

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.2.328356>

УДК 624.1

E-mail: tatyana.mokrickaya@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-1152-0699>;
natali.derev@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-5584-8592>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
N.I. Dereviahina, natali.derev@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
29.12.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
14.04.2025

Accepted / Прийнята:
18.06.2025

Keywords: typification, geological
environment, risk, rock properties.

Ключові слова: типізація, геологічне
середовище, ризик, властивості
гірських порід.

Інженерно-геологічна типізація як основа оцінки та прогнозу ризиків освоєння підземного простору мегаполісів на прикладі міста Дніпро

Т.П. Мокрицька, Н.І. Дерев'ягіна*

НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Engineering-geological typification as a basis for assessment and forecast of risks in the development of underground space in cities using the example of the Dnipro city

T.P. Mokrytska, N.I. Dereviahina*

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

The development of cities is accompanied by an increase in the height and density of buildings, the development of underground space, which leads to the need to update the methods and technologies for engineering and geological surveys. Existing regulatory documents regulate the methods and technologies for studying near-surface geological formations, mainly of Quaternary age. The development of underground space leads to the need to study mainly pre-Quaternary sediments as a medium for the placement and construction of engineering structures for various purposes: from residential buildings to defense facilities. Information on the engineering and geological properties, structure, condition and variability of pre-Quaternary sediments is scarce. The cities concentrated in the Dnipro River Valley are characterized by general patterns of geological structure due to the history of the region's development. In this paper, on the example of Dnipro city, the information on some aspects of regional engineering and geological conditions is generalized on the basis of generalization of information on the conditions of occurrence and properties of the most common geological horizons that are the environment of geological risk. The stratigraphic division of sediments and their indexing are presented in accordance with the legends to the map schemes of the used reports. The goal is to establish the general features of typification of engineering and geological conditions for the development of long-term plans for the development of underground space in urban areas in similar or similar conditions. The objectives were to substantiate the factors of the engineering and geological conditions of the research object; to analyze the study of the composition and properties of certain horizons that are or may be subject to technogenic impact during the construction of multi-storey residential or other structures, the zone of influence of which is located within the Quaternary sediments; to determine the relationship between undesirable engineering and geological processes and phenomena and the composition and properties of geological formations based on known data. The solution to this problem is relevant and will contribute to the sustainable development of cities.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Мокрицька Т.П., Дерев'ягіна Н.І. Інженерно-геологічна типізація як основа оцінки та прогнозу ризиків освоєння підземного простору мегаполісів на прикладі міста Дніпро. *Геологічний журнал*. 2025. № 2 (391). С. 45–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.2.328356>

Citation: Mokrytska T.P., Dereviahina N.I. 2025. Engineering-geological typification as a basis for assessment and forecast of risks in the development of underground space in cities using the example of the Dnipro city. *Geologichnij zhurnal*, 2 (391): 45–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.2.328356>

Вступ

Інженерно-геологічне районування – науковий напрям інженерно-геологічних досліджень регіонів, теоретичні основи якого сформовані у роботах (Попов, 1951; Демчишин, 1982; Шнюков, 1993; Краев, Осипчук, 1995 та ін.). Класичним, апробованим часом, є природно-науковий підхід, в якому в якості парадигми виступає закон причинно-наслідкового зв'язку між об'єктом досліджень, властивостями об'єкта та його походженням, що призводить до виникнення типових умов та обставин при зовнішньому (техногенному) впливі за рахунок вторинних зв'язків і виникнення реакцій – інженерно-геологічних процесів у межах зони впливу.

Саме такий підхід реалізований в численних сучасних публікаціях, присвячених питанням інженерно-геологічного районування та прогнозу небезпек при освоєнні підземного простору на прикладі м. Ірпінь (Zhyrnov, Solomakha, 2023 a, b).

Складність та різноманіття процесів, що виникають як реакції геологічного простору на техногенний вплив у різних регіонах (за діючою схемою інженерно-геологічного районування), призвели до існування багатьох методик як інженерно-геологічного районування (відокремлення таксонів за принципом від певного до загального), так і типізації, коли на підставі аналізу регіональних умов і факторів компонентів геологічного середовища створюють моделі типових умов, яким відповідають певні таксони. Типізація структури, властивостей, стану геологічного середовища міст та інших складних геосистем виконується за результатами застосування якісних і кількісних підходів до прогнозу поведінки цих геосистем. Так, для типізації інженерно-геологічних умов у Малайзії був застосований модифікований метод експертних оцінок (Zaini et al., 2021). В інших країнах обговорюються технології застосування віртуальної реальності (Marinos et al., 2025). Метод ієрархічного комплексного індексу для отримання кількісної оцінки приємності використання геологічного простору (Antoniou et al., 2020) є однією з вдалих спроб отримати інтегральну оцінку складної системи. Продовжується пошук найкращого поєднання теоретичних досліджень та вирішення практичних завдань на прикладі створення єдиної інтегрованої системи класифікації шляхом об'єднання інженерно-геологічного та геотехнічного підходів (He et al., 2024).

Поширюється застосування методів математичного моделювання для вирішення різноманітних сучасних досліджень. Одна з перших спроб застосування статистичного моделювання для геологічних досліджень датується 1887 р. (Reyer, 1877). Пошук оптимальних методів математичного опису геологічного середовища як деякого приповерхневого обсягу, що становить практичний інтерес при будівництві й експлуатації інженерних споруд, є предметом досліджень з початку 60-х років ХХ ст.

Згодом змінилися не лише вимоги до фізичних обсягів геологічного середовища, вивчення яких становить інтерес для практичної (містобудівної, сільськогосподарської, гірничодобувної) діяльності, а й підходи до методів вивчення. Дослідники звертають увагу на обмеженість даних про геологічну будову, які можна використовувати при виконанні зонування територій (He et al., 2024), необхідність застосування статистичних методів (Galkin et al., 2018), вивчення зворотних зв'язків між компонентами геосистем із застосуванням методів теорії надійності та нейронних мереж (Li et al., 2020). Про необхідність використання ГІС-технологій говорять автори роботи (Xie et al., 2021). Метою інженерно-геологічного районування і типізації явно чи приховано є прогноз існуючих чи потенційних геологічних ризиків, під якими розуміємо ймовірність виникнення несприятливих наслідків у вигляді збитків, а саме економічного, соціального чи матеріального (Рудько та ін., 1997). Важливо встановлювати чутливість геологічного середовища до катастроф (Cheng et al., 2024). Проблеми вивчення та прогнозу геологічних ризиків стосовно зсувних явищ детально розглянуто у статті (Yuxiang Cheng et al., 2024). Основним результатом, на думку авторів, є узагальнена модель оцінки небезпеки геологічного ризику зсувних процесів, яка може прийматись у різних регіонах. У той же час автори у висновках вказують на необхідність вдосконалення теорії та практики оцінки геологічних ризиків, звертають увагу на необхідність розробки складних моделей прогнозу й управління ризиками. Рекомендовані методи оцінки ризику геологічної небезпеки на підставі застосування географічних інформаційних систем, методів машинного навчання. На думку авторів цієї статті, географічна інформаційна система дозволяє виконати оцінку регіоналізації ризику та створити картографічні моделі для візуалізації ризиків з урахуванням регіональних особливостей.

