

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Геологорозвідувальний

(факультет)

Кафедра гідрології та інженерної геології

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Агапової Аліни Андріївни

(ІПБ)

академічної групи 103-16-2

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньою програмою «Гідрологія»

(офіційна назва)

на тему Механічна суфозія як фактор небезпеки при спорудженні та експлуатації будівель на льосах

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Дерев'ягіна Н.І.			
розділів:				
Загальний	Дерев'ягіна Н.І.			
Спеціальний	Дерев'ягіна Н.І.			
Рецензент	Ішков В.В.			
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

« _____ »

2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Агаповій Аліні Андріївні групи 103-16-2

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103 «Науки про Землю»

за освітньою програмою «Гідрогеологія»

на тему Механічна суфозія як фактор небезпеки при спорудженні та експлуатації будівель на льосах

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 04.05.2020 № 254-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	<i>Вивчення фізико-хімічних та механічних умов формування просадності льосових порід, що визначають стійкість масивів. Опис інженерно-геологічних процесів в масивах льосових порід. Дослідження впливу суфозійних процесів на льосові масиви в різних умовах</i>	04.05.2020- 09.06.2020
Спеціальний	<i>Загальна характеристика ділянки досліджень. Аналіз та опис стану аварійної будівлі Гуртожитку №2 НТУ «ДП». Обґрунтування та аналіз розрахунків просадності об'єкту із урахуванням специфічної структури льосів. Розробка рекомендацій з ліквідації наслідків аварії.</i>	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Дерев'ягіна Н.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

04.05.2020

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.06.2020

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Агапова А.А.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., табл. 1, рис. 22, джерел 37, додатки.

Актуальність роботи. Серед різноманіття геологічних утворень України своїми специфічними інженерно-геологічними властивостями виділяються льосові ґрунти. Вони безпосередньо пов'язані з процесами зсувоутворення. На вже забудованих ділянках виникають проблеми втрати стійкості льосових масивів внаслідок витоків з водогінних комунікацій, недостатнього дренажу (або його відсутності), підрізки схилів, порушення норм експлуатації будівель і споруд, а головне – підтоплення.

Актуальність представлених завдань, не в останню чергу, була необхідна для вирішення протиріч в оцінках причин аварії, що могли вплинути на прийняття інженерно-технічних заходів ліквідації її наслідків. У даній роботі представлено втілення саме такого підходу.

Мета роботи полягала у дослідженні процесів механічної суфозії при спорудженні та експлуатації будівель на льосах, на прикладі аварійного стану Гуртожитку №2 НТУ «ДП», шляхом комплексу спостережень, вимірів та аналізу інженерно-геологічної інформації для з'ясування причин деформації будинку і розробки заходів щодо їх ліквідації.

Об'єктом досліджень є гідрогеомеханічні процеси, що визначають просадність та розвиток суфозійних явищ у масиві льосових порід під впливом техногенної фільтрації.

Предметом досліджень є геотехнічні параметри льосових масивів та фільтраційні закономірності формування їх нестійкого стану, що визначають характер деформаційних порушень льосів.

Наукове та практичне значення обґрунтовано можливістю використовувати методику і план досліджень для з'ясування причин деформації будинку і розробки заходів щодо їх ліквідації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОСАДНІСТЬ, ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ, ДЕФОРМАЦІЯ БУДІВЛІ, СПЕЦИФІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЬОСІВ, СУФОЗІЯ.

Зміст

Вступ.....	6
1 Фізико-хімічні та механічні умови формування просадності льосових порід, що визначають стійкість масивів.....	7
1.1 Хіміко-мінеральний склад та будова льосових порід.....	7
1.1.1 Мінеральний склад льосових порід.....	7
1.1.2 Хімічний склад льосових порід.....	9
1.1.3 Будова льосових порід.....	11
1.2 Генезис просадності льосів. Швидкість і час її формування.....	12
1.2.1 Характеристика механізмів формування просадності.....	13
1.2.2 Основні твердження загальної теорії формування просадності льосових порід.....	16
1.2.3 Загальні висновки про швидкість та час формування просадності льосових порід.....	18
1.3 Закономірності розвитку просадних деформацій масивів льосових порід у часі при впливі різних джерел замочування.....	19
2 Інженерно-геологічні процеси в масивах льосових порід.....	22
2.1 Сучасні геологічні процеси у масивах льосових порід.....	22
2.2 Просадні процеси та явища, що формуються внаслідок них.....	22
2.3 Ерозійні явища вилуговування льосових порід.....	25
2.4 Механічна суфозія. Внутрішньопластовий розмив льосових порід.....	27
2.5 Обводнення та підтоплення масивів льосових порід.....	30
2.6 Обвальні та зсувні процеси.....	32
3 Дослідження впливу інженерно-геологічних явищ на будівлю Гуртожитку №2 НТУ «ДП», причини, наслідки аварії.....	37
3.1 Стислий аналітичний огляд фактичних даних і матеріалів станом на 04.11.2019 р.....	37
3.1.1 Умови ділянки аварії.....	37
3.2. Результати додаткових досліджень у період з 20.10.2019 р. до 04.11.2019 р.....	41
3.2.1 Фотодокументи фонового стану будівель Нагорної частини міста Дніпро.....	41
3.2.2 Фотохроніка стану технологічних об'єктів, що передувало аварії та	

	її розвиток (26.10.2018 р. – 06.10.2019 р.).....	49
3.3	Аналітичний огляд звіту [33].....	54
4	Вибір і обґрунтування розрахункових схем і заходів щодо забезпе- чення стійкості споруд по пр. Дмитра Яворницького (Гуртожиток № 2 НТУ «ДП»)	58
4.1	Загальні відомості про досліджувану територію.....	58
4.1.1	Місце знаходження, вивченість.....	58
4.1.2	Геоморфологія, рельєф і фізико-геологічні явища.....	58
4.1.3	Клімат.....	59
4.2	Результати візуального огляду будівлі.....	60
4.3	Оцінка інженерно-геологічних умов на період проведення вишуку- вань і прогноз їх зміни в часі.....	61
4.3.1	Геологічна будова.....	61
4.3.2	Гідрогеологічні умови.....	63
4.3.3	Геотехнічна характеристика ґрунтів.....	66
4.4	Розрахунок просадності льосового масиву у природних умовах під впливом техногенного навантаження	67
4.5	Прогноз зміни інженерно-геологічних умов.....	68
4.6	Рекомендації щодо захисту аварійної будівлі	72
	Висновок.....	74
	Перелік використаних джерел.....	75
	Додаток А.....	79
	Додаток Б.....	81
	Додаток В.....	82

КАФЕДРА ПІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ВСТУП

Швидкі темпи будівництва, освоєння нових територій, реконструкція будівель і споруд, зведення об'єктів підвищеної поверховості, складної конфігурації в плані з різноманітними видами техногенних навантажень на ґрунти, призводять до порушення природної рівноваги і утворення нової системи, яка в подальшому позитивно або негативно впливає на навколишнє середовище. Надійне прогнозування змін геологічного середовища під впливом техногенних навантажень можливо тільки на підставі результатів комплексних досліджень ґрунтів і, в першу чергу, їх міцності і деформаційних властивостей, характерних для певного виду ґрунтів.

Серед комплексу проблем, які супроводжують оцінку стійкості масивів на території Дніпра, особливу актуальність має облік специфічності льосів в загальному комплексі оцінки. У більшості випадків стандартні методики не враховують її, і тому дають більш оптимістичні прогнози. Про це свідчить аварійний стан будівлі гуртожитку №2 НТУ «Дніпровська політехніка», проспект Дмитра Яворницького, 17, який стався внаслідок техногенного впливу на льосові ґрунти.

Мета роботи полягала у дослідженні процесів механічної суфозії при спорудженні та експлуатації будівель на льосах, на прикладі аварійного стану Гуртожитку №2 НТУ «ДП», шляхом комплексу спостережень, вимірів та аналізу інженерно-геологічної інформації для з'ясування причин деформації будинку і розробки заходів щодо їх ліквідації.

Для її досягнення були поставлені наступні завдання:

- вивчити особливості льосових ґрунтів, що визначають їх інженерно-геологічні властивості,
- проаналізувати зміну фізико-механічних властивостей льосових ґрунтів з глибиною та їх просадності, і виявити фактори, що впливають на їх зміну,
- визначити причини та фактори, що передували аварії Гуртожитку №2;
- розробити заходи щодо ліквідації деформацій будинку.

1 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОСАДНОСТІ ЛЬОСОВИХ ПОРІД, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ СТІЙКІСТЬ МАСИВІВ

1.1 Хіміко-мінеральний склад та будова льосових порід

1.1.1 Мінеральний склад льосових порід

Льосові породи і складені ними масиви являють собою складні системи. Їх зміни обумовлені складною взаємодією внутрішніх і зовнішніх факторів. Будучи покривними континентальними утвореннями, вони поширені на великих територіях з різноманітними фізико-географічними умовами, що зумовлює їх полігенетичність і широкий спектр гіпергенних змін. Ці обставини викликають значні просторові зміни, динамічність ґрунтів і їх особливі риси: полідисперсність, полімінеральність, своєрідна текстура масивів льосових порід [4].

Мінеральний склад льосових порід залежить головним чином від їх гранулометричного складу, характеру порід в області зносу, напрямку процесу вивітрювання. Найбільша відмінність в асоціаціях колоїдно-дисперсних мінералів спостерігається між льосовими породами низинних рівнин, з одного боку, і передгір'їв і схилів - з іншого. Так, в межах низинних рівнин в глинистій фракції льосових порід головною складовою частиною є гідролуд, монтморилоніт і каолініт, а в гірських і передгірних областях - гідролуд і кварц (монтморилоніт і каолініт зустрічаються набагато рідше).

Льосові утворення різних районів (Російська рівнина, Передкавказзя, Середня Азія і ін.) в цілому мають подібний гранулометричний склад. Це глинисті ґрунти, частіше типу суглинків. Вони складаються з різних, в кількісному відношенні, поєднання частинок, що входять до складу піщаних (2,0-6,05 мм), пилуватих (0,05-0,005 мм) і глинистих (менше 0,005 мм) фракцій. У передгірних районах льосові ґрунти нерідко містять домішки частинок, розмір яких перевищує 2,0 мм [1].

Подібність гранулометричного складу льосових ґрунтів знаходить відображення в однотипності їх мінерального складу. Льосові ґрунти складаються з

декількох десятків мінералів, серед яких основне місце, як правило, займають кварц, польові шпати, глинисті мінерали і карбонати.

З генетичних позицій мінерали льосових ґрунтів можна розділити на три основні групи: кластогенні (кварц, польові шпати та ін.), глинисті (гідролюд, монтморилоніт та ін.) і типоморфні (карбонати, гіпс і ін.).

Кластогенні мінерали складають основну масу піщаних і пилуватих фракцій льосових ґрунтів. Всі ці мінерали успадковані з порід, що з'явилися джерелом лесового дрібнозему, з якого згодом формувалися льосові відкладення. Понад 95% кластогенних мінералів представлено кварцом і польовим шпатом. У кількісному відношенні, кварц зазвичай переважає над польовим шпатом. У льосових ґрунтах передгірних районів польові шпати іноді переважають над кварцом.

Кластогенні мінерали входять до складу фракції ($> 0,006$ мм), що складаються з піщаних ($> 0,05$ мм) і пилуватих ($0,05 - 0,005$ мм) частинок. Кластогенні мінерали мають різну форму. Піщані частинки (кварц, польові шпати т.ін.). Представлені зернами ізометричних обрисів. Серед пилуватих частинок таку форму має лише кварц, інші мінерали володіють пластинчастими формами (слюди, польові шпати та ін.).

В пов'язаних ґрунтах типу суглинків піщані і пилуваті фракції є скелетом ґрунту. Ці частинки в значній мірі враховують на себе тиск ваги будівель і споруд. Мінерали цих фракцій (кварц, польові шпати та ін.) водостійкі, їх граничний опір стисненню дуже високий. Під вагою будівель і споруд вони не руйнуються. При ущільненні глинистих ґрунтів відбувається лише зближення цих частинок за рахунок зменшення загальної пористості ґрунту. Збільшення в ґрунтах вмісту пилуватих і піщаних частинок призводить до зниження показника пластичності.

Типоморфні мінерали льосових ґрунтів (карбонати, сульфати, галоїди, оксиди і гідроксиди) беруть безпосередню участь у формуванні структур і структурних зв'язків, безпосередньо впливають на властивості льосових ґрунтів. За розчинністю у воді їх можна розділити на 4 групи: 1) дуже важкорозчинні (ок-

сида і гідроксида заліза і алюмінію), 2) важкорозчинні (карбонати типу кальциту), 3) середньорозчинні (сульфати типу гіпсу) і 4) легкорозчинні (галоїди типу Галіт) [1].

1.1.2 Хімічний склад льосових порід

Межі коливань компонентів хімічного складу в льосових породах значні (SiO_2 - 43,1-78,0%; Al_2O_3 - 4,0-17,54%; Fe_2O_3 - 0,4-9,79%; CaO - 2,68-15,9%, MgO - 0,69-3,89%; Na_2O - 0,07-3,15%; K_2O - 0,19-2,8% і т. д.), що пояснюється відмінностями в їх гранулометричному складі, а також в хімічному складі порід місцевих областей зносу. Хімічний склад пов'язаний з гранулометричним складом. Зі збільшенням ступеня дисперсності вміст SiO_2 втрачається, а $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ зростає.

Значні коливання у вмісті різних окислів пояснюються різноманітністю льосових порід за походженням, віком, географічним положенням.

Найважливішими оксидами є SiO_2 і полуторні окисли (R_2O_3). Найнижчий вміст SiO_2 відзначено в льосових породах Середньої Азії (44-48%), найвища завжди буває пов'язано з льосовими відкладеннями льодовикових районів (до 80%). Вміст SiO_2 зростає в міру наближення до долин річок, відповідно до цього відбувається зменшення кількості полуторних окислів.

Певний інтерес представляють дані по валовим вмістам глинистих фракцій льосових порід. Так, у фракції <5 мкм вміст SiO_2 коливається від 38 до 47%, Al_2O_3 - від 14 до 22%, Fe_2O_3 - від 7 до 13% і $\text{K}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ - від 0,8 до 3%. Значення вмістів компонентів в різних льосових породах подібні, що є свідченням однотипності мінерального складу високодисперсних фракцій.

У льосові породи входять, крім головних елементів гірських порід, таких, як кремній, алюміній, залізо, магній, кальцій, натрій, калій, титан, ще близько 30 мікроелементів. Кількість кожного мікроелемента досить невелика (менше 0,1 і навіть 0,001%).

Розподіл мікроелементів за розрізами льосових товщ не підкоряється будь-яким закономірностям. Лише в окремих випадках можна спостерігати з глибиною збільшення вмісту ванадію (від 0,006 до 0,01%), марганцю (від 0,1 до 0,2%) і зменшення вмісту цирконію, стронцію, хрому, барію.

Головними обмінними катіонами льосових порід є Ca^{2+} і Mg^{2+} . Вміст Ca^{2+} у фракціях <5 мкм коливається від 10 до 84 мг-екв (при середньому значенні 30-40 мг-екв). Кількості Mg^{2+} завжди буває в 2-3 рази менше Ca^{2+} і становить в середньому 10-12 мг-екв на 100 г фракцій <5 мкм. Велика кількість Ca^{2+} в поглиненому комплексі пояснюється широкою його поширеністю в зоні гіпергенезу, особливо в районах з аридним кліматом. Кількість Mg^{2+} зазвичай має тенденцію до збільшення в зволжених районах. В обмінному комплексі льосових порід постійно присутні катіони K^+ і Na^+ .

Вміст Na^+ завжди більше вмісту K^+ . Для K^+ і Na^+ характерно збільшення їх вмісту в льосових породах аридних районів, де кількість K^+ в глинистих фракціях зростає з 3 до 15 мг-екв. Найбільший вміст Na^+ (3-4 мг-екв) буває пов'язано з породами, в яких відзначається підвищена кількість монтмориллоніту.

Для льосових порід континентальних утворень відношення $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ менше 5.

Крім перерахованих обмінних катіонів в льосових породах зустрічаються катіони водню, алюмінію, заліза та ін. Кількість цих катіонів незначна. Відзначається взаємозв'язок складу обмінних катіонів зі складом порових розчинів.

Водневий показник (рН) льосових порід коливається в досить широких межах, приблизно від 6,4 до 8,8. Найбільші значення рН (більше 8,0) пов'язані з льосовими породами аридних районів.

Однією з найбільш характерних рис льосових порід є їх карбонатність. У льосових породах європейської частини Росії кількість карбонатів коливається від 0,1 до 20%. Сумарний вміст вуглекислого вапна ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) в лесах Західної Європи змінюється від 0 до 35%, причому близько 10% з них складає MgCO_3 . В лесах Середньої Азії вміст карбонатів зазвичай становить 15-25%. Вміст карбонатів змінюється відповідно за географічними умовами місцевості:

найменша їх кількість міститься в льосових породах районів підвищеного зволоження і, навпаки, найбільш висока - у льосових породах посушливих районів.

У льосових породах поряд з мінеральними речовинами міститься і гумус, який приурочений до гумусованих прошарків і похованих ґрунтів, де його вміст не перевищує 1,2%. В лесах, що залягають між похованими ґрунтами, вміст гумусу завжди менше 1%. [4]

1.1.3 Будова льосових порід

Будова порід - сукупність їх структурно-текстурних особливостей. При цьому текстура описується ознаками, що характеризують відносьне розташування і розподіл структурних елементів ґрунту в просторі, а структура - розміром, формою, характером поверхні структурних елементів, що їх складають (часток, агрегатів), їх кількісним співвідношенням і характером зв'язків між ними. Останні називаються «структурними зв'язками» та залежать від типу ґрунтів (скельні, дисперсні, мерзлі), а в дисперсних ґрунтах, до яких відносяться і льосові, від співвідношення твердих, рідких і газоподібних компонентів.

