтыру жағдайында нормативтік құжаттарда белгіленген $\varepsilon_{sl} = 0,01$ шегінен асатын деформациялар байқалады. 0,05 МПа-да шөгудің болмауы шөгудің жоқтығын көрсетеді, бірақ жүктеменің келесі кезеңдерінде пластикалық деформациялардың болуы топырақты алдын ала тұрақтандырусыз құрылыста ықтимал қауіпті деп жіктеуге мүмкіндік береді.

Шөгу қасиеттерінің болуы құрылыс нысандарын жобалауға және пайдалануға тікелей әсер етеді. Ылғалдандыру жағдайында мұндай негіздерге салынған іргетастар біркелкі емес жауын-шашынға ұшырауы мүмкін, бұл тірек құрылымдарының деформациясына, жарықтарға және ғимараттың тұтастығының бұзылуына әкелуі мүмкін. Ылғалдандыру кезінде деформацияларға анықталған бейімділікті, сондай-ақ бастапқы шөгу қысымының төмен мәнін ескере отырып, ықтимал шөгуді ескере отырып, іргетастарды тығыздау, дренаждау және жобалау жөніндегі іс-шараларды қоса алғанда, құрылыс кезінде тиісті қорғау шараларын көздеу қажет.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Alfred W.O., Colin T.D., Stephanie G., & Ebiegheri O. (2022). A review of the identification methods and types of collapsible soils. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(17). <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00064-2>
- Ankti S., & Bharat V.T. (2024). Collapsible Soil Model for the Prediction of Mechanical Characteristics of Partially Saturated Collapsible Soils. *International Journal of Geomechanics*, 24(7). <https://doi.org/10.1061/IJGNALGMENG-9037>
- Ahmed S.A., Mohammed Y.F., Mahmood R.M. (2023). Evaluation of the Collapse Potential Magnitude of Untreated and Treated Collapsible Gypseous Soil – A New Procedure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(6), 2421–2430. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1635-2>
- Breno P.R., Isabela A.S., Roger A.R., Paulo C.L., & Heraldo L. (2023). Identifying Collapsible Soils from Seismic Cone (SCPT): A Qualitative Approach. *Journal of MDPI*, 13(3), 830. <https://doi.org/10.3390/buildings13030830>
- СТ РК 1290-2004. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик (с доп. от 18.03.2021 г.) [Электронный ресурс]. – Справ. прав. система «Параграф». URL: <https://online.zakon.kz> (дата обращения: 17.02.2024) // ST RK 1290-2004. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik (s dop. ot 18.03.2021 g.) [Elektronnyi resurs]. – Sprav. prav. sistema «Paragraf». URL: <https://online.zakon.kz> (data obrashcheniya: 17.02.2024) [Soils. Methods of laboratory determination of physical characteristics] (In Russ.)
- Mohammad A.K., Gábor N., & Ákos T. (2023). Stabilization of collapsible soils with nanomaterials, fibers, polymers, industrial waste, and microbes: Current trends. *Construction and Building Materials*, 368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130463>
- Huda W.A., & Bushra S.A. (2024). The Collapsible Soil Definition and Mitigation Strategies: A Review Study. *Journal of Engineering*, 30(11), 142–163. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2024.11.09>
- Ramesh V., & Joshua R.O. (2016). Geotechnical case studies: emphasis on collapsible soil cases. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Forensic Engineering*, 169(3,6), 103–110. <https://doi.org/10.1680/jfoen.16.00011>
- Дорджиев А.Г., Сангаджиев М.М., Арашаев А.В. Особенности лессовых просадочных грунтов Калмыкии. Монография. Санкт-Петербург, 90 с. ISBN 978-5-6048667-7-1 // Dordzhiev



