

Дудар Т. В., д-р техн. наук, проф.;

Беленок В. Ю., канд. фіз.-мат. наук, доц.;

Дубик О. М., канд. техн. наук, доц.;

Бондар Д. С., магістрант;

Дудар В. В., аспірант

Державний університет «Київський Авіаційний Інститут», м. Київ, Україна

Титаренко О. В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.;

Топольницький М. В., д-р техн. наук, ст. наук. співр

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», м. Київ, Україна

АКТИВІЗАЦІЯ РОЗВИТКУ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РАЙОНАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Прискорення зміни клімату означає зростання швидкості змін у кліматичних системах Землі, включаючи територію України. У сучасних умовах привертається особлива увага до взаємного впливу інфраструктурних об'єктів та геологічного середовища, зокрема, розвитку екзогенних геологічних процесів та їх взаємодії з ендегенними. Під екзогенними ми розуміємо природні процеси, що відбуваються на та близько до поверхні Землі та безпосередньо залежать від дії зовнішніх факторів, таких як атмосферні опади, вітрова активність, температурні коливання та діяльність людини. Ці процеси (ерозія, зсуви, суфозія, карстоутворення та підтоплення), які мають особливе значення для забезпечення екологічної безпеки будь-якого регіону, становлять потенційну загрозу для стабільності інженерних споруд, особливо в техногенно навантажених районах, якими є Київ і Київська область.

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності вивчення взаємозв'язку між функціонуванням інфраструктурних об'єктів (включаючи аеродромні комплекси) та інтенсифікацією небезпечних геологічних процесів, а також у розробці заходів з мінімізації їхнього впливу. Це особливо важливо в умовах урбанізованих територій, де безпека населення, стабільність інфраструктури та екологічна рівновага залежать від своєчасного реагування на геодинамічні зміни.

Метою цього дослідження є аналіз активізації екзогенних геологічних процесів у районі розташування аеродромів у Західній частині Київської області та оцінка ступеня їх розвитку, що згодом дасть можливість зробити обґрунтування проведення моніторингових та захисних заходів. Робота базується на аналізі даних геологічних та

гідрогеологічних обстежень, космічних зйомок, літературних джерел, а також аналітичних узагальненнях.

Територія дослідження. Геологічна структура Києва та Київщини складна, представлена потужним чохлам четвертинних відкладень, що перекривають давніші палеогенові та неогенові породи. Фундаментом слугує Український кристалічний щит, на околицях якого виходять магматичні породи. В регіоні переважають піски, глини, вапняки, мергелі, а також родовища торфу, кварцового піску та інших будівельних матеріалів. Це обумовлює необхідність ретельних геологічних досліджень при будівництві та обслуговуванні інфраструктурних об'єктів, особливо біля річок, де присутні нестабільні піщано-глинисті утворення.

Ми зосереджуємо дослідження у західній частині Київської області, де функціонують важливі стратегічні об'єкти - військові та цивільні аеродроми, і де спостерігаються зміни у структурі геологічного середовища. Діяльність аеродромів супроводжується щоденними механічними навантаженнями, змінами у гідрологічному режимі території, ущільненням ґрунтів, порушенням водного балансу, що провокує активізацію екзогенних процесів.

Характеристика екзогенних геологічних процесів. Екзогенні геологічні процеси є невід'ємною складовою динамічного розвитку земної поверхні. Вони охоплюють різноманітні явища, що відбуваються в приповерхневій частині літосфери під дією зовнішніх природних і антропогенних факторів. До екзогенних процесів відносяться ерозія, дефляція, зсуви, обвали, суффозія, карстоутворення, осідання та інші явища, які формуються внаслідок взаємодії гідросфери, атмосфери, біосфери та людської діяльності з геологічним середовищем. Безпосередньо в районі дослідження розвиваються заболочення та підтоплення (рис. 1).

Ці процеси мають значний вплив на стабільність інженерних споруд, стан ґрунтів, ландшафтів та екологічну безпеку територій. Їхній розвиток ускладнюється в районах техногенного навантаження, зокрема у зонах, прилеглих до аеродромів, де спостерігається порушення структури ґрунтового покриву, зміни в гідрологічному режимі та забруднення навколишнього середовища продуктами нафтопереробки, мастил, паливно-мастильних матеріалів (ПММ), важкими металами.

У межах аеродромних зон екзогенні процеси можуть проявлятися з більшою інтенсивністю. Наприклад, відсутність природного рослинного покриву сприяє ерозії; штучні зміни рівня ґрунтових вод можуть спричинити просадку; інфільтрація забруднених стоків – активацію хімічного розмивання та локального карстоутворення.