В 1946 р Н. Я. Денисов вперше поставив питання про необхідність вивчення водостійкості агрегатів в льосових породах, і про зв'язок зі ступенем деформації просідання порід. Подальші експериментальні дослідження льосових ґрунтів різних генетичних типів різних районів СРСР дозволили розділити макроагрегати на неводостійкі і водостійкі. До перших, по А. К. Ларіонову, відносяться агрегати, що мають коагуляційну природу зв'язку, а також утворені за рахунок цементації легкорозчинними солями. Водостійкі агрегати, що становлять основну частину структурної системи льосових порід, були поділені на три типи:

- 1) водостійкі, пов'язані гумусними колоїдами і слабкорозчинними в воді сполуками (наприклад, гіпсом) і розпадаються при кип'ятінні;
- 2) водоміцні - агрегати колоїдно-хімічної природи, руйнуються при обмінних реакціях заміни Ca^{2+} на Na^+ ;

3) висоководомічні, утворені за рахунок цементації аморфної SiO_2 , оксидами Fe^{3+} і практично не руйнуються у воді.

Одним з найважливіших елементів структурної характеристики льосових порід є їх пористість, що характеризує в загальних рисах щільність упаковки частинок і їх агрегатів. Її величина коливається від 30 до 65%, частіше - 45-55%. Така висока пористість поряд з іншими причинами сприяє прояву просадних властивостей льосових ґрунтів при зволоженні. Вона обумовлена «порожинами» різного генезису і морфології.

Активні пори діаметром більше 10-20 мкм деформуються і ущільнюються при осіданні і механічному ущільненні льосового ґрунту. При цьому відбувається зменшення активної пористості і збільшення пасивної. Рух води в них відбувається капілярним шляхом або у вигляді вільного потоку [18].

1.2 Генезис просадності льосів. Швидкість і час її формування

Н. І. Крігер, розглядаючи походження просадності льосових порід, писав, що воно сильно залежить від природного тиску і тому завжди є постгенетичною властивістю товщі (породи в товщі). У цьому висловлюванні Н. І. Кригера по суті містяться два абсолютно різних, але дуже важливих питання – про генезис просадності, як специфічної властивості льосових порід і про формування величини просадності цих порід.

Розглянемо питання про формування величини просадності, яка фіксується дослідником в сучасних умовах. Правий Н. І. Крігер, кажучи про те, що її чисельне значення залежить від величини навантаження, що передається на льосовий ґрунт в момент замочування (природне навантаження - окремий випадок цієї ситуації). Величина просадності льосових порід є їх епігенетичною властивістю, оскільки сучасне навантаження, як правило, не пов'язане на пряму з сингенетичними процесами.

Таким чином, саме просадність може бути і син-, і епігенетичною властивістю, а її величина - тільки епігенетична.

Просадність порід елементарного шару в якості сингенетичної властивості утворюється в ході осадконакопичення і раннього діагенезу в субаеральних умовах. Саме на цьому етапі формується специфічна недоущільнена структура маловологих льосових ґрунтів. І тут головне - наявність просадності, як особливої властивості. Головне - вона сформувалася в ході літогенезу пилуватих осадків різного походження. В процесі геологічного розвитку такі просадні породи елементарного шару (і формовані ними товщі) можуть бути поховані під товщею новоутворених відкладень. І якщо просадні властивості, сингенетичні за своєю природою, будуть законсервовані, то зі зростанням ваги верхніх порід величина потенційного просідання буде прогресивно зростати. Її значення ніяк не пов'язане з епохою формування специфічної структури льосових порід і тому явище це, безумовно, епігенетичне [2].

1.2.1 Характеристика механізмів формування просідання

Просадність льосових порід обумовлена особливостями їх складу, стану і будови. Тут в першу чергу найбільш важливими є наступні п'ять позицій:

- 1) льосові породи являють собою структуровані піщано-глинисто-пилуваті дисперсні системи з різким переважанням пилуватих частинок і мають малу гідрофільність, що обумовлює відсутність або дуже малу величину потенційного їх набухання при зволоженні;
- 2) льосові породи характеризуються низькими значеннями щільності скелета і високу пористість (42-55% і навіть трохи вище), причому серед пір переважають пори відкриті;
- 3) ці породи до моменту замочування мають низьку природну вологість і відповідно тверду або напівтверду консистенцію;
- 4) в льосових породах в різних, нерідко великих кількостях (до 10% і більше) присутні карбонати і водно-розчинні солі, які в умовах невисокої природної вологості обумовлюють структуру перехідного (кодуляційно-

цементаційного) типу з високою міцністю структурних зв'язків і всього ґрунту в цілому;

5) міцність такої структури в льосових породах різко за величиною і швидко в часі падає при водонасиченні (аж до практично миттєвого розмокання невеликих зразків, поміщених в спокійну воду).

Просідання ґрунту - це складний фізико-хімічний процес. Основним його проявом є ущільнення ґрунту за рахунок переміщення і більш компактного укладання окремих частинок і їх агрегатів, завдяки чому знижується загальна пористість ґрунту до стану, відповідного діючого тиску. У зв'язку з підвищенням ступеня щільності ґрунту після просадки міцність його дещо зростає. При подальшому збільшенні тиску процес ущільнення льосового ґрунту у водонасиченому стані триває, разом з цим збільшується і його міцність.

Викладене вище показує, що необхідними умовами для прояву просідання ґрунту є: а) наявність навантаження від власної ваги ґрунту або фундаменту, здатної при зволоженні долати сили зв'язності ґрунту, б) достатнє зволоження, при якому в значній мірі знижується міцність ґрунту.

Суть *гідратаційно-дегідратаційного-недоущільненого* механізму формування просідання льосових порід дуже точно відображена в його назві. Він реалізується в природних умовах тільки при накопиченні і субаеральному діагенетичному перетворенні еолових відкладень в сухому кліматі. Сухий пилуватий осад елементарного шару в той чи інший час зволожується атмосферними опадами, потім в аридних умовах відбувається його дегідратація з досить високою швидкістю, що супроводжується прогресивним зниженням ущільнення в порівнянні з постійно водонасиченим аналогічним за складом осадом, внаслідок утворення структурних зв'язків перехідного типу [19].

Дегідратаційного-недоущільнелний механізм формування просідання в чистому вигляді реалізується при субаеральному діагенезі пролювіальних і делювіальних відкладів в умовах сухого клімату. Головна його особливість полягає в тому, що після утворення вихідного, повністю водонасиченого високопористого пилуватого осаду (нерідко великої потужності для пролювію) почина-

ється прискорена його дегідратація, яка обумовлює розвиток прогресивно сповільнюючого процесу ущільнення під дією власної ваги при інтенсифікації зменшення вологості в ході субаерального діагенезу, з одного боку і усадки - з іншого.

Дегідратаційно-доущільнелний механізм призводить до формування просідання як епігенетичної властивості льосових порід. У чистому вигляді він проявляється в товщах алювіальних пілуватих порід і включає три послідовні процеси: 1) ущільнення пілуватих утворень при практично повному їх водонасиченні; 2) дегідратація такої породи (наприклад, при переході в умови надзаплавної тераси); 3) доущільнення цієї маловологої породи під дією додаткового навантаження. Як тільки раніше переущільнена алювіальна пілувата порода перейде в недоущільнений стан, вона стане потенційно просідаючою.

Гіпергенно-дегідратаційно-розущільнелний механізм формування просідання віднесений в особливу групу. Він може розвиватися в породах не тільки різних генетичних типів, але і різного віку, аби вони були рельєфоутворюючими. При його розвитку формується епігенетичний тип просідання.

Суть цього механізму полягає в формуванні просідання внаслідок розущільнення і дегідратаційного впливу гіпергенних процесів на початково пілуваті високозволожені і в цілому високопористі породи. Стосовно до перетворення масивів маловологих порід цей механізм трансформується в гіпергенний-розущільнелний.

Кріоелювіально-дегідратаційно-розущільнелний механізм. У реалізації цього механізму провідна роль відводиться розущільнюючому впливу кріогенних процесів на вивітрювання породи різного віку і генезису. Особливо велика роль надається розущільненню порід при їх сезонному промерзанні, сублимації льоду з промерзаючих порід, за рахунок чого вони повинні зберігати високу пористість і епігенетичні недоущільнення, що обумовлює потенційну просадність сформованих кріоелювірованих пілуватих порід.

Наступні три механізми формування просідання льосових порід відносяться до групи кріогенно-розущільнелних сублимаційних. Перший з них - *кри-*

осін-генетично-сублімаційний - включає наступні процеси: сингенетичні промерзання пилюватих зволжених опадів, супроводжуване розущільненням їх скелета за рахунок утворення текстуроутворюючих льодів, і сублімаційні висушування таких виключно високопористих утворень.

Кріогенігенетично-сублімаційний механізм формування просідання льосових порід принципово відрізняється від попереднього тільки одним: промерзають породи епігенетичні. Все інше - повністю аналогічно.

Газогідратний механізм формування просідання льосових порід був розроблений А. А. Коноваловим лише в 1997 р. Суть цього механізму полягає в наступному: утворення льодоподібних газових гідратів (супроводжуване збільшенням обсягу води на 26-32%) при певних палеогеографічних умовах (наприклад, в епохи зледеніння) обумовлює інтенсивне розущільнення вміщуючих їх порід, яке при руйнуванні газових гідратів (при потеплінні клімату) з інтенсивним вивільненням газів в атмосферу в епохи потепління в значній мірі зберігається [13].

1.2.2 Основні твердження теорії формування просадності

Відмінною особливістю льосових ґрунтів є їх схильність до просідання. Просадка гірських порід - це втрата ними зв'язності при зволоженні з наступним швидким ущільненням під вагою верхніх порід і навантаженням від будівель і споруд. Явище просідання характерно тільки для лесів і лесовидних ґрунтів, які характеризуються підвищеною макропористістю, і пов'язано з руйнуванням їх структурних зв'язків під впливом води. У зв'язку з великою просторовою мінливістю льосових ґрунтів, а також великою кількістю джерел їх природного і штучного зволоження, такі ґрунти здатні до прояву нерівномірних по площі, часу і масштабам просадок, що може привести до деформацій будівель, розташованих на нерівномірно просідаючих ґрунтах. Через великі швидкості протікання процесу просідання такі деформації часто призводять до аварійних ситуацій [4].

Більш докладно варто розглянути процеси, що сприяють формуванню просідання. Особливий інтерес до проблеми формування просідання з'явився після виходу в світ класичної роботи Н. Я. Денисова (1946), в якій вперше була запропонована теорія просідання, названа в наступних роботах принципом Денисова. Головною причиною просідання Н. Я. Денисов вважав більш високу пористість льосових порід в порівнянні з нормальною при даному напруженому стані. Породи з нормальною пористістю, на його думку, в природних умовах знаходяться в рівновазі і називаються нормально ущільненими породами, а просадні леси є недоущільненими [5].

Недоущільнений стан, згідно Н. Я. Денисову може бути викликано безліччю факторів – складом і способом осадконакопичення, структурними зв'язками між мінеральними частинками, швидкістю наростання вищерозміщених товщ, вологістю, а також розущільнення утворились внаслідок різних способів відкладання осадів в результаті зміни температурного режиму і ґрунтоутворювальних процесів і так далі. За результатами досліджень Н. Я. Денисова, до 80% від загальної просадки відбувається протягом 30 хв з моменту замочування. Механізм руйнування структурних зв'язків Н. Я. Денисов пов'язує з розклинюючим тиском тонкого шару води, що виникає на контактах між частинками.

Важливо підкреслити, що Н. Я. Денисов розглядав формування просідання в ході осадконакопичення і ранньодіагенетичних перетворень солового, делювіального, пролювіальних осаду, тобто в ході прогресивного літогенезу на етапі перетворення осаду в слабо зволожену просадну породу. Аналізуючи ж процес стосовно алювіальних відкладів, Н. Я. Денисов обговорював перетворення вже сформованої сильно зволоженої породи в слабо зволожену просадну породу. Н. Я. Денисов гіпотетично розглядав принципово різні шляхи формування просідання у пілуватих відкладень різного генезису. При цьому сам Н. Я. Денисов називав їх (шляхи) і не використовував поняття "генезис просадочності льосових порід».

Багато дослідників, наприклад Г. А. Мавлянов, дотримуються також теорії генетичної природи просідання. Вони вважають, що поділ льосових порід на

генетичні типи дозволить прогнозувати їх просідання. Зокрема, леси еолового та пролювіальних походження найбільш просадними, а алювіальні лесовидні відкладення не просадними [5].

1.2.3 Загальні висновки про швидкість та час формування просадно-стітьосових порід

Наведені дані свідчать, що питання про швидкість і час формування просідання – питання багатопланове, змістовна сторона якого повинна принципово по-різному формулюватися і вирішуватися щодо сингенетично і епігенетично-просадних товщ льосових порід. Найвні на сьогоднішній день дані з цього питання, дозволили нам зробити наступні висновки.

1. Швидкість формування сингенетичної просадності на шляху перетворення пілуватого осаду елементарного шару в льосову породу і епігенетичної просадності в породах різного генезису і віку в значно більшому за потужністю шарі (до 5-7 см) надзвичайно висока і з геологічної, і з фізичної точок зору.

2. Швидкість формування сингенетичної просідаючої товщі ациклітної будови або льосового горизонту одного льосового цикліту повністю визначається швидкістю осадконакопичення еолових, пролювіальних або делювіальних пілуватих відкладень в семіарідних або аридних умовах. Час формування просідаючої товщі цілком збігається з геологічним часом її накопичення. І його встановлюють історико-геологічним методом.

3. Формування просідання дегідратованої товщі алювіальних порід – процес надзвичайно швидкий. Час її утворення пов'язано, тільки з періодом і швидкістю виникнення додаткового навантаження, що діє на ґрунти такої товщі [20].

4. Швидкість сучасного формування епігенетичної просі даності рельєфо-творних товщ під впливом гіпергенно-дегідратаційного розсушільного механізму в відповідних орографічних і кліматичних умовах також дуже висока.

5. Швидкість формування просідання у водному лесовому цикліті (що включає горизонт льосових порід і сформовану у верхній їх частині похований або сучасний ґрунт) циклічно побудованої товщі визначається, з одного боку, швидкістю осадконакопичення сингенетичнопросадних льосових порід, а з іншого - швидкістю трансформації цього просідання під впливом гіпергенно-дегідратаційного механізму в період припинення осадконакопичення і формування ґрунтів.

Відзначимо, що вирішення питання про генезис, швидкості та часу формування просідання товщ, особливо циклічно побудованих, завдання комплексне. Воно не може бути вирішене шляхом вивчення одних лише інженерно-геологічних показників. Необхідно вирішити значно ширше коло питань: яким шляхом сформувалася товща, яку історично вона згодом пережила. Ці рішення повинні бути доведені достатнім геологічним матеріалом [13].

1.3 Закономірності розвитку просадних деформацій масивів льосових порід у часі при впливі різних джерел замочування

Характер розвитку просадності в часі визначається як особливостями льосових порід, так і особливостями підвищення їх вологості (до значень, що перевищують початкову просадну вологість), видом джерела замочування і динамікою зміни діючого навантаження. В.І. Крутов (1982, с. 41) в розвиток цієї тези писав: "При місцевому аварійному замочуванні просадність ґрунтів в межах деформованої зони від навантаження фундаментів зазвичай протікає швидко в часі з інтенсивністю 1-5 см на добу і після припинення замочування через кілька діб настає її стабілізація. в цьому випадку якщо первинне замочування ґрунтів відбувалося в межах лише частини деформованої зони або просідаючої товщі, то кожне наступне замочування буде приводити до осіданням ґрунтів до тих пір, поки не буде зволожена вся зона що деформується або просідаюча товща. У міру зростання навантаження на ґрунт просадність збільшується і повна

її стабілізація настає при досягненні максимальної або проектної потужності і промочування всієї товщі просадних ґрунтів.

При безперервному інтенсивному замочуванні зверху розвиток просадності ґрунтів від їх власної ваги у часі визначається в основному просуванням вниз фронту зволоження і формування зволоженої зони. У цьому випадку просадність починається після того, як фронт зволоження досягає глибини в $h_{с.в.}$, з якої починається просадність ґрунту від власної ваги і закінчується після промочування всієї товщі просадних ґрунтів і завершення формування зволоженої зони. Дослідження показують, що при безперервному замочуванні швидкість осідань у часі спочатку зростають до максимальної величини, а потім знижуються. Після припинення замочування швидкості осідань ґрунтів, як правило, спочатку зростають, що викликається зниженням їх вологості і створенням більш сприятливих умов для самоущільнення ґрунту, а потім стабілізуються.

Розвиток просадності ґрунтів у часі при підйомі рівня ґрунтових вод пов'язано з інтенсивністю підвищення рівня ґрунтових вод, відносно просадності нижніх шарів ґрунтів. У цьому випадку протягом тривалого часу і пов'язана з потоком вільної води з пор ґрунту, скелет якого знаходиться в підвищеному стані. При можливому подальшому зниженні рівня ґрунтових вод знімається взважувальна дія води, збільшується навантаження на ґрунт до побутової і починається повторна просадка ґрунту [2].

Так, наприклад, при інтенсивному замочуванні на майданчику очисних споруд в Херсоні стався підйом рівня ґрунтових вод на висоту 14-16 м. Випробування водонасиченого льосового ґрунту штампами площею $0,5 \text{ м}^2$ показало, що осідання їх при навантаженні 0,1 і 0,2 МПа дорівнювали 62 і 180 мм, а після зниження рівня ґрунтових вод на 2 м зросли відповідно на 42 і 50 мм. В даному випадку основними причинами появи додаткової осадки штампів є зниження вологості ґрунтів, що зважає дію води і виникнення сприятливих умов для ущільнення ґрунту [14].

В.І. Крутов (1982) справедливо підкреслив, "що таке уявлення розвитку просадки ґрунту від власної ваги в часі досить умовне, як і існуючі пропозиції

щодо встановлення кордону між осіданням і після просадним ущільненням. З урахуванням, що при замочуванні ґрунтів фізико-хімічних процесів, що відбуваються, більш правильно просідання ґрунтів у часі розглядати, як реологічний процес їх ущільнення, пов'язаний з наростанням пластичних деформацій у часі при постійному навантаженні і вологості".