Менш поширені комплексний індексний метод, теорія мутацій, модель матерії-елемента, теорія фракталів. Кількісні моделі в основному включають статистичні моделі аналізу, заслуговують розгляду рекомендації щодо застосування теорії грубих множин, методу малої вибірки, який аналізує й обробляє неточну, непослідовну та неповну інформацію та знання. Моделі статистичного аналізу найбільш розроблені в інженерно-геологічних дослідженнях і застосовуються традиційно. Моделі машинного навчання (нейронні мережі та ін.) видаються нам найцікавішими (Shu, 2021) для опису просторового розподілу властивостей, зокрема для побудови моделей при розробці BIM (Building Information Model) окремих споруд і складніших систем. Для інженерно-геологічних даних загалом характерні вибірковість та неповнота інформації, що особливо проявляється при спробах вивчення зміни властивостей ґрунтів у часі в результаті техногенних впливів (Мокрицька, 2013; Yan Tao et al., 2020).

На території м. Дніпро відбувається інтенсивне освоєння підземного простору за рахунок будівництва сучасних багатоповерхових споруд, метрополітену. Глибина підземного простору, що є освоєним при будівництві метрополітену, коливається від 15 до 40 м. Це, на жаль, супроводжується виникненням аварійних станів окремих будівель та споруд (Садовенко та ін., 2023; Шашенко та ін., 2023), що підтверджує актуальність розробки. Нами виконано аналіз окремих компонентів інженерно-геологічних умов території одного з найбільших міст Наддніпрянщини, геологічне середовище якого протягом тривалого часу піддається техногенному впливу. Це, у свою чергу, призводить до суттєвого збільшення ризику ймовірності збитків від геологічних небезпек.

Мета дослідження – обґрунтування деяких аспектів типізації геологічного середовища для цілей освоєння геологічного середовища м. Дніпро.

Методика досліджень

Нами залучено результати геологічних та інженерно-геологічних досліджень з різних об'єктів за період 1994–2012 рр., виконаних на території м. Дніпро, а також деякі результати вивчення властивостей ґрунтів спеціалістами «Південукргеології» та інших організацій (Подгорнова и др., 1964; Берзенин, 1971; Шковыра, 1974; Арчакова, 1983;). Використані результати лабораторного вивчення властивостей дочетвертинних відкладів, проведених у 2021 р. Також задіяно резуль-

тати натурних спостережень, виконаних Н.І. Деревягіною у 2021–2022 рр. на території м. Дніпро. Обробку картографічних матеріалів виконано з використанням демоверсії програмного забезпечення «Surfer», статистичне моделювання – у програмному середовищі «Statistica». У відповідності до нормативних документів, що регламентують інженерно-геологічні дослідження, об'єктом досліджень повинні бути компоненти геологічного середовища – ґрунти, підземні та поверхневі води, а також процеси (Подгорнова и др., 1964; Мокрицька та ін., 2019).

Головними факторами складності інженерно-геологічних умов є структурно-тектонічні, геоморфологічні, гідрогеологічні умови об'єкта.

Після детального вивчення матеріалів (Подгорнова и др., 1964; Берзенин, 1971; Шковыра, 1974; Арчакова, 1983; Некряч, Манюк, 2004; Садовенко та ін., 2023) про умови залягання геологічних утворень дочетвертинного віку за отриманими даними було побудовано базу даних (Мокрицька та ін., 2019), яка налічує 283 свердловини, а також дані про їх місцезнаходження, порядковий номер свердловини, фактичний номер свердловини, стратиграфічні індекси, абсолютні відмітки, геологічний опис.

Об'єднана база даних про умови залягання лесових ґрунтів включає матеріали досліджень, виконаних підприємствами УкрГІІНТІЗ, Дніпрогіпродор, Дніпрогіпротранс і КП «Південукргеологія». Загальна кількість свердловин – 785, глибина змінюється від 15 до 56 м. Свердловини були винесені на карту фактичного матеріалу, залучені матеріали топографічних зйомок 1986 і 1995 рр. масштабу 1:25 000, а також ураховані космічні знімки (інтернет-ресурс програми Google Earth). Картографічні моделі потужності окремих горизонтів і товщі з просадковими властивостями були створені за результатами обробки численних матеріалів інженерно-геологічних досліджень (м. Дніпро, 1960–2007 рр.).

Результати досліджень

Стисла характеристика інженерно-геологічних умов м. Дніпро

У структурно-тектонічному відношенні Придніпровський регіон входить до складу зони зчленування Українського щита (УЩ) і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Середньопридніпровський мегаблок УЩ характеризується двоярусною геологічною будовою: складно дислокованим кристалічним фундаментом УЩ,

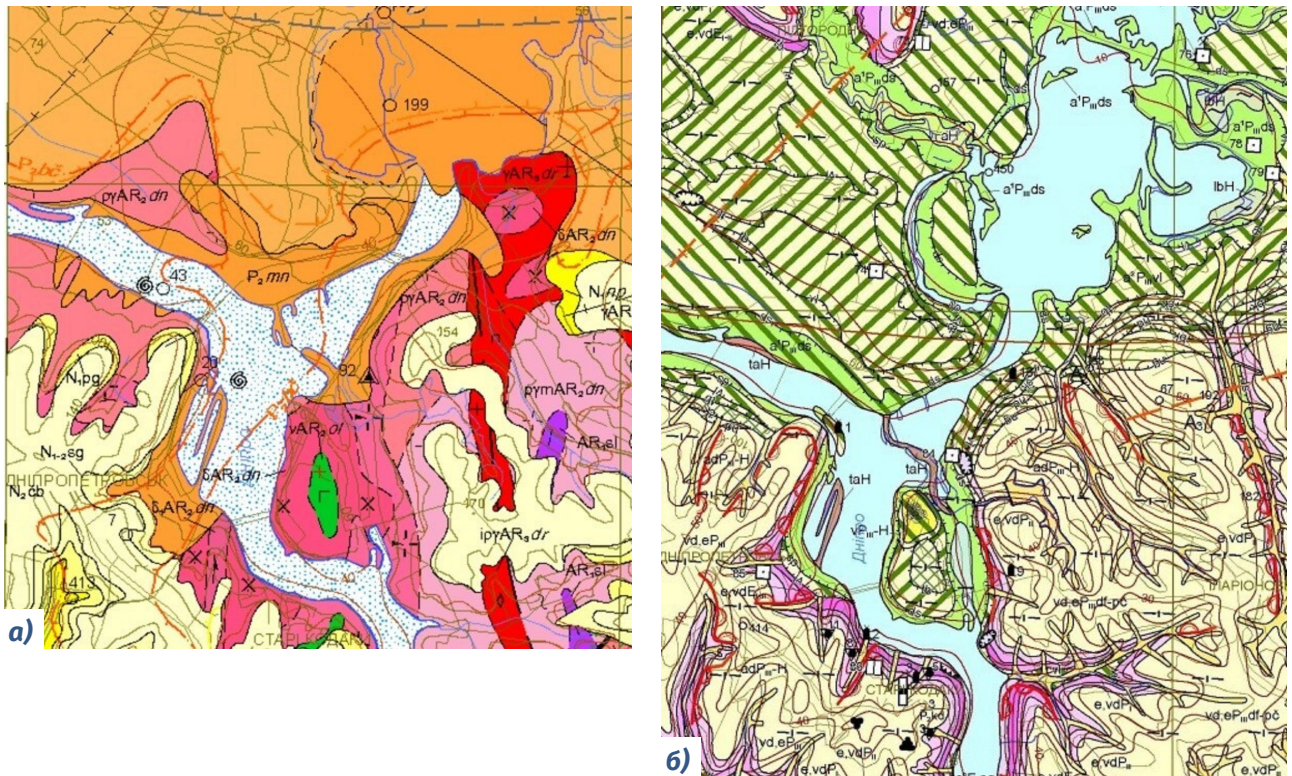


Рис. 1. Фрагменти геологічних карт території м. Дніпро: а) дочетвертинних та б) четвертинних відкладів м. Дніпро, за (Державна..., 2006)

Fig. 1. Fragments of geological maps of the Pre-Quaternary (a) and Quaternary (b) deposits in Dnipro city (State..., 2006)

у будові якого задіяні метаморфічні, ультра-метаморфічні й інтрузивні утворення архею та протерозою, а також фанерозойські утворення платформного чохла. За даними робіт (Манюк, 1997; Некряч, Манюк, 2004), за особливостями літолого-фаціального складу кайнозойських відкладів у межах Середньопридніпровського мегаблоку УЩ виділено Синельниківську структурно-фаціальну зону, а в межах ДДЗ – Новомосковсько-Павлоградську. Нижче стисло наведено відомі дані про умови залягання, потужності, особливості змін складу найбільш розповсюджених утворень.

