

УДК 502.2:681.324:355.3

Oleksii Rogozhin, D. S. (Economics), Principal researcher
ORCID ID: 0000-0001-8101-9368 *e-mail*: olexarog@gmail.com

Yevheniy Yakovlev, D. S., Principal researcher
ORCID ID: 0000-0001-6562-4015 *e-mail*: yakovlevhydro@gmail.com

Dmytro Kreta, PhD, Senior researcher
ORCID ID: 0000-0001-5897-0008 *e-mail*: dim.leo@gmail.com

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE UPDATED ELECTRONIC MAP OF THE OVERWETTING MANIFESTATION AND DEVELOPMENT BY CAUSES IN UKRAINE

***Annotation.** The article in historical retrospect considers the experience of mapping and analysis of regional manifestations and risk of land overwetting in Ukraine as a leading process of modern changes in the ecological state of its geological environment. Since the importance of such monitoring increases in the conditions of technogenic regulating of surface runoff (on more than 75% of the riverbeds length as regional drains of soil aquifers), the impact of climate change, and the need to take into account the activation of dangerous exogenous geological processes during the implementation of post-war reconstruction and infrastructure restoration programs. The results of works on the mapping in part of updating the electronic "Map of the manifestation and development of overwetting by causes in the territory of Ukraine for 2015" in the ArcGis 10.2 environment are outlined. The results of a GIS analysis of overwetting territorial distribution in the territory of Ukraine and its changes for 2002-2015 are also presented in relation to the risks of other dangerous processes activation, especially on wetted loess rocks. These studies become an argument for the greening of environmental management policy in areas of technogenic risk and natural & technogenic risk of overwetting, especially in parts of irrigation technologies, restoration of surface and underground runoff, reconstruction of large reservoirs, modernization of water supply and drainage systems in urbanized areas. It is especially emphasized that for the proper justification and functioning of monitoring, it is necessary to fully restore periodic field surveys of overwetting manifestation, primarily in the areas affected by mass flooding of mines in mining areas.*

***Keywords:** overwetting; natural and technogenic factors; regional risk; dangerous exogenous geological processes; loess rocks.*

© О.Г. Рогожин, С.О. Яковлев, Д.Л. Крета, 2023

О.Г. Рогожин, Є.О. Яковлев, Д.Л. Крета

Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

ОНОВЛЕНА ЕЛЕКТРОННА КАРТА ПРОЯВУ ТА РОЗВИТКУ ПІДТОПЛЕННЯ ЗА ПРИЧИНАМИ В УКРАЇНІ

***Анотація.** У статті в історичній ретроспективі розглядається досвід картографічного відображення й аналізу регіональних проявів та ризику підтоплення земель в Україні як провідного процесу сучасних змін екологічного стану її геологічного середовища. Оскільки важливість такого моніторингу збільшується в умовах техногенного зарегулювання поверхневого стоку (на понад 75% протяжності річкових русел як регіональних дренажних ґрунтових водонесних горизонтів), впливу змін клімату та потреби врахування активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів під час реалізації програм повоєнної відбудови й відновлення інфраструктури. Викладено результати робіт з картографування підтоплення в частині розроблення оновленої електронної «Карти прояву та розвитку підтоплення за причинами на території України на 2015 р.» у середовищі ArcGis 10.2. Викладено також результати ГІС-аналізу територіального розподілу підтоплення по території України і його зміни за 2002-2015 рр. у взаємозв'язку з ризиками активізації інших небезпечних процесів, особливо у масивах підтоплених лесових порід. Ці дослідження стають аргументом для екологізації політики природокористування у ареалах ризику техногенного і природно-техногенного підтоплення, особливо в частині технологій зрошення, відновлення поверхневого і підземного стоку, реконструкції великих водосховищ, осучаснення систем водопостачання і водовідведення в урбанізованих районах. Наголошується, що для належного обґрунтування і функціонування моніторингу підтоплення необхідно відновити у повному обсязі періодичні польові обстеження його проявів, передусім у зонах впливу масового затоплення шахт в гірничовидобувних районах.*