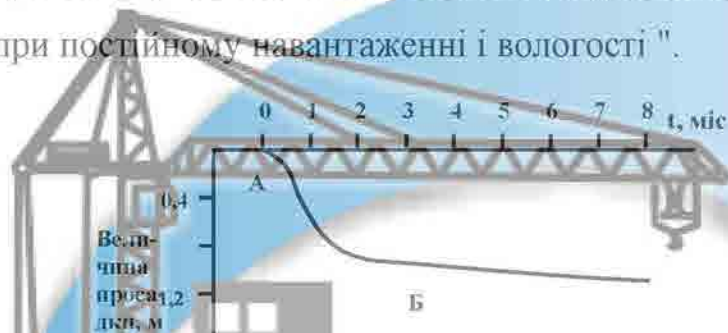


Рисунок 1.1 – Розвиток осідання лесової породи в часі (по В.І. Крутову, 1982); 0 - час початку замочування породи; А - початок просадок, Б - величина осідання до моменту припинення замочування [2].

Загальний характер просадного ущільнення лесового ґрунту від власної ваги в часі при тривалому його замочуванні показаний на (рис.1.1). Добре видно, що в перший період просадки розвиток ущільнення йде інтенсивно, а потім істотно сповільнюється. Повне же загасання ϵ просадки товщі льосових порід навіть при інтенсивному безперервному замочуванні зверху настає, за даними В.І. Крутова (1982), лише через 1-3 роки [2].

2 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В МАСИВАХ ЛЬОСОВИХ ПОРІД

2.1 Сучасні геологічні процеси у масивах льосових порід

У масивах льосових порід відбуваються процеси, зумовлені як ендегенними, так і екзогенними і техногенними причинами. Їх комплексний вплив призводить до змін складу, стану, структури і властивостей льосових порід і масивів що ними формуються. Оскільки останні складають саму верхню частину розрізу різних геологічних структур, то саме екзогенні та антропогенні геологічні процеси відіграють найважливішу роль у зміні їх рельєфу і будови. Се-

ред цих процесів, обумовлених специфічними особливостями складу і властивостей льосових порід, слід назвати просадні (включаючи сейсмо-просідаючі), ерозійні, суфозійні і схилкові процеси. Крім того, в масивах льосових порід можуть розвиватися процеси підтоплення, переробки берегів водами водосховищ, вивітрювання та ін.

2.2 Просадні процеси та явища, що формуються внаслідок них

Цей процес найголовніший для масивів льосових порід, являє собою реалізацію в просторово-часовій системі просадних властивостей льосових порід під дією їх власної ваги або додаткового навантаження при збільшенні їх вологості до значень, що перевищують вологість початкового просідання, внаслідок природних і антропогенних (техногенних) причин. Цей складний фізико-хімічний процес часто називають «осіданням».

Основним його проявом є ущільнення ґрунту за рахунок переміщення і більш компактного укладання окремих частинок і їх агрегатів, завдяки чому знижується загальна пористість ґрунту до стану, відповідного до чинного тиску. У зв'язку з підвищенням ступеня щільності ґрунту після просадки міцності його дещо зростають. При подальшому збільшенні тиску процес ущільнення лесового ґрунту у водонасиченому стані триває, разом з цим збільшується і його міцність [14].

В результаті відбувається деформація масиву льосових порід. На його поверхні з'являються нерівності, часто мають в природних умовах овальну форму, так звані степові блюдця; на освоєних же територіях ці деформації масиву обумовлюють деформації інженерних споруд. Характеристиці цих явищ присвячена велика література, серед якої особливо цікаві монографії Н. Я. Денисова, Ю. М. Абелева і М. Ю. Абелева, А.К. Ларіонова, В. А. Приклонских і В. П. Ананьєва, Л. Г. Балаєва, В.І. Крутова та інших дослідників.

Більші, лінійно орієнтовані знижені форми рельєфу на поверхні масивів льосових порід отримали назви «поди» і «доли». Вони мають довжину до 400 м і більше. І. І. Молодих пов'язує їх походження (як і степових блюдець) з термо-

карстовими процесами: були в масиві мерзлих питуватих порід повторно-жильні і сегретаційні льоди витали. (рис.2.1.)



Рисунок 2.1–Блок-схема будови гетерогенного пода (а) і варіант реконструкції серії гомогенних подів і блодець в палеоландшафтів (б) на прикладі межиріччя Дніпро-Молочна: 1- контур і дно гетерогенного пода; 2-контур гомогенного пода в палеоландшафті; 3 - геологічне тіло обглесених порід; 4 - ґрунтово-рослинний шар гетерогенного пода; 5 -льосові важкі суглинки; 6 -льосові середні і легкі суглинки; 7- повторно-жильні і сегретаційні льоди і льдонасичені породи. I - стадія завершення росту повторно-жильних і сегретаційних льодів;II - стадія завершення формування гомогенних подів в товщі плейстоцену і палеоландшафтів.

Однак генезис таких специфічних форм має і принципово інше трактування. Їх формування можна пов'язати з послідовною дією цілої серії процесів: «зосереджена» інфільтрація атмосферних і талих вод в межах первинних лінійно орієнтованих знижень рельєфу масиву льосових порід - збільшення вологості цих порід, просадка під власною вагою, що призводить до формування подів. Найбільш протяжні і глибокі з них могли сформуватися під впливом геологічних процесів, які розвиваються в масиві льосових порід в контурі пода: підвищена інфільтрація атмосферних і талих вод, формування талих вод - суфозійний винос тонкодисперсного матеріалу і формування лінійно розташованих пустот невеликого розміру, внутрішньопластовий ерозійний розмив льосових порід і формування єдиної лінійно орієнтованої і протяжної форми (своєрідної печери) - провальний осад, що перекриває сильно зволожений або вже водонасичених пилуватих порід [15, 16, 17].

Осідання, зумовлені впливом антропогенних факторів, тягнуть за собою перш за все різні деформації споруд, зокрема розвиток надмірних осідань будівель, які можуть досягати 1 м і більше. Найчастіше вони нерівномірні, що призводить до нахилів споруд та порушень технологічних процесів. Утворюються тріщини переважно вертикального і похилого напрямків, пов'язані з нерівномірним розподілом в конструкціях напруг і т. Д. Своєрідні просадні деформації виникають в льосових масивах навколо водойм і вздовж каналів: утворюються терасовидні сходові депресії, відокремлені один від одного тріщинами (рис.2.2.), ширина яких коливається від 1 до 20 см і більше.



Рисунок 2.2 – Терасовидні сходові поверхні, тріщини і уступи, що їх розділяють, сформовані при осіданні масивів льосових порід уздовж каналу [13].

2.3 Ерозійні явища та вилуговування льосових порід

Ці процеси надзвичайно широко розвинені в районах поширення льосових порід і багато в чому обумовлені іншою їх специфічною властивістю – швидким розмоканням льосових ґрунтів при взаємодії з водними розчинами. Ерозійні процеси насамперед руйнують саму верхню частину масиву, а потім ерозія поширюється на глибші його частини.

Під ерозією розуміють процес руйнування гірських порід і видалення утвореного матеріалу потоком поверхневих вод. Розрізняють площинну (поверхневу) ерозію - змив поверхневого шару ґрунтового профілю або гірських порід та лінійну ерозію - руйнування гірських порід зосередженим потоком води. Останній вид зазвичай підрозділяється на ярову і річкову ерозію. Всі ці процеси протікають під впливом як природних, так і антропогенних причин. Ерозія під впливом вод зрошення отримала спеціальну назву - іригаційна ерозія.

Розвиток площинної ерозії призводить до видалення частини природного профілю ґрунтів і зниження їх головного - якості родючості.

Лінійна ерозія на першому етапі розвитку призводить до утворення вимойн - знижених форм рельєфу, поздовжній профіль яких в цілому повторює профіль схилу. Глибина вимойн досягає 1-1,5 м, ширина - 5 м, довжина - до десятків метрів.

Розвиток і морфологія ярів в масивах льосових порід дуже своєрідні. Так, для багатьох районів яр глибиною 10 м відноситься до глибоких, а в льосових породах, де яри досягають глибини 50-80 м і більше, яри глибиною до 10 м не вважають глибокими. В одних районах річний приріст яру в 2 м вважається досить значним, а в інших (наприклад, на зрошуваних льосових масивах Середньої Азії) такий приріст є незначним, так як там іноді за один рік вершини ярів просуваються на 50-100 м і більше.

Яри в лесах глибиною 100 м і менше мають вертикальні укоси. Нерідко поблизу укосів можна бачити останці - льосові піраміди.

Небезпека проявів ерозії залежить, з одного боку, від протиерозійної стійкості ґрунтів і льосових порід, а з іншого - від зовнішніх природних факторів. Найбільш небезпечні зливи. Під їх впливом швидко руйнуються маломіцні структурні агрегати ґрунтів, розвинених на лесах, відбувається закупорка ґрунтових пор, ущільнення поверхневого шару ґрунту, що сприяє збільшенню поверхневого стоку і розвитку ерозії.

Небезпека ерозії залежить від рельєфу і особливо від крутизни і довжини схилів. Зрозуміло, що чим крутіше схили, тим небезпека прояву ерозії більше. Найбільша небезпека прояву ерозії ґрунтів, розвинених на лесах, відзначається в республіках Середньої Азії, де великі площі займають гірські території [18].

Вилуговування льосових порід - процес розчинення водними розчинами, які надходять в масив, водорозчинних солей і їх винос з цього масиву (або їх переміщення в його межах). У результаті в масиві з'являються ослаблені зони з підвищеною пористістю вилужених порід або навіть містять порожнини різного розміру. «Змикання» таких порожнин, а також додаткове осідання порід ослаблених зон обумовлює ущільнення порід і наступні зміни рельєфу поверхні масиву льосових порід і деформацію споруд, зведених на ньому.

Відносне осідання за рахунок вилуговування солей визначається, по Л. Г. Балаева, за формулою:

$$h_c = \frac{p(\gamma_{ck}\beta l)}{100 \gamma_s} \quad (2.1)$$

тривалість вилуговування – за формулою:

$$t = \frac{pl}{cK_h I} \quad (2.2)$$

де p - початкова засоленість ґрунту, %; γ_{ck} - щільність скелета ґрунту, г / см³; β - Вилужені, частки одиниці від початкового засолення; l - товщина шару засоленого ґрунту, дм; γ_s - щільність солей (гіпсу), г / см³; c - вага солей, які перейшли в розчин 1 дм³ І води, г; K_h - початковий коефіцієнт фільтрації, дм/с; I - градієнт фільтрації.

Вилуговування в масивах льосових порід може відбуватися в природних умовах. Але зазвичай воно проявляється після створення гідромеліоративних і

гідроенергетичних споруд, при функціонуванні яких відбувається фільтрація води через товщу льосових порід.

В умовах аридного клімату часто зустрічаються сильнозагіпсовані льосові породи. Наприклад, у Східній Грузії леси верхнього 2-3-метрового шару часто містять до 60% гіпсу, кількість якого знижується на глибині 7-12 м до 2-5%. Тут часто можна спостерігати утворення воронок, осадку споруд, пов'язану з вилуговуванням гіпсу [21].

2.4 Механічна суфозія, внутрішньо пластовий розмив льосових порід

Суфозією називають осідання поверхні землі, що відбувається внаслідок вилуговування і винесення розчинних частинок. Осілі місця на поверхні землі, у вигляді воронок, розташовуються рядами (ланцюжками) уздовж підземного потоку або уздовж краю терасового уступу зустрічаються досить часто.

Суфозійні явища в природних умовах нерідко є причиною виникнення зсувів. Також суфозія може стати причиною сповзання порід після швидкого спаду паводка, підпирають водоносний горизонт в основі глинистої товщі, які складають береговий схил.

На крутих схилах суфозія розвивається в зоні вивітрювання, винесення дрібного матеріалу призводить до опускання зазвичай без розривів ґрунтового і дернового шару [7].

Сучасні геоморфологічні процеси, їх характер і інтенсивність є найважливішою характеристикою динамічності геологічного середовища. Вивчення цих процесів - необхідна умова при освоєнні територій, так як воно дозволяє прогнозувати подальший їх розвиток, обґрунтувати заходи, що ослабляють або виключають небезпечні наслідки.

Суфозія і просадки на території міст відносяться до великої групи природно-техногенних геологічних процесів. На думку багатьох вчених, ці процеси не становлять безпосередньої загрози для життя людей. Вони негативно впливають на умови життєдіяльності людини через деформацію і ускладнення екс-

платуації інженерних споруд, знижують якості ресурсу геологічного простору. Вони не можуть зумовити появу зони екологічного лиха, а формують зони ризику [8].

Однак в останні роки ці процеси у багатьох містах мають настільки інтенсивний прояв, суфозійні порожнини настільки великі, що ці процеси можна віднести до категорії екологічних катастроф.

Вони відносяться до групи сенсорних, що чутливо реагують на зміну навколишнього середовища. Несучі здатності льосових ґрунтів при підвищеній вологості різко зменшуються, у міру осушення в значній мірі відновлюються. Наявність ґрунтів що просідають, їх здатність до ущільнюватись в процесі замочування є основним фактором, що враховується при будівництві та експлуатації будівель.

Винос, що рухається підземною водою, дрібних частинок, а також розчинення і вилуговування легкорозчинних речовин в породах призводять до утворення пустот і при певному навантаженні (особливо динамічному) на земну поверхню, можливі провали. Отже, даний процес має велике інженерно-геологічне і екологічне значення. Причиною цього є як природні, так і техногенні чинники.

Потужна товща техногенних ґрунтів, що залягають в зоні аерації, неоднорідних за складом, є найважливішою умовою виникнення розвитку суфозійних процесів. Головним джерелом надходженн в ґрунтову товщу води є система водопостачання та водовідведення. Загроза виникнення суфозії виникає головним чином там, де мають місце пошкодження або засмічення трубопроводів, колекторів, водостічних труб і т.д.

Найбільш інтенсивно суфозійні процеси розвиваються на контакті ґрунт - трубопровід. Глибина провальних воронок в більшості випадків не перевищує відміток закладення водогінних комунікацій. Прогресуючий в часі винесення мінеральних часток ґрунту призводить до його руйнування, а в сприятливих ґрунтових умовах - до утворення різного розміру порожнин. Їх руйнування су-

проводжується утворенням провальних воронок і осідань земної поверхні. Розміри провальних воронок досягають іноді значних величин [9].

Розрізняють механічну і хімічну суфозію.

Під механічною суфозією розуміють розпушення і винос частинок порід, навіть не містячи розчинних у воді мінералів, потоком води, що фільтрується.

Під хімічною суфозією розуміють вилуговування і винесення в розчиненому вигляді водорозчинних мінералів і гірських порід.

Механічна суфозія в природних умовах відбувається досить рідко і відзначається в бортах ярів і річкових берегах.

При різкому скиданні паводкових вод рівень підпертого водоносного горизонту (РГВ) знижується значно повільніше, утворюється крута депресійна крива ГВ і створюється гідродинамічний тиск, спрямований в бік схилу. На поверхні може утворитися суфозійна воронка внаслідок виносу частинок і осідання вище розташованого ґрунту.

Необхідно підкреслити, що внаслідок виносу частинок в гірській породі утворюються порожнечі, зростає швидкість потоку, починають виноситися більші частки і т.д. Таким чином, виникнувший в масиві гірських порід або в тілі греблі процес механічної суфозії, якщо не вживати заходів щодо його усунення, буде прогресувати з часом.

Слідом за механічною суфозією в утворених лінійно орієнтованих пустотах і зонах порід з підвищеною пористістю може початися внутріпластового розмив. Саме на цих ділянках масиву льосових порід можливий рух води зі значною швидкістю. Хімічна суфозія спостерігається в тих випадках, коли на шляху води, що фільтрується є розчинні в ній речовини. Як правило, процеси механічної та хімічної суфозії протікають одночасно.

Особливо яскраво процеси суфозії проявляються в основі (а іноді і в тілі) гідротехнічної споруди, при досить високих рівнях води у водосховищі. При цьому вода що фільтрується розкладає і виносить мінеральний заповнювач тріщин і матеріал, з якого складені стінки тріщин (вміщає породу) в основі греблі. Крім того, при наявності тріщин в тілі греблі, вода що фільтрується мо-

же виносити матеріал, з якого складена гребля (наприклад, цемент з бетонних гребель).

Для боротьби з суфозією застосовують заходи по припиненню руху води через розмивний масив:

- регулювання поверхневого стоку або перехоплення підземних вод дренажними пристроями для запобігання надходження і фільтрації води;

- улаштування захисних покриттів для захисту гірських порід від поверхневого вивітрювання;

- устройство зворотних фільтрів (в основі греблі в її нижньому б'єфі) або поверхневих дренажів для виведення підземних вод і запобігання-обертання вимивання частинок порід;

- конструктивні особливості споруд для зменшення швидкості руху і збільшення шляху фільтрації підземних вод;

- штучне поліпшення властивостей порід шляхом силікатизації, цементації та ін. для зниження фільтрації. Нагнітання затвердуючих (схоплюється) матеріалів в породи (пори, канали, тріщини) [10].

2.5 Обводнення та підтоплення масивів льосових порід

Будівельне освоєння територій і експлуатація будівель, споруд та інших об'єктів, розташованих на слабопроникних ґрунтах, практично повсюдно супроводжуються накопиченням вологи в товщі ґрунтів і підйомом рівня ґрунтових вод навіть в тих випадках, коли до початку освоєння території ґрунтові води взагалі були відсутні. Такий процес називається підтопленням (або техногенним підтопленням). Він виникає і розвивається внаслідок порушення сформованої природної динамічної рівноваги у водному балансі території. Ці порушення виникають в результаті практичної діяльності людини і на забудованих територіях зазвичай розвиваються в дві стадії - при будівництві та експлуатації.

Підтоплення розвивається також внаслідок підпору ґрунтових вод при створенні водосховищ і сільськогосподарському освоєнні території з організацією поливного землеробства.

Основними причинами підтоплення на стадії будівельного освоєння забудованих територій є зміна умов поверхневого стоку під час здійснення вертикального планування (в тому числі засипки природних дрен - ярів і водотоків, зрізання рослинного покриву та ін.), а також значний розрив у часі між земляними та будівельними роботами нульового циклу, який призводить до накопичення поверхневих вод в будівельних котлованах, траншеях і виїмках.

Основними причинами підтоплення на стадії експлуатації забудованих територій (промислових підприємств, міст, селищ та інших об'єктів) є: інфільтрація витоків технологічних вод, промислових і господарсько-побутових стоків, а також поливи зелених насаджень, зміна тепло-вологісного режиму під будівлями, спорудами і покриттями, вплив барражного ефекту (затримка поверхневих і підземних вод будівлями і спорудами).