Розуміння особливостей цих процесів є надзвичайно важливим для забезпечення стабільності інфраструктури, екологічної рівноваги та безпеки життєдіяльності населення.

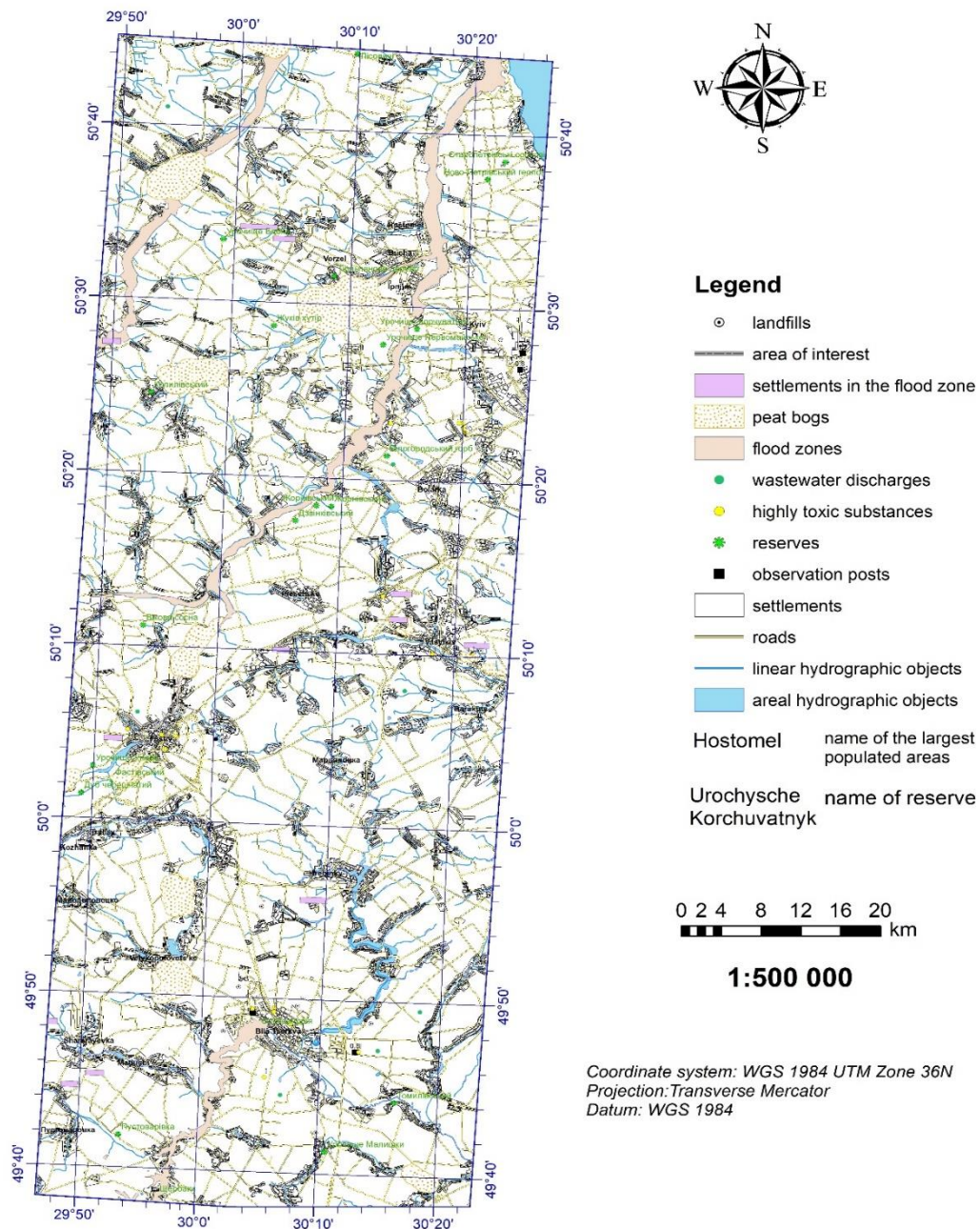


Рисунок 1 – Розвиток екзогенних геологічних процесів на території південно-західної частини Київської області (складено за матеріалами екологічної карти Київської області Г. Я. Красовського).

Фактори формування екзогенних процесів у Київській області. Територія Київської області, а особливо її західна частина, характеризується поєднанням природних і антропогенних факторів, які безпосередньо впливають на формування екзогенних процесів. Одним із ключових чинників є геологічна будова. У регіоні переважають лесові суглинки, супіски та піски, які мають високу проникність і схильність до осідань, розмивання, а у разі зволоження – до суффозії та зсувів.

