

ОГЛЯД

УДК 624.131:551.435.6(477-25)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.111.16>

Тетяна КРІЛЬ, канд. геол. наук, ст. дослідник
ORCID ID: 0000-0002-4324-9231
e-mail: kotkotmag@gmail.com
Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Антон СТРЕЛЬЦОВ, асп.
ORCID ID: 0009-0008-5394-8731
e-mail: streltsov.kiev.ua@gmail.com
Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

**ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДНІПРОВСЬКИХ СХИЛІВ
ЦЕНТРАЛЬНОГО АРЕАЛУ КИЄВА:
РЕТРОСПЕКТИВА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ**

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. Оленою ІВАНІК)

Вступ. Представлено результати аналізу інженерно-геологічних умов дніпровських схилів у межах центрального історичного ареалу міста Києва. Основною метою дослідження є виявлення природних та антропогенних чинників, що впливають на розвиток зсувних процесів, а також формування сучасного уявлення про умови забезпечення стійкості природної системи досліджуваної території.

Методи. Для встановлення динаміки розвитку зсувних процесів на дніпровських схилах Києва використано ретроспективний аналіз зсувонебезпечних ділянок, зокрема фотофіксації сучасного стану схилу та порівнянням фотографій з архівних джерел. Аналіз інженерно-геологічних умов та чинників розвитку зсувних зрушень на схилах проводиться з використанням аналітичних, статистичних, картографічних методів. Для побудови картографічних моделей використано геоінформаційні системи (застосунки ArcGIS, Surfer). Інженерно-геологічні розрізи побудовано засобами AutoCAD.

Результати. Систематизовано періоди наукових досліджень зсувної небезпеки дніпровських схилів та робіт з їх укріплення, виділено п'ять ключових етапів досліджень, включаючи сучасні з часів незалежності України. На основі уявлень про чинники формування зсувних зрушень на території досліджень виділено три ділянки, дано їх інженерно-геологічну характеристику, виділено ділянки з найвищим рівнем зсувонебезпечності за величиною кута нахилу 15–25°, які займають 25–34 % по площі залежно від ділянки схилу (Давнього Києва, Центральної, Залавської). Встановлено, що найбільший вплив на зниження стійкості системи схилів мають такі чинники: водонасичення ґрунтів (атмосферними опадами, витоками з мереж водогону), привантаження схилів у процесі забудови, інженерні втручання без урахування інженерно-геологічних особливостей та динамічні навантаження (транспорт, будівельні роботи). Проаналізовано сукупний вплив зазначених чинників і систематизовано наслідки їх взаємодії, що призводять до втрати стійкого стану схилу.

Висновки. На основі результатів сформульовано напрямки концептуальних засад системного підходу до забезпечення стійкості дніпровських схилів, що передбачають узгоджене застосування інженерно-геологічного моніторингу, актуалізації інженерно-геологічного районування дніпровського схилу та ранжування за рівнем ризиків зсувної небезпеки, опрацювання принципів раціонального містобудівного планування на схилах та оптимізації протизсувних заходів з обов'язковим урахуванням історико-культурної цінності досліджуваної території.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, дніпровські схили, зсуви, чинники зсувної небезпеки, історичні ареали.

Вступ

Центральний історичний ареал м. Києва відіграє визначальну роль в історико-культурному сенсі розвитку України та має домінантне положення в ландшафті міста. Ця територія (між Дніпром і його правою притокою р. Либідь) містить об'єкти культурної та природної спадщини і пов'язані з ними розташування та форму забудови, які походять з попередніх періодів розвитку. Ареал становить на сьогодні трохи більше 5 % території міста і входить майже повністю в Печерській і частково в Шевченківський, Подільський, Солом'янський та Голосіївський адміністративні райони Києва (рис. 1).

У визначенні межі історичного центру вкладається територія, що в геоструктурному плані розташована на північно-східному схилі Українського щита, в геоморфологічному плані виходить на стик морено-зандрової рівнини і Київського лесового плато, що обмежуються схилами долин Дніпра і Либіді, їх притоками – річками, балками, ярами (Барщевський, Купраш, & Швыдкий, 1989; Інститут геологічних наук НАН України, 2006).

У межах цієї території розташовані заповідники – об'єкти Всесвітньої культурної спадщини: Національний історико-культурний Києво-Печерський заповідник,

Державний історико-культурний заповідник "Софія Київська" з філіями – Кирилівським монастирем у межах садиби Кирилівської церкви та Андріївською церквою на Андріївському узвозі (UNESCO, 2024), Державний історико-культурний заповідник "Стародавній Київ", пам'ятник Магдебурзькому праву (Про Перелік пам'яток..., 2008; Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, 2024, 2025). У цій частині міста виділяються також зони природно-історичного ландшафту. Це, зокрема, територія правобережних схилів долини Дніпра, ландшафтні комплекси гір Старокиївської, Хоревіці (Замкової, Киселівки), Щекавиці, Андріївської, Михайлівської, Володимирської, Юрковиці, Липок, Печерська, Видубичів, залишки фортечних валів і ровів Подільських і Печерських фортечних укріплень (Історико-архітектурний опорний план м. Києва, 2015).

Об'єкти історико-культурного значення центрального історичного ареалу м. Києва перебувають у різних геоморфологічних і морфометричних умовах, найнебезпечнішими з яких є схили, зокрема правобережної частини р. Дніпро, де широкого розвитку набували ерозійно-гравітаційні процеси та періодично активізувались зсуви. Зсувні руйнування дніпровських схилів завжди

© Кріль Тетяна, Стрельцов Антон, 2025

становили серйозну проблему для м. Києва. Перші відомості про зсуви в районі м. Києва наводяться в літописах XI–XII ст. Наукове вивчення гравітаційних зрушень на схилах проводиться з XIX ст. У вивченні зсувів, розробці заходів для їх прогнозування, запобігання їм брали участь відомі геологи, гідрогеологи, гідротехніки та інженери-будівельники: М. Барбот-де-Марні, К. М. Феофілактів, О. П. Павлов, П. А. Тутковський, П. Я. Армашевський, С. Г. Коклик, Б. Л. Лічков, В. М. Чирвінський, Л. С. Лічков, Є. В. Опоков, В. І. Луцицький, Р. Р. Виржиківський, М. Ф. Погребов, А. Н. Козловська, М. В. Фремд, Л. Г. Каманін, І. М. Киричко, О. І. Спасокукоцький, А. М. Дранніков, Є. П. Ємельянова, Ф. В. Котлов, В. Ф. Краєв, М. Г. Демчишин, М. В. Кондратенко, Ю. М. Марчук, О. Г. Головань, О. С. Штекель та ін.

кий, С. Г. Коклик, Б. Л. Лічков, В. М. Чирвінський, Л. С. Лічков, Є. В. Опоков, В. І. Луцицький, Р. Р. Виржиківський, М. Ф. Погребов, А. Н. Козловська, М. В. Фремд, Л. Г. Каманін, І. М. Киричко, О. І. Спасокукоцький, А. М. Дранніков, Є. П. Ємельянова, Ф. В. Котлов, В. Ф. Краєв, М. Г. Демчишин, М. В. Кондратенко, Ю. М. Марчук, О. Г. Головань, О. С. Штекель та ін.

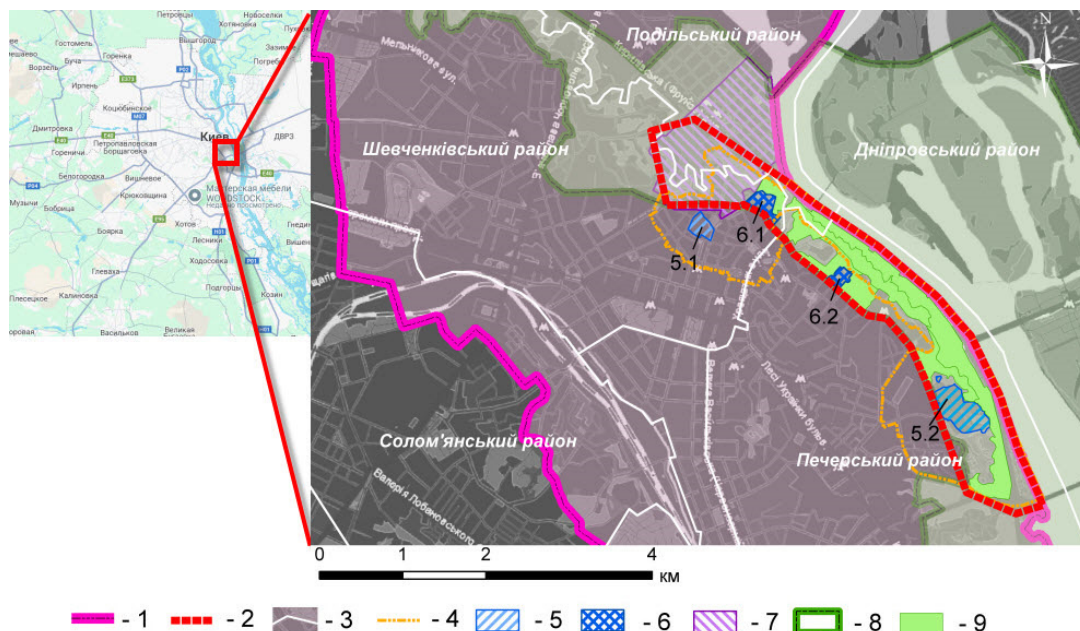


Рис. 1. Центральна історична частина дніпровських схилів м. Києва:

1 – Центральний історичний ареал; 2 – межі досліджень; 3 – райони міста; 4 – буферна зона об'єктів всесвітньої спадщини ЮНЕСКО згідно з планом (Історико-архітектурний опорний план м. Києва, 2015); 5 – об'єкти всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, де 5.1 – Національний історико-культурний заповідник "Софія Київська", 5.2 – Національний заповідник "Києво-Печерська лавра" (UNESCO, 2024); 6 – архітектурні заповідники Національного значення, де 6.1 – "Михайлівська гора", 6.2 – "Комплекс будинку Верховної Ради, Маріїнського палацу"; 7 – Державний історико-архітектурний заповідник "Стародавній Київ" (Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, 2024, 2025); 8 – Пам'ятка ландшафту, історії (Історичний ландшафт київських гір і долини р. Дніпро); 9 – пам'ятки природи та садово-паркового мистецтва місцевого значення (Історико-архітектурний опорний план м. Києва, 2015)

Впродовж XX ст. дніпровські схили зазнавали значних впливів антропогенної діяльності: застосування заходів інженерного укріплення – будівництво підпірних стін, дренажів мілкою і глибокою закладання для відведення ґрунтових та підземних вод, виведення окремих з них з експлуатації з часом, висадження дерев та чагарників уздовж схилу, будівництво житлових споруд, прокладання траси Святошинсько-Броварської лінії київського метрополітену, наприкінці XX – початку XXI ст. зведення висотних споруд на палях тощо. Все це мало як негативні наслідки, так і позитивні впливи.

На даному етапі розмаїття антропогенного втручання на схилі вимагає упорядкування, аналізу взаємодії різних типів інженерних об'єктів з геологічним середовищем та іншими інженерними об'єктами та спорудами, чітке визначення зсувонебезпечних меж на дніпровських схилах, розроблення систем моніторингу за станом території, вироблення рекомендацій щодо містобудівної діяльності в межах схилів.

Головною метою цієї роботи є виявлення чинників розвитку зсувних процесів і формування нових уявлень щодо умов забезпечення стійкості системи дніпровських схилів у межах центрального історичного ареалу м. Києва.

Для цього виконано такі завдання: збір та аналіз літературних опублікованих даних, інженерно-геологічних досліджень за сторічний період техногенної діяльності та

наукового прогресу; ретроспективний аналіз ділянок дніпровського схилу; вивчення інженерно-геологічних умов та природних і антропогенних чинників розвитку небезпечних зсувних процесів; аналіз ефективності наявних заходів з протизсувного захисту на обраній ділянці; встановлення закономірностей їх розвитку; вироблення системи поглядів на забезпечення стійкості системи дніпровських схилів на сучасному етапі.