Інтенсивність розвитку процесу підтоплення і особливості його прояву залежать від природних умов, характеру технологічного процесу підприємства, щільності забудови території, параметрів систем водогінних комунікацій (витрата, протяжність, щільність комунікацій і водомістких ємностей і ін.).

Джерела підтоплення територій промислових підприємств, міст і населених пунктів поділяються на природні та штучні.

До природних джерел належать атмосферні опади (дощові і талі води), ґрунтові води, стік поверхневих вод з навколишніх територій, вода у вигляді пару в ґрунтах зони аерації.

До штучних джерел відносяться води, що накопичуються в різних штучних зниженнях рельєфу, котлованах, траншеях, ґрунтах зворотної засипки, різні резервуари, відстійники, накопичувачі рідких стоків і шламонакопичувачі, гідрозолоотвали, очисні споруди, об'єкти з мокрим технологічним процесом (цехи мокрих виробництв, ТЕЦ та ін.), водонесучі комунікації всіх видів і ін [12].

Обводненням зазвичай називають процес збільшення вологості льосових порід і підйом рівня ґрунтових вод, які спочатку з'являються в масиві, а потім з різною швидкістю піднімаються вгору до його границі. Поступово розвиваю-

чись, цей процес може привести до підтоплення масиву - ситуації, коли в зону повного зволоження порід потрапляють підземні частини споруд.

Часто до підтоплених відносять території, в межах яких глибина залягання ґрунтових вод становить менше 3 м.

Зміна вологості порід в бік збільшення може відбуватися або за рахунок конденсації водяної пари в ґрунті, або за рахунок інфільтрації води. Обводнення льосових масивів відбувається при витоках води з водогонів та каналізації, створення штучних водоймищ і зрошувальних систем, будівництві дорожніх виїмок, при передпостроечному замочуванні підстав і кюветів і в ряді інших випадків. Крім цього режим вологості льосових масивів порушується при оранці полів, асфальтування поверхні, масовій забудові території, проходці різних траншей, організації кар'єрного господарства, зведенні відвалів.

Найбільша зміна стану льосових порід спостерігається при довгостроковому (або постійному), середньо- і високонапірному впливі води на лінійних або майданних спорудах. А. К. Ларионовим і В. П. Ананьєва на прикладі ліво-бережного каналу Терско-Кумської зрошувальної системи показано, що в результаті багаторічної фільтрації води з цього каналу сформувалася велика змочена зона з вологістю до 28-30%.

Подібне тривале водонасичення призвело до зникнення просадності, хоча її початкова величина досягала 5-10%.

Дослідження показали, що в зоні тривалого зволоження відбувається значна перебудова структури: зменшення пористості від 50 до 37% і зміна агрегатної системи за рахунок збільшення вмісту тонкодисперсної складової [18].

2.6 Обвальні та зсувні процеси

Обвальний процес являє собою миттєве обвалення брил і блоків льосових порід різного об'єму з оголених ділянок верхніх частин природних схилів або крутих - стрімких схилів дорожніх виїмок, кар'єрів і інших інженерних споруд під дією гравітаційних сил, причому частина траєкторії їх руху відбувається з

величезною швидкістю в повітряному середовищі. Розвитку обвалів сприяє здатність льосових порід утворювати і зберігати протягом тривалого часу високі і круті схили - обриви.

У формуванні обвалів велике значення мають потужність льосових товщ, висота схилів і обривів.

У рівнинних областях обсяги обвальних мас здебільшого не перевищують сотень кубічних метрів. Більш значні обвали реєструються на льосових берегах річок. В районі міста Краснодар під час паводків річки Кубані зареєстровані обвали льосових берегів до 500 м³ і більше. Значні обвальні явища виникають при переробці берегів водоймищ [18].

Зсувний процес - це рух різних за обсягом мас льосових порід вниз по природному схилу або штучно створеному укосі по поверхні ковзання під впливом гравітаційних сил. В якості останніх виступає вага масиву що зміщується, техногенні навантаження, а також сейсмічні впливи.

Зсуви є одним з процесів формування рельєфу схилів і відбуваються за умови порушення співвідношення між висотою і крутизною схилу з одного боку і міцністю порід - з іншого. Вони утворюються на певному етапі формування схилу, однак це не відноситься до кожного з них. Необхідне поєднання декількох чинників, що знаходяться у взаємозв'язку, для того, щоб почався і розвивався процес зсувоутворення. Всі зсуви відбуваються з руйнуванням порід під дією зсувних напружень. Виникнення руху потрібно розглядати з урахуванням факторів, що збільшують зсувні напруження і знижують опір зрушенню.

Процес зсувоутворення може виникнути і розвиватися в певному середовищі. Для зсуву необхідна присутність в геологічному розрізі порід можливо різного генезису, але з однаковою особливістю - умовах напруженого стану схилу в них можуть утворюватися поверхні ковзання.

Сукупність тектонічних порушень, що змінила початкові форми залягання гірських порід, призводить до утворення основних зон і поверхонь ослаблення в масивах порід. По цим зонам найбільш часто відбувається деформація схилів.

Необхідно особливу увагу приділяти таким видам денудации, як ерозія та абразія. До тих пір, поки ці процеси не створять різких обрисів схилу, зсув не відбудеться. Основне значення рельєфу полягає в тому, що він обумовлює розподіл напружень верхньої частини схилу. Одним з основних факторів, що впливають на стійкість схилів, є їх крутизна.

Підмив берегів водою дуже рідко компенсується наступними наносами. Внаслідок цього, по всіх берегах в місцях активного впливу абразії, ділянки, складені нестійкими і порівняно стійкими породами, деформуються зсувами.

Звертають на себе увагу гідрометеорологічні чинники. Зливи викликають поверхневий розмив схилу з утворенням ярів, вимой, конусів виносу. Тривалі дрібні дощі глибоко просочують породи схилу і в результаті знижують їх опір зрушенню (більш ніж в два рази); водонасичують зони і поверхні ослаблення; збільшують щільність породи на 20-30%, створюючи додаткове навантаження на нижні шари. Додаткове навантаження на схил від снігу рідко впливає на його стійкість. Основне значення має танення снігу.

Велику роль у розвитку ерозії грають вивітрювання і вилугування, які готують матеріал зсувних зміщень. При вилугуванні з порід вимиваються легко - і середньорозчинні солі, що зменшує структурну міцність порід.

При вивітрюванні, під дією добових коливань температури атмосферного і укладеного в порах повітря, водяної пари і змочування поверхневими водами з наступним висиханням порід, відбувається утворення безлічі тріщин всихання, що порушують внутрішні зв'язки порід полегшують інфільтрацію. У зоні коливання рівня підземних вод, що, як правило, пов'язане з атмосферними опадами або носить техногенний характер, створюється зона підземного вивітрювання підвищеної активності. Ця зона в більшості випадків стає зоною ослаблення і в її межах розвиваються поверхні ковзання.

У різних регіонах, незалежно від генетичних особливостей порід геолого гідрогеологічної будови території виділяються три основні види зсувів - ковзання, видавлювання і вязкопластичний зсуви.

Найбільш поширеними є *зсуви ковзання*. Вони формуються в весняний час після сніжних зим, відразу ж після танення снігу і інфільтрації води по тріщинах в присхилонового лесового масиву. В підсумку в ньому виникають сильно зволожені зони з низькими характеристиками міцності, за якими відбувається зміщення верхніх льосових порід з практично не зміненою вологістю. Зміщена частина масиву рухається по схилу з величезною швидкістю, все змітаючи на своєму шляху.

В окремих місцях схилу напруги в масиві гірських порід перевищили опірність породи. З'явилися тріщини, які відокремлюють нестійкі ділянки. Настала стадія початкових деформацій, при якій на поверхні масиву гірських порід з'явилися окремі місцеві деформації без зміщення великих частин масиву.

Поява тріщин створило новий зсувоутворюючий фактор - різне змочування порід атмосферними опадями. За рахунок водонасищення глинистих порід і відповідної зміни їх властивостей знижується опір зрушенню, розриву і т.д. На цій стадії починається активізація зсувних процесів.

Коли порушується стійкість цілих блоків масиву, настає стадія руху зсуву, часто супроводжувана катастрофічними явищами. Відрив і зміщення блоків порід відбувається по плоскій або кругло-циліндричній поверхні. Зсуви відрізняються обертальним або паралельно-поступальним характером переміщення всіх точок зсувного тіла, за винятком язикової частини, яка представлена валом випирання або насування. Зсувне тіло в процесі ковзання не змінює структуру. Зсуви ковзання бувають як глибокими, так і поверхневими.

При русі зсув порушує усталений режим схилу. На його поверхні утворюються безетічні западини. Зсув при русі може перекрити окремі тальвеги, створюючи загати. Це разом з іншими чинниками може привести до повторних переміщень, які мають пульсуючий характер в залежності від взаємодії зсувоутворюючих факторів.

Після поступового згладжування рельєфу настає стадія зміцнення зсувних мас, а за нею - стадія поховання або розмиву зсувних форм рельєфу.

Головною ознакою *зсувів видавлювання* є механізм розвитку слабкої основи. Його руйнування відбувається внаслідок зростання градієнта напружень або в результаті процесів просадки, суфозії, вилуговування, розчинення. Відокремлений результаті руху порід основиділянка схилу осідає майже вертикально вниз або з деяким обертанням навколо горизонтальної осі, з подальшим розколюванням на блоки. Далі процес йде як пасивне зміщення блоків по водонасиченим породам основи з порушеною структурою. Язикова частина у них типу напливання або видавлювання в'язких мас. Ці зсуви, як правило, глибокі, розвиваються найчастіше раптово і носять катастрофічний характер.

Зсуви-потоки являють собою поверхневі потоки розріджених порід - наслідок впливу атмосферних опадів, що мають зливовий характер в весняно-літній період. Ці зсуви чітко не виражені на тілі древніх і сучасних зсувів інших типів. Зсувне тіло не обмежується певною поверхнею ковзання. Швидше можна говорити про кордон між рухомих шаром і нерухомих масивом.

Спливи, а при менших масштабах - опливини (за С.П. Ємельяновою), мають глибину охоплення до 5 м - глибина сезонного промочування льосових порід, і великою швидкістю змішування.

У поверхневих (в'язкопластичних) зсувів основну роль в зміні стійкості грає водонасичення, яке періодично досягає критичного значення. Основна відмінність полягає в тому, що спливи (опливини) - це процес відокремлення деякої маси породи при різко вираженому локальному перезволоженні, а зсуви-потоки переміщують по схилу вже відокремлені, часто роздроблені, маси породи [11].

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА БУДІВЛЮ ГУРТОЖИТКУ №2 НТУ «ДП», ПРИЧИНИ, НАСЛІДКИ АВАРІЇ

3.1. Стислий аналітичний огляд фактичних даних і матеріалів станом на 04.11.2019 р. (за звітом проф. Садовенко І.О. [31])

3.1.1 Умови ділянки аварії

Згідно [32], будівля гуртожитку №2, де сталось аварійне просідання фундаменту, входить до меж нагорної частини міста Дніпро, яка розташована на льосових геологічних відкладах, що становлять ґрунтові основи всіх існуючих будівель.

За період останніх 25-30 років відбулось фонове формування поверхні рівня ґрунтових вод на глибинах $\approx 15-20$ м, у порівнянні з глибинами $\approx 30-40$ м, що передували цьому. Цей фактор викликав фонові (площинні) осідання поверхні і фундаментів будівель внаслідок специфічних властивостей льосів, які при зволоженні, що перевищує критичну величину, просідають (деформуються).

Фахівці пов'язують явище площинного підйому рівня ґрунтових вод з техногенними витокami з водонесучих комунікацій (галузевий норматив від 17.02.2004 р. №33 [34] встановлює допустимі витоки з мереж близько 20%). За дослідженнями стосовно аварії, що сталася, слід навести наступне [32] (книга 1, стор. 14): *«В ході проведених досліджень встановлені зони замочених ґрунтів (ПЕ-3а,4а,5а,6а), розташовані в районі аварійної частини будівлі гуртожитку, а також біля південно-східної частини будівлі (креслення 1 графічних додатків).*

Візуальний опис ґрунтів і лабораторні дослідження природної вологості по відібраним пробам з усіх пробурених свердловин поза зоною замочування мають природну вологість майже вівчі менше, ніж в зафіксованій зоні обводнення.

Наявність замочених зон свідчать про техногенний вплив на ґрунти зони аерації - витік води з водогінних мереж, порушення асфальтного покриття та ін.». Щодо фонових осідань слід вказати на значне зниження просадних власти-

востей ґрунтів у капілярній зоні над рівневою поверхнею ґрунтового водоносного горизонту (лабораторні дані [32], книга 1).

Стосовно частин будівлі гуртожитку №2, що прилягають до аварійного просідання, є наступне тлумачення [32] (книга 1, стор. 11): «Результати лабораторних робіт дозволяють припускати, що замочування ґрунтів в цій частині відбулося в два етапи:

- обводнення верхньої частини ґрунтового масиву за рахунок акумуляції води аварійного потоку;
- обводнення ґрунту на більших глибинах є наслідком витoku із водонесучих комунікацій котельної, що розташована в підвальному приміщенні гуртожитку №2.»

За даними того ж джерела [32], свердловина 7 з іншого боку будівлі за приведеним графіком змін вологості ґрунтів з глибиною не фіксує результати аналогічні свердловині №5, там же наведені окремі значення фізичних характеристик ґрунтів і графіки зміни природної вологості з глибиною по свердловинах №№1-15, які близькі до свердловини №7. З цього приводу слід вказати на суттєве зниження вологості ґрунтів в напрямку між свердловинами 5 та 7, де відбувається суттєва асиметрія куполоподібного насичення з підвалу котельної, якщо таке існує. Не зайвим свідченням цього протиріччя є зони аналогічні свердловині 7, які фіксуються на значній відстані у напрямку проспекта Гагаріна (свердловини 9, 13) [32]. Отже вплив котельної не відрізняється від загального фону.

Реакція багатьох будівель (в т.ч. гуртожитку №2) нагорної частини міста на означений процес є різною і залежить від їхнього конструктивного стану, але в більшості випадків деформації не є аварійними.

Аварійній ситуації, що склалась 05.10.2019, передувало локальне інтенсивне живлення водою ґрунтової товщі між рівнем ґрунтових вод і поверхнею. За даними Дніпропетровського регіонального центру гідрометеорології, 05.10.2019 р. за добу кількість опадів склала 56 мм, а місячна норма для жовтня складає 31 мм. Це сформувало швидкоплинне куполоподібне зволоження

льосових ґрунтів з перевищенням критичного, яке викликало провалля відмостки у кутовій частині будівлі гуртожитку №2, ґрунтової основи і просідання фундаменту. Джерелом живлення нисхідної фільтрації був котлован на відстані кілька метрів від кутової частини будинку. Більше року котлован був відкритий без будь-якого водозахисного огороження. З урахуванням ухилів асфальтованої поверхні і часу, поглинання води склало близько 10 м^3 , а куполоподібна фільтрація станом на 13.10.2019 проявилась у підвалі будівлі у вигляді рідких капель із зони відриву несучої стіни і фундаментних блоків (кутова частина будівлі), що відповідає фільтраційним властивостям льосового ґрунту і контуру водонасичення. За декілька днів водопрояви припинились.

Є підстави [31] для твердження, що підсилення фільтраційної течії в напрямку кутової частини будинку і далі вздовж будівлі через зворотню засипку до зони розвантаження (р. Дніпро), було підсилене гідравлічним розмивом ґрунту при безграннейній прокладці комунікацій. В [33] на стор. 129 вказано на прокол ґрунту, що вкрай сумнівний. Позитивним є факт відсутності зволоження підлоги підвалу, що підтверджує формування техногенної течії вздовж будівлі у зворотній засипці. Це також фіксується даними геофізичних досліджень [32].

Суфозійне розущільнення ґрунтової основи будинку гуртожитку на даний час слід виключити за відсутності нагальних і попередніх його проявів, але не слід виключати суфозійну течію між котлованом біля кута будинку гуртожитку, а також котлованом поблизу пам'ятника генералу Ю.Г.Пушкіну (візуальний об'єм викопного ґрунту екскаватором вказував на глибину $\sim 5 \text{ м}$, а цього достатньо для формування градієнту течії (понад 0,4) між котлованами, що викликають суфозійне розущільнення льосів [37]). Це узгоджується з даними зміни вологості у свердловині №2 [32], де наведені значення фізичних характеристик ґрунтів і графіки зміни природної вологості з глибиною по свердловинах №№1-15). Слід також зазначити, що провалля відмостки біля кута будинку, а також просідання фундаменту з відривом від несучої стіни, та аркоподібна тріщина з розкриттям, що візуалізується у межах 10 см, відповідають лабора-

торним визначенням відносного просідання 3-5 % і обмежуються шарами ґрунту, які просіли до глибини 10 м. Це локалізувало аварійне просідання. Також цьому сприяло оперативне бетонування провалля, що уповільнило наступні деформації.

Геологічний розріз досліджуваної ділянки вивчений до глибини 21.0 м і представлений комплексом четвертинних елювіально-делювіальних (ed, шари 3,5,7), еолово-делювіальних (vd, шари 4,6) і делювіальних (dI, шар 8) відкладень, з денної поверхні перекритих повсюдно сучасними техногенними насипними (tIV, шар 1) і локально ґрунтово-рослинними (e IV, шар 2) ґрунтами.

Гідрогеологічні умови до глибини 21.0 м характеризуються наявністю одного безнапірного водоносного горизонту, приуроченого до четвертинних відкладень. Сталій рівень підземних вод зафіксовано в свердловині №1 (жовтень 2019 р.) на глибині 20.5 м (абс. відм. 103.80 м) від існуючої денної поверхні.

Слід зазначити, що режим водоносного горизонту порушений через аварійні і постійні витіки з водогінних мереж, які мають великий строк експлуатації і незадовільний стан, а також інфільтрації атмосферних опадів через розкриті ями і траншеї, які довгий час знаходяться не засипаними, внаслідок чого в свердловині №5 утворилася зона замочених.

Водовмісними є лесові ґрунти шару 6 (нижче рівня підземних вод), а в зонах замочування підвищену вологість мають ґрунти шарів 3-6. Коефіцієнти фільтрації ґрунтів зони аерації і водовмісних ґрунтів наступні: суглинків (шари 3,5,7) - 0.3 м/добу; супісків (шари 4,6) - 0.6-0.8 м/добу, суглинків (шар 8) - <0.005 м/добу.