Клімат також суттєво впливає на геодинамічну ситуацію. Помірно-континентальний клімат з достатнім рівнем опадів (в середньому 600–700 мм на рік) створює умови для поверхневого стоку, який активізує водну ерозію. Особливо це актуально в періоди танення снігу та інтенсивних літніх злив, коли велика кількість води за короткий час змінює гідрологічний баланс ґрунтів.

Водонасичення лесових порід часто призводить до втрати ними механічної міцності, особливо при порушенні природної дренажної системи через техногенне втручання. У зонах впливу аеродромів, де ґрунти ущільнюються, заливаються бетоном або зазнають вібраційного впливу, можливе локальне перерозподілення підземних вод, що є тригером для розвитку осідань і підтоплення.

Антропогенний чинник має, безперечно, домінуюче значення. Будівництво та експлуатація злітно-посадкових смуг, ангарів, магістралей порушує природні умови формування рельєфу та гідрології. Техногенні навантаження, такі як витoki пального, накопичення відходів, зміна структури ґрунтів через ущільнення технікою, змінюють гідрогеологічні умови, створюючи передумови до виникнення небезпечних екзогенних явищ.

Загальний огляд аеродромів Західної частини Київської області ми наразі не розглядатимемо, зокрема по причині акценту на геологічних процесах на території дослідження, де вони знаходяться, і залишимо цей огляд для наступних публікацій.

Геоморфологічна характеристика районів аеродромів. Території розташування інфраструктурних об'єктів західної частини Київської області мають свої специфічні геоморфологічні риси. Вони знаходяться переважно в межах Придніпровської височини – платоподібного геоморфологічного району, що характеризується переважно рівнинним або слабохвилястим рельєфом, розчленованим річковими долинами, балками, ярами.

Переважаючі ґрунти – лесові суглинки, які мають високу водопроникність, проте при зволоженні стають нестабільними, втрачаючи несучу здатність. Балкові системи поблизу Білої Церкви та Василькова є природними дренажами, але при порушенні

рослинного покриву вони перетворюються на джерело ерозійних процесів. Особливо це помітно у весняно-літній період, коли опади сприяють інтенсивному стіканню води по схилах.

У геоморфологічному плані аеродромні майданчики створюються як максимально вирівняні платформи, що у разі помилок проектування чи будівництва порушують рівновагу природного середовища. При цьому лінійні споруди (ЗПС, руліжні доріжки) спрямовують поверхневі води у невластиві для них напрямки, що спричиняє підмивання схилів і підтоплення низин.

Вплив аеродромної діяльності на розвиток екзогенних процесів.

Аеродромна діяльність має відчутний вплив на екзогенні геологічні процеси як у безпосередній зоні інфраструктури, так і в навколишніх територіях. Цей вплив має багатокомпонентний характер.

Передусім, механічне ущільнення ґрунтів під час зведення інженерних споруд змінює структуру порового простору, що впливає на гідродинаміку – зменшується фільтраційна здатність верхнього шару, але посилюється рух води у нижчих горизонтах. У поєднанні з порушенням рельєфом це створює умови для локального підтоплення, підняття рівня ґрунтових вод.

Техногенні вібрації, викликані зльотами та посадками літаків, впливають на ґрунти, особливо на схилах та в місцях, де вони ослаблені вологістю або раніше порушеними породами. Це активізує зсувні та просадні процеси, які є особливо небезпечними для злітно-посадкових смуг.

Забруднення ПММ та хімічними речовинами призводить до зміни хімічного складу ґрунтових вод. Це, в свою чергу, активізує біогеохімічні процеси розчинення порід, які є основою для розвитку суффозії або навіть локального карстоутворення.

Наслідки екзогенних процесів для навколишнього середовища та інфраструктури. Наслідки активізації екзогенних геологічних процесів у районах аеродромів можуть бути масштабними і різноплановими. Перш за все, це впливає на геотехнічну стабільність територій. Підтоплення викликає надмірне зволоження ґрунтів, що призводить до зниження їх несучої здатності. Як наслідок — деформації покриття злітно-посадкових смуг, просідання асфальту, руйнування інженерних мереж. У критичних випадках це може створити загрозу авіаційній безпеці.