На території м. Дніпро скельні утворення дочетвертинного віку представлені базавлуцькою товщею на півночі, на півдні поширені амфібол-біотитові піроксенвмісні плагіогнейси славгородської товщі (AR_{sl}). Осадовий чохол регіону складений переважно дисперсними породами палеозою, мезозою та кайнозою, але поширені у межах міста комплекси утворень палеогенової, неогенової та четвертинної систем (рис. 1).

Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю водоносних горизонтів четвертинних утворень – алювіальних, еолово-делювіаль-

них, елювіальних та елювіально-делювіальних відкладів, а також дочетвертинних – неогенових, палеогенових, тріщинуватої зони докембрійських кристалічних утворень.

За геоморфологічними умовами виділяють райони (Державна..., 2006): А.1 – вододільне лесове плато; А.2 – схили вододільного плато та сучасних ерозійних форм рельєфу; А.3 – терасові – високі тераси р. Дніпро.

Б.1 – вододільно-терасові.

Б.2 – прирічкові – низькі тераси р. Дніпро.

У межах м. Дніпро поширені такі екзогенні геологічні процеси: вивітрювання, водно-ерозійні процеси, зсувні процеси, еолові процеси.

Присутні потужні товщі специфічних ґрунтів з просадковими властивостями та суфозійно не стійкі, іноді пливунні властивості, притаманні четвертинним алювіальним утворенням.

Територія міста зазнає значного техногенного впливу, що супроводжується зміною стану та властивостей як компонентів геологічного середовища (ґрунтів, підземних і поверхневих вод, форм рельєфу), так і всієї системи геологічного простору в цілому.

Аналіз умов залягання та властивостей основних стратиграфо-генетичних дисперсних комплексів порід

У даній роботі представлені результати досліджень дисперсних дочетвертинних утворень, загальна потужність яких змінюється від 77 до 176 м. Розповсюджені вони, як і скельні ґрунти, практично на всій території міста та є потенційним середовищем розташування споруд різного призначення при освоєнні підземного простору.

За поширеністю на території міста та особливостями мінералогічного, хімічного, гранулометричного складу, закономірностями мінливості властивостей до горизонтів, які є важливими щодо впливу на конфігурацію зон впливу у дочетвертинних відкладах, віднесені теригенно-вуглисті відклади бучацької серії P_2bch^v , глауконіт-кварцові алеврити та піски обухівської світи ($-P2ob$), мандриківські верстви (P_2mn), кварцові піски новопетрівської світи (N_1np), піски та глини (N_1pg)

Таблиця 1. Особливості складу гірських порід як фактори розвитку негативного інженерно-геологічного явища

Table 1. The composition characteristics of the rock masses as the factors contributing to the development of negative engineering-geological phenomena

Стратиграфо-генетичний індекс утворень	Потужність, м	Гіпсометричні відмітки покрівлі, м	Особливості, що впливають на ймовірності розвитку негативних процесів внаслідок техногенного впливу			Середовище для розвитку негативного інженерно-геологічного явища
			Мінеральний склад	Гранулометричний склад	Включення	
P_2bch	25–56	+52,0	Каолінітові глини, гідрослюдисто-каолінітові та гідрослюдисті	Від погано сортованих пісків, гравелітів до вуглистих тонкодисперсних глин	Органічна речовина (2–4 %), кальцит (1–6 %), прошарки бурого вугілля	Зона нерівномірного стиснення, зсувні явища
P_2os	21–26	+32–54	Кварц-глауконітові і глауконіт-кварцові піски	Добре сортовані, відносно однорідні, дрібнозернисті	Глауконіт	Суфозія
P_2mn	18	+40–63	Глауконіт-кварцові і кварцові з домішкою глауконіту алеврити та піски	Детрит карбонатно-черепашковий, слабо зцементований дрібнодетритово-глинясто-вапнистим матеріалом, слабо ущільнений	Карбонатні включення	Збільшені деформації, суфозія
N_1np	5–23	+65–87	Піски кварцові, каоліністі та глини з лінзами бурого вугілля	Дрібно- та середньозернисті, середньої сортованості	Прошарки, лінзи кварцового дрібно- та середньозернистого пісковика	Зона нерівномірного стиснення, суфозія
N_1pg	5–30	+88–120	Глини, мергелі і вапняки. Глинисті мінерали представлені бейделітом і монтморилонітом. Піски кварцові	Гранулометричний склад відрізняється неоднорідністю. У пісках зворотна ступінь ущільнення – від покрівлі до підшви зменшується	Включення прошарків мергелю та вапняків	Набрякання, зсувні явища, зона виникнення пластичних і нерівномірних деформацій у глинах і пісках
$N_{1-2}sg$	3–15	+87–145	Глини та дрібнозернисті кварцові піски. Глинисті мінерали представлені бейделітом і монтморилонітом	Глини тонкодисперсні, в'язкі, пластичні, але присутні включення гравію та піску	Присутні включення гіпсу, оолітів, дендритів, окислів марганцю	Набрякання, зсувні явища, пластичні деформації, суфозія
N_2cg	4–8	101–117	Глини, в нижніх частинах розрізу піскуваті	Глини грубодисперсні пластичні, слабо ущільнені, неоднорідні, в нижніх частинах розрізу піскуваті	Карбонатні стяжіння, ооліти і дендрити окислів марганцю	Пластичні та в'язкі деформації, зсувні явища

сарматського регіоярису, товща строкатих глин (N_{1-2sg}), верхньопліоценові (N_{22}) червоно-бурі глини (N_{2cg}) берегівського та сіверського горизонтів (Мокрицька та ін., 2019).

Переважно для всіх розглянутих утворень характерними ознаками є мінливість гранулометричного складу, наявність включень, які негативно впливають на особливості інженерно-геологічної поведінки при техногенному впливі: при навантаженнях, змінах напружено-деформованого стану, зволоженні (табл. 1).

Нами були створені картографічні моделі поверхонь покрівлі утворень дочетвертинного віку, що можуть розглядатися як середовище виникнення консеквентних глибоких зсувів ковзання за умови збігу поверхні ковзання з геологічною границею. Були отримані попередні дані про існування такого зв'язку (Мокрицька, 2013). Також були створені типові розрізи схилів, які також є

складовою типізації інженерно-геологічних умов, впливають на конфігурацію зон впливу (рис. 2). Розрізи були створені за результатами аналізу карт поверхонь різних стратиграфо-генетичних утворень та вивчення результатів геологічних досліджень на підставі узагальнення матеріалів буріння 283 геологічних свердловин. У процесі проведених робіт використані матеріали геологічних досліджень (звіти 1962, 1964–1970, 1970–1974, 2004 рр.), що здійснювалися на території міста КП «Південукргеологія». Кореляція умов залягання відкладів, різних за походженням і віком, була виконана за участю В.В. Манюка.