Відносним водотримом горизонту є нижньочетвертинні червоно-бурі суглинки, що залягають в свердловині №1 на глибині 20.5 м (абс. відм. 103.80 м).

Розвантажується водоносний горизонт в бік річки Дніпро.

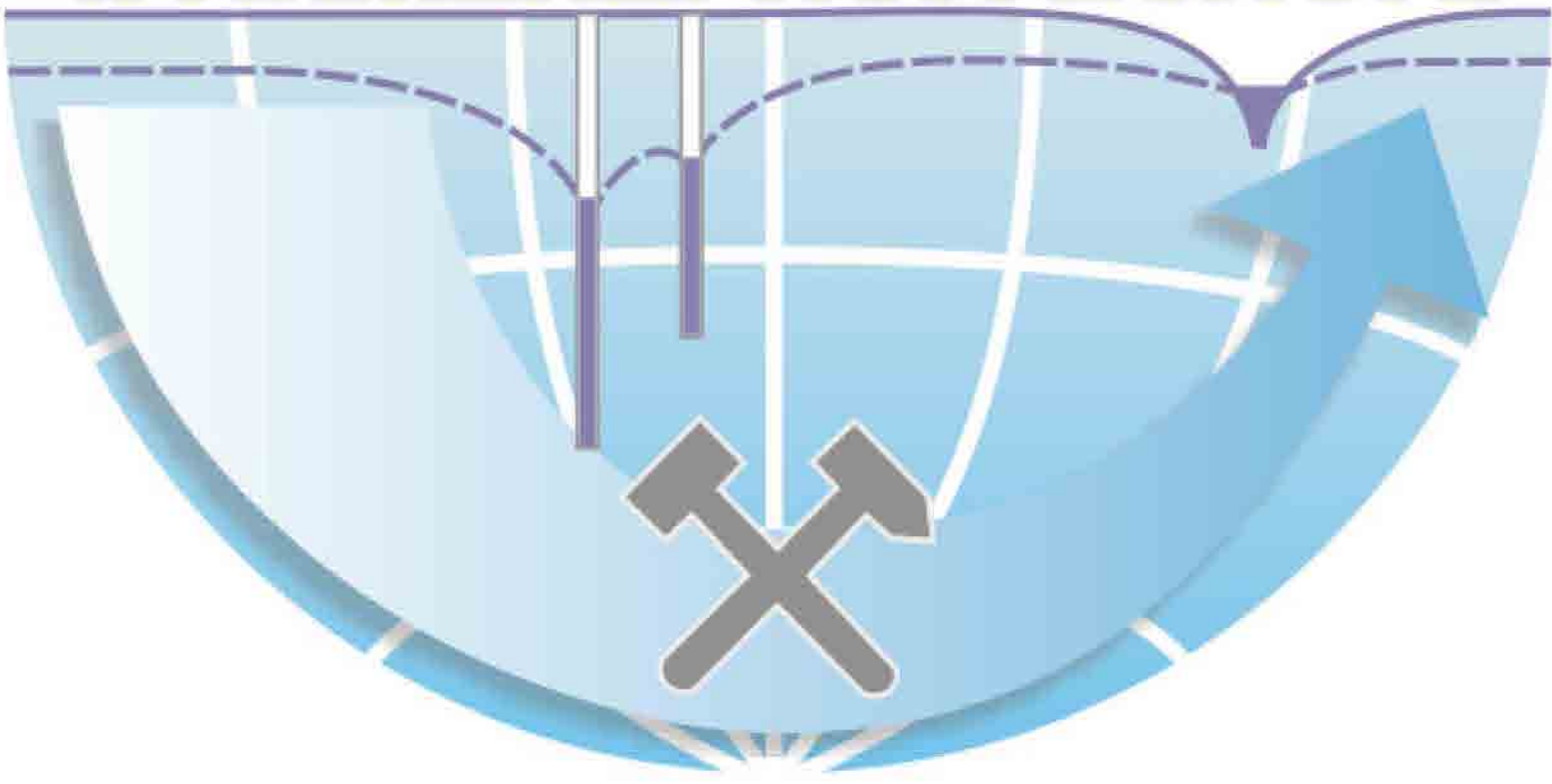
3.2. Результати додаткових досліджень у період з 20.10.2019 р. до 04.11.2019 р.

У цій частині роботи наведені дані фото фіксації стану будівель, які підтверджують висновки в [31] та тлумачення попереднього розділу 1, щодо формування фонових деформаційних ушкоджень будівель Нагорної частини м. Дніпро, які не є аварійними. У фотодокументах п. 3.2.1 зафіксовані деформації будівель, що експлуатуються, а також надана планова схема розташування об'єктів фотофіксації (рис. 3.1), які за віком і конструктивними особливостями близькі до аварійного об'єкту, що досліджується.

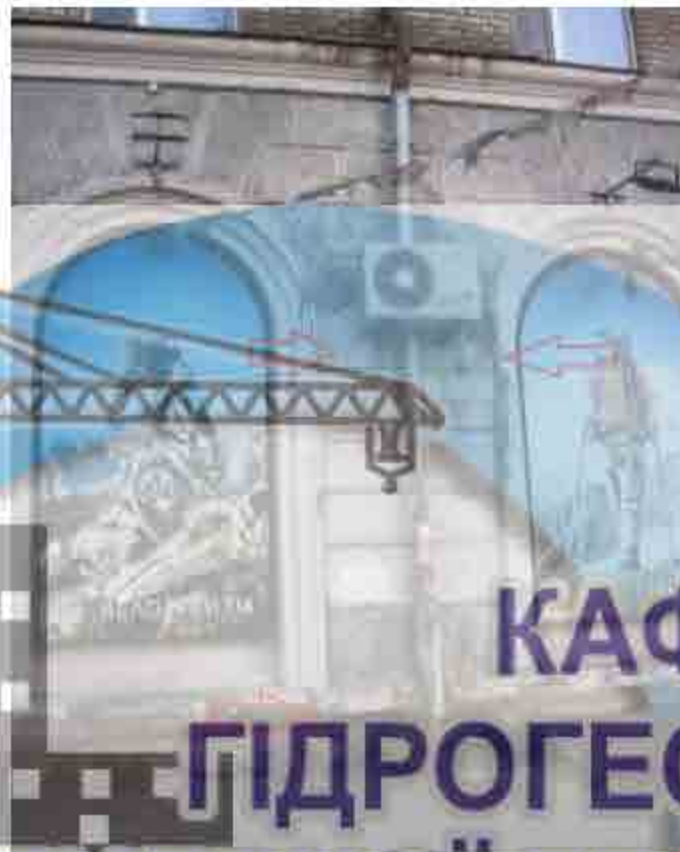
У п. 3.2.1 наведена фотохроніка стану технологічних об'єктів, що передувало аварії та її розвиток (26.10.2018 р. – 06.10.2019 р.) щодо будівлі гуртожитку №2 (проспект Яворницького, 17).

3.2.1 Фотодокументи фонового стану будівель Нагорної частини міста Дніпро [31].

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ







КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 3.2 — будівля по вул. О.Гончара, 6. Будівля по вул. О.Гончара, 8.
Вигляд з вул. Шевченка, магазин «Світ пригод» (440 м від гурт. №2)



Рисунок 3.3 – вул. Пісаржевського, 1а, будівля ДП «НДП ім. Я.Ю.Осади». Вигляд з вул. О.Гончара, біля в'їзду у двір, навпроти салону «Нопіток» (486 м від гурт. №2)



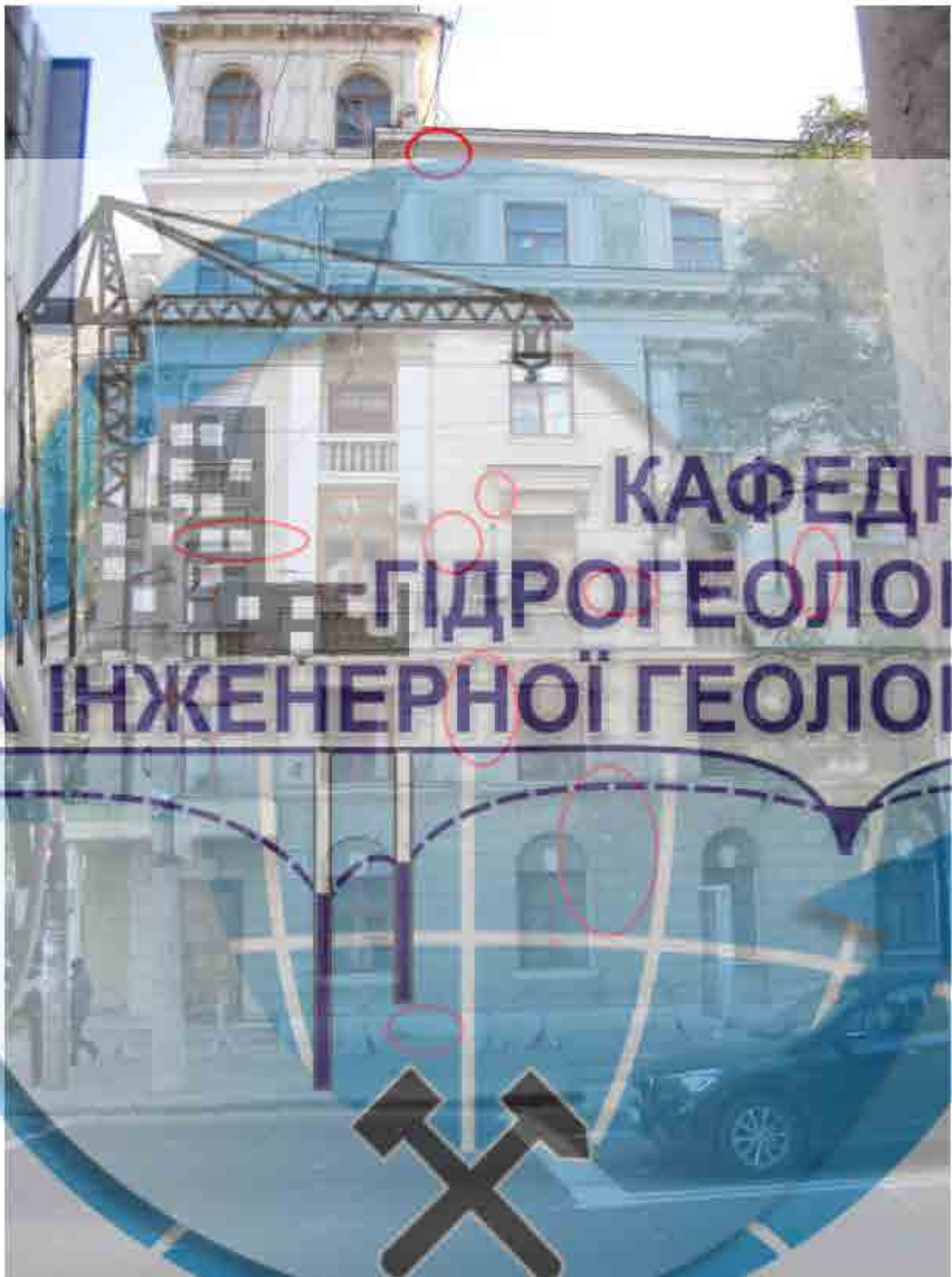
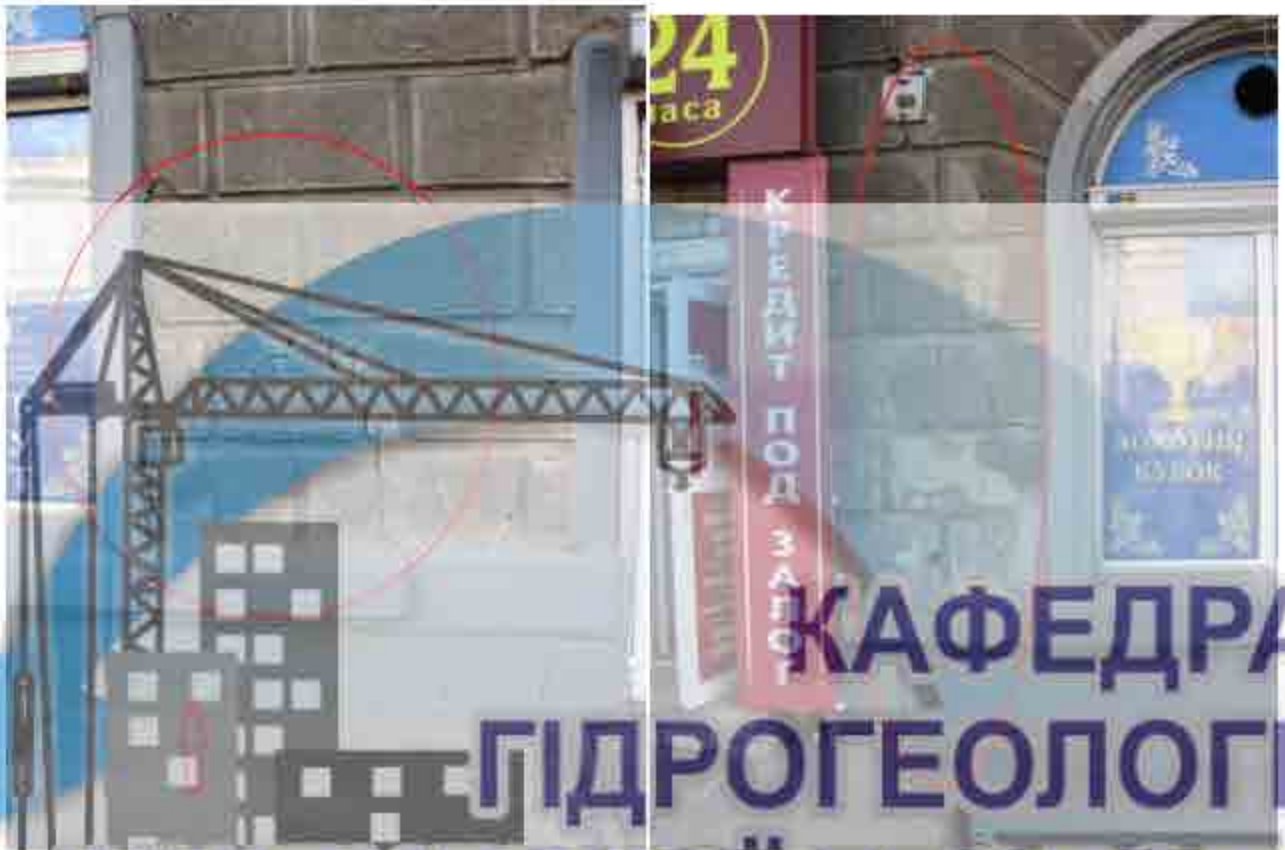


Рисунок 3.5 – будівля гуртожитку на розі вул. Чернишевського та пр. Гагаріна (пр. Гагаріна, 33). Вид з пр. Гагаріна (660 м від гурт №2)

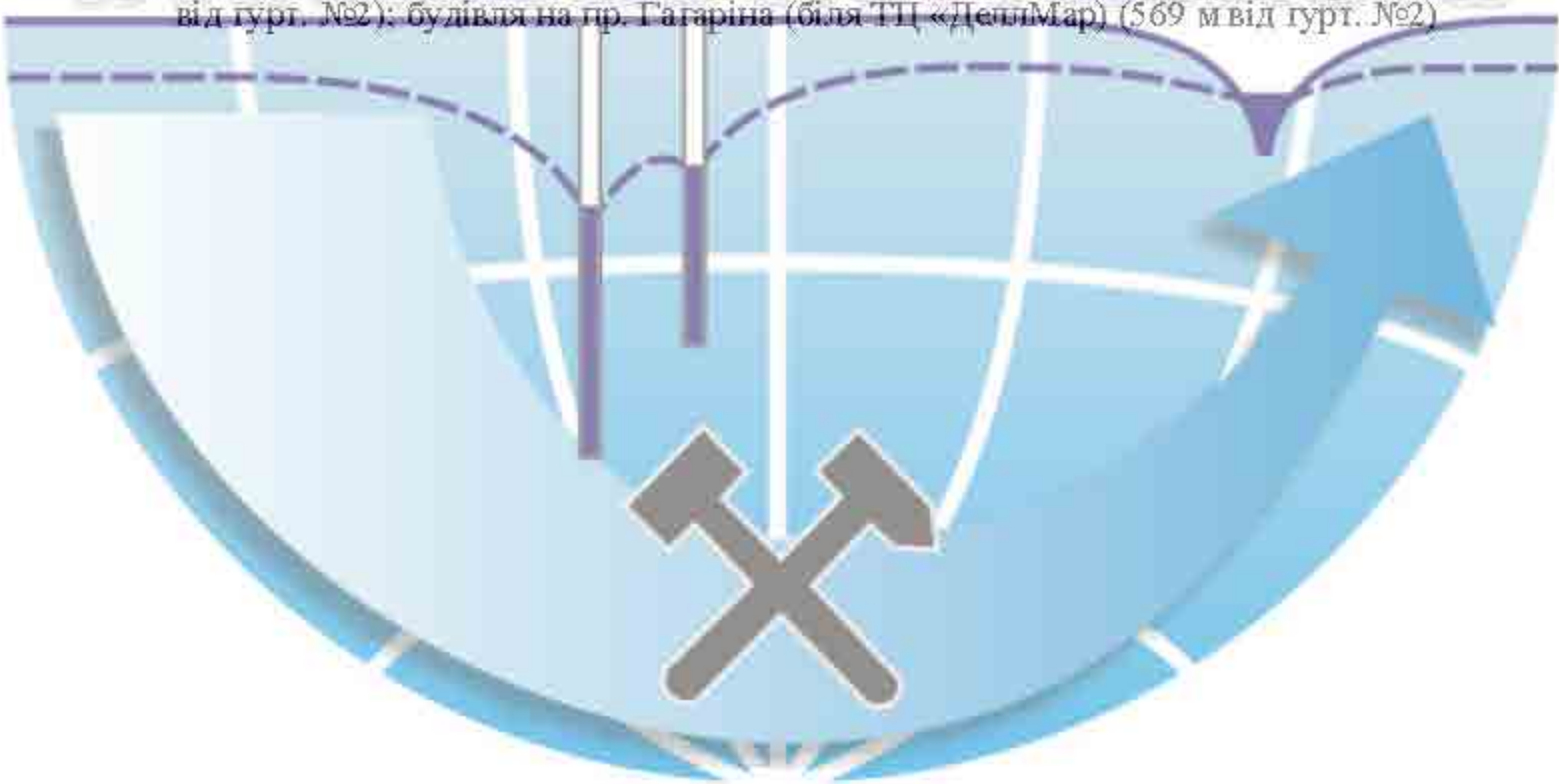


Рисунок 3.6 – будівля гуртожитку на розі вул. Чернишевського та пр. Гагаріна (пр. Гагаріна, 33). Вигляд з пр. Гагаріна (укрупнено) (660 м від гурт. №2)



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 3.7- 3.8— будівля на пр. Гагаріна, 31 (біля ТЦ «ДеліМар») (571 м від гурт. №2); будівля на пр. Гагаріна (біля ТЦ «ДеліМар») (569 м від гурт. №2)





КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 3.9 – пр. Гагаріна, 11, будівля гуртожитку №2 ДметАУ, біля зупинки громадського транспорту по пр. Гагаріна (256 м від гурт. №2)

3.2.2. Фотохроніка стану технологічних об'єктів, що передувало аварії та її розвиток (26.10.2018 р. – 06.10.2019 р.).