Територія досліджень є частиною Центрального історичного ареалу Києва. Вона простягається вздовж правого берега р. Дніпро з північного заходу на південний схід та визначається в межах схилу від Наводницької до Глибочицької балки між урізом води у Дніпрі та вул. Лаврська, Мазепи, Грушевського, Трьохсвятительської, Великої Житомирської (див. рис. 1). Загальна середня протяжність становить 6,5 км, ширина 0,5–2,0 км, площа виділеної території 4,86 км².

Методи

У дослідженнях використано опубліковані та архівні матеріали науково-дослідних та проектних організацій, а саме Інститут геологічних наук НАН України, архіви Національного заповідника "Києво-Печерська лавра", Київський національний університет будівництва і архітектури, Інституту географії НАН України, ВАТ "КІЇВПРОЕКТ", КП "СУПР", ТОВ "ГЕОІНФОРМ", ТОВ "ОСНОВА-СОЛСИФ", ТОВ "Магістральбудпроект", ПМП "Фірма Онікс-СВ".

Ретроспективний аналіз ділянок дніпровського схилу виконано за допомогою фотофіксації сучасного стану схилу та порівнянням фотографій з архівних джерел.

Аналіз інженерно-геологічних умов та чинників розвитку зсувних зрушень на схилах проводився з використанням аналітичних, статистичних, картографічних методів. Для побудови картографічних моделей використано геоінформаційні системи (застосунки ArcGIS, Surfer). Інженерно-геологічні розрізи побудовано засобами автоматизованого проектування AutoCAD.

Результати

Систематизація періодів наукових досліджень зсувної небезпеки дніпровських схилів та робіт з їх укріплення.

Дослідження до XX ст.

Перші обґрунтовані геологічні матеріали щодо зсувів на території Києва знаходимо в роботі (Феофілактів, 1882), характерно, що вже тоді автор правильно інтерпретує зміщення ґрунтів на схилах центральної ділянки як поверхневі спливи в пониженнях рельєфу схилів (яри, "зсувні цирки"). Він визначав механізм зміщень першого ярусу київського типу через порушення стійкості, зумовлене утворенням порожнин унаслідок механічної суфозії в товщі ґрунтів вище бурих і строкатих глин. Зсуви другого ярусу, на його думку, не пов'язані із зміщеннями першого ярусу і зумовлені специфічними властивостями горизонту строкатих глин.

Інформація про зсуви, що сталися до 1866 р., вкрай неповна і уривчаста. Літописні дані свідчать, що вже в ранній період свого існування Київ, будучи розташованим на високому березі Дніпра, зазнавав руйнівної дії ерозійно-гравітаційних процесів, що спричинило потребу вжити заходів для захисту від руйнувань. Відомо, що в середині XI ст. на Печерській височині, яка собою "являла гористі лісові хащі", печери Печерського та Микільського Пустинного монастирів не раз заваливалися внаслідок ґрунтових обвалів (ІГН НАН України, 2012).

У Київському літопису, зокрема, є свідчення про будівництво в 1190 р. при князі Київському Рюрику Ростиславовичу підпірної мурованої стіни для захисту від дії річки Михайлівського монастиря на Видубичах. У зв'язку з цим М. С. Грушевський пише: "...факт прославлений риторичним панегириком, що кінчить Київський літопис. Але сей мур не оборонив монастиря – від його церкви лишився тільки західний бік, східний, видно, потягнула земля в ріку" (Грушевський, 1992). З цього факту можна судити, що течія Дніпра тоді безпосередньо омивала пагорб, на якому була побудована церква і він зазнавав бокової ерозії, внаслідок якої і виникали зсувні зміщення ґрунтів.

Подальші документовані свідчення про проблеми з руйнуванням схилів та споруд на схилах відслідковуються із середини XVI ст. Л. С. Лічков, зокрема, наводить дані з "Литовской Метрики" 1545 р., де написано: "Киев за держанье Фридриха Пронского: А почала гора Замковая расоватся в трех местах, а злеща на 1 месьтци от поля яма не мала вирита плиненьем песку с водою дождевою, а так потребует там гора тамованья без мешканья". Збереглися також свідчення про те, що 5-го квітня 1685 р. "службовий іноземець Гордон" рекомендував відвести воду, що текла під пагорком, на якому стояла Печерська церква, й вирівняти ями та вибоїни. До цього ж часу, за архівними матеріалами Києво-Печерської Лаври, маємо віднести здійснення перших заходів щодо укріплення печер, підвалин церков, будинку типографії та інших споруд, котрим загрожували зсуви. Сенатський наказ від 29. XII 1753 р. свідчить, що зсуви зачіпали державні інтереси і викликали необхідність проведення протизсувних заходів (Лічков, 1938). Руйнування схилів ще у

XVI–XVII ст. було переважно пов'язане з розвитком яружної ерозії.

Архівні матеріали Національного заповідника "Києво-Печерська Лавра" (Кагамлик, 2008) свідчать, що на його території зсуви виникали в різні пори року і за різних причин. Так, у 1758 р. після пострілу з гармати на честь імператриці Єлизавети відбулися зміщення основи Дальніх Печер і з'явилися тріщини підвалин. П. А. Тутковський навів дані про величезний зсув, який навесні 1864 р. після зливного дощу зрушив у Дніпро шосе поблизу водокачки (Тутковский, 1895), а також виділив глетчероподібний тип зсувів і описав їх морфологічні елементи.

У березні 1758 р. через зміщення біля Дальніх Печер завалилася дерев'яна підпирна стінка протяжністю понад 40 м, а решта нахилилася. У 1791 р. за пропозицією адміністрації Лаври інженер Малашевич склав проєкт укріплення схилів, який вперше передбачав, крім підпирних мурів, відведення поверхневих вод. Але ці заходи не змінили схил, і в 1798 р. постало питання про необхідність влаштування дренажних споруд і каптажу джерел підземних вод. Розроблений пізніше проєкт інженера Сухтелена передбачав спорудження двох ярусів цегляних штолень, з'єднаних поперечними галереями і двох підпорних стін з низової сторони штолень, паралельних їм. Вони збереглися до нашого часу і мають інвентарний номер 18 (Demchyshyn, & Kril, 2019).

Не припинялися зсуви і протягом XIX ст. Аномальні погодні умови, зливи 1829, 1839, 1844, 1846, 1848, 1849 та 1853 рр. стали причиною значних зсувів цього періоду, що змусило звернути увагу на укріплення схилів.

Проблеми забезпечення стійкості схилів та укосів, організації поверхневого та підземного стоків найшли досить вдаль рішення при дорожньому будівництві в XIX ст., зокрема при влаштуванні узвозів: Володимирського (40-ві роки) та Миколаївського (Дніпровського) (60-ті роки) (Оппоков, 1934; Лічков, 1938).

Впродовж 1849–1860 рр. було укріплено укоси і прокладено Дніпровський (кол. Микільський) узвіз від Військового собору (тепер це східний бік площі Слави, урочище Аскольдова могила) на Печерську до Ланцюгового мосту (зруйнований, місце біля мосту Метро). На укосах спуску до мосту для його укріплення було застосовано дренажі та цегляні штольні (система № 17), через які дренажні води стікали у збірні криниці і далі у Дніпро. Планування схилів, що дренуються, проведено у 1862 р.

Негативну роль у розвитку берегового схилу р. Дніпро відіграло перекриття його східного рукава – р. Чорторий у середині XIX ст. (Demchyshyn, & Kril, 2019; Лічков, 1928). Унаслідок цього підсилилась бічна ерозія правобережного схилу на його Центральній ділянці.

Період 1900–1930 рр.

На основі геолого-геоморфологічного аналізу (Лічков, 1928) виконано узагальнення матеріалів про генезис правобережних терас р. Дніпро в межах підніжжя недислокованого плато, наведено дані про зсуви.

Період інтенсивного розвитку зсувів не тільки у весняний час, але й влітку та восени припадає на 1905–1907 рр. Так, у 1905 р. деякі ділянки Набережного шосе завалило суцільними масами на висоту до 1,5 м; зсув на Аскольдовій могилі завалив Набережне шосе настільки, що лише на 15-й день його розчистили.

Після відносно спокійних восьми років зсуви знов активізувалися у 1915–1916 рр. У 1915 р. після рясних весняних дощів з'явилися зсуви на Аскольдовій могилі; один із зсувів на Набережному шосе (біля водокачки) був завширшки 4 м.

Після інформаційної перерви наступні дані свідчать про прояви зсувів починаючи з 1924 р., коли в районі Києво-Печерської лаври, на Набережно-Печерській вулиці, зсув зруйнував будинок, у якому загинуло двоє людей. Спуск до ланцюгового мосту через завали не функціонував, і для зупинення зсувів, що розвивалися, вирішено було розпочати ремонт шосе та дренажних споруд.

Сприятливі для розвитку зсувів метеорологічні умови восени 1932 р., взимку і навесні 1933 р. призвели до того, що зсуви на схилах правого берега Дніпра на ділянці від Поштової площі до Аскольдової могили спричинили завал шосе та водовідвідних споруд у багатьох місцях.

У 1933 р. при Гідрометеослужбі створюється зсувна станція і видається збірник "Изучение оползневых явлений и борьба с ними". А. М. Дранніков на основі даних великомасштабної зйомки 1934–1935 рр. вперше узагальнює фізико-механічні властивості ґрунтів території м. Києва. Згодом опубліковано роботу (Лічков, 1938) з найбільш повним зведенням про зсуви на території Києва від літописних часів до середини 30-х рр. XX ст. Наведені дані про зсуви та боротьбу з ними на цій території у подальшому було використано у Генеральній схемі

протизсувних заходів, опрацьованій під керівництвом А. М. Драннікова в 1945 р.

У 1934 р. зсуви в районі Набережного шосе не припинялися. У районі Києво-Печерської Лаври жінка, що випадково проходила, потонула у грязьовому потоці з верхньої частини Лаврського яру (зсувного цирку № 32).

Навесні 1936 р. зрушені ґрунти завалили Набережне шосе біля залізничної водоканали на 70 м. У 1939 р. відбувся спливи на схилі під Хрещатим парком (кол. Сад піонерів), який завалив ґрунтами двір і будівлю водопроводу.

На рис. 2 зафіксовано стан схилів у 30-ті роки минулого століття та їх теперішній стан. Ділянка від пам'ятника Магдебурзькому праву до ланцюгового мосту проходить через 4–5 зсувних цирків. Відсутність деревної рослинності, площинний змив формують умови до розвитку яружної ерозії. На фото (рис. 2б) можна прослідкувати теперішній вигляд цирків та мисів. Схил впорядковано рослинністю, пішохідними доріжками (Фестивальна алея, Паркова дорога), підпірними стінками, дренажними системами, облаштовано набережну з берегоукріплювальними спорудами, що сприяє стабілізації та рівноважному стану схилу.