- A.G., Sangadzhiev M.M., Arashaev A.V. Osobennosti lessovykh prosadochnykh gruntov Kalmykii. Monografiia. Sankt-Peterburg, 90 s. ISBN 978-5-6048667-7-1 [Features of loess subsidence soils in Kalmykia] (In Russ.)
- Кондратьев С.А., Савин А.Е. (2016). Оценка просадочности грунтов в районах строительства. Вестник МГСУ, № 5// Kondrat'ev S.A., Savin A.E. (2016). Otsenka prosadochnosti gruntov v raionakh stroitel'stva. Vestnik MGSU, No. 5 [Assessment of collapsibility of soils in construction areas] (In Russ.)
- Хансиварова Н.М., Скнарина Н.А. (2015). Влияние новых требований ГОСТ 25100-11 к выделению разновидностей просадочных грунтов на стоимость инженерно-геологических изысканий. Фундаментальные исследования, № 11(6), 1129–1136// Khansivarova N.M., Sknarina N.A. (2015). Vliyanie novykh trebovaniy GOST 25100-11 k vydeleniyu raznovidnostey prosadochnykh gruntov na stoimost' inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy. Fundamental'nye issledovaniia, No. 11(6), 1129–1136 [Influence of new GOST 25100-11 requirements on the classification of collapsible soils on the cost of engineering-geological surveys] (In Russ.)
- Хансиварова Н.М., Ласун В.С. (2016). Виды и объемы инженерно-геологических работ при оценке характеристик свойств просадочных грунтов для проектирования и строительства с учетом новых требований ГОСТ 25100-11. Грунты. Классификация. Научный журнал «Успехи современного естествознания», № 12(2), 460–467 // Khansivarova N.M., Lasun V.S. (2016). Vidy i ob'emy inzhenerno-geologicheskikh работ pri otsenke kharakteristik svoistv prosadochnykh gruntov dlya proektirovaniya i stroitel'stva s uchetom novykh trebovaniy GOST 25100-11. Grunty. Klassifikatsiia. Nauchnyi zhurnal "Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia", No. 12(2), 460–467 [Types and volumes of engineering-geological works when assessing the characteristics of collapsible soils for design and construction considering new GOST 25100-11 requirements] (In Russ.)
- ГОСТ 12248-2010. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости [Электронный ресурс] // GOST 12248-2010. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruемости [Elektronnyi resurs] [Methods for laboratory determination of strength and deformability characteristics] (In Russ.)
- ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация [Электронный ресурс] // GOST 25100-2020. Grunty. Klassifikatsiia [Elektronnyi resurs] [Soils. Classification] (In Russ.)
- ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности [Электронный ресурс] // GOST 23161-2012. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya kharakteristik prosadochnosti [Elektronnyi resurs] [Soils. Laboratory method for determining collapsibility characteristics] (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Жаирбаева Гульназ Аскарловна – докторант, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан

Жаирбаева Гульназ Аскарловна – докторант ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Zhairbayeva Gulnaz Askarovna – PhD student L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan.

E-mail: gulnaz.W@mail.ru,

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-5102-397X>



Жусупбеков Аскар Жагпарович – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан;

Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу қ., Ресей

Жусупбеков Аскар Жагпарович – доктор технических наук, профессор ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан; Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Zhussubekov Askar Zhagparovich – doctor of technical sciences, professor, L.N. Gumilyov ENU, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

e-mail: astana-geostroi@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2229-1059>



Шакирова Нургуль Ударбековна – PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан; Шәкәрім атындағы университет, Семей қ., Қазақстан

Шакирова Нургуль Ударбековна – PhD, ст. преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана Казахстан, Университет Шакарима, г. Семей, Казахстан

Shakirova Nurgul Udarbekovna – PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

E-mail nur_shakirova77@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7968-4446>



Мукашева Алмагуль Султановна – докторант, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қазақстан

Мукашева Алмагуль Султановна – докторант, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Mukasheva Almagul Sultanovna –doctoral student, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

E-mail almagul_m75@mail.ru

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8256-0698>



Абишева Асем Кайратовна – PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ,
Астана қ., Қазақстан

Абишева Асем Кайратовна – PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Ас-
тана Қазақстан

Abisheva Assem Kairatovna – PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana,
Kazakhstan,

e-mail: abish_assem@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9797-1940>