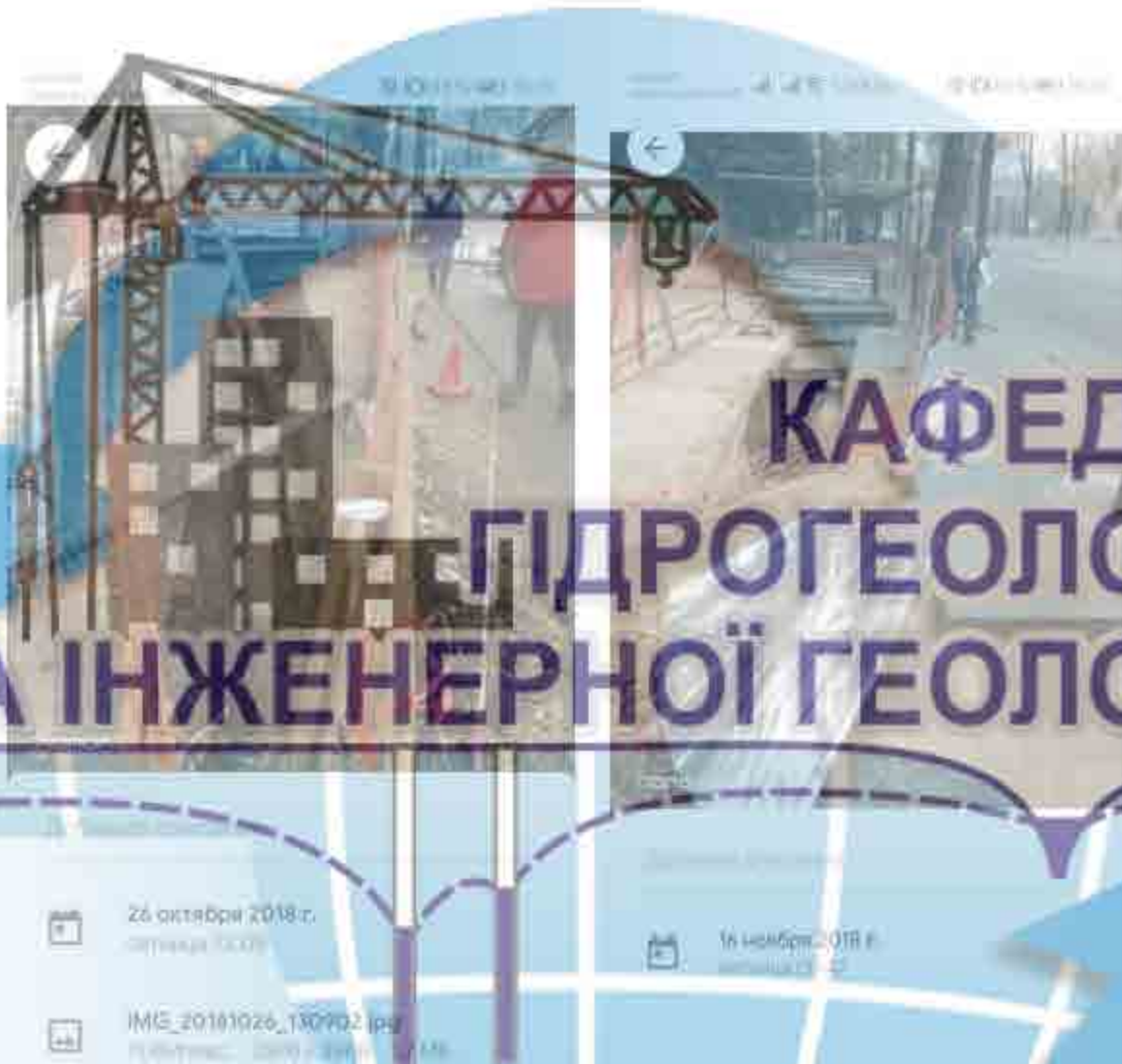


Рисунок 3.10 а, б – вигляд коловану на тротуарі в напрямку від буд. 19 до буд.21 по пр. Д.Яворницького на 26.10.2018 р. та 16.11.2018 р. (перехрестя пр. Д.Яворницького та вул. О.Гончара)

16.11.2018 15:35

16.11.2018 15:35

16.11.2018 15:35

16.11.2018 15:35



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

16 ноябрь 2018 г.

16.11.2018

IMG_20181116_013841.jpg

16.011.2018 15:35 2.3 MB

16 ноябрь 2018 г.

16.11.2018

IMG_20181116_103046.jpg

16.011.2018 15:35 2.3 MB

HUAWEI STF-L09

3141 1129 3297 1129

HUAWEI STF-L09

3141 1129 3297 1129

Рисунок 3.11 а, б – вигляд котловану на перехресті проспектів Д.Яворницького та Гагаріна поблизу кута гуртожитку №2 на 16.11.2018 р. (де відбулося аварійне руйнування)





Рисунок 3.12 а, б – форма провалля біля кута гуртожитку №2 на розі пр. Гагаріна та пр. Д.Яворницького на 05.10.2019 р. (фотоматеріали ТСН-Україна, <https://www.uni-an.net/>)



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ

ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 3.13 – Бетонування провалля біля кута гуртожитку №2
05.10.2019 р. (фотоматеріали <https://www.unian.net/>)



Рисунок 3.14 – засипаний котлован біля кута гуртожитку №2 зі сторони
пр. Гагаріна, 05.10.2019 р. (фотоматеріали <https://www.antikor.com.ua/>)



Рисунок 3.15 а, б – засипаний котлован біля кута гуртожитку №2 зі сторони пр. Гагаріна, 06.10.2019 р. (фотоматеріали gorod.dp.ua, tsn.ua, Ukrinform)

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

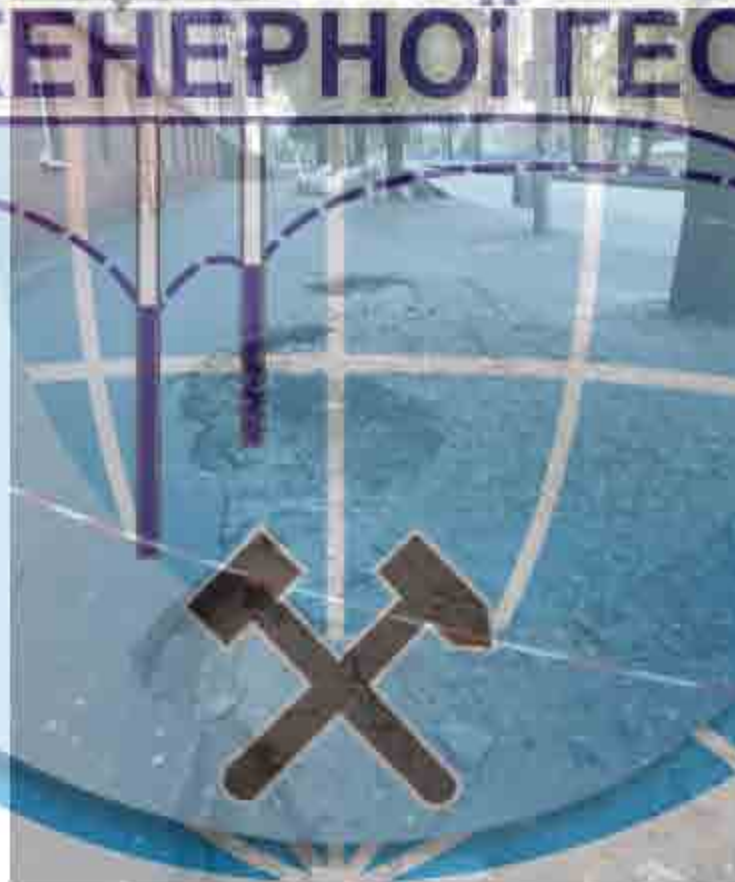


Рисунок 3.16 – вигляд пішохідної частини біля гуртожитку №2 вздовж пр. Д. Яворницького, 06.10.2019 р. (фотоматеріали tsn.ua)

3.3 Аналітичний огляд звіту [33]

Стор. 21. «Зіставлення результатів геофізичних досліджень з даними геологічних вишукувань підтверджують основні висновки щодо розповсюдження ймовірних зон збільшення вологості ґрунтів, а також наявності в зоні зворотньої засипки біля фундаменту гуртожитку №2 зі сторони пр. Дмитра Яворницького розширених зон».

Стор. 32. «При обстеженні та оцінці технічного стану конструкцій з аналізу нормативної документації прийняті значення допустимих параметрів, що не перевищують граничні значення сумісних деформацій будівель і споруд з основою».

«На момент обстеження крен стіни по ряду «А» в осях «24-27» у межах другого, третього, четвертого та п'ятого поверхів за результатами геодезичних вимірів не перевищує нормативні граничні величини.

Горизонтальні деформації стіни по ряду «А» в осях «24-27» у межах першого поверху складають 18-20 см. Згідно класифікаційних ознак технічного стану за параметрами деформацій стіни по ряду «А» в осях «24-27» відповідає категорії технічного стану «4» - аварійний».

Стор. 34. «За результатами вимірів кренів будівлі було встановлено, що відхилення конструкцій від вертикалі не перевищують граничні.

По ряду «А» в осях «24-27» будівля зазнала значних нерівномірних деформацій основ, фундаменту та стіни, що призвело до появи горизонтальних та похилих наскрізних тріщин у стіні, зміщенням конструкцій перекриття з вузлів спирання.

По ряду «А» в осях «24-27» характер деформацій стіни подібний до прогину з максимальними значеннями просідання в осях «24-27». Зона аварійних деформацій охоплює ділянку від куту будівлі довжиною близько 9,5 м.

За результатами геометричного нівелювання максимальне значення просідання цоколю та кладки стіни склали 137 мм. Це відповідає відносній нерівномірності деформацій стіни $\Delta S/L \approx 0,0096$, що значно перевищує граничну

величину. При визначенні параметрів нерівномірного просідання при геометричному нівелюванні за відм. 0.000 прийнято рівень цоколю по осі «27» за межами деформованої ділянки стіни. Наряду з просіданням основи відбулися і горизонтальні деформації стіни підвалу до 5 см та першого поверху до 20 см.

Стор. 36. «Рішення про проведення спостережень за деформаціями будівлі було прийнято фірмою самостійно, у зв'язку з тим, що ця будівля згідно із проектом знаходиться в зоні будівництва метрополітену».

Стор. 51. «За отриманими даними найбільші переміщення зафіксовані у період 06.10.2019 р. – 07.10.2019 р. для марок 1 та 2. В наступні дні також фіксується розвиток вертикальних деформацій для марок 3, 6, 17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7». Схема розміщення марок наведена на наступній сторінці (стор. 39).

Стор. 60-61. «Осадочні маркі із найбільшим значенням осідань знаходяться у межах аварійно-небезпечної зони на ділянці будівлі, де стається найбільше просідання ґрунту. На цій ділянці продовжувалися просідання будівлі з постійною швидкістю до 19 жовтня 2019 р. Доцільним є продовження геодезичних спостережень за деформаціями частини будівлі, обмеженої деформаційним швом до стабілізації осідань з періодичністю, визначеною за рекомендаціями відповідно до значень вертикальних переміщень».

Стор. 71. «В основі фундаментів розташована значна товща просадочних ґрунтів II типу, яка зазнала насичення водою. Це спричинило просідання ґрунтів та значні нерівномірні деформації фундаменту по ряду «А» в осях «24-27». На основі отриманих параметрів деформацій встановлено, що технічний стан фундаменту по ряду «А» в осях «24-27» - аварійний та потребує підсилення. На інших ділянках ознак значних нерівномірних деформацій та загрози втрати стійкості основ та фундаментів на момент обстеження не зафіксовано. Необхідно виконати відновлення будівельних конструкцій згідно рекомендації, виключити можливість подальшого замочування ґрунтів. Необхідно продовжити геодезичні спостереження за деформаціями будівельних конструкцій».

Стор. 129-130. «На прилеглий до будинку території пр. Д. Яворницького проводилися роботи з прокладки інженерних мереж під тротуарами з пересіченням проїзної частини пр. Гагаріна. Нова траса указана на плані у проєкті з існуючими інженерними мережами поблизу обстеженої будівлі, має позначення «В10500» (синім кольором) у футлярі 710X42,1. Будівництво траси водопостачання виконувалось за технологією проколу, та передбачає улаштування водо несучої труби у футлярі. Труба водопостачання ще незавершена будівництвом, а улаштовано лише її футляр діаметром 710 мм. Мінімальна відстань від куту будівлі по осям «А/27» до траси складає 1,66 м. Нижче за рельєфом траса змінює напрямок відхиляючись від будівлі та прокладена під тротуаром. Глибина закладення траси на розі проспектів Гагаріна та Яворницького близько 2,6 м. На розі проспектів улаштовано котлован даної мережі на відстані від будівлі близько 6,2 м. Котлован на момент аварійних деформацій будівлі не мав покриття і мав змогу накопичувати атмосферні опади. Другий непокритий асфальтовим покриттям котлован цієї мережі розташований внизу за схилом поблизу куту будівлі. Зараз виконана засипка їх ґрунтом. Нижній котлован зверху покрито шаром шлаку.

Поблизу будівлі пролягала також підземна кабельна лінія 6-10 кВ. На плані має позначення «W» (чорним кольором). Улаштування цієї лінії поблизу гуртожитку виконувалось у відкритих траншеях глибиною близько 1 м. Її траса пересікає тротуар зі сторони пр. Гагаріна та спрямована до куту будівлі, огинаючи його проходить на мінімальній відстані до будівлі близько 0,5 м. Далі траса прокладена уздовж будівлі (зі сторони фасаду по пр. Яворницького) на відстані від цоколя 0,5 м, потім змінює напрямок огинаючи ганок гуртожитку. Після чого траса прокладена на віддалі від фундаменту.

Згідно інформації мешканців гуртожитку траншея кабельної лінії була не закрита упродовж минулих зимового та початок весіннього періодів. Після чого була засипана ґрунтом. На момент аварійних деформацій траншея кабельної лінії була не покрита асфальтовим покриттям. Через непокриті траншеї, котловани та інші порожнини могло відбуватися насичення ґрунтів

основи вологою. Непокрита та засипана піщаним ґрунтом траншея кабельної лінії, що пересікала тротуар могла перехоплювати потік поверхневих стоків в періоди атмосферних опадів спрямовуючи їх по дну траншеї до куту будівлі та її в основу. Критичне водонасичення ґрунту у період довготривалих дощів могло викликати просідання будівлі. На це вказують і дні інженерно-геологічних і геофізичних вишукувань.

Під впливом замочування відбувались просідання та погіршення механічних властивостей ґрунту, що під тиском будівлі провокувало нерівномірні деформації фундаментів та наземних конструкцій, які порушили цілісність несучої стіни наскрізними тріщинами, що призвело до аварійних наслідків – втрати стійкості та загрози обвалення стіни з перекриттями в осях «А-В/24-27».

Згідно даних виконаних обстежень та геодезичних вимірювань приток вологи у ґрунті та просідання станом на 19 лютого 2019 р. не припинились, тому все ще зберігається загроза подальшого розвитку просідань, втрати стійкості та обвалення несучої стіни верхніх поверхів по ряду «А» в осях «24-27».

4. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ І ЗАХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СПОРУД ПО ПР. ДМИТРА ЯВОРНИЦЬКОГО (ГУРТОЖИТОК № 2 НТУ «ДП»)

4.1 Загальні відомості про досліджувану територію

4.1.1. Місце знаходження, вивченість

Адміністративно досліджувана ділянка аварійної будівлі гуртожитку №2 Національного університету «Дніпровська політехніка» відноситься до Соборного району м. Дніпро і розташована на розі проспектів Гагаріна і Яворницького, 17.

Дані про інженерно-геологічні вишукування для будівництва досліджуваного будинку відсутні, а на прилеглих ділянках в різні роки вишукувальними організаціями виконувались інженерно-геологічні роботи для проектування та будівництва об'єктів цивільного призначення, а вздовж просп. Д. Яворницького - для прокладення метрополітену.

Раніше виконані вишукування включали такі види інженерно-геологічних робіт: буріння свердловин, проходку шурфо-дудок, дослідно-фільтраційні роботи, лабораторні дослідження ґрунтів і підземних вод. Результати проведених раніше робіт проаналізовані і в необхідному обсязі використані при складанні звіту, що дозволило підвищити кондиційність, достовірність та інформативність матеріалів, проаналізувати зміни інженерно-геологічних умов у часі.

Перелік використаних архівних матеріалів приведено у списку літератури.

4.1.2. Геоморфологія, рельєф і фізико-геологічні явища

В геоморфологічному відношенні ділянка приурочена до вододільного плато та при вододільного схилу правобережжя ріки Дніпро. Рельєф спланований насипними ґрунтами, має загальний уклін в південно-східному напрямку. Абсолютні відмітки денної поверхні (по гирлам свердловин) змінюються від 116.35м до 125.75м (Балтійська система висот). З несприятливих фізико-геологічних процесів і явищ слід відзначити наявність в геологічному розрізі великої потужності лесових ґрунтів, здатних від замочування до прояву просі-

дання, а також інженерну діяльність людини (зношеність водовмісних старих мереж та прокладання нових, риття траншей без виконання водозахисних заходів і таке ін.) [32].