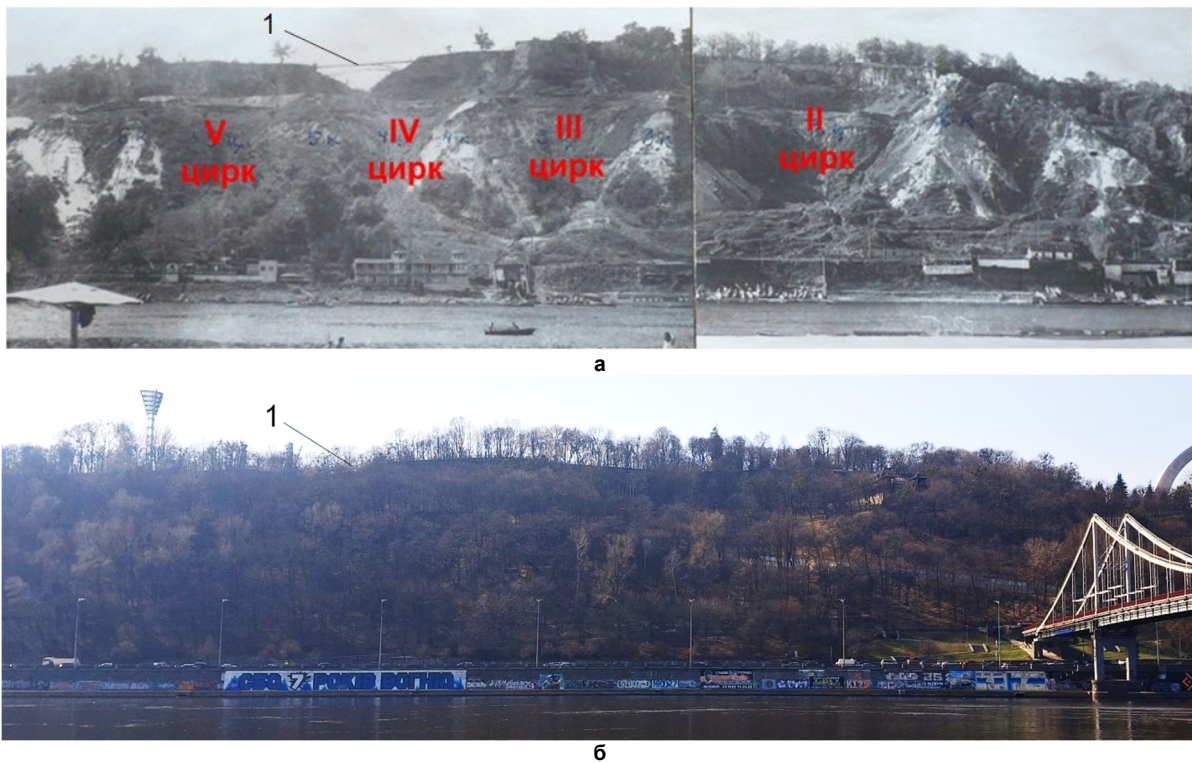


Рис. 2. Зсуви на дніпровських схилах у 30-ті роки XIX ст.:
а – (Киричко, 1957) та сучасний стан; б – фото Кріль Т. В., березень 2025 р.,
зліва направо – Парковий міст (1) до пам'ятника Магдебурзькому праву

Укріплення схилів 40–70 рр. минулого століття

Систематичні вивчення стану схилів і зсувних процесів розпочалися у 1944 р., існують значні матеріали робіт та режимних спостережень Київської інженерно-геологічної та гідрогеологічної партії (Кондратенко, & Марчук, 1965). На основі цих досліджень було опрацьовано Генеральні схеми протизсувних заходів на території міста в 1945, 1972, 1984, 2001 рр.

У 1941 і 1943 рр. спостерігалися незначні зміщення зсувних мас у районі Набережного шосе між залізничною водоканалою і Аскольдовою могилою з виносом ґрунтів на набережну. У 1944 р. через незадовільну експлуатацію

протизсувних споруд і пошкодження схилів під час воєнних дій відбулися зсуви на схилах між Поштовою площею і Лаврою.

Впродовж тривалого часу на ділянках прояву зсувних деформацій на схилах ведуться геодезичні та спеціальні інструментальні спостереження із застосуванням високоточних приладів, зокрема інклінометрів (О. Г. Григоренко, Я. В. Шевчук), виконуються проектно-розвідувальні роботи для окремих ділянок розвитку зсувів, наявні акти комісії зі встановлення причин руйнівних та аварійних проявів зсувів, провалів над підземними виробками.

Починаючи з 1945 р., інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови, палеогенові, неогенові, четвертинні відклади, рельєф дніпровських схилів як і території міста загалом вивчаються в процесі інженерно-геологічного обґрунтування промислового і цивільного будівництва, проведення заходів з інженерного захисту від зсувів (Дранников, 1946, 1948, Київпроект, Інжпроект, УкрДІІНТР та ін.), при інженерно-геологічних розвідуваннях Київського метрополітену (Метропроект), Київського та Канівського водосховищ та гідровузлів на Дніпрі (Гідропроект), під час середньо- і великомасштабної геологічної зйомки і завдячуючи спеціальним тематичним дослідженням.

У звіті (Подгайна, 1958) висвітлюються нові дані про геологічну будову та гідрогеологічні умови центральної зсувної ділянки, складено карти М 1 : 2000 сучасного стану зсувів за період робіт 1945–1956 рр.

Значні роботи із благоустрою та озеленення схилів Дніпра, прилеглих до центральної історичної частини міста, виконано в середині минулого століття. Розпочато роботи в 1936 р. Основні роботи виконано восени 1951 р., навесні 1952 р. методом народного будівництва. Посаджено понад 800 тис. дерев і кущів: дуби, клени (гостролистий, срібнолистий, ясенolistий), каштан звичайний, липа дрібнолиста, явір, ліщина, спірея, аморфа, калина, жасмин, бузина, а також тополя, акація, бересклет (Інститут геологічних наук НАН України, 2006).

Озеленення проводилось методом лісоукріплювальних густих насаджень деревно-кущової рослинності в кількості не менш як 8–10 тис. штук на 1 га. Всього на схилах Дніпра від Поштової площі до Видубичів, за даними Київзеленбуду, було висаджено 510 тис. дерев та 900 тис. кущів. Проведення цих заходів позитивно вплинуло на стан схилів долини р. Дніпро і його приток, сприяло зниженню активності ерозійно-гравітаційних процесів.

У 1960 р. проводяться додаткові дослідження з вивчення стану зсувного схилу в районі будівництва ст. м. "Дніпро", у 1966 р. – на ділянці Володимирська гірка – Андріївський узвіз у зв'язку з початком проектування Куренівсько-Червоноармійської (тепер Оболонсько-Теремківська) лінії метрополітену. Гравітаційні процеси на схилах в м. Києві досліджувались у рамках комплексної роботи Виробничого та науково-дослідного інституту з інженерних досліджень у будівництві Держбуду СРСР на чолі з Ф. В. Котловим (Котлов, Сипягина, Баршина, 1964).

Дослідження 80–90 рр.

В 1980 р. Київська комплексна гідрогеологічна та інженерно-геологічна партія Мінгео УРСР провела роботи із систематизації зсувів. У районі м. Києва і його приміської зони описано понад 450 зсувів, складено їхній кадастр з детальною характеристикою морфології та динаміки.

Багаторічні дослідження різних організацій дають змогу зробити висновки, що зсуви на правобережному схилі Дніпра в межах Києва, Стайок, Гребенів мають виключно техногенний характер (виведення рослинного покриву, закладення кар'єрів, підрізки схилів, порушення стоку, перевантаження та інші).

Загалом слід виходити з положення, що проблема зсувів є проблемою схилів, особливо, коли в результаті господарської діяльності на них порушені природні умови, що склалися (Демчишин, 1992).

В проєктних і проєктно-розвідувальних організаціях Києва накопичено значні обсяги інженерно-геологічної інформації стосовно проявів небезпечних геологічних процесів, яка потребує узагальнення та систематизації, оскільки досі неоднозначно трактуються несуча

спроможність основних літолого-генетичних комплексів ґрунтів, що виступають основами споруд, недостатньо узагальнений досвід проведення заходів з інженерного захисту територій, зокрема протизсувних заходів. Найбільш повні узагальнення інженерно-геологічних умов виконувалися при обґрунтуванні Генеральних планів міста (1972, 1984, 2001 рр.) та генеральних схем протизсувних заходів.

Багато ускладнень на схилах в м. Києві витворилось унаслідок провалів над підземними виробками і, зокрема, над штольневими дренажами. Аварійні ситуації в зв'язку із цим неодноразово виникали на території Києво-Печерської лаври та інших ділянках Дніпровських схилів.

Сучасні дослідження з часів незалежності України

З 1993 р. роботи з вивчення стану зсувних схилів проводила Комплексна гідрогеологічна партія ДРГП "Північгеологія" із залученням топографо-геодезичних і геофізичних служб.

Комплексна геофізична партія Київського державного геологічного підприємства "Геосервіс" у 1998–2002 рр. виконала електророзвідку методом мікроелектророзвідувань для оцінки зсувонебезпечності та стійкості підґрунтя важливих інженерних споруд та історико-культурних пам'яток на правобережному схилі р. Дніпро (Майко та ін., 2002). У роботі виділено 30 нестійких, зсувонебезпечних та 26 частково активізованих областей, для окремих ділянок побудовано схематичні карти критерію ймовірності зсувів.

В 2016 р. фахівці державної установи "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України" виконали наукову роботу з теми: "Визначення розвитку зсувних процесів у межах м. Києва в режимі моніторингу (з використанням матеріалів дистанційних зйомок)" (Київська міська державна адміністрація, 2016). Головною метою досліджень була розробка та впровадження ГІС для моніторингу розвитку і прогнозу активізації зсувних процесів у м. Києві на основі аналізу новітньої космічної інформації високого і надвисокого просторового розрізнення. Робота базувалась на основі аналізу супутникових даних високої та надвисокої просторової розрізненості з інтеграцією їх у програмні комплекси ГІС-аналізу та обробки. Головним методичним прийомом досліджень був геоморфологічний аналіз зсувних ділянок за ЦМР, визначення градації схилів за стрімкістю та відносними перевищеннями над базисом ерозії, поділ на елементарні басейни (Філіпович, Ліщенко, & Пазинич, 2019; Filipovych, Lischenko, & Marhes, 2023; Kril, & Shekhunova, 2019). Проведення структурного дешифрування знімків дало змогу виконати лінеamentний аналіз території, ідентифікувати прояви приповерхневих та глибинних розломів, їх флюїдоактивність та зв'язок з розвитком екзогенних процесів (Ліщенко, Пазинич, & Філіпович, 2017). Результатом проведених робіт став набір ГІС-шарів, на яких зафіксовано зсувонебезпечні ділянки та простежено їх динаміку розвитку.

Спеціальне управління протизсувних підземних робіт (СУППР) проводить постійні обстеження зсувонебезпечних ділянок, здійснює нагляд за станом протизсувних інженерних споруд. При обстеженнях було складено перелік активних зсувів Центральної історичної частини Києва станом на 2018 р. (Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, 2024). Серед них 18 припадають на територію досліджень, 8 з них знаходяться у безпосередній близькості або збігаються з обрисами цирків старих зсувів.

З часів незалежності України дослідження на схилах проводять не тільки державні установи, а й приватні організації при виконанні вишукувальних робіт. Для будівництва нових об'єктів, таких як житловий комплекс "Diamond Hill" (вул. І. Мазепи, 11-Б), конгресно-виставковий центр "Парковий" з автомобільною естакадою (Паркова дорога, 16-а), друга черга Національного музею Голодомору-геноциду (вул. Лаврська, 3), міжнародний діловий центр "Summit" (вул. Грушевського, 9-б), детальні інженерно-геологічні вишукування проводила приватна група компаній "Основа". Для проектування "скляного" пішохідного мосту між Володимирською гіркою та Аркою свободи українського народу вишукування виконала команда ПМП "Фірма "ОНІКС-СВ". Завдяки буровим роботам можна досліджувати геологічне середовище схилів на глибину 40–70 м, що дає змогу уточнити сучасні інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови. Незважаючи на те, що вони носять хаотичний, несистематизований, локальний характер, проте новітні інженерно-геологічні дані, такі як літолого-стратиграфічна будова, фізико-механічні характеристики ґрунтів, просторова мінливість властивостей ґрунтів, інформація про рівні та хімічний склад підземних водоносних горизонтів, отримані за сучасними технологіями буріння та

зондування ґрунтового масиву (колонкове буріння з продукцією та промивкою, застосування оббурюючих ґрунтоносів, SPT, CPT, DPT), сучасні лабораторні дослідження із застосуванням приладів тривісного стиснення, вказують на необхідність оновлення карт інженерно-геологічного районування, уточнення границь геологічних шарів на різномасштабних картах, розрізах тощо. Враховуючи сучасну активу містобудівну діяльність у межах схилих територій, постає загальнономіська проблема встановлення зсувонебезпечних меж на схилах із розробленням сучасних науково-методичних підходів до оцінки їх стійкості із використанням математико-аналітичного комплексного аналізу, реалізованого в сучасних програмних комплексах.