У публікації (Мокрицька та ін., 2019) дослідники вказують на особливості мінливості умов залягання, властивостей, гранулометричного складу, які залежать від особливостей формування. Отже, для відкладів буцацької серії P_{2bc} встановлена наявність вуглистої речовини, вміст і мінливість

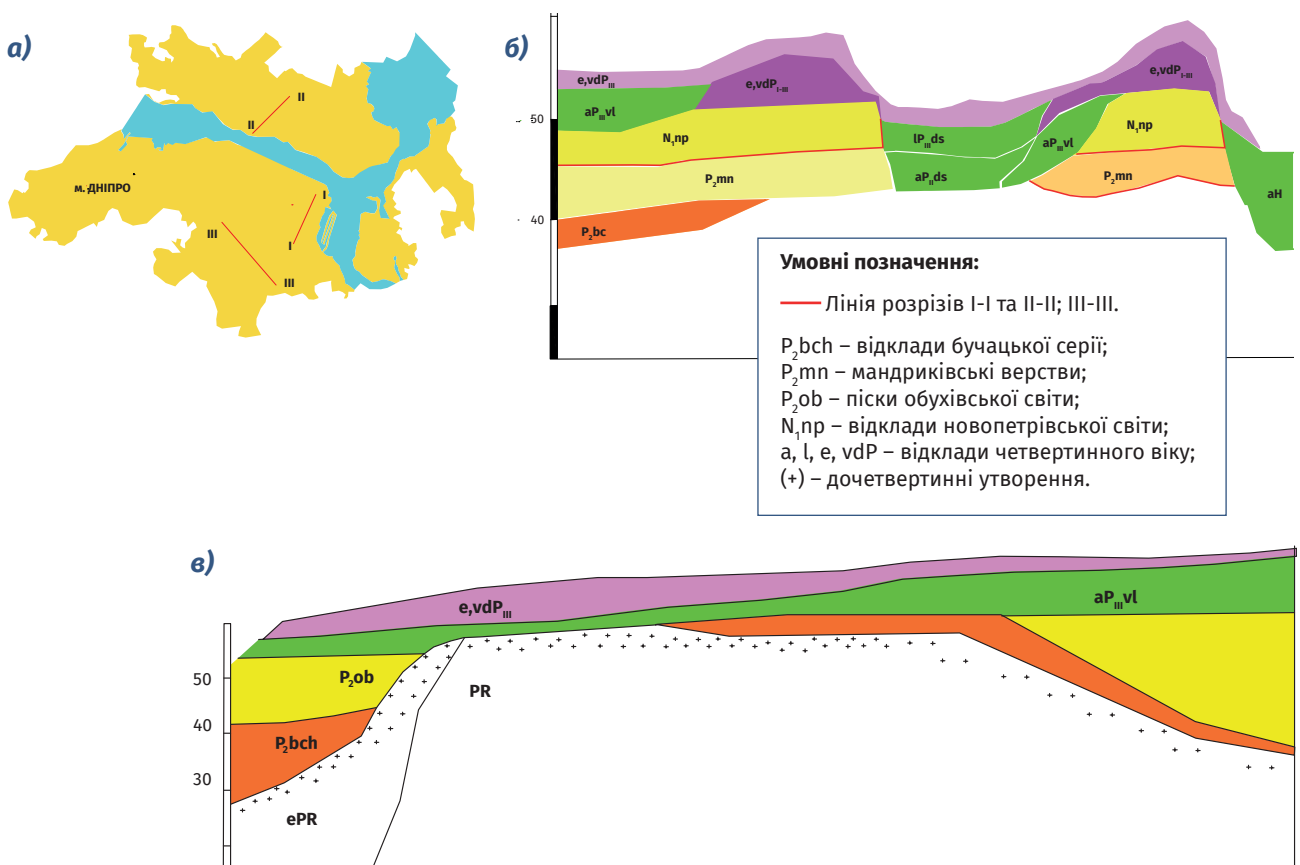


Рис. 2. Приклади геологічної будови схилів по розрізах I-I (б) та II-II (е)

Fig. 2. Examples of geological structure of the slopes on I-I (b), and II-II (e) sections

Примітка. Положення розрізів I-I, II-II, III-III наведено на а) схемі м. Дніпро (<https://www.google.com/maps/place/%D0%94%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%80,%D0%94%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C,+49000>). Розрізи побудовані у горизонтальному масштабі 1:25 000 за результатами аналізу матеріалів геологічних досліджень (див. текст).

Note. The positions of sections I-I, II-II, III-III are given on a) the scheme of the city of Dnipro (<https://www.google.com/maps/place/%D0%94%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%80,%D0%94%D0%BD%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F+%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C,+49000>). The sections are constructed on a horizontal scale of 1:25,000 based on the results of the analysis of geological research materials (see Text).

гранулометричного складу залежно від віддаленості від центра до крайових частин площі поширення утворень морського походження. Для відкладів новопетрівської світи (N_{1pr}) відзначається помітне збільшення крупності фракцій зверху донизу. Для товщі пісків (N_{1pg}) пухкі піски змінюються на ущільнені в покрівлі, при цьому в нижній частині іноді трапляються прошарки і лінзи світло-сірої пластичної тонкодисперсної глини потужністю від 1–3 до 0,3 м, що вказує на такі можливі наслідки, як складну конфігурацію зон ущільнення в межах зон впливу від споруд. Товща строкатих глин (N_{1-2sg}) – це товща переважно глинистих порід, тонкодисперсних, в'язких, пластичних. Червоно-бурі глини (N_{2cg}) складаються з двох горизонтів – берегівського і сіверського, але вони обмежено поширені.

Варто зазначити, що властивості дочетвертинних відкладів вивчені недостатньо, особливо у порівнянні з наявними даними про фізико-механічні властивості ґрунтів і порід четвертинного віку. Доцільно вказати на наявні у фондах державного КП «Південукргеологія» відомості про властивості певних стратиграфо-генетичних комплексів, які датуються

1980–1990 рр. На жаль, несистематизовані дані про властивості ґрунтів дочетвертинного віку, що були отримані низкою підприємств інженерно-геологічного призначення, здебільшого втрачені. За матеріалами фондів КП «Південукргеологія», на підставі досліджень, виконаних у 80–90-х роках ХХ ст. на території міста, були визначені середні значення показників фізико-механічних властивостей окремих горизонтів (табл. 2). Ці дані на попередніх етапах створення систем з керування геологічними ризиками можна використовувати.

За результатами попередніх досліджень змін стану та властивостей глин дочетвертинного віку в інших містах регіону внаслідок руйнування мікроагрегатного складу встановлено, що найстійкішими до механічних, хімічних впливів виявилися нерозчленовані неоген-четвертинні червоно-бурі глини (глини мартоносського, широкинського, крижанівського та берегівського горизонтів). Червоно-бурі карбонатні глини незалежно від віку утворення характеризувалися меншою чутливістю порівняно з глинами монтморилітового складу, що було доведено при

Таблиця 2. Середні значення показників властивостей горизонтів дочетвертинного віку (КП «Південукргеологія», 1980–1990 рр.)