***Ключові слова:** підтоплення; природні і техногенні фактори; регіональний ризик; небезпечні екзогенні геологічні процеси; лесові породи.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.124-137>

Вступ

Кінцевим «депо» для більшості техногенних впливів на довкілля є геологічне середовище (ГС). Його екологічний стан інерційний, але в разі значного погіршення призводить до деградації всіх інших компонентів природного середовища. В умовах повномасштабної війни в Україні порушення природно-техногенної рівноваги екологічного стану ГС зростає, як внаслідок руйнівних бойових дій, так і через зменшення уваги до дотримання природоохоронного законодавства у господарській діяльності. Відповідно збільшується й негативний вплив регіонального розвитку процесів підтоплення земель, що актуалізує завдання його своєчасної оцінки і прогнозування.

Явище «підтоплення» (wetting), тобто перезволоження ґрунтів і підґрунтя внаслідок високого стояння ґрунтових вод аж до їх виходу на денну поверхню, часто є прямим наслідком «затоплення» (flooding), епізодичного, періодичного або постійного (в останньому випадку внаслідок підпору поверхневого і підземного стоку), але не є тотожним йому.

Важливість щорічного моніторингу та картографічного відображення і фактичних проявів підтоплення, і ширших ареалів, де імовірно такі прояви (тобто де існує значний ризик їх реалізації), впливає з того, що саме наявність підтоплення:

- стає стартовою ланкою для активізації інших небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП), таких як: карсту і суфозії (на карбонатних і гіпсових породах), зсувоутворення (на схилах), просадковості (на лесових породах підгрунтя), *зменшення міцності порід підгрунтя* та руйнівні деформації будівель у промислово-міських агломераціях (ПМА);

- призводить до збільшення інтенсивності сейсмічних струшувань на обводнених піщаних, супіщаних і суглинистих слабопроникних ґрунтах приблизно до 1–2 балів (за шкалою МСК-64) понад зональні (транзитні) значення;

- спричиняє *геотехнічну деградацію лесових порід* підгрунтя (через порушення водно-сольового балансу) аж до їх тиксотропного розрідження і втрати несучої здатності (внаслідок стрімкого зростання порового тиску в разі потужних сейсмічних струшувань природного, техногенного або воєнного походження) [1, 2, 3].

Наші спостереження засвідчують, що регіональний розвиток підтоплення в останні 35–40 років значною мірою обумовлений саме техногенним підпором рівнів ґрунтових водоносних горизонтів, спричиненим: масштабним зарегулюванням поверхневого стоку в межах практично усіх річкових басейнів України, некерованим затопленням шахт в гірничовидобувних районах Донбасу, Кривбасу і Карпатського регіону, а також – екологічно недосконалим зрошенням земель Причорномор'я і Придніпров'я відкритими каналами й водогонами.

Розробленням карт ареалів і умов підтоплення за результатами відповідних періодичних обстежень (моніторингу) довгий час займалася Державна геологічна служба, власне ДНВП «Геоінформ України». Ним під науковим керівництвом д.т.н. Є.О. Яковлева за участі фахівців Інституту геологічних наук НАН України акад. В.М. Шестопалова та проф. М.Г. Демчишина створені, зокрема: «Карта підтоплення території України станом на 1982 р.», «Карта районування території УРСР по умовам и степени подтопления» (1986), «Карта оцінки динаміки розвитку підтоплення за період 1982-2002 рр.», «Інженерно-геологічна карта прояву та розвитку підтоплення на території України» (2002), всі в М 1:1000000. Однак після 2004 р., у зв'язку із скороченням фінансування робіт з моніторингу та регіональної оцінки розвитку небезпечних ЕГП, картографування і аналіз факторів підтоплення зупинилися. Останньою спробою їх відновити був початок складання «Карти підтоплення території України» (2015), яка так і не була завершена, після чого всі роботи в цьому напрямі остаточно припинилися.