Ерозія проявляється переважно у вигляді руйнування відкритих ділянок ґрунтового покриву, схилів та берегів поблизу дренажних або зливових систем аеродромів. Неправильно організоване водовідведення сприяє утворенню глибоких

промоїн, що поступово поширюються та охоплюють все більші площі. Це негативно впливає як на саму інфраструктуру, так і на навколишнє середовище — деградує рослинність, порушується природний дренаж, виникає загроза біорізноманіттю.

Крім технічних проблем, екзогенні процеси можуть завдавати шкоди довкіллю — забруднення підземних і поверхневих вод внаслідок зміни гідродинамічних режимів, осушення природних боліт, зміщення русел малих річок. Усі ці зміни негативно впливають на екосистеми та здоров'я місцевого населення.

Наші подальші дослідження будуть направлені на використання геоінформаційних технологій — вони дозволяють створювати просторові моделі небезпеки, оперативно виявляти «гарячі точки», аналізувати динаміку змін. Створення цифрових карт ризиків, візуалізація всіх чинників, що впливають на динаміку екзогенних процесів, надає змогу не лише прогнозувати потенційні загрози, але й планувати заходи з їх упередження. Використання супутникових знімків високої роздільної здатності, аерофотозйомки з БПЛА (дронів), лазерного сканування (LiDAR) дозволить створити тривимірні моделі рельєфу і зон потенційної небезпеки. Це дасть змогу більш точно локалізувати ділянки ризику та оперативно реагувати на будь-які зміни.

Висновки

Процеси активізації розвитку екзогенних геологічних процесів в районах розташування об'єктів критичної інфраструктури зумовлені численними факторами природного і антропогенного характеру. Функціонування аеродромів як об'єктів критичної інфраструктури у Західній частині Київської області впливає на активізацію таких процесів, які становлять загрозу як для самої інфраструктури, так і для навколишнього середовища. Виявлено, що серед найбільш характерних процесів у цьому регіоні переважають підтоплення, заболочування в долинах річок, ерозія, локальні зсуви, які посилюються внаслідок неправильного водовідведення, інтенсивного використання ґрунтів та зміни природного гідрологічного режиму.

Ці процеси можуть спричиняти серйозні інженерно-геологічні, а також екологічні наслідки: забруднення ґрунтових вод, деградація ландшафтів, втрата біорізноманіття в межах антропогенно змінених територій.

Література

1. Державна служба геології та надр України. Геоінформаційний портал//geo.gov.ua. URL: <https://www.geo.gov.ua>

2. Державна екологічна інспекція України. Аналітичні матеріали щодо стану довкілля (2023). URL: <https://dei.gov.ua>
3. Національний гідрометеорологічний центр. Кліматичні умови Київської області. URL: <https://meteo.gov.ua>
4. Геологічна карта України. 1:200 000. Державна геологічна служба України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/geology.html>
5. Portal “Open Geospatial Data Ukraine”- геопросторові відкриті дані Держгеокадастру. URL: <https://map.land.gov>.
6. Закон України “Про національну інфраструктуру геопросторових даних” (2020): прийнятий 13 квіт. 2020 р. № 554-IX. Відомості Верховної Ради України, № 37, Ст.277.
7. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / Пащенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. // Під ред. С.О. Довгого. – Київ: ФОП Пономаренко Є. В., 2013. – 316 с.
8. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. – К.: Наук. думка, 2007. – 123 с.
9. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. (2006). Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. К.: НДІГК, 106 с.
10. Геологія з основами геоморфології: текст лекцій / Укладач: Є.О. Варивода. – НУЦЗУ, 2017. – 120 с.
11. Ковальчук І. П. Динаміка сучасних геоморфологічних процесів: стаціонарні дослідження / І. П. Ковальчук // Фізична географія та геоморфологія. - 2016. - Вип. 2. - С. 17-22. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2016_2_4.
12. ЗВІТ про стратегічну екологічну оцінку проекту Стратегії розвитку Київської області на 2021-2027 роки (нова редакція) URL: <https://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2025/03/zvit-seo-.pdf>.
13. Rogozhin O., Trofymchuk, V., & Khlobystov, I. (2025). Possible models of regional environmental and economic assessment of engineering and geological hazards impact on the stability of buildings and structures. *Environmental Safety and Natural Resources*, 54(2), 84–100. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.2.84-100>.
14. Zhyrnov P. and Solomakha I. (2022). Engineering-geological zoning as a scientific-methodical basis for scheme’s development of engineering-construction assessment (on the example of Irpin town Kyiv region). *Geodynamics* 2(33)/2022, 115-132. <https://science.lpnu.ua/jgd/all-volumes-and-issues/2332022/engineering-geological-zoning-scientific-methodical-basis-schemes>.