Table 2. Average values of characteristics of certain rock levels (PU Pivdenukrheolohiia, the 1980–1990s)

Індекс	Літологічний склад	Вологість на межі текучості W_L , ч. о.	Вологість на межі розкочування W_p , ч. о.	Природна вологість W , ч. о.	Щільність частинок ґрунту P_{LS} , г/см ³	Щільність ґрунту P_L , г/см ³	Кут внутрішнього тертя φ , градус	Питоме зчеплення, МПа
vdP _{III} pc	Суглинок середній	0,34	0,2	0,18	2,72	2,04	21	0,07
edP _{III} df		0,32	0,19	0,16	2,69	2,06	30	0,045
vdP _{III} bg		0,29	0,17	0,1	2,67	1,98	–	–
edP _{III} vt		0,33	0,19	0,12	2,69	1,84	–	–
edP _{III} pl		0,31	0,19	0,23	2,7	1,78	25	0,03
edP _{III} kd	Суглинок важкий	0,36	0,19	0,18	2,7	2,02	24	0,107
vdP _{III} dn	Суглинок легкий	0,26	0,17	0,12	2,67	2,08	–	–
edP _{III} zv	Суглинок важкий	0,36	0,2	0,13	2,67	1,94	29	0,042
edP _I lb		0,42	0,23	0,19	2,67	1,99	40	0,05
edP _I mr	Глина	0,41	0,21	0,16	2,71	2,05	17	0,177
N_{1S_2}	>>	–	–	0,111	–	1,97	24	0,027
N_{1S_2}	Суглинки	0,31	0,2	0,13	2,7	2,03	22	0,63
P_3 hr	Піски глауконітові	–	–	0,253	–	1,85	–	–
P_2 kv	Глини	–	–	0,257	–	1,93	19	0,035
P_2 bc	>>	0,508125	0,3725	0,345	2,35	1,71	28	0,059
eKZ	Каолін	–	–	0,236	–	1,81	21	0,011

Примітка: «–» немає даних.

дослідженнях змін агрегатного складу глинистих ґрунтів як природних фракталів. Найслабкішими за міцністю виявилися найдавніші сіро-блакитні монтморилонітові глини (N_{1-2}), схильні до набрякання і, як наслідок, до розущільнення. Сіро-зелені глини (N_{1S_2}) були віднесені до товщі строкатих глин $N_{1-2}sg$ (це тонкодисперсні, пластичні, з численними скупченнями оксидів марганцю і дрібнокристалічного гіпсу глини). Оскільки ознаки природного фракталу залежать від мінерального складу ґрунтів, умов формування, віку і структури та змінюються внаслідок хімічних і механічних впливів, визначення чутливості ґрунтів за методикою роботи (Mokritskaya et al., 2019) доцільно використовувати для актуалізації даних і прогнозу виникнення геологічних небезпек (Мокрицька та ін., 2019).

Відклади четвертинного віку у порівнянні з дочетвертинними є достатньо вивченими. Потужність відкладів четвертинної системи у більшості розрізів не перевищує 30–35 м і лише у центральній та південній частинах м. Дніпро сягає 45–51 м (рис. 3). Побудову карт поверхонь окремих горизонтів, потужності зони аерації виконано із залученням демоверсії ПЗ «Surfer», інтерполяція виконана за методом Кріге. При побудові моделей поверхонь покривлі горизонтів і потужностей враховувався ерозійний розмив у басейнах ерозійних систем Тунельна, Зустрічна, Рибальська, Аптекарська, Євпаторійська, Червонополяньська і Лоцманська. Встановлено,

що лесові і викопні ґрунти мають різну витриманість (див. рис. 3, геологічний розріз III-III). У басейні балки Червоноповстанська відсутні бузький, удайський і вітачівський горизонти. Для центральної частини міста характерна відсутність вітачівського й удайського кліматолітів.

В якості горизонтів відкладів четвертинного віку, за нашими попередніми дослідженнями (Мокрицька та ін., 2019) та за даними робіт (Манюк, 1997; Некряч, Манюк, 2004), варто обирати найбільш поширені, а саме березанський (vd, l, aE, br) і крижанівський палеоґрунтові кліматоліти (e, aE, kr); широкинські (e, aP, sh), мартоноські (e, aP, mr), лубенські (e, aP, lb) палеоґрунтові утворення та тилігульський лесовий кліматоліт (vd, lP, tl); завадівський ($ellaP, zv$), кайдацький (e, alP, kd) палеоґрунтові і дніпровський лесовий кліматоліти (vd, lP, dn). Найбільш поширені у розрізах кайдацький (e, alP, kd), прилуцький палеоґрунтові кліматоліти (e, aP, pl), дніпровський лесовий кліматоліт (vd, lP, dn). Інші лесові (тясмінський (vd, lP, ts) та удайський (vd, lP, ud)) кліматоліти мають меншу потужність та розповсюджені не повсюдно. Дніпровський лесовий кліматоліт (vd, lP, dn) трапляється на тій самій площі, що і завадівський, потужність найбільша серед горизонтів з просадковими властивостями та досягає 12,0 м. Удайський кліматоліт (vd, lP, ud) має потужність до 1,1 м, а вітачівський кліматоліт (e, aP, vt) – до 3,5 м. Приблизно така потужність притаманна утворенням бузького

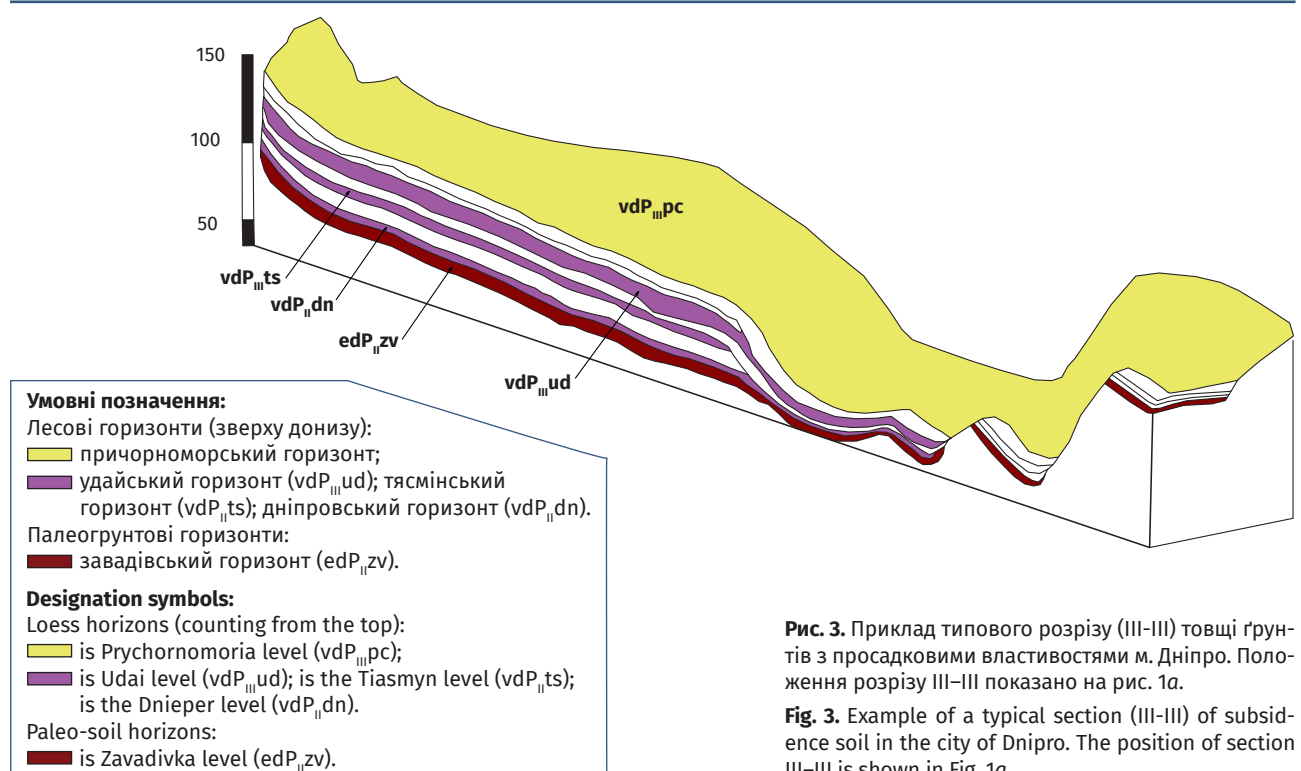


Рис. 3. Приклад типового розрізу (III-III) товщі ґрунтів з просадковими властивостями м. Дніпро. Положення розрізу III-III показано на рис. 1а.