Узагальнення основних уявлень про чинники формування зсувних зрушень на дніпровських схилах

За особливостями геологічної будови, морфології долини р. Дніпро (наявності терас), станом забудови та розвитком ерозійно-гравітаційних процесів на схилах у межах Києва виділяють п'ять ділянок: Подільську, Давнього Києва, Центральну, Залаврську і Видубицьку (Інститут геологічних наук НАН України, 2006). У межах території дослідження ми розглядаємо ділянки Давнього Києва, Центральну та Залаврську (рис. 3).

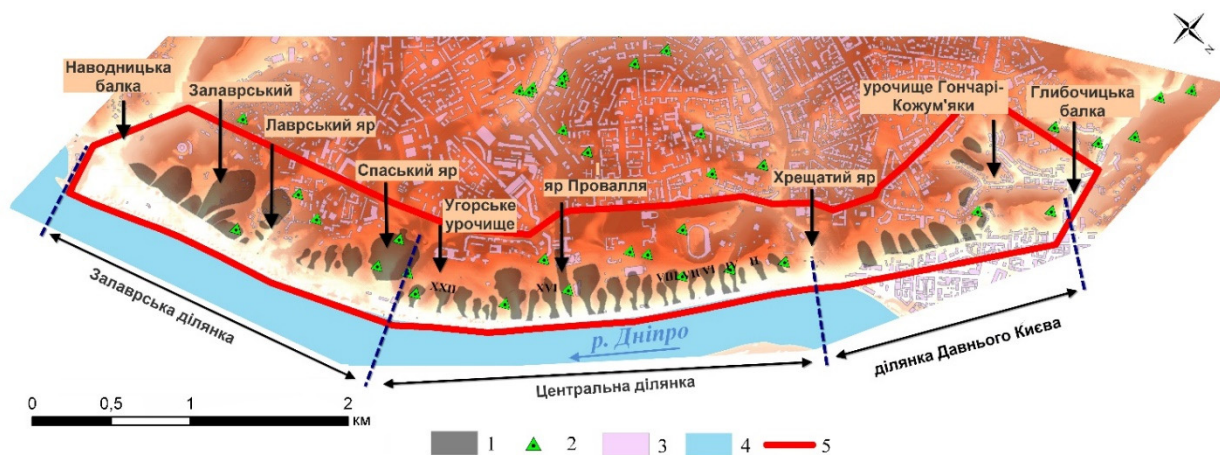


Рис. 3. Ділянки дніпровських схилів:

1 – зсувні цирки (нумерація згідно з класифікацією СУППР); 2 – зсувонебезпечні ділянки та активні зсуви, станом на 2018 р. (Київвласць, 2025); 3 – будівлі та споруди; 4 – акваторія; 5 – межі досліджень

Незважаючи на значні стабілізаційні заходи з укріплення схилів СУППР-ом періодично фіксується активізація зсувних зміщень. Відповідно до переліку зсувонебезпечних ділянок м. Києва (Міністерство культури та стратегічних комунікацій України, 2024) в межах території досліджень виділено 18 зсувонебезпечних ділянок та активних зсувів, серед яких 7 збігаються з абрисами зсувних цирків, сформованих за останні 100–200 років (рис. 3).

У таблиці 1 наведено площі території схилів за градацією кутів нахилу для виділених ділянок у межах дослідження. Території з кутами нахилу 15–25° займають 25–34% відповідно до площі кожної ділянки. При таких нахилах залежно від складу, структури та консистенції ґрунтових шарів схилу формуються умови для зародження та активізації зсувів, опливин (Демчишин, 1992; Wu, Guo, & Shao, 2023). Найпоширеніші кути нахилу змінюються від 5° до 15°, що за площею становить 39–48%, залежно від типу ділянки. Для територій з таким діапазоном кутів можлива активізація водно-ерозійних, гравітаційних процесів у піщано-глинистих ґрунтах внаслідок додаткового зволоження. Території з ухилом понад 35° мають незначне поширення, пов'язані із брівкою лесового плато.

Ділянка **Давнього Києва** охоплює територію протяжністю 1,8 км від Глибочицької балки до Хрещатого яру (Володимирський узвіз). Ділянка має унікальний рельєф, де розташовані мальовничі ландшафтні утворення – ерозійні останці: гори Замкова, Старокиївська, Уздихальниця, Дитинка, Хорева, Андріївська, Михайлівська, Володимирська.

У межах ділянки Давнього Києва абсолютні позначки поверхні дніпровського схилу змінюються від 104 м у підніжжя схилів до 185 м на брівці плато. Найкрутіші уступи мають висоту 22–37 м та крутість 38–47°. На території ділянки 11 зсувних цирків (рис. 3). З особливостей геологічної будови для території характерне чергування масивів з наявними та відсутніми зсувними терасами, які зазвичай приурочені до схилів північної та північно-східної експозиції. У деяких місцях спостерігається повна відсутність товщі озерно-алювіальних нижньо- та середньонеоплейстоценових глин (Ia P-II), які виступають водотривким шаром розділу між водоносними горизонтами у флювіогляціальних та озерно-алювіальних відкладах.

Таблиця 1

Градація кута нахилу денної поверхні (α) у різних ділянках дніпровського схилу

Назва (площа)	Площа території з відповідним кутом нахилу денної поверхні, %					
	$\alpha \leq 5$	$5 < \alpha \leq 15$	$15 < \alpha \leq 25$	$25 < \alpha \leq 35$	$35 < \alpha \leq 45$	$\alpha > 45$
Старокіївський (887 476 м ²)	18,0	39,6	25,7	13,2	3,1	0,4
Центральний (953 580 м ²)	10,6	40,2	33,9	13,2	1,9	0,2
Залавський (958 304 м ²)	16,7	48,2	25,7	7,5	1,8	0,1

На схилах Гончарного і Дігтярного ярів (урочище Гончарі-Кожум'яки) відмічались зливи в раніше зміщених лесових відкладах. Натеper низини урочища забудовані малоповерховими житловими та адміністративно-комерційними будівлями та спорудами.

Деформації та руйнування схилів на ділянці Давнього Києва зумовлені перезволоженням схилових відкладів атмосферними водами (зсув по вул. Андріївський спуск, західніше Андріївської гірки), водами з труб несправних мереж водогону. Підрізка схилів для облаштування паркомісць та заглиблення будівель у схили при забудові урочища Гончарі-Кожум'яки спричинило формування ослаблених зон, які проявлені у локальних блочних мікрозсувних процесах з утворенням тріщин заколу на брівках схилів.

Центральна ділянка включає територію завдовжки 2,5 км – від Хрещатого яру (Володимирський узвіз) до Спаського яру (північний бік парку Вічної Слави) в т. ч. Угорське урочище. Тут русло Дніпра підходить безпосередньо до підосви берегового схилу, де у 30–70-х роках ХХ ст. виконано його інженерний захист з облаштування підпірних стін та насипу, по якому було прокладено колії трамвая (до 2006 р.), Набережне шосе, облямоване

гранітом (арх. В. Осьмак). Висота схилу 89–109 м при середній його крутості 15–25°.

На верхній межі схилу простягається крутий, часто стрімчастий прибережний уступ заввишки 16–23 м, до підосви якого прилягає пологіста верхня зсувна тераса (ширина до 120–180 м). Далі вона плавно переходить у нижню частину схилу з висотою 40–60 м і крутістю до 35–45°. На поверхні цього уступу зосереджені 25 ярів-балок з циркоподібними розширеннями у своїх верхніх частинах – ерозійно-зсувні цирки. Ці цирки розділені між собою гребнями т. зв. зсувороздільними мисами. Верхня частина цирків врізана в поверхню тераси, причому окремі цирки прослідковуються майже до підосви схилу. Ширина насипу 40–50 м при висоті її поверхні 11 м над межею рівнем Дніпра. З боку річки насип захищений від підмиву берегоукріплювальною стіною.

Геологічна будова схилу представлена повним розрізом відкладів, характерним для лесового плато (рис. 4). Специфічний профіль схилу на Центральній ділянці являє собою результат тривалої дії ерозійно-гравітаційних процесів, що особливо активно проходили тут у зв'язку з вирубкою лісу, що існував до початку розбудови міста.

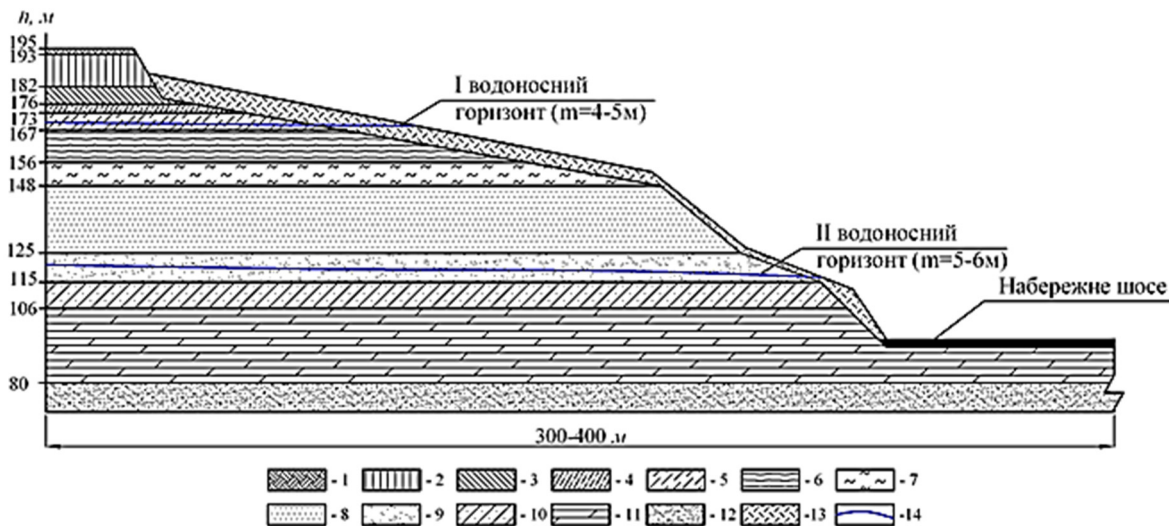


Рис. 4. Схематичний інженерно-геологічний розріз Центральної ділянки схилу правого берега Дніпра:

- 1 – техногенні відклади (t H); 2 – леси та лесоподібні суглинки (e, dv P_{III}-H); 3 – моренні відклади (піски і суглинки) (g P_{III}dn); 4 – флювіогляціальні піски (f, l P_Idn); 5 – суглинки прісноводні (la P_I); 6 – бурі глини (N₂cb); 7 – строкаті глини (N₁₋₂sg); 8 – піски полтавської світи (N₁np); 9 – піски харківської серії (P₃mz); 10 – наглинок (P₂kv); 11 – спонділові глини (P₂kv); 12 – піски буцацької світи (P₂bc); 13 – делювіально-зсувні породи (dz P_{III}-H); 14 – перший та другий водонасний горизонти

Нині зсувні процеси мають поодинокий характер і відбуваються в межах верхнього уступу, зокрема там, де він має найбільшу висоту і не укріплений або при аварійних вибоках мереж водогону. У таких місцях спостерігаються деформації краю лесового плато з утворенням тріщин "заколу" й осіданням ґрунту. Наприклад, на краю плато проти VIII цирку на майданчику біля музичної раковини приблизно з 1950 р. спостерігається дугоподібна

тріщина-закол завширшки до 0,3 м, що охоплює ділянку вздовж брівки 150 м і завширшки до 13 м.

Ерозійні та мікрозсувні процеси також спостерігаються вздовж Фестивальної алеї. Вона прокладена по нижньому краю зсувної тераси та брівки нижньої частини схилу. На рис. 5 видно деформації дорожнього покриття, підпірної стінки, вимив ґрунту з-під них, зрушення ґрунтових мас вниз по схилу.



Рис. 5. Сучасний стан Фестивальної алеї:

а – деформації дорожнього покриття та вигинання утримуючих конструкцій брівки алеї,
б – руйнування утримуючих конструкцій та зміщення по схилу (фото А. О. Стрельцова, травень 2025 р.)