4.1.3. Клімат

Відповідно до даних, приведених у ДСТУ-Н В.1.1-27:2010, згідно архітектурно-будівельного районування території України, м. Дніпро знаходиться у II кліматичному районі - Південно-Східному (Степовому). Клімат відноситься до помірно-континентального, характеризується короткою малосніжною зимою і тривалим теплим літом.

Характерними особливостями клімату є: значні коливання температур протягом року, сезону, місяцю; зливовий характер літніх дощів; часті відлиги взимку, і в зв'язку з цим, нестійкий сніговий покрив; інтенсивне весняне сніготанення.

Найбільш холодним місяцем є січень із середньомісячною температурою (-5°) – (-7°C), а найбільш теплим - липень із середньомісячною температурою ($+22.2^{\circ}\text{C}$). Середньорічна температура ($+8.5^{\circ}\text{C}$). Максимальна температура ($+40^{\circ}\text{C}$), мінімальна (-34°C). Дата переходу середньодобової температури повітря через: ($+8^{\circ}\text{C}$) - початок 19 жовтня, закінчення – 9 квітня; ($+10^{\circ}\text{C}$) - початок 10 жовтня, закінчення - 16 квітня.

Середньорічна кількість опадів становить 558мм на рік, добовий максимум 82мм. Найбільша їх кількість випадає в теплий період року - 320мм. Оподи випадають у вигляді короткочасних дощів. Протягом літа бувають тривалі бездошові періоди, а восени опади характеризуються затяжними дрібними дощами. Взимку опади випадають, переважно, у вигляді снігу, але бувають і дощі. Річне число днів з опадами 80-125. Сніговий покрив лежить на протязі 70 днів з грудня по березень, середня висота покриву за зиму 15см.

Середньорічне значення відносної вологості змінюється в межах 70-80%. Мінімальне значення відносної вологості в літній період (травень-серпень) -

58-59%, максимальне (листопад-березень) - 83-89%. Середньорічний дефіцит вологості становить 3.5-4.0мм, максимальний (липень) досягає 10.1-10.6мм.

Випаровуваність становить 700-800мм. За співвідношенням річних сум опадів і випаровування м. Дніпро відноситься до зони недостатнього зволоження.

Переважаючими вітрами є вітри північно-західного і південного напрямку, повторюваність яких відповідно 48% і 15%. Переважання цих вітрів зберігається в весняно-літній період, восени і взимку збільшується число днів з вітрами південно-східного напрямку (до 14.5%), в період весняної повені найбільш часті (до 17%) південні вітри. Середня швидкість вітру 3.1м/с. Найбільші середні місячні швидкості (3.8м/с) спостерігаються взимку, найменші (2.3-2.4м/с) - влітку. Сильні вітри (понад 15м/с) бувають частіше в січні і лютому (1.9 дня в кожному з цих місяців), найбільш рідко (0.5 дня в місяць) - у вересні. Максимальна швидкість вітру - 24 м/с.

4.2 Результати візуального огляду будівлі

Досліджувана аварійна будівля гуртожитку побудована в 1952 році. Будівля 5-ти поверхова, складена з білої цегли, форма будівлі П - образна (основна частина будівлі розміщена вздовж просп. Яворницького, західне крило будівлі – паралельно просп. Гагаріна, східне - перпендикулярно просп. Яворницького). По просп. Гагаріна прокладені дві низки трамвайних ліній. Частково під будинком знаходиться підвал глибиною 2-3м, який використовується за різним призначенням (під будинком знаходиться бомбосховище, котельня та ін.). В дворовій частині будинку розташований спортмайданчик і одноповерхові будівлі. Навколо будинку і в дворі прокладені багато чисельні водогінні мережі (каналізація, водопровід).

З весни 2019 року (зі слів мешканців району) на перетині проспектів Гагаріна та Яворницького залишився шурф глибиною близько 3.0м і площею до 10м², який 5 жовтня залило водою. По опитуванню жильців встановлено, що з

проблемою просідання будівлі гуртожитку місцеві жителі зверталися до міськради ще влітку.

Слід зауважити, що аналогічні шурфи відриті на тротуарі по просп. Яворницького від вул. О. Гончара до вул. Героїв Крут, а також на Соборній площі. Ці шурфи являлись місцем збору атмосферних опадів.

В зв'язку з виникненням аварійної ситуації, яка проявилась 05.10.2019 р. після випадіння великої кількості води (ливень ввечері 04.10.2019 р. і затяжний дощ 05.10.2019 р.) з боку просп. Гагаріна і вздовж стіни паралельної просп. Яворницького, утворилися провали ґрунту в денній поверхні глибиною до 1.5-2.0 м. Від кута будинку від просп. Гагаріна (з боку просп. Яворницького) на стіні першого поверху гуртожитку по цегляній кладці, над двома вікнами аптеки, виникли тріщини деформації овальної форми випуклістю вгору шириною розкриття від 1 см до 5-10 см. Вздовж стіни цоколь відірвався від стіни з нахилом від стіни, а асфальтне вимощення тротуару від цоколю фундаменту. В полу підвалу паралельно несучій стіні з'явилась відкрита тріщина шириною розкриття до 4-5 см.

Вранці 06.10.2019 р. для запобігання подальшого руйнування будинку, шурфи, які розкопали метробудівники для прокладки підземних комунікацій, засипали шлаком і ґрунтом, а провал, що утворився безпосередньо під гуртожитком, залили бетоном.

4.3 Оцінка інженерно-геологічних умов на період проведення вишукувань і прогноз їх зміни в часі

4.3.1. Геологічна будова

Геологічний розріз досліджуваної ділянки вивчений до глибини 21.0 м і представлений комплексом четвертинних елювіально-делювіальних (ed, шари 3,5,7), еолово-делювіальних (vd, шари 4,6) і делювіальних (d I, шар 8) відкладень, з денної поверхні перекритих повсюдно сучасними техногенними насипними (t IV, шар 1) і локально ґрунтово-рослинними (e IV, шар 2) ґрунтами [32].

Опис виділених геолого-літологічних шарів приведено зверху вниз.

Сучасні техногенні відкладення

Шар 1 (t IV). Насипні ґрунти – з денної поверхні асфальт на шлаково-щебенистій підсипці, потім суміш суглинків і супісків лесових з ґрунтово-рослинним шаром, темно-сірих, бурих, в основному, твердої консистенції, локально в підшві шару туго-м'якопластичної консистенції, з включенням битої цегли, щебеню, шлаку, кусків бетону вмістом 5-15%, на окремих ділянках до 30-40%. За давністю утворення відносяться до злежалих. Перекривають ділянку повсюдно, потужність змінюється від 0.4м до 3.0м.

Шар 2 (e IV). Ґрунтово-рослинні ґрунти - суглинки бурі, чорні, тверді, з корінням рослин, з ходами землерийв, заповнених гумусом. Мають локальне розповсюдження. Потужність шару становить 0.4-1.0м.

Четвертинні осадові відкладення

Шар 3 (ed III pc+df). Суглинки лесові бурувато-жовті, тверді, в зоні замочування – м'якопластичні, з прожилками карбонатів, з прошарками супісків, в покрівлі шару з ходами землерийв, заповненими гумусом. Поширені повсюдно потужністю від 1.1м до 5.1м.

Шар 4 (vd III bg). Супіски лесові сірувато-жовті, бурувато-жовті, тверді, в зоні замочування пластичні, з прожилками карбонатів, з прошарками суглинків, з вкрапленнями гідроокислів марганцю. Мають повсюдне поширення. Потужність шару змінюється від 1.3м до 7.0м.

Шар 5 (ed III-II pl+kd). Суглинки лесові жовтувато-бурі до бурих, тверді, в зоні замочування напівтверді, з прожилками і жовнами карбонатів, з вкрапленнями гідроокислів марганцю. Поширені майже повсюдно, потужність становить 1.2-2.7м.

Шар 6 (vd II dn). Супіски лесові палево-жовті, тверді, в зоні замочування і нижче рівня підземних вод пластичні, з прожилками і жовнами карбонатів, з прошарками суглинків, з вкрапленнями гідроокислів марганцю. Поширення повсюдне. Потужність шару 5.5-9.1м.

Шар 7 (ed II dn). Суглинки лесові жовтувато-бурі, сірувато-бурі, тверді, з прожилками і жовнами карбонатів, з вкрапленнями гідроокислів марганцю. Зу-

стрінуті в свердловині №4 потужністю 3.0м.

Шар 8 (d 1 m). Суглинки червоно-бурі, тверді, з прожилками і жовнами карбонатів, з вкрапленнями гідроокислів марганцю. Зустрінуті в свердловині №4 розкритою потужністю 0.5м.

Глибини залягання шарів, їх потужності, поширення в межах досліджуваної ділянки ілюструються інженерно-геологічними розрізами (рис. 4.1).

4.3.2. Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні умови до глибини 21.0м характеризуються наявністю одного безнапірного водоносного горизонту, приуроченого до четвертинних відкладень. Сталій рівень підземних вод зафіксовано в свердловині №1 (жовтень 2019р.) на глибині 20.5м (абс.відм.103.80м) від існуючої денної поверхні.

Слід зазначити, що режим водоносного горизонту порушений через аварійні і постійні витіки з водогінних мереж, які мають великий строк експлуатації і незадовільний стан, а також інфільтрації атмосферних опадів через розкриті ями і траншеї, які довгий час знаходяться не засипаними, внаслідок чого в свердловині №5 утвориться зона замочених ґрунтів (див. креслення 2 графічних додатків).

Водовмісними є лесові ґрунти шару 6 (нижче рівня підземних вод), а в зонах замочування підвищену вологість мають ґрунти шарів 3-6. Коефіцієнти фільтрації ґрунтів зони аерації і водовмісних ґрунтів наступні: суглинків (шари 3,5,7) - 0.3м/добу; супісків (шари 4,6) - 0.6-0.8м/добу, суглинків (шар 8) - <0.005м/добу [32].



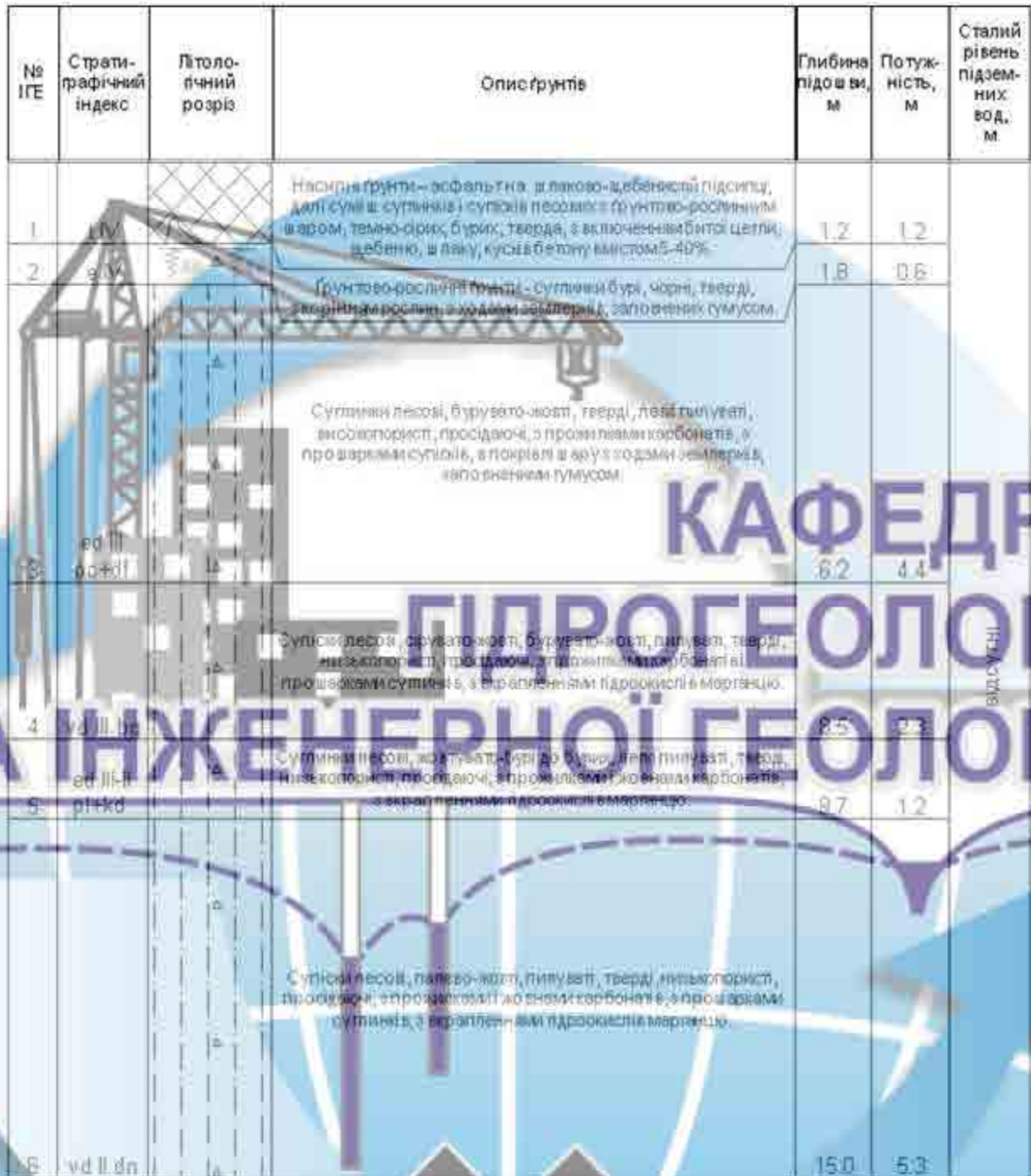


Рисунок 4.2 – Інженерно-геологічна колонка для свердловини 15

Відносним водотримом горизонту є нижньочетвертинні червоно-бурі суглинки, що залягають в свердловині №1 на глибині 20,5 м (абс. відм. 103,80 м).

Розвантажується водоносний горизонт в бік річки Дніпро.

4.3.3. Геотехнічна характеристика ґрунтів

Досліджувана товща ґрунтів за номенклатурними ознаками і властивостями, згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96, розділена на 12 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), у межах яких товща є статистично однорідною за складом й властивостями. Нумерація ІГЕ відповідає нумерації виділених шарів.

В зв'язку з наявністю зони замочування ґрунтів на два інженерно-геологічних елементи, кожний, розділені такі ґрунти: суглинки (шари 3,5), супіски (шари 4,6): – твердої консистенції - ІГЕ-3-6, що залягають за межами зон замочування; м'якопластичної і пластичної консистенції - ІГЕ-3а,4а,5а,6а – в зоні замочування та нижче рівня підземних вод (ІГЕ-6а - евр.№1).

Окремі значення й статистичні параметри характеристик фізико-механічних властивостей ґрунтів, нормативні та розрахункові показники (для ґрунтів ІГЕ-4а,5а,6а прийняті по ґрунтам ІГЕ-4-6, випробуваними в природному і в водонасиченому стані) в [32]. Показники просадних властивостей ґрунтів ІГЕ-3-7 приведені в [32].

Фізичні і деформаційні характеристики виділених ґрунтів природного стану і замочених зон виконувалось лабораторним методом.

Деформаційні і просідні характеристики ґрунтів (ІГЕ-3-7) отримані за компресійними випробуваннями методом "двох кривих" до навантаження 0.3-0.4 МПа. Модуль загальної деформації розраховувався з урахуванням коригуючого коефіцієнта K_p , який вводиться для зіставлення модуля, отриманого лабораторними методами, і дослідними випробуваннями ґрунтів пресиометром.

Характеристики міцності ґрунтів ІГЕ-3-7, визначені методом одноплщинного зрізу у водонасиченому стані за схемою повільного консолидовано-дренованого зрізу ступенями тисків 0.1-0.2-0.3МПа, прийняти за матеріалами досліджень минулих років.

4.4. Розрахунок просадності льосового масиву у природних умовах під впливом техногенного навантаження

Просадність ґрунтів S_{st} основи при збільшенні їх вологості внаслідок замочування зверху великих площ, а також замочування знизу при підйомі рівня підземних вод визначається за формулою

$$S_{st} = \sum_{i=1}^n \xi_{st,i} h_i k_{st,i} \quad (4.1)$$

де: $\xi_{st,i}$ – відносна просадність i -го шару ґрунту, що визначається відповідно до формули 2; h_i – товщина i -го шару; $k_{st,i}$ – коефіцієнт, що визначається відповідно до ширини фундаменту

$$\xi_{st} = \frac{e_{n,p} - e_{sa,p}}{e_{n,g}} \quad (4.2)$$

де: $e_{n,p}$ і $e_{sa,p}$ – коефіцієнт пористості ґрунту відповідно до природної вологості і після його повного водонасичення при тиску p [14-16].

Після підстановки значень в формули, були проведені розрахунки просадки льосового масиву при природному тиску. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати розрахункових і натурних просадок льосового масиву у свердловині 12 (будівля гуртожитку №2)

Номер ПЕ	Розрахункова просадка при природному тиску $S_{sl}, \text{см}$	Сумарна просадка на об'єкті при природному тиску $S_{sl}, \text{см}$
3	6,5	8,99
4	9,8	12,34
5	3,1	4,24
6	4,9	5,70
7	2,48	3,06
Загальна	26,78	34,33

З отриманих даних видно, що величина розрахункової просадки при природному тиску по п'яти ПЕ складає 26,78 см, в той час як сумарна просадка

при природному тиску дорівнює 34,33 см. Найбільша величина осідання відзначається в 4,5 і 7 ПЕ, що обумовлено нерівномірним замочуванням льосового масиву.

4.5 Прогноз зміни інженерно-геологічних умов

Льосові ґрунти ПЕ-3-7 знаходяться в твердому стані і при замочуванні проявляють просадні властивості як при додаткових навантаженнях, так і при тиску від власної ваги ґрунту. Початковий просідний тиск суглинків ПЕ-3 – 45 кПа, суглинків ПЕ-4 – 85 кПа, суглинків ПЕ-5 – 170 кПа, суглинків ПЕ-6 – 130 кПа, суглинків ПЕ-7 – 300 кПа.