Fig. 3. Example of a typical section (III-III) of subsidence soil in the city of Dnipro. The position of section III-III is shown in Fig. 1a

кліматоліту ($vd, lP_{III}bg$), до яких віднесені суглинки лесоподібні, легкі, однорідні, вапнисті, макропористі. Вище трапляються відклади дофінівського кліматоліту ($e, v, aP_{III}df$) незначної потужності (0,8–1,9 м, іноді до 3,0 м) і практично повсюдним поширенням, які перекриті лесовими утвореннями причорноморського кліматоліту ($vd, v, lP_{III}pc$), розповсюдження якого змінено внаслідок техногенного впливу. Але лесові утворення причорноморського кліматоліту не втратили повністю схильності до просадки; це лесоподібні суглинки вапнисті, макропористі, призматичної окремості, пухкі і слабо ущільнені, з рівним співвідношенням дрібного (37,7 %) і крупного (32,1 %) алевриту та з помітною кількістю глинистої фракції (35,1 % < 0,005 мм). Потужність цього кліматоліту сягає до 3,0 м, абсолютна відмітка поверхні змінюється від 70,0 м у пониженнях рельєфу до 100,8 м на підвищених ділянках вододілів. Були отримані чисельні моделі зв'язку між показниками фізичного стану та просадністю, міцністю та модулем деформації на підставі застосування статистичного аналізу, методу групового врахування аргументів, фрактального аналізу (Мокрицька, 2013). Вони можуть бути рекомендовані для прогнозування змін стану та властивостей ґрунтів четвертинного віку внаслідок змін напружено-деформованого стану у зоні впливу споруд при освоєнні підземного простору. Як приклад, наведено рівняння залежності дотичної напруги (τ , кПа) від показників фізичного стану, одержаних за результатами випробувань лесоподібних ґрунтів м. Кривий Ріг (табл. 3).

Таблиця 3. Моделі регресії між параметрами зрізу та показниками фізичних властивостей ґрунту (Мокрицька, 2013)

Table 3. Regression models between cut parameters and indicators of soil physical properties (Mokrytska, 2013)

Рівняння	Коефіцієнт детермінації	Стандартна помилка
$\tau_{0,1} = -3,56 + 30,87 \times Wp - 1,689 \times Pl$	0,984	0,09
$\tau_{0,2} = 2,02 - 2 \times Wp - 0,727 \times Pl$	0,757	0,026
$\tau_{0,3} = 2,02 - 1,96 \times Wp - 0,732 \times Pl$	0,749	0,027

Примітки: Wp – вологість на межі розкочування, ч. о.; Pl – щільність ґрунту, г/см³; – дотична напруга зрізу на ступені нормального навантаження 0,1 МПа

Notes: Wp is moisture within a plastic limit Wp , t.u.; Pl is soil density, g/cm³; is tangential cut stress at a normal load stage being 0.1 MPa

Висновки

Отже, для виконання інженерно-геологічної типізації з метою розробки рекомендацій щодо створення сучасних систем керування геологічними ризиками при будівництві багатоповерхових споруд, підземних споруд, різних за призначенням, за аналізом попередніх досліджень авторів інженерно-геологічних умов м. Дніпро, та оглядом публікацій необхідно вирішення таких завдань:

- Створення Геоінформаційної моделі геологічного простору (геологічного середовища) в об'ємі майбутніх та існуючих зон впливу від споруд і будівель, різних за призначенням, з урахуванням усіх основних геологічних утворень четвертинного та дочетвертинного віку, які є потенційним джерелом небажаних інженерно-геологічних процесів та явищ і можуть спричиняти виникнення небезпек.
- Актуалізація даних про стан і властивості основних геологічних утворень четвертинного та дочетвертинного віку.
- Типізація інженерно-геологічних умов за геологічною будовою, умовами залягання та властивостями основних геологічних утворень четвертинного та дочетвертинного віку з метою встановлення зв'язків між геологічною будовою, властивостями та розвитком ймовірних негативних процесів і збільшення ризику.
- Розробка прогнозних розрахунків і математичних моделей змін властивостей та стану основних геологічних утворень четвертинного та дочетвертинного віку у зонах впливу споруд і будівель з метою створення постійно діючих моделей визначення геологічних небезпек у межах певних типів інженерно-геологічних умов.
- Прогноз виникнення зворотних зв'язків у вигляді ймовірних негативних інженерно-геологічних процесів, середовищем яких є основні горизонти у типових інженерно-геологічних умовах, а саме: глибокі консеквентні зсувні та суфозійні явища, нерівномірні деформації основи споруд внаслідок мінливості гранулометричного та літологічного складу; складні деформації в'язко-пластичного характеру внаслідок особливостей стану та властивостей дочетвертинних утворень, просадкові та суфозійні явища у породах четвертинного віку.

Дослідження проведено за бюджетною тематикою (КПКВК 6541030): «Інженерно-геологічні заходи розбудови міст та стратегічного освоєння підземного простору» (державний реєстраційний номер 0123U100129).

Розвиток міст супроводжується збільшенням висотності та щільності забудови, освоєнням підземного простору, що призводить до необхідності актуалізації методів і технологій виконання інженерно-геологічних вишукувань. Наявні нормативні документи регламентують методику і технології вивчення приповерхневих геологічних утворень переважно четвертинного віку. Освоєння підземного простору призводить до необхідності вивчення здебільшого дочетвертинних відкладів як середовища для розміщення та будівництва інженерних споруд різного призначення: від житлових будинків до оборонних об'єктів. Відомості про інженерно-геологічні властивості, структуру, стан і мінливість дочетвертинних відкладів поодинокі. Для міст, зосереджених у долині р. Дніпро, характерні загальні закономірності геологічної будови, зумовлені історією розвитку регіону. У даній роботі на прикладі м. Дніпро виконане узагальнення відомостей про деякі аспекти регіональних інженерно-геологічних умов на підставі аналізу даних про умови залягання та властивості найбільш поширених геологічних горизонтів, які є середовищем виникнення геологічного ризику. Стратиграфічне розчленування відкладів та їх індексація подані згідно з легендами до картосхем використаних звітів. Мета – встановлення загальних особливостей типізації інженерно-геологічних умов для розроблення перспективних планів освоєння підземного простору міських територій в аналогічних або близьких умовах. Завдання полягали в обґрунтуванні чинників інженерно-геологічних умов об'єкта досліджень; аналізі вивченості складу, властивостей певних горизонтів, що зазнають або можуть зазнавати техногенного впливу при будівництві багатопверхових житлових або інших споруд, зона впливу яких розташована у межах дочетвертинних відкладів; визначенні зв'язків небажаних інженерно-геологічних процесів та явищ і складу та властивостей геологічних утворень за відомими даними. Вирішення цієї проблеми є актуальним і сприятиме стійкому розвитку міст.