На Центральній ділянці спостерігалися також суфозійні руйнування схилів, спричинені дренажуванням на схилі вод II водоносного горизонту. Процес суфозії значно активізувався в 40–50-ті рр. минулого століття вздовж трас багатьох підземних дренажних штольневих систем (ДШС), особливо на ділянках завалених дренажних колодязів. Це виявилось причиною виникнення провальних лійок по трасах штольневих систем й активізації зсувних переміщень схилових відкладів у межах т. зв. зсувних цирків: VI (провальні лійки в середній частині схилу на місці дренажних колодязів); VII (зсуви по поверхні неогенових строкатих глин і великі провальні лійки завглибшки 8 м, діаметром 10 м у місця завалених дренажних колодязів); IX (зпливи та опливини, лійки уздовж трас 12-й і 20-й ДШС); XVI (зсуви суфозійні руйнування схилів), а також II (зпливи та опливини в елювіально-делювіальних утвореннях, провальні воронки) і VIII (деформації просідання поверхні в Міському саду – протяжна тріщина біля музичної раковини, активізовані суфозією при чищенні і заміні 12 ДШС). Внаслідок цього формується ослаблена зона навколо дренажної виробки, яка і є причиною тривалих деформацій схилу.

Антропогенні впливи призвели до виникнення низки інших зсувних деформацій у межах Центральної ділянки. Привантаження схилів спричинило зсувні деформації будинку Національної філармонії України (північно-західний край Центральної ділянки), біля стадіону "Динамо" (VI цирк). Надходження в ґрунт води з несправних водонесучих комунікацій та внаслідок неупорядкованого поверхневого стоку атмосферних опадів є причиною повторних переміщень схилових відкладів та яружного делювію.

У січні 2024 р., після рясних дощів, в верхів'ї зсувного цирку XXIII неподалік Аскольдової могили відбувся зсув ґрунту за механізмом – зсув опливання (рис. 6). Причиною активізації зсувного процесу стало перезволоження ґрунтів атмосферними водами, що призвело до зниження їх міцнісних характеристик та збільшення об'ємної ваги. Разом з особливістю геоморфологічної та геологічної будови ділянки, а саме близького до поверхні залягання водотривких відкладів строкатих та бурих глин, нахил їх покрівлі та поширення вниз до підніжжя схилу, склалися умови для виходу ґрунтового масиву з стану рівноваги. Перезволожені ґрунтові маси майже досягли підніжжя схилу біля проїжджої частини Набережного шосе.



Рис. 6. Зсув-опливання неподалік Аскольдової могили, верхів'ї зсувного цирку № XXIII:

а – вид на схил з брівки схилу; б – вид з підніжжя схилу (фото А. Стрельцова, червень 2024 р.)

Залавська ділянка завдовжки 2 км виділяється на схилі Дніпра від Спаського яру (північний бік парку Вічної Слави) до Наводницької балки. До підніжжя берегового схилу тут прилягає відносно неширока (переважно 50–

100 м) смуга дніпровської заплавної тераси, на поверхні якої залягають сучасні техногенні відклади потужністю в середньому 5 м. Висота схилу над заплавою близько 80 м за середньої крутості 23–26°. Для Залавської ділянки

порівняно із Центральною характерна велика розчленованість схилу ерозійними врізами, тут розташовані три великих яри: Спаський, Лаврський і Залавський (Запечерний). На території ділянки виділяється 16 зсувних цирків.

У розрізі схилів ділянки здебільшого відсутні флювіогляціальні піски ($f, l P_{\text{IIdn}}$) і моренні суглинки ($g P_{\text{IIdn}}$). Виняток становлять більш високі ділянки, де присутній весь розріз, характерний для плато, крім першого горизонту прісноводного суглинка і верхнього шару бурої глини.

Відзначені особливості геологічної будови схилів визначили місцеві особливості формування зсувів. На ділянках, де лесові ґрунти залягають безпосередньо на неогенових строкатих глинах, відбуваються обвали лесових ґрунтів під впливом атмосферних опадів з наступним їх зміщенням по схилу у вигляді опливи́н чи зсувів-потоків.

Для ділянок схилів, що розкривають практично повний розріз четвертинних відкладів, зміщеннями охоплюються лесоподібні відклади ($e, dv P_{\text{III-H}}$), моренні суглинки ($g P_{\text{IIdn}}$) і бурі глини ($N_2\text{čb}$). Подібні зсуви спостерігалися в 1961 р. на схилах Запечерного яру, причому зсуву сприяли ясні затяжні дощі, що насичували схилі відклади з жовтня 1960 р. по січень 1961 р. (Інститут геологічних наук НАН України, 2006).

На ділянках, де схили розкривають відклади київської світи і мають вихід на поверхню води II водоносного горизонту з пісків харківської серії, формуються зміщення порід над наглинком (P_2kv). Переміщенням тут також сприяють ясні тривалі дощі.

В умовах незарегульованого поверхневого стоку і постійних виходів підземних вод на поверхню схилу формуються зсуви-опливини і спливи. Активізації зсувів сприяли локальні витoki поверхневих вод зі зруйнованих лотків, а також підпір підземних вод унаслідок кольматції ґрунтів у зоні впливу дренажних систем.

Чинники розвитку зсувних процесів на дніпровських схилах

Формування умов зсувної небезпеки і активізації зсувних процесів та явищ на дніпровських схилах Києва зумовлені комплексом чинників, дія яких варіюється від регіонального до об'єктового рівнів: сейсмічність і неотектонічні рухи, геологічна будова та гідрогеологічні умови, літологічні особливості та фізико-механічні властивості порід, активізація ерозійних процесів, антропогенних впливів, метеорологічних умов та аномальних синоптичних ситуацій тощо. Зазвичай активізація зсувів є результатом одночасного впливу кількох чинників. При цьому зміни відбуваються у значеннях параметрів, що визначають величини зрушуючих та утримуючих сил. Відповідно до умови граничного напруженого стану Кулона–Мора основними параметрами є зчеплення (c , кПа), кут внутрішнього тертя (φ , град.), а також важливими – об'ємна вага ґрунту (γ , кН/м³), геометрія схилу (висота h , довжина l , кут нахилу α), рівень ґрунтових вод, умови дренажу, які визначаються типом ґрунту (рис. 7).

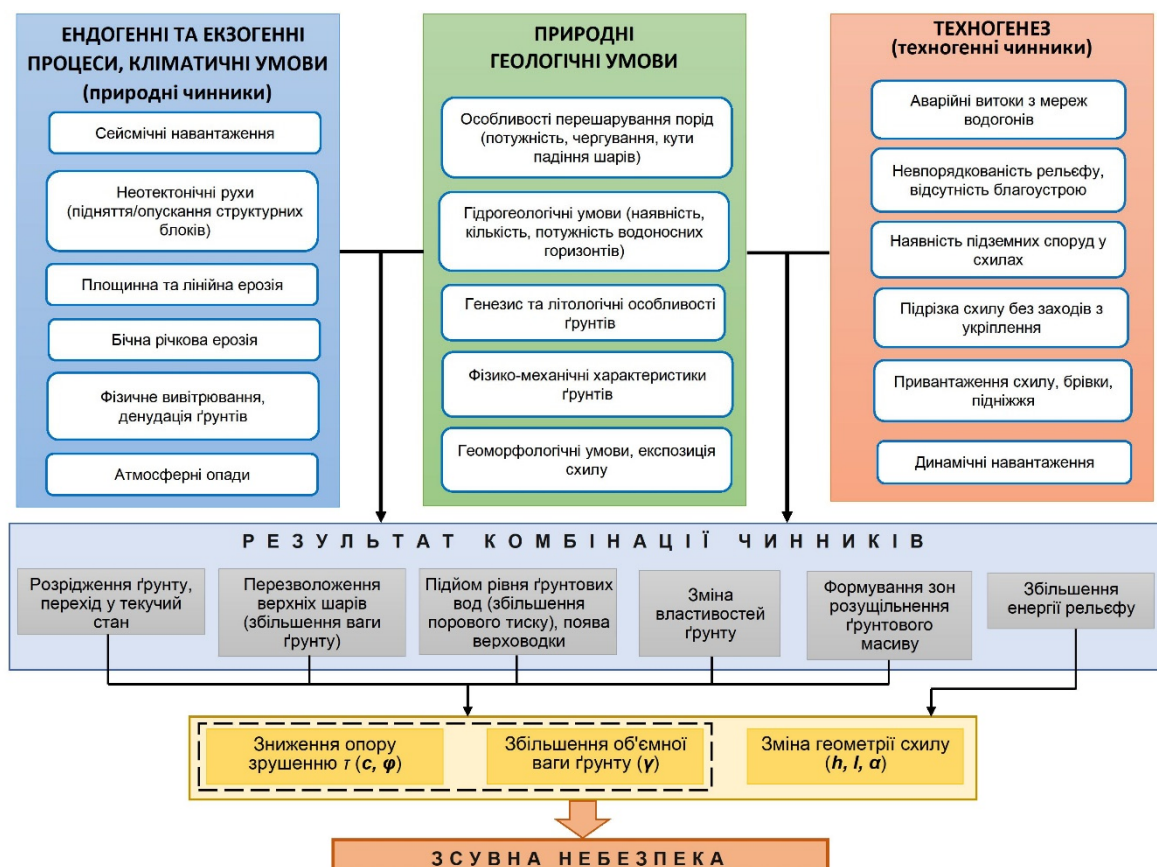


Рис. 7. Систематизація наслідків взаємодії різних чинників на формування зсувної небезпеки

Геологічна будова, що є результатом історичного розвитку території під впливом тектонічних рухів, підняття та опускання блоків кристалічного фундаменту, чергування трансгресійно-регресійних циклів, процесів

осадконакопичення, діагенезу, метаморфізму та катагенезу осадкових порід, пенепленізації поверхні ландшафту, зумовлює параметри, що визначають первинні умови стійкості схилів: структуру кристалічного

фундаменту, характер залягання осадових корінних та четвертинних порід, літолого-стратиграфічні особливості геологічного розрізу, фізичні та механічні властивості окремих інженерно-геологічних елементів тощо.

Неотектонічні рухи в новітній і сучасний час додатного та від'ємного напрямків формують рельєф значних територій, спричиняють у межах піднятих структурних блоків сильну ерозійну розчленованість рельєфу й утворення високих і крутих схилів. Центральна історична частина міста переважно розташована в межах Печерського горсту – найактивніша тектонічна структура досліджуваного району. Він на сучасному етапі зазнає підняття зі швидкістю 2 мм/рік. Горст обмежується низкою розломів, простягання яких збігається з напрямками основних елементів сучасної гідрографічної мережі. Для нього характерний найбільший розвиток зсувів на Дніпровських схилах, зокрема Центральної ділянки, де фіксуються найвищі позначки абсолютних висот лесового плато і найбільш високе положення стратиграфічних горизонтів корінного масиву.

Сейсмічні впливи залежно від віддаленості епіцентрів та величини магнітуди можуть призводити до зміни у структурі та текстурі гірської породи, її мінеральному складі та фізико-механічних властивостей. Це сприяє виведенню зі стану рівноваги зсувонебезпечних схилових ділянок та виникнення раптових зсувних процесів. Особливо небезпечні ділянки, де вірогідна площа скозання проходить по слабких, водонасичених ґрунтах III-ї категорії сейсмічності ($200 < V_s < 500$ м/с) (Мінрегіонбуд України, 2014). Сейсмічну активність території м. Києва визначає осередок у районі гір Вранча (Румунія); осередки на вигині Карпатської дуги; сейсмічні події на платформних структурах України. У роботі (Кутас, & Омельченко, 2008) наводиться аналіз прояву одного із сильних землетрусів, що стався 30 травня 1990 р. За середнього рівня бальності струшувань території міста 4 бали у деяких його районах їх інтенсивність була вища – у старій частині міста, включаючи ділянки поблизу р. Дніпро та на ділянках із горбистим рельєфом тощо.