Потужність просідаючих ґрунтів в межах ділянки змінюється від 17,2 м до 18,8 м.

Сумарна величина просідання маловологої льосової товщі при тиску від власної ваги ґрунту становить 34,33 см.

Тип ґрунтових умов по просіданню - другий.

В зв'язку з незадовільною експлуатацією старих підземних водогінних мереж і інженерною діяльністю людини (розриті і не ліквідовані глибокі шурфи для прокладки комунікацій метрополітену) відбулось різке збільшення інфільтрації води в ґрунт в момент ливня і зятяжного дощу. Через розритий тротуар і рихлі насипні ґрунти зворотнього засипання під тротуаром будинку ливневі води поступили під фундамент будинку, почалося локальне замочування льосових просідаючих ґрунтів, внаслідок якого проявились аварійні деформації будинку.

В ході проведених досліджень встановлена зона замочених ґрунтів (ПЕ-3а,4а,5а,6а) . Умовна межа зони замочування ґрунтів показана на плані креслення (рис. 4.3) і на інженерно-геологічних розрізах (рис. 4.1 – 4.2).

Візуальній опис ґрунтів і лабораторні визначення природної вологості по пробах, відібраних із свердловин №№1-15 з інтервалом 1.0-2.0м, показали, що в свердловинах, які знаходяться поза зоною замочування (свердловини №№

4,6,8,10-12,14,15) ґрунти мають природну вологість нижче, ніж в зоні замочування ґрунтів (свердловини №№ 2,3,5,7,9,13) майже вдвічі [32].

Зона замочених ґрунтів на території вишукувань має нерівномірне розповсюдження як по площі так і по глибині. Ділянки з наявністю ґрунтів з максимальною вологістю спостерігаються біля зони аварійної частини будівлі, а також особливо в районі свердловини №5 і свердловини №7 (північно-східне крило гуртожитку).

Поблизу аварійної ділянки, в свердловині №3, в інтервалі глибин 5.5-9.5 м волога ґрунтів досягає найбільш високих значень – 0.18-0.19 ч.од; в свердловинах №2 і №9 (внутрішній двір гуртожитку) в інтервалі глибин 4.5-5.5 м вологість ґрунту становить, відповідно, 0.18 ч.од., та в інтервалі 10.8-12.8 м – 0.17 ч.од.

За результатами вишукувань встановлено, що найбільш обводнена свердловина №5. В верхній частині геологічного розрізу (в інтервалі 1.5-6.3 м) в цій свердловині величини значень вологості досягають 0.20-0.21 ч.од. і ґрунти знаходяться в стані близькому до повного водонасичення. Далі з глибиною вологість ґрунтів поступово зменшується до 0.16 ч.од., але потім знову зростає до 0.22 ч.од.

Результати лабораторних робіт дозволяють припускати, що замочування ґрунтів в цій частині відбулося в два етапи:

- обводнення верхньої частини ґрунтового масиву за рахунок акумуляції води аварійного потоку;
- обводнення ґрунту на більших глибинах є наслідком витоку із водонесучих комунікацій котельної, що розташована в підвальному приміщенні гуртожитку №2.

При бурінні свердловин №№ 4,5 в насипних ґрунтах зворотної засипки спостерігаються провали бурового інструменту потужністю до 0.5 м. Насипні ґрунти по свердловині №4 (поблизу стіни будівлі гуртожитку) потужністю 1.7 м представлені крупно-уламковою фракцією, а піщана, пилювата та глиниста

та фракції відсутні (вимиті). В свердловині №5 піщано-глинистий заповнювач насипних ґрунтів знаходиться в обводненому стані.

Результати проведених досліджень вказують на можливість зв'язку руху аварійного потоку води вздовж фундаменту будівлі гуртожитку, з акумулюючою водою в районі свердловини №5, де відмічено замочування насипних ґрунтів зворотної засипки.

Підвищена вологість ґрунтів в свердловині №13, в інтервалі 4.5-5.5 м, до 0.17 ч.од. можливо пов'язана з витокami з водонесучих комунікацій (каналізаційна система по просп. Гагаріна). Аналогічна ситуація спостерігається і в свердловині №7 (0.17ч.од.).

Досліджувана ділянка за природними умовами розташована в зоні змінного зволоження, складена лесовими фільтраційно-анізотропними ґрунтами.

При аналізі гідрогеологічної обстановки досліджуваної території з 80-х років минулого століття по нинішній час встановлено, що через інтенсивну забудову, зростання водоспоживання, незадовільну експлуатацію водогінних мереж режим водоносного горизонту порушений, відбувається утворення техногенних куполів підземних вод.

За геолого-гідрогеологічними умовами станом на 2019 р. досліджувана ділянка відноситься до III типу територій по потенційному підтопленню.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ





КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 4.3 — Схема розташування свердловин на досліджуваній території

4.6 Рекомендації щодо захисту аварійної будівлі

За результатами аналізу визначено:

1. Аварійний стан частини будинку гуртожитку №2 виник у результаті просідання льосового ґрунту в основі фундаменту внаслідок перевищення критичної межі його зволоження, що було наслідком довготривалого просочування поверхневих вод у період з 26.10.2018 р. до 05.10.2019 р. та їх аномальної низхідної фільтрації під час зливи 05 жовтня 2019 р. За даними інженерних вишукувань концентрованими джерелами накопичення та поглинання води стали технологічні котловани у ґрунті поблизу аварійного рогу будинку та його зрушення при прокладці комунікацій.

2. Доаварійний стан будівлі гуртожитку №2 відповідав фоновому у межах нагорної частини міста Дніпро. Післяаварійний стан будівлі за межами ділянки пошкоджень, у тому числі в районі котельні, що знаходиться на її протилежній стороні, не загрожує втратою стійкості основи фундаментів, фундаментів та несучих конструкцій, і гуртожиток, після ліквідації наслідків аварійного стану на ділянці пошкоджень, може бути повернутий до експлуатаційного стану.

3. Для ліквідації причин деформації будинку і недопускання відновлення прояву їх в майбутньому необхідно виконати:

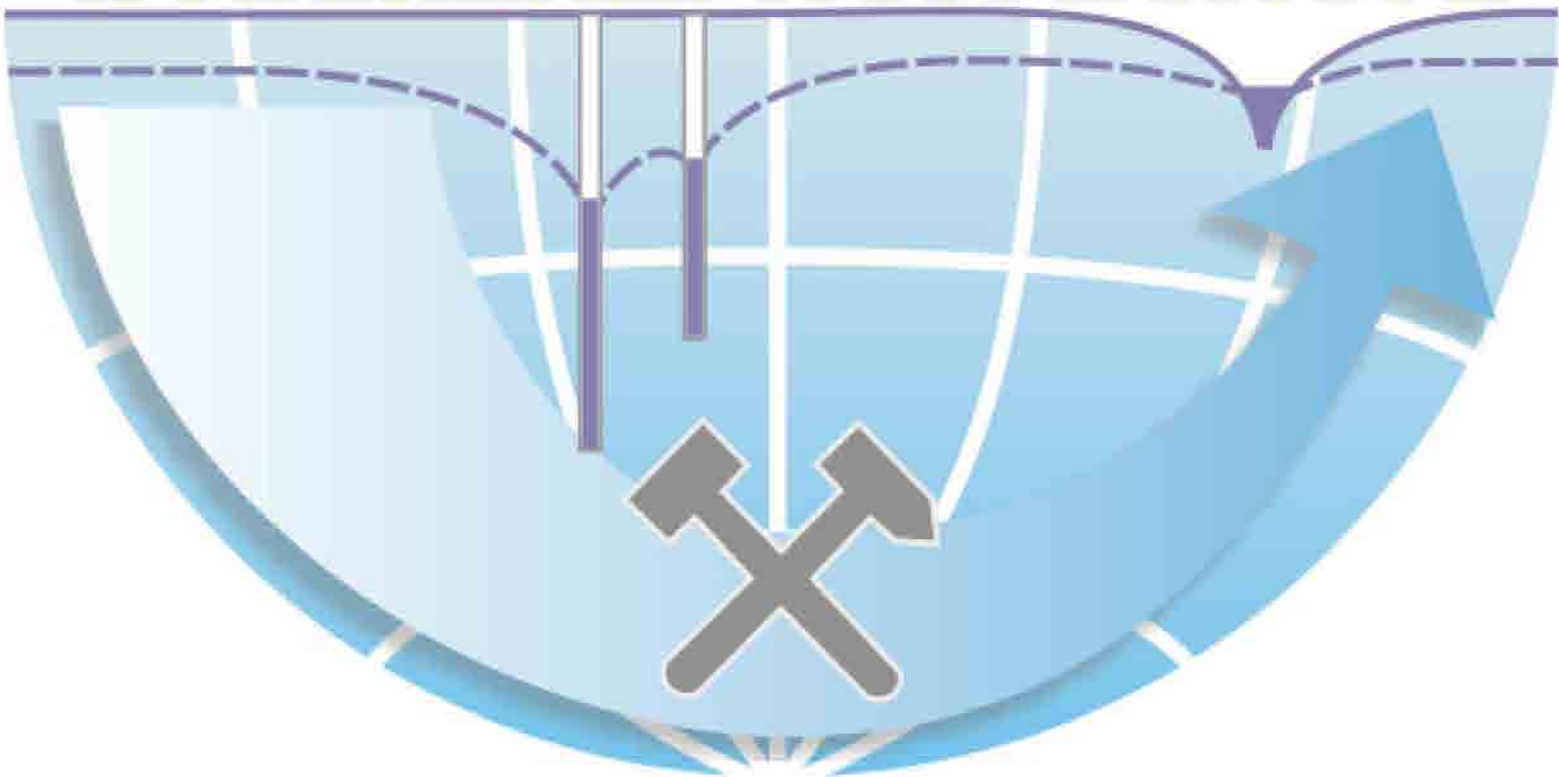
1. Водозахисні заходи:

- провести ревізію і ремонт всіх трас каналізації та водопроводу, прокладених навколо будинку, а також безпосередньо в котельні;
- ліквідувати шурфи, розташовані по тротуару просп. Яворницького (що було зроблено протягом двох місяців з моменту аварії представниками компанії Limak, але без технічних подробиць з їх боку), шляхом засипки привозним суглинистим ґрунтом з якісним ущільненням до щільності сухого ґрунту 1.65г/см^3 ;
- суворо дотримуватися норм і правил експлуатації водогінних мереж, вести за їх станом постійний контроль.

II. Провести тривалі геодезичні спостереження за деформаціями будинку гуртожитку до повної їх стабілізації, а також запровадити проведення комплексного інженерно-технічного моніторингу, що містить оцінку стану поверхневого стоку, зливової мережі, наявності штучних водозбірних форм в рельєфі, і даних щодо появи тріщин, провалів та інших деформацій земної поверхні в досліджуваній зоні, а також інтенсифікації деформацій на будівлях різного призначення;

III. Розробити проект ремонту будівлі з використанням отриманих даних фізико-механічних і просадних властивостей ґрунтів.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ВИСНОВОК

Серед комплексу проблем, які супроводжують оцінку стійкості масивів на території Дніпра, особливу актуальності має облік специфічності льосів в загальному комплексі оцінки. У більшості випадків стандартні методики не враховують її, і тому дають більш оптимістичні прогнози.

У зв'язку з цим, в дипломній роботі дослідженні процеси механічної суфозії при спорудженні та експлуатації будівель на льосах, на прикладі аварійного стану Гуртожитку №2 НТУ «ДП», шляхом комплексу спостережень, вимірів та аналізу інженерно-геологічної інформації для з'ясування причин деформації будинку і розробки заходів щодо їх ліквідації.

Диплом є роботою, в якій виконаний вибір і обґрунтування раціональних схем оцінки стійкості льосових масивів з урахуванням їх специфічних особливостей при різних гідродинамічних характеристиках схилу.

У дипломній роботі була розглянута специфіка зміни масиву льосових порід з урахуванням їх особливостей, що відбивається в експериментальній частині роботи. Однак варто зазначити, що навіть з урахуванням даних компонентів застосування існуючих схем є недоцільним і досить оптимістичним, а значить, застосовність зводиться до мінімуму. Аргументується це тим фактором, що в розрахунках не враховується величина просідання, яка впливає на кінцевий результат розрахунків.

У даній роботі було показано наскільки облік тих чи інших даних сприяє отриманню раціональних складових при оцінці стійкості будівель на льосових породах. Виділено головні особливості льосових ґрунтів які суттєво впливають, ускладнюють, освоєння нових територій під будівництво.

Раціональне використання даних за властивостями, структурі, хімічним складом льосових порід, досить високо впливає на інженерно-геологічні вишукування. Впровадження даних позицій в практичний процес дозволить з більшою точністю оцінювати нестійкі масиви льосових порід.

Перелік використаних джерел

1. Ананьев В.П. Техническая мелиорация лессовых грунтов. Издательство Ростовского университета, 1976 с.120
2. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 271 с.:ил. ISBN 5-211-04069-4
3. Кригер Н.И.. Лесс, его свойства и связь с географической средой. Издательство «Наука», Москва, 1965
4. Чеботарева Т.Н. Магистерская диссертация. Санкт-Петербургский Государственный университет, 2016
5. Денисов Н.Я. О природе просадочных явлений в лёссовидных суглинках. М.: Сов. наука, 1946, 176 с
6. Зуска А.В. Кинематическая модель оползневых склонов: монография /А.В. Зуска; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 140 с.
7. Инженерная гидрогеология. Растворение и выщелачивание горных пород. Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии. Москва, 1957
8. Трофимов В. Т. Экологическая геодинамика / В. Т. Трофимов, М. А. Харькина, И. Ю. Григорьева
9. Статья «Суффозионно-просадочные процессы города Краснодара», Востриков Н. Г., аспирант, Антошкина Е. В., доцент, Серебряков А. О., старший преподаватель. Кубанский государственный университет 350040, Россия, г. Краснодар
10. Мосин К.Ю. Инженерная геология, Саяногорск - 2005
11. Власов С.Ф., Максимова-Гуляева Н.А. Повышение устойчивости оползнеопасных склонов с помощью струйной технологии закрепления грунтов. Монография. Днепропетровськ, 2010

12. СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ к СНиП. Серия основана в 1989 году. ПРОГНОЗЫ ПОДТОПЛЕНИЯ И РАСЧЕТ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ И ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ, Москва Стройиздат, 1991.

13. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лёссовых пород. М.: Книжный дом, 2008. 398 с.

14. Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. Киев: Будівельник, 1982. 224 с.

15. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Ленинград, Стройиздат, 1988 – 416 с.

16. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высшая школа, 1982. 511 с.

17. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (Оползни и борьба с ними). М.: Высшая школа, 1968. 295 с.

18. Лёссовые породы СССР/ Под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.Н. Комиссаровой М.:Недра, 1986. Т.1. 232 с.; Т.2. 276 с.

19. Денисов Н.Я. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. М.:Госстройиздат, 1953, 154с.

20. Басниев К.С., Кочина И.Н. Подземная гидромеханика. Москва, Недра, 1993 – 417 с.

21. Под ред. Альтовского М.Е. Справочник гидрогеолога. Москва, Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1962 – 586 с.

22. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.

23. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. Центральное бюро научно-технической информации. М.: 1986. 123 с.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

24. Шахуняц Г.М. К вопросу выбора рациональных методов расчета склонов. – В сб.: Оползни и борьба с ними: Тр. /Сев.-Кавказ. семинара. – Ставрополь, 1964.

25. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). Москва, 1986.

26. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Проектування основ і фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах». 053-П17, Рівне, 2013.

27. ДБН В.2.1-10-2009. «Основи та фундаменти споруд».

28. Звіт з надання науково-дослідних послуг по обґрунтуванню умов формування підземних вод на території ж/м «Тополь-2», м. Дніпропетровськ. Дніпропетровськ, 2012. 95с

29. Отчет по гидрогеологическим исследованиям на территории жил-массивов Тополь – 2,3 / Данилов А.П., – Южукргеология. – 1998. – 114 с. (фон-довая)

30. Отчет по оценке эффективности проектируемых мероприятий по защите территории ж/м “Тополь-1” от подтопления / Белокопытова Н.А., – ДО УкрГИМР. – 1997. – 110 с

31. Висновок щодо причин, наслідків і рекомендацій з усунення аварійного стану будівлі гуртожитку №2 НТУ «Дніпровська політехніка», проспект Дмитра Яворницького, 17 (станом на 20.10.2019 р.) / І.О. Садовенко, Н.І. Деревягіна// НТУ «Дніпровська політехніка». 14 с.

32. Книга 1. Звіт про інженерно-геологічні та геофізичні вишукування для надання висновків про геологічні процеси, що відбуваються на прилеглий території до будівлі гуртожитку №2 Національного університету «Дніпровська політехніка» (проспект Дмитра Яворницького,17) Книга 1 - інженерно-геологічні вишукування (наданий «ДніпроДІНТР», Д/Ф ДП «УкрНДІНТВ», м. Дніпро).

Книга 2. Звіт про інженерно-геологічні та геофізичні вишукування для надання висновків про геологічні процеси, що відбуваються на прилеглий тери-

торії до будівлі гуртожитку №2 Національного університету «Дніпровська політехніка» (проспект Дмитра Яворницького,17) Книга 2 – геофізичні дослідження (професор Довбніч М.М.)

33. Звіт «Інженерно-технічне обстеження зони взаємного впливу метрополітену (що будується) та прилеглих будівель в районі перехрестя просп. Дмитра Яворницького та просп. Гагаріна м. Дніпро» / Ю.О. Кірічек та ін. // Інститут експертизи, проектування та вишукувань ДВНЗ «ПДАБА». – Дніпро, 2019. 230 с.

34. Динаміка нормативних та фактичних втрат води підприємствами житлово-комунального господарства України за 2007 - 2011 р.р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1557-04>

35. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану»

36. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення; ДБН В.2.1-10:2018. – Введ. на зміну ДБН В.2.1-10-2009; чинні від 2019-01-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. – 36 с. – (Державні будівельні норми України).

37. І.О. Садовенко, М.В. Фоцій, Г.І. Рудько та ін. Сучасний техногенез та інженерне освоєння льосових масивів / За ред. І.О. Садовенка. - Київ - Чернівці: Букрек, 2019. - 272 с.