Список літератури

- Арчакова Е.Г. Отчет о результатах работ по исследованию экзогенных геологических действий на местности г. Днепропетровск в 1981–1983 гг. «Южургеология», Новомосковская ГРЭ. Днепропетровск, 1983. 183 с.
- Берзенин Б.С. Отчет о результатах комплексной геологической съемки в масштабе 1:50 000, проведенной ГСП-19 в 1964–1970 гг. на площади планшетов М-36-131-Г, М-36-132-В, М-36-143-Б, М-36-144-А. Днепропетровск, 1971.
- Демчишин М.Г. Прогноз и предупреждение оползневых явлений на территории Украины. Киев, 1982. 53 с. (Препр. / АН УССР. Ин-т геол. наук).
- Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000. Аркуш М-36-XXXVI (Дніпропетровськ). Геологічна карта та карта корисних копалин четвертинних відкладів. Центральнокраїнська серія. Аркуш М-36-XXXVI (Дніпропетровськ). Київ: М-во охорони навколишнього середовища України, Державна геологічна служба, 2006.
- Краев В.Ф., Осипчук С.А. Типизация оврагов Приднепровской возвышенности. *Геол. журн.* 1995. № 3–4 (280). С. 62–63.
- Манюк В.В. К стратиграфии палеоген-неогеновых отложений Южного склона Украинского щита. *Актуальные проблемы геологии, географии и охраны окружающей среды.* Днепропетровск: ДГУ, 1997. С. 24–34.
- Мокрицька Т.П. Формирование и эволюция геологической среды Приднепровского промышленного региона. Днепропетровск: ПП «Акцент», 2013. 274 с.
- Мокрицька Т.П., Євграфіна Г.П., Манюк В.В., Бондар О.В., Баранов П.Н., Самойлич К.О. Безпечні стани та явища у геологічному середовищі на прикладі міст Середнього Придніпров'я: монографія. Дніпро: ПП «Акцент», 2019. 205 с.
- Некряч А.І., Манюк В.В. Звіт про геологічне довивчення раніше закартованих площ м-бу 1:200 000. Аркуш М-36-XXXVI. Дніпропетровськ, 2004.
- Подгорнова Н.Ф., Пустовой В.У., Чугуй В.А., Яковлев Э.А. Отчет о инженерно-геологической съемке: в 5 т. Т. 2. Днепропетровск, 1964.
- Попов И.В. Инженерная геология. Москва: Госгеоиздат, 1951. 443 с.
- Рудько Г.І., Яковлев Є.О., Рагозін О.Л. Моніторинг процесонебезпечних територій та розрахунок ризику техноприродних аварій і катастроф. Київ, 1997. 79 с.
- Садовенко І.О., Шашенко О.М., Гапєєв С.М., Тимошук В.І., Дерев'ягіна Н.І. Аналіз геотехнічної ситуації, що склалася внаслідок раптового прориву пливунних гірських порід із вибором висхідної продукції метрополітену. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, сприятлива, територіальна громада – 2023»:* матеріали міжнар. конф., 11–13 жовт. 2023 р., м. Дніпро. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 69–71.
- Шашенко О.М., Садовенко І.О., Гапєєв С.М., Тимошук В.І., Дерев'ягіна Н.І. Результати дослідження гідрогеотехнічних факторів аварійного стану будинку в зоні технологічного будівництва метрополітену. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, сприятлива, територіальна громада – 2023»:* матеріали міжнар. конф., 11–13 жовт. 2023 р., м. Дніпро. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 63–66.
- Шковира Ю.Д. Отчет геологосъемочной партии № 16 Днепротрестовской комплексной геологоразведочной экспедиции о работах, выполненных в 1959–1961 гг. на территории планшетов М-36-130-В и Г и М-36-131-В. Днепропетровск, 1974.
- Шнюков Е.Ф. (Отв. ред.). Экологическая геология Украины: Справочное пособие. Киев: Наукова думка, 1993. 407 с.
- Antoniou V., Bonali F. L., Nomikou P., Tibaldi A., Melissinos P., Pasquaré Mariotto F., Vitello F., Krokos M., Whitworth M. Integrating Virtual Reality and GIS Tools for Geological Mapping, Data Collection and Analysis: An Example from the Metaxa Mine, Santorini (Greece). *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. Article 8317. <https://doi.org/10.3390/app10238317>
- Cheng Y., Gan Y., Shi C., Huo A., Pei Y., Song Y., Wang X., Ahmed A. A critical analysis of geological hazard risk assessment including future perspectives. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. Article 3701. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/su16093701>
- Galkin V.I., Rastegaev A.V., Seredin V.V., Andrianov A.V. Territories typification technique with use of statistical models. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1015. Article 032038.
- He L., Jiao Y., Zhang Y., Zheng F., Peng H., Ranjith P.G. Innovative geological-geotechnical zoning framework for urban planning: Wuhan's experience. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2024. Vol. 10. Article 176. <https://doi.org/10.1007/s40948-024-00830-5>
- Li Z., Wang Y., Olgun C.G., Yang S., Jiao Q., Wang M. Risk assessment of water inrush caused by karst cave in tunnels based on reliability and GA-BP neural network. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 1212–1232. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1785956>
- Marinos V., Farmakis I., Chatzitheodosiou T., Papouli D., Theodoropoulos T., Athanasoulis D., Kalavria E. Engineering Geological Mapping via VR. *Remote Sens.* 2025. Vol. 17. P. 544. <https://doi.org/10.3390/rs17030544>
- Mokritskaya T.P., Tushev A.V., Samoylich K.A., Baranov P.N. Deformations of loess soils due to micro-aggregate structure changes. *Bulletin of engineering geology and the environment*. 2019. Vol. 78, iss. 5. P. 3729–3739. DOI: 10.1007/s10064-018-1361-z
- Reyer E. Contributions to the physics of eruptions. Vienna, 1877. 225 p.
- Shu J. BIM geological structure computer modelling and software simulation in building foundation model testing. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2033. Article 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2033/1/012036>
- Xie M., Ju Nengpan, Zhao Jianjun, Fan Qiang, He Chaoyang. Comparative analysis on classification methods of geological disaster susceptibility assessment. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. 2021. Vol. 46, No. 4. P. 1003–1004. DOI: 10.13203/j.whudis20190317
- Yan T., Shen S.L., Zhou A. 2022. Identification of geological characteristics from construction parameters during shield tunneling. *Acta Geotechnica*, 18: 535–551. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01590-w>

Yuxiang Cheng, Yue Gan, Chunmei Shi, Aidi Huo, Yinghui Pei, Yu Song, Xing Wang and Adnan Ahmed. A Critical Analysis of Geological Hazard Risk Assessment Including Future Perspectives. *Sustainability*, 2024. Vol. 16, No. 3701. 1–15 p. <https://doi.org/10.3390/su16093701/>

Zaini F., Suratman R., Che Kassim A.S. Vertical land use zoning in Malaysia. *Journal of the Malaysian Institute of Planners*. 2021. Vol. 19, No. 4. P. 36–47.