Сучасні екзогенні процеси є основними рельєфоформуючими чинниками досліджуваної території, серед них виділено такі:

- бічна ерозія Дніпра, що визначила просторову приуроченість сучасних зсувів на правобережному схилі річки. Переважна кількість з них сформувалася на Центральній ділянці, де відсутні правобережні заплава і надзаплава тераси і де берег протягом голоцену розмивався річкою (Демчишин, & Лапинский, 1979; Демчишин, 1992). На сьогодні цей чинник не впливає на зсувотвірні процеси, оскільки дніпровські схили захищені від розмиву штучним насипом Набережного шосе із залізобетонною підпірною стіною;

- площинна та лінійна ерозія до 50-х рр. XX ст. була одним з основних чинників розчленування рельєфу, поглиблення ярів, розширення долин балок. У зв'язку із зарегулювання поверхневого стоку, засадженням схилів деревною та чагарниковою рослинністю розвиток цих процесів за останні 100 років втратив свої визначальні позиції у формуванні зсувної небезпеки схилів. Тільки в межах незаліснених схилів ділянки Давнього Києва зазначені процеси ще зберегли свою небезпечність, поглиблюючи ерозійні врізи на схилах, зокрема в лесоподібних ґрунтах;

- денудація корінних та делювіально-зсувних ґрунтів, а також фізичне вивітрювання глинистих ґрунтів (зазвичай неогенових червоно-бурих і строкатих глин) відбувається переважно в межах зсувороздільних місць, на ділянках, де рослинність відсутня. Це призводить до деградації поверхневого шару ґрунтів, їх фрагментації та осипання до низу

схилу. Цей процес має локальні прояви. Автори відзначили такі місця між зсувними цирками № XXIV–XXV, а також в межах будівельного майданчика Національного музею "Меморіал жертв Голодомору" у Спаському яру, де були відслонені відклади червоно-бурих глин.

Гідрогеологічні умови значною мірою впливають на формування зсувів. Наявність і рух підземних вод не тільки впливає на міцнісні та деформаційні властивості ґрунтів, а спричиняє гідростатичні та гідродинамічні тиски (Шутенко та ін., 2004). На території досліджень поширені три ґрунтових водоносних горизонти: у четвертинних еолово-делювіальних і озерно-льодовикових відкладах на плато, у четвертинних делювіальних ґрунтах на схилах і, повсюдно, в олігоцені (харківських) пісках (Колот та ін., 1984). З верховодкою (тимчасовим водоносним горизонтом) зв'язані осідання лесоподібних та техногенних відкладів, їх обвалів і подальших зсувів у вигляді зсувів-потоків і спливів.

Із врахуванням виходів на схил цих водоносних горизонтів зсувні зміщення ґрунтів по схилу є вірогідними на трьох рівнях:

- зсуви у четвертинних відкладах (надморенних лесах та в підлесових глинах і суглинках) з проходженням поверхні ковзання значною частиною в бурих або строкатих глинах;
- зсуви в делювіальних схилових відкладах;
- зміщення на контакт киевських і харківських відкладів палеогену.

Вплив генезису та літологічних особливостей ґрунтів на ерозійно-гравітаційні процеси руйнування схилів значною мірою видно з наведеного в табл. 2 розподілу зсувів за приуроченістю їх до основних стратиграфічних горизонтів (у відношенні до загальної кількості зсувів, що спостерігалися за 150 років у межах Києва). Найбільша кількість зсувних процесів спостерігається в межах лесоподібних утворень і глинистих порід (моренні та нижньочетвертинні суглинки й глини, а також неогенові та палеогенові глини), що становить 37 та 49 % відповідно від загальної кількості випадків.

Участь лесоподібних відкладів у схилових процесах пояснюється здатністю легкого руйнування їх структури за взаємодії з водою і високим ступенем розмивання поверхневими водами. Це призводить до нагромадження пухкого матеріалу і при його зволоженні поверхневими і підземними водами створює умови для розвитку опливин, спливів і зсувів-потоків.

Специфічні властивості глинистих відкладів товщ неогенових червоно-бурих і строкатих глин, а також палеогенових спонділових глин киевської світи зумовили широкий розвиток зсувних процесів, які відбуваються по них. Глини – ідеальне середовище для зсувів через свою структуру, низьку водопроникність і схильність до втрати міцності при зволоженні. Схильність до набухання призводить до зниження міцності порід (кута внутрішнього тертя та питомого зчеплення); низька водопроникність підвищує поровий тиск (u , кПа), тим самим знижується ефективний тиск (σ' , кПа); наявність консолідаційної тріщинуватості (системи тріщин) формує зони зменшення сил структурного зв'язку, збільшення фільтрації води.

Переважає вміст часток розміром 0,1–0,25 мм (Карпенко, Маринич, & Стрельцов, 2019) у гранулометричному складі пісків полтавської і харківської серій визначає їх суфозійну нестійкість, сприяючи гідродинамічному виносу часток ґрунту і наступному обваленню порід, що залягають над ними, утворенню суфозійних руйнувань схилів. Розвиток суфозійних процесів пов'язаний з освоєнням підземного простору (наявністю підземних дренажних систем, тунелів, сховищ тощо) та розвитком мульд осідання над ними.

Таблиця 2

Розподіл зсувів на території м. Києва за приуроченістю до основних стратиграфічних горизонтів

Генетичний та віковий індекс	Літологічні різновиди	Потужність комплексу, м	Водоносний горизонт	% від загальної кількості проявів
e, vd P _{III} -H	Лес і лесоподібні суглинки, супіски	0,1–15	Невитриманий (типу верховодка)	37
f, I P _{II} dn	Флювіогляціальні відклади (піски)	≤15	Невитриманий (типу верховодки)	1
g P _{II} dn	Морена (суглинки, глини)	0,1–12	Відсутній	7
f, I P _{II} dn	Підморенні піски	2,5–4	Витриманий	2
Ia P _{II}	Прісноводні суглинки	1,7–3	— —	5
N ₂ čb	Бурі глини	0,5–12	Спорадичний або відсутній	22
N _{1,2} sq	Строкаті глини	0,1–10	Відсутній	13
N ₁ np	Новопетрівські піски	24–28	Рідкі обводнені лінзи на прошарках глини	4
P ₃ br, P ₃ mz	Берекські і межигірські піски	2,5–3,5 12–15	Витриманий повноводний	7
P ₂ kv	Наглинок	6–7	Відсутній	1
P ₂ kv	Мергельні глини	≤20	— —	1

Фізико-механічні властивості ґрунтів визначають міцнісні характеристики та стійкість масиву ґрунту, що утворює схил. Зміни таких показників, як кут внутрішнього тертя (φ , град.), питоме зчеплення (c , кПа), щільність (γ , кН/м³) ґрунту при додаткових факторах перезволоження, статичних і динамічних навантажень призводять до зниження їх структурної міцності, характеру розвитку зсувних поверхонь (Черный, 1979; Abdelmonem, Abo Bakr, & Saad Eldin, 2023; Kril, & Streltsov, 2025; Wang et al., 2024).

Зонально-кліматичні умови, зокрема кількість опадів, температура, прояв аномальних метеорологічних умов, впливають в основному на розвиток зсувів-потоків, спливів, опливин. За даними стаціонарних спостережень за період з 1945 по 1980 р., зсувні переміщення за сезонами року розподілені таким чином: весна – близько 80 % від загальної кількості зсувів, літо – 5 %, осінь – 11 %, зима – близько 4 % (при сумарному обсязі породи, що змістилася, 1,2; 0,13; 0,06 і 0,008 млн т³ відповідно) (Інститут геологічних наук НАН України, 2006). Такий розподіл зсувів зв'язаний переважно з інфільтрацією атмосферних опадів, тільки 10 % від загальної кількості яких надходить на підживлення водоносних горизонтів. Сніготанення і ясне випадання дощів призводять до активізації старих і утворенню нових зсувів, особливо в місцях, де поверхневий стік не упорядкований. Л. С. Лічков, А. М. Дранников і В. І. Хазін, Є. П. Ємельянова у своїх роботах вказували на виразний зв'язок кількості зсувів у весняний період з кількістю опадів у попередні 1,5–2 років.

Зсуви ґрунту можуть статися безпосередньо під час сильних дощів або через кілька годин чи навіть днів після них через зниження міцнісних характеристик при перезволоженні (опір зрушенню) та збільшення ваги насиченого водою шару ґрунту. При цьому тривалість формування та реалізація зсуву залежить від кількох факторів: інтенсивності та тривалості опадів, стану ґрунтового масиву, морфометричних характеристик та попередніх погодних умов (Dahal, & Hasegawa, 2008; Guzzetti et al., 2007; Li et al., 2025).

Вирішальним у порушенні рівноваги на схилах Дніпра в останні 40–50 років стали *техногенні впливи*. Розвитку зсувних переміщень сприяють нищення деревної рослинності, підрізка і привантаження схилів, організація газонних покриттів з подальшим рясним поливом, додаткове зволоження порід унаслідок витоків з інженерних мереж водогонів. Наприклад, у 2017–2019 рр. при будівництві II черги Національного меморіального комплексу пам'яті жертв Голодомору в Україні будівельники стикнулися з проблемою дуже сильного притоку

ґрунтових вод та ґрунтових мас до комунікаційної шахти при її облаштуванні. Проведені за участі автора Стрельцова А. О. (Карпенко, Маринич, & Стрельцов, 2019) дослідження показали, що ґрунтовий водоносний горизонт (I-й від поверхні) має потужне додаткове джерело живлення витокami аварійних резервуарів водопостачання Печерського району. Через це водний потік виносив у виробку велику кількість ґрунтового матеріалу з-за стінок шахти. Тому для виключення негативного впливу на навколишню територію, запобігання утворенню провалів, зниженню водопритоку виконувалося нагнітання (інжектування) водно-цементного розчину навколо шахти.

Проте окремі приклади благоустрою (озеленення й упорядкування поверхневого стоку) та застосування заходів з інженерного захисту схилів (підпірні стінки, дренажні системи тощо), впродовж останніх 60–80 рр. дали змогу стабілізувати ерозійно-гравітаційні процеси на більшій частині дніпровських схилів.

Дискусія і висновки

Територія досліджень розташована у складних інженерно-геологічних умовах на схилах долини Дніпра й прилеглих до неї ділянок лесового плато. Щільна система балок та ярів (52 ярів завдовжки 6,5 км), особливості геологічних і гідрогеологічних умов, містобудівна діяльність призводили впродовж століть до розвитку низки небезпечних процесів на схилах, а саме: зсуви на різних геоморфологічних рівнях, просідання лесових відкладів, провали та суфозійний винос ґрунту навколо підземних споруд, підтоплення тощо. Значний внесок у стабілізацію зсувів дало озеленення методом народної будови у 50–60 рр. минулого століття. Натепер стабільність і збереження об'єктів на дніпровських схилах також забезпечується системою спеціальних утримуючих та водорегулюючих споруд інженерного захисту, на об'єктах всесвітньої спадщини (Києво-Печерська лавра) та відповідальних спорудах контролюється постійним моніторингом.

В результаті ретроспективного аналізу виявлено закономірності просторового і часового розвитку зсувів. Встановлено ділянки з найвищим рівнем зсувонебезпеки за величиною куту нахилу 15–25°, які займають 25–34 % по площі залежно від ділянки схилу (Давнього Києва, Центральної, Залавської). Найбільший відсоток зсувних процесів пов'язаний із глинистими ґрунтами червоно-бурої, строкатої товщ, а також спонділових глин київської світи.

Наявність активних зсувів та зсувонебезпечних ділянок за останні 10 років, зафіксованих СУППР-ом та

виявлених при польових обстеженнях, свідчить про обмежену ефективність наявних протизсувних заходів у довгостроковій перспективі. Їх експлуатаційна здатність істотно знижується за відсутності комплексного системного підходу до управління схиловими процесами, належного технічного обслуговування та дотримання відповідності проєктним характеристикам.

Встановлено, що найбільший вплив на зниження стійкості системи схилів мають такі чинники: водонасичення ґрунтів (атмосферними опадами, витокami з мереж водогону), привантаження схилів у процесі забудови, інженерні втручання без урахування інженерно-геологічних особливостей та динамічні навантаження (транспорт, будівельні роботи). Проаналізовано сукупний вплив зазначених чинників і систематизовано наслідки їх взаємодії, що призводять до втрати стійкого стану схилу.

Розташування в межах досліджуваної території об'єктів архітектурної, історико-археологічної та природної спадщини, об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО та їх буферних зон зумовлює необхідність перегляду методів контролю та прогнозування схилових процесів, управління ризиками небезпеки.

У роботі визначено напрямки концептуальних засад системного підходу до забезпечення стійкості дніпровських схилів, що передбачають узгоджене застосування інженерно-геологічного моніторингу, актуалізації інженерно-геологічного районування дніпровського схилу та ранжування за рівнем ризиків зсувної небезпеки на основі сучасних програмних математико-аналітичних комплексів, опрацювання принципів раціонального містобудівного планування на схилах та оптимізації протизсувних заходів з обов'язковим урахуванням історико-культурної цінності досліджуваної території.

Внесок авторів: Тетяна Кріль – концептуалізація, методологія, графічні побудови, написання (перегляд і редагування); Антон Стрельцов – методологія, польові дослідження, графічні побудови, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка).

Список використаних джерел

- Барщевский, Н. Е., Купраш, Р. П., & Швыдкий, Ю. Н. (1989). *Геоморфология и рельефообразующие отложения г. Киева*. Наукова думка.
- Грушевский, М. С. (1992). *История Украины-Руси* (Т. 2). Наукова думка.
- Демчишин, М. Г. (1992). *Современная динамика склонов на территории Украины*. Наукова думка.
- Демчишин, М. Г., & Анацкий, О. М. (2007). Особливості розвитку ерозійно-гравітаційних деформацій на ділянці схилу, прилеглої до парку Вічної слави в м. Київ. *Геологічний журнал*, 1, 133–139.
- Демчишин, М. Г., & Лапинский, В. П. (1979). Проявление экзогенных геологических процессов в рельефе Киевского плато на современном этапе. В *Инженерно-геологические свойства грунтов и характеристика геодинамических процессов* (с. 32–40). Наукова думка.
- ІГН НАН України. (М. Г. Демчишин, кер.). (2012). *Інженерно-геологічна та гідрогеологічна ситуація та інженерний захист на території Заповідника та його буферної зони*. Звіт про науково-дослідну роботу. Інститут геологічних наук НАН України. (М. Г. Демчишин, кер.). (2006). *Геологічне середовище території центральної історичної частини м. Києва (інженерно-геологічні аспекти)*. Науковий звіт.
- Історико-архітектурний опорний план м. Києва з визначенням зон охорони пам'яток та історичних ареалів. (2015). http://kyiv-landuse.com/sites/default/files/том%209.1%20Книга%202%20Поясн%20зап%20С%20Звіт%2019.01.16%20269с_0.pdf (Переглянуто 07 лютого 2025).
- Кагамлик, С. (Упоряд.). (2008). *Архів Києво-Печерської лаври та заповідника: Вип. 1. ЦДІАК України*. Ф. 128, Києво-Печерська лавра (Оп. 1 заг., Спр. 30, Пл. 14, Арк. 71). Національний Києво-Печерський історико-культурний заповідник. https://cdiak.archives.gov.ua/files/Arkhiv_Kyuevo-Pecherskoi_lavry_predmetno-tematichnyy_pokazhchyk.pdf
- Карпенко, Ю., Маринич, О., & Стрельцов, А. (2019). *Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування: Інженерно-геофізичні та інженерно-геологічні вишукування*. ТОВ "Основа-Солсиф".
- Київвлада. (б.д.). <http://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/ZSkJjYj.pdf> (Переглянуто 07 січня 2025).
- Київська міська державна адміністрація. (2016, 29 березня). *Захист території Києва від зсувів здійснюватимуть із урахуванням останніх наукових досліджень*. https://kyivcity.gov.ua/news/zakhist_teritoriy_kyieva_

[vid_zsuuv_zdiysnyuvatimut_iz_urakhuvanyam_ostannikh_naukovikh_doslid_zhen/](http://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/ZSkJjYj.pdf) (Переглянуто 09 лютого 2025).

Киричко, И. М. (1957). *Строительство дренажей мелкого заложения в оползневых районах (Обобщение и анализ опыта строительства дренажей на примерах Киевских оползней)* [Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, КИСИ].

Колот, Э. И., Кузишина, Л. П., Кутовой, В. И., Лаврик, В. Ф., Мараховская, И. И., Селин, Ю. И., Соловический, В. Н., & Шестопалова, Е. В. (1984). *Геологическая карта Украинской ССР масштаба 1:50 000. Киевский промышленный район*. (Объясн. зап. в 2 ч. Ч. 2). Киев.

Кондратенко, Н. В., & Марчук, Ю. М. (1965). *Отчет по работам Киевской оползневой станции за 1964 г.* (Т. 1). Инв. ном. 25253.

Котлов, Ф. В., Сипягина, И. К., & Баршина, И. А. (1964). *Отчет по теме 7: "Оценка и методы изучения инженерно-геологических процессов и явлений на территории городов и промышленных центров в связи с новым строительством"* (Т. 1). Инв. ном. 25278.

Кутас, В. В., & Омельченко, В. Д. (2008). Интенсивность сотрясений в разных районах Киева при карпатском землетрясении 30 мая 1990 г. *Геофизический журнал*, 30(3), 34–48.

Личков, Б. Л. (1928). К вопросу о террасах Днепра. *Вісник Українського відділу геологічного комітету*, II, 51–84.

Личков, Л. С. (1938). До питання про режим зсувних явищ в районі розташування м. Києва та його околиць. *Геологічний журнал*, V(4), 145–194.

Ліщенко, Л. П., Пазинич, Н. В., & Філіпович, В. Є. (2017). Супутниковий моніторинг розвитку зсувних процесів у Придніпровській зоні м. Київ. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 15, 11–22.

Майко, М. І., Гончарук, А. П., Кузьменко, Е. Д., & Шторгин, Л. В. (2002). *Проміжний звіт по оцінці зсувонебезпечності та стійкості підґрунтя важливих інженерних споруд та історико-культурних пам'яток на правобережному схилі р. Дніпро в м. Києві*. Звіт комплексної геофізичної партії за 1998–2002 рр.

Міністерство культури та стратегічних комунікацій України. (2024). *Перелік пам'яток культурної спадщини національного значення м. Києва, занесених до Державного реєстру нерухомих пам'яток України станом на 20.08.2024 р.* (Переглянуто 07 лютого 2025). https://mcsc.gov.ua/wp-content/uploads/2024/08/m-kyuiv_-stanom-na-20.08.2024.pdf

Міністерство культури та стратегічних комунікацій України. *Опорний план Києва*. (б.д.). <https://mcsc.gov.ua/announcements/opornyj-plan-kyieva> (Переглянуто 07 лютого 2025).

Мінрегіонбуд України. (2014). *Будівництво в сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014*. (Держ. будів. норми України). https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3038077155897509804/2023-10-10/426eb62f-0d54-4e90-813b-09b5fcd5d5df.pdf

Оппоков, С. (1934). Київські берегові осуви та боротьба з ними. *Геологічний журнал*, I(1), 40–60.

Перелік зсувонебезпечних ділянок м. Київ. (2018). (Відповідь Київської міської державної адміністрації на запит Інформаційно-аналітичного видання "КиївВлада" від 12.10.2018 № 0234). <http://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/ZSkJjYj.pdf> (Переглянуто 05 травня 2025).

Подгайная, Е. А. (1958). *Сводный отчет по работам Северо-Украинской государственной гидрогеологической станции за период 1945–1955 гг. (по Центральному участку г. Киева оползневая группа)* (Кн. I, кн. II). Инв. ном. 19253.

Про Перелік пам'яток культурної спадщини, що не підлягають приватизації Закон України від 23 вересня 2008 року № 574-VI. (2008). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/574-17#Text> (Переглянуто 07 лютого 2025).

Тутковский, П. А. (1895). Киевские оползни. *Юго-западный край*, 2, 49–56.

Феофилактов, К. М. (1882). Приднепровские оползни и обвалы в Киеве. *Записки Киевского общества естествоиспытателей*, VI(2).

Філіпович, В., Ліщенко, Л., & Пазинич, Н. (2019). Створення ГІС розвитку зсувних процесів в межах м. Києва в режимі моніторингу на основі використання багатозональних космічних даних високого просторового розрізнення. У *Картографічне моделювання та географічні інформаційні системи: зб. матеріалів доп. учасн. всеукр. наук.-практ. конф.* (с. 116–119).

Черный, Г. И. (1979). *Изменения физико-механических свойств грунтов при динамических нагрузках*. Наукова думка.

Шутенко, Л. Н., Лупан, Ю. Т., Клемяцкион, П. Л., Рудь, А. Г., Стижельчик, Г. Г., & Жиров, А. В. (2004). *Основания и фундаменты*. ХНАГХ.

Abdelmonem, H. N., Abo Bakr, M., & Saad Eldin, M. (2023). Influence of water content on the shear strength parameters for cohesive soil. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 18, 529–540. <https://doi.org/10.21608/aej.2023.310316>

Dahal, R. K., & Hasegawa, S. (2008). Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100(3–4), 429–443. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.01.014>

Demchyshyn, M. G., & Kril, T. V. (2019). Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk Lavra Reserve Territory. *Nauka i Innovacii*, 15(3), 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin.15.03.037>

Filipovych, V., Lischenko, L., & Marhes, S. (2023). Methodology for Assessing and Forecasting the Landslide Hazard on the Territory on the Dnieper Landslide Zone in the City on Kyiv Based on Satellite Data. *Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities*, 2023, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500007>

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe.

Meteorology and Atmospheric Physics, 98, 239–267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>

Kril, T. V., & Streltsov, A. O. (2025). Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv. *Geological Journal (Ukraine)*, 1(390), 44–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.322779>

Kril, T., & Shekhunova, S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>

Li, X., Guo, C., Chen, W., Wei, P., Jin, F., Yan, Y., & Liu, G. (2025). Deformation Mechanisms and Rainfall Lag Effects of Deep-Seated Ancient Landslides in High-Mountain Regions: A Case Study of the Zhongxinrong Landslide, Upper Jinsha River. *Remote Sensing*, 17(4), 687. <https://doi.org/10.3390/rs17040687>

UNESCO. (6.d.). Kyiv: Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings, Kyiv-Pechersk Lavra. Retrieved May 5, 2024, from <https://whc.unesco.org/en/list/527/maps/>

Wang, C., Yang, W., Zhang, N., Wang, S., Ma, C., Wang, M., & Zhang, Z. (2024). Effect of Moisture Content and Wet–Dry Cycles on the Strength Properties of Unsaturated Clayey Sand. *Buildings*, 14(5), 1375. <https://doi.org/10.3390/buildings14051375>

Wu, W., Guo, S., & Shao, Z. (2023). Landslide risk evaluation and its causative factors in typical mountain environment of China: a case study of Yunfu City. *Ecological Indicators*, 154, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110821>

References

Abdelmonem, H. H., Abo Bakr, M., & Saad Eldin, M. (2023). Influence of water content on the shear strength parameters for cohesive soil. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 18, 529–540. <https://doi.org/10.21608/aej.2023.310316>

Barschevskiy, N. E., Kuprash, R. P., & Shvydkyi, Yu. N. (1989). *Geomorphology and relief-forming deposits of Kyiv*. Naukova Dumka [in Russian].

Chernyi, H. I. (1979). *Changes in physical and mechanical properties of soils under dynamic loads*. Naukova Dumka [in Russian].

Dahal, R. K., & Hasegawa, S. (2008). Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100(3–4), 429–443. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.01.014>

Demchyshyn, M. G. (1992). *Modern slope dynamics in the territory of Ukraine*. Naukova Dumka [in Russian].