Zhyrnov P., Solomakha I. Geological-genetic structure of Irpin city. *Geologija*. 2023 a. Vol. 66, No. 1. P. 167–183. <https://doi.org/10.5474/geologija.2023.a.007>

Zhyrnov P.V., Solomakha I.V. Hydrogeological conditions of Irpin and their influence on the city's engineering protection. *Geophysical Journal*. 2023 b. Vol. 45, No. 1. P. 111–123. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275183>

References

- Antoniou V., Bonali F.L., Nomikou P., Tibaldi A., Melissinos P., Pasquaré Mariotto F., Vitello F., Krokos M., Whitworth M. 2020. Integrating Virtual Reality and GIS Tools for Geological Mapping, Data Collection and Analysis: An Example from the Metaxa Mine, Santorini (Greece). *Applied Sciences*, 10. Article 8317. <https://doi.org/10.3390/app10238317>
- Archakova E.G. 1983. Report on the activities performed to study exogenic geological processes within Dnipropetrovsk city in 1981–1983. Yuzhukrgeologiya, Novomoskovsk GPC. Dnipropetrovsk. 183 p. (in Russian).
- Berzenin B.Z. 1971. Report on the results of complex geological survey (1:50,000 scale) within surveying plots M-36-131-G, M-36-132-V, M-36-143-B, and M-36-144-A by GPS-19 in 1964–1970. Dnipropetrovsk (in Russian).
- Cheng Y., Gan Y., Shi C., Huo A., Pei Y., Song Y., Wang X., Ahmed A. 2024. A critical analysis of geological hazard risk assessment including future perspectives. *Sustainability*, 16. Article 3701: 1–15. <https://doi.org/10.3390/su16093701>
- Demchishin M.G. 1982. Forecast and prevention of landslide phenomena in Ukraine. Kyiv: IGS of NAS of Ukraine. 53 p. (in Russian).
- Galkin V.I., Rastegaev A.V., Seredin V.V., Andrianov A.V. Territories typification technique with use of statistical models. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. 1015. Article 032038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032038>
- He L., Jiao Y., Zhang Y., Zheng F., Peng H., Ranjith P.G. Innovative geological–geotechnical zoning framework for urban planning: Wuhan's experience. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*. 2024. 10. Article 176. <https://doi.org/10.1007/s40948-024-00830-5>
- Kraev V.F., Osypchuk S.A. 1995. Typification of ravines of the Dnieper Upland. *Geologičnij žurnal*, 3–4 (280): 62–63 (in Russian).
- Li Z., Wang Y., Olgun C.G., Yang S., Jiao Q., Wang M. 2020. Risk assessment of water inrush caused by karst cave in tunnels based on reliability and GA-BP neural network. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11 (1): 1212–1232. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1785956>
- Maniuk V.V. 1997. On the stratigraphy of the Paleogene–Neogene deposits of the southern slope of the Ukrainian Shield. *Topical Problems of Geology, Geography, and Environmental Protection*. Dnipropetrovsk: DSU, p. 24–34 (in Russian).
- Marinos V., Farmakis I., Chatzitheodosiou T., Papouli D., Theodoropoulos T., Athanasoulis D., Kalavria E. 2025. Engineering Geological Mapping via VR. *Remote Sens.*, 17: 544. <https://doi.org/10.3390/rs17030544>
- Mokritskaia T.P. 2013. Inductive models of subsidence degradation. *Engineering Geology*, 5: 34–38 (in Russian).
- Mokritskaya T.P., Tushev A.V., Samoylich K.A., Baranov P.N. 2019. Deformations of loess soils due to micro-aggregate structure changes. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 78 (5): 3729–3739. DOI: 10.1007/s10064-018-1361-z
- Mokrytska T.P., Yevhrashkina H.P., Maniuk V.V., Bondar O.V., Baranov P.N., Samoilych K.O. 2019. Hazardous states and phenomena in geological environment in terms of cities and towns of the Middle Prydniprovya: monograph. Dnipro: Aktsent PE. 205 p. (in Ukrainian).
- Nekryach A.I., Manyuk V.V. 2004. Report on geological additional study of previously mapped areas at a scale of 1:200,000, Sheet M-36-XXXVI. [The State Geological Map of Ukraine in the scale 1:200,000]. Kyiv: UkrSGRI. 127 p. (in Ukrainian).
- Podgornova N.F., Pustovoy V.U., Chuguy V.A., Yakovlev E.A. 1964. Report on engineering-geological survey: 5 volumes. 2. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Popov I.V. 1951. Engineering geology. Moscow: Gosgeoizdat. 443 p. (in Russian).
- Reyer E. 1877. Contributions to the physics of eruptions. Vienna. 225 p.
- Rudko G.I., Yakovlev E.O., Ragozin O.L. 1997. Monitoring of process-hazardous areas and risk calculation of techno-natural accidents and disasters. Kyiv. 79 p. (in Ukrainian).
- Sadovenko I.O., Shashenko O.M., Hapeiev S.M., Tymoshchuk V.I., Dereviahina N.I. 2023. Analysis of a geotechnical situation resulting from sudden inrush of running rocks from a slope of a rise subway working. *International Forum "Safe, comfortable, and capable territorial community – 2023"*: Proceedings of the international conference, October 11–13, 2023, Dnipro city. Dnipro: Dnipro University of Technology, p. 69–71 (in Ukrainian).
- Shashenko O.M., Sadovenko I.O., Hapeiev S.M., Tymoshchuk V.I., Dereviahina N.I. 2023. Findings of hydrotechnical factors of emergency condition of a building within area of technological impact by a subway construction. *International Forum "Safe, comfortable, and capable territorial community – 2023"*: Proceedings of the International Conference, October 11–13, 2023, Dnipro city. Dnipro: Dnipro University of Technology, p. 63–66 (in Ukrainian).
- Shnyukov E.F. (Editor-in-Chief). 1993. Ecological geology of Ukraine: Reference manual. Kyiv: Naukova Dumka. 407 p. (in Russian).
- Shrovyra Yu.D. 1974. Report on the results of complex geological survey (1:50,000 scale) within surveying plots M-36-130-A, B and 131-A by Kirovsi team in 1970–1974. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Shu J. 2021. BIM geological structure computer modelling and software simulation in building foundation model testing. *Journal of Physics: Conference Series* 2033. Article 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2033/1/012036>
- State Geological Map of Ukraine. Scale 1:200,000. Geological map and map of minerals of Quaternary deposits. Central Ukrainian series. Sheet M-36-XXXVI (Dnipropetrovsk). 2006. Kyiv: Ministry of Environmental Protection of Ukraine, State Geological Service (in Ukrainian).
- Xie M., Ju Nengpan, Zhao Jianjun, Fan Qiang, He Chaoyang. 2021. Comparative analysis on classification methods of geological disaster susceptibility assessment. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 46 (7): 1003–1014.
- Yan T., Shen S.L., Zhou A. 2022. Identification of geological characteristics from construction parameters during shield tunneling. *Acta Geotechnica*, 18: 535–551. <https://doi.org/10.1007/s11440-022-01590-w>
- Yuxiang Cheng, Yue Gan, Chunmei Shi, Aidi Huo, Yinghui Pei, Yu Song, Xing Wang and Adnan Ahmed. 2024. A Critical Analysis of Geological Hazard Risk Assessment Including Future Perspectives. *Sustainability*, 16, 3701: 1–15. <https://doi.org/10.3390/su16093701/>
- Zaini F., Suratman R., Che Kassim A.S. 2021. Vertical land use zoning in Malaysia. *Journal of the Malaysian Institute of Planners*, 19 (4): 36–47.
- Zhyrnov P., Solomakha I. 2023 a. Geological-genetic structure of Irpin city. *Geologija*, 66 (1): 167–183. <https://doi.org/10.5474/geologija.2023.007>
- Zhyrnov P.V., Solomakha I.V. 2023 b. Hydrogeological conditions of Irpin and their influence on the city's engineering protection. *Geophysical Journal*, 45 (1): 111–123. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275183>