Demchyshyn, M. G., & Anatskiy, O. M. (2007). Peculiarities of the development of erosional-gravitational deformations on the slope near the Park of Eternal Glory in Kyiv. *Geological Journal*, 1, 133–139 [in Ukrainian].

Demchyshyn, M. G., & Kril, T. V. (2019). Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk Lavra Reserve Territory. *Nauka i Innovacii*, 15(3), 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>

Demchyshyn, M. G., & Lapinskyi, V. P. (1979). Manifestations of exogenous geological processes in the relief of the Kyiv plateau at the present stage. In *Engineering-geological properties of soils and characteristics of geodynamic processes* (pp. 32–40). Naukova Dumka [in Russian].

Feofilaktov, K. M. (1882). Dnipro landslides and collapses in Kyiv. *Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, 6(2) [in Russian].

Filipovych, V., Lishchenko, L., & Marhes, S. (2023). Methodology for Assessing and Forecasting the Landslide Hazard on the Territory on the Dnieper Landslide Zone in the City on Kyiv Based on Satellite Data. In *Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities* (Vol. 2023, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500007>

Filipovych, V., Lishchenko, L., & Pazynych, N. (2019). Creation of a GIS for monitoring landslide development in Kyiv based on high-resolution multispectral satellite data. In *Cartographic Modeling and Geographic Information Systems: Collection of Conference Papers of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 116–119) [in Ukrainian].

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorological and Atmospheric Physics*, 98, 239–267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>

Historical and architectural master plan of Kyiv with identification of monument protection zones and historical areas. (2015). http://kyiv-landuse.com/sites/default/files/том%209.1%20Книга%202%20По-ясн%20зан%2C%203в%2019.01.16%20269c_0.pdf (Retrieved February 07, 2025) [in Ukrainian].

Hrushevskiy, M. S. (1992). *History of Ukraine-Rus* (Vol. 2). Naukova Dumka [in Ukrainian].

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. (M. H. Demchyshyn, Project leader). (2006). *The geological environment of the central historical part of Kyiv (engineering-geological aspects)*. Scientific report [in Ukrainian].

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine. (M. H. Demchyshyn, Project leader). (2012). *Engineering-geological and hydrogeological situation and engineering protection of the territory of the Reserve and its buffer zone*. Research report [in Ukrainian].

Kagamlyk, S. R. (Ed.). (2008). *Archives of the Kyiv-Pechersk Lavra and Reserve: Issue 1. Central Archive of the Ukrainian Historical and Cultural Heritage*. Fund 128, Kyiv-Pechersk Lavra (General Inventory 1, Case 30,

Sheet 14, Folio 71). National Kyiv-Pechersk Historical and Cultural Reserve. https://cdiak.archives.gov.ua/files/Arkhiv_Kyvevo-Pecherskoi_lavry_predmetno-tematychnyy_pokazhchyk.pdf [in Ukrainian].

Karpenko, Yu., Marynych, O., & Streltsov, A. (2019). *Technical report on engineering-geological surveys: Engineering-geophysical and engineering-geological investigations*. LLC "Osnova-Solsif" [in Ukrainian].

Kolot, E. I., Kuzishina, L. P., Kutovyi, V. I., Lavryk, V. F., Marakhovska, I. I., Selin, Yu. I., Solovytskyi, V. N., & Shestopalova, Ye. V. (1984). *Geological map of the Ukrainian SSR at a scale of 1:50,000*. Kyiv Industrial District. (Explanatory note in 2 parts. Part 2). Kyiv [in Russian].

Kondratenko, N. V., & Marchuk, Yu. M. (1965). *Report on the work of the Kyiv Landslide Station for 1964* (Vol. 1). Inventory No. 25253 [in Russian].

Kotlov, F. V., Sipyahina, I. K., & Barshyna, I. A. (1964). *Report on Topic 7: "Assessment and methods of studying engineering-geological processes and phenomena in cities and industrial centers in connection with new construction"* (Vol. 1). Inventory No. 25278 [in Russian].

Kril, T. V., & Streltsov, A. O. (2025). Identification of landslide hazard boundaries of the Dnipro slope near Mykilska Brama, Kyiv. *Geological Journal (Ukraine)*, 1(390), 44–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.322779>

Kril, T., & Shekhunova, S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. In *13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>

Kutas, V. V., & Omelchenko, V. D. (2008). Intensity of ground shaking in different districts of Kyiv during the Carpathian earthquake on May 30, 1990. *Geophysical Journal*, 30(3), 34–48 [in Russian].

Kyiv City State Administration. (2016). *Protection of Kyiv's territories from landslides will be carried out considering the latest scientific research* [in Ukrainian]. https://kyivcity.gov.ua/news/zakhyst_teritoriy_kyieva_vid_zsuviv_zdysnyuvativmut_iz_urakhuvanyam_ostannikh_naukovikh_doslidzhen/ (Retrieved February 09, 2025).

KyivVlast. (n.d.). [in Ukrainian] <http://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/ZSkJyji.pdf> (Retrieved January 07, 2025).

Kyrychko, I. M. (1957). *Construction of shallow drainage systems in landslide-prone areas (Summary and analysis of drainage construction experience based on Kyiv landslides)* [Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, KISI] [in Russian].

Li, X., Guo, C., Chen, W., Wei, P., Jin, F., Yan, Y., & Liu, G. (2025). Deformation Mechanisms and Rainfall Lag Effects of Deep-Seated Ancient Landslides in High-Mountain Regions: A Case Study of the Zhongxinrong Landslide, Upper Jinsha River. *Remote Sensing*, 17(4), 687. <https://doi.org/10.3390/rs17040687>

Lichkov, L. S. (1938). On the regime of landslide phenomena in Kyiv and its outskirts. *Geological Journal*, 5(4), 145–194 [in Ukrainian].

Lishchenko, L. P., Pazynych, N. V., & Filipovych, V. Ye. (2017). Satellite monitoring of landslide processes in the Dnipro zone of Kyiv. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of Earth*, 15, 11–22 [in Ukrainian].

List of landslide-prone areas in Kyiv, response from the Kyiv City State Administration to the request of the information-analytical publication "KyivVlast" dated October 12, 2018, No. 0234. (2018) [in Ukrainian]. <http://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/ZSkJyji.pdf> (Retrieved May 05, 2025).

Lychkov, B. L. (1928). On the question of the Dnipro terraces. *Bulletin of the Ukrainian Division of the Geological Committee*, II, 51–84 [in Russian].

Maiko, M. I., Honcharuk, A. P., Kuzmenko, E. D., & Shtohryn, L. V. (2002). *Interim report on the assessment of landslide hazard and subsoil stability under important engineering structures and historical monuments on the right-bank slope of the Dnipro in Kyiv*. Report of the Comprehensive Geophysical Party for 1998–2002 [in Ukrainian].

Master Plan of Kyiv. Ministry of Culture and Information Policy of Ukraine. (n.d.). <https://mcsc.gov.ua/announcements/opornyj-plan-kyieva> (Retrieved January 07, 2025) [in Ukrainian].

Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2014). *Construction in seismic areas of Ukraine: DBN V.1.1-12:2014*. (State Building Codes of Ukraine). https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3038077155897509804/2023-10-10/426eb62f-0d54-4e90-813b-09b5fcd5d5df.pdf [in Ukrainian].

Ministry of Culture and Strategic Communications of Ukraine. (2024). *List of cultural heritage monuments of national importance in Kyiv, registered in the State Register of Immovable Monuments of Ukraine as of August 20, 2024*. (Retrieved February 07, 2025). https://mcsc.gov.ua/wp-content/uploads/2024/08/m.-kyyiv_-stanom-na-20.08.2024.pdf [in Ukrainian]

On the List of Cultural Heritage Monuments Not Subject to Privatization: Law of Ukraine dated September 23, 2008, No. 574-VI. (2008) [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/574-17#Text> (Retrieved February 07, 2025).

Oppokov, Ye. (1934). Kyiv landslides and the fight against them. *Geological Journal*, 1(1), 40–60 [in Ukrainian].

Podhainaya, E. A. (1958). *Summary report of the North Ukrainian State Hydrogeological Station for 1945–1955 (Central area of Kyiv, landslide group)* (Vol. I, II). Inventory No. 19253 [in Russian].

Shutenko, L. N., Lupan, Yu. T., Klem'yatsionok, P. L., Rud, A. H., Stizhelchuk, H. H., & Zhyrov, A. V. (2004). *Foundations and bases*. NUUEKh [in Russian].

Tutkovskiy, P. A. (1895). Kyiv landslides. *Southwestern Krai*, 2, 49–56 [in Russian].

UNESCO. (б.д.). *Kyiv: Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings, Kyiv-Pechersk Lavra*. Retrieved May 5, 2024. <https://whc.unesco.org/en/list/527/maps/>

Wang, C., Yang, W., Zhang, N., Wang, S., Ma, C., Wang, M., & Zhang, Z. (2024). Effect of Moisture Content and Wet-Dry Cycles on the Strength Properties of Unsaturated Clayey Sand. *Buildings*, 14(5), 1375. <https://doi.org/10.3390/buildings14051375>

Wu, W., Guo, S., & Shao, Z. (2023). Landslide risk evaluation and its causative factors in typical mountain environment of China: a case study of Yunfu City. *Ecological Indicators*, 154, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110821>

Отримано редакцією журналу / Received: 10.06.25
Прорецензовано / Revised: 07.08.25
Схвалено до друку / Accepted: 16.12.25

Tetiana KRIL, PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-4324-9231
e-mail: kotkotmag@gmail.com
Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Anton STRELTISOV, PhD Student
ORCID ID: 0009-0008-5394-8731
e-mail: streltsov.kiev.ua@gmail.com
Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ENGINEERING–GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE DNIPRO SLOPES IN THE CENTRAL AREA OF KYIV: A RESEARCH RETROSPECTIVE AND ANALYSIS OF LANDSLIDE HAZARD FACTORS

Background. This article presents the results of an analysis of the engineering-geological conditions of the Dnipro slopes within the central historical area of Kyiv. The main objective of the study is to identify natural and anthropogenic factors influencing the development of landslide processes, as well as to form a contemporary understanding of the conditions necessary to ensure the stability of the natural system in the study area.

Methods. To determine the dynamics of landslide development on the Dnipro slopes of Kyiv, a retrospective analysis of landslide-prone areas was conducted. This included photographic documentation of the current slope conditions and comparison with images from archival sources. The analysis of engineering-geological conditions and the factors driving landslide displacements was carried out using analytical, statistical, and cartographic methods. Geographic Information Systems (GIS), including ArcGIS and Surfer software, were used to construct cartographic models. Engineering-geological cross-sections were developed using AutoCAD tools.

Results. The periods of scientific research on landslide hazards of the Dnipro slopes and efforts to stabilize them have been systematized, identifying five key research stages, including those conducted in the modern era since Ukraine's independence. Based on the understanding of the factors contributing to landslide development within the study area, three zones were identified and their engineering-geological characteristics were described. Areas with the highest landslide hazard were determined by slope angles ranging from 15 to 25°, occupying between 25 % and 34 % of the surface area depending on the specific slope section (Old Kyiv, Central, Zalavskyi). It was established that the most significant factors contributing to the reduction of slope system stability are: soil water saturation (due to atmospheric precipitation and leakage from water supply networks), additional loading of slopes during urban development, engineering interventions without consideration of engineering-geological specifics, and dynamic loads (from transportation and construction activities). The cumulative impact of these factors was analyzed, and the consequences of their interaction were systematized, showing that they collectively lead to the destabilization of the slope system.

Conclusions. Based on the results, directions for the conceptual foundations of a systematic approach to ensuring the stability of the Dnipro slopes have been formulated. This approach involves the coordinated application of engineering-geological monitoring, the updating of engineering-geological zoning of the Dnipro slope, and the risk-based ranking of landslide hazards. It also includes the development of principles for rational urban planning on slopes and the optimization of anti-landslide measures, with mandatory consideration of the historical and cultural value of the study area.

Keywords: engineering-geological conditions, Dnipro slopes, landslides, landslide hazard factors, historical areas.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.