Тим часом посилення техногенного впливу на довкілля (зокрема, зарегулювання поверхневого стоку із триваючим збільшенням кількості ставків і малих ГЕС) та прискорення глобальних змін клімату (зокрема, нестабільності снігового покриву, зменшення періоду і глибини промерзання ґрунту, нестабільності опадів із збільшенням інтенсивності злив), що яскраво проявилися саме протягом останніх 20 років, об'єктивно актуалізують потребу в сучасних картографічних оцінках розвитку підтоплення в Україні, у т.ч. на регіональному рівні.

Очевидно, що для таких оцінок недостатньо тих даних, які містять «Інформаційні щорічники щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП» (видавалися до 2021 р. включно) із текстовою та табличною інформацією, зокрема щодо площ поширення підтоплення і кількості підтоплених населених пунктів у розрізі адміністративних областей. Згідно з цими даними у 2013 р. площа проявів підтоплення в Україні всього становила 79,44 тис.км², у 2020 р. вона дещо збільшилася, до – 88,82 тис.км². Кількість населених пунктів, в яких відзначалося підтоплення, у 2013 р. дорівнювала 4702, а в 2020 р., навпаки, зменшилася до 4315 [4, с. 55; 5, с. 66]. Скоріше за все, такі суперечливі результати отримані внаслідок недообліку через недостатність первинних обстежень.

Тому *метою* нашого дослідження було завершити складання карти підтоплення території України станом на 2015 р. й удосконалити її на основі всіх доступних даних для здійснення регіональної ГІС-оцінки сучасних умов (факторів) розвитку підтоплення.

Основна частина

Результати виконаного нами аналізу нашо вхують на думку, що головним фактором порушення рівноважної геодинамічної взаємодії ґрунтово-породних масивів та поверхневої і підземної гідросфери в останні десятиріччя (1985-2020 рр.) є масштабне будівництво середніх і малих водосховищ та ставків, які переважно зосереджені у басейнах малих річок з невеликими площами водозборів [6]. Це сформувало просторово-часовий підпір потоку ґрунтових вод.

Головними наслідками комбінованого впливу такого розосередженого підпору ґрунтових вод і річкового стоку є:

- регіональне підвищення рівня ґрунтового водоносного горизонту (ГВГ);
- зменшення підземного живлення річкового стоку у літньо-осінню та зимову межені;
- зменшення товщини шару порід зони аерації (ненасиченої фільтрації) та погіршення захищеності підземних вод зони активного водообміну (ґрунтових вод та першого від поверхні напірного горизонту);
- уповільнення поверхневого водообміну з погіршенням його гідроекологічних параметрів;
- збільшення втрат річкового стоку внаслідок випаровування з поверхні водосховищ і ставків (з 11,35 тис.км² це становить до 12 млрд м³ на рік).

Про зростання водно-екологічного впливу штучних поверхневих водних об'єктів в межах рівнинної території України свідчить суттєве збільшення тут загальної площі водного дзеркала усіх водосховищ та ставків до 11,35 тис.км², що в 1,6 раза перевищує площу великих водосховищ р. Дніпро (6,95 тис.км²). Причому просторова розосередженість (мозаїчність) масиву середніх і малих водосховищ та ставків у річкових системах обумовлює стійкі регіональні зміни гідрологічного режиму всієї річкової мережі.

В умовах аномального зарегулювання поверхневого стоку України індикатором підпірного впливу великої кількості середніх і малих водосховищ та ставків можна вважати регіональне збільшення територій стійкого і тимчасового підтоплення у період 1985-2020 рр. з 9,92 тис.км² до 88,82 тис.км² (зростання майже у 9 разів).

В межах рівнинної території України ($S_{\text{рів}} \approx 500 \cdot 10^3 \text{ км}^2$) *питома територіальна щільність ставків* (P) за їх кількості там у $N = 50,8 \cdot 10^3$ становить:

$$P = S_{\text{рів}} / N = (500 \cdot 10^3) / (50,8 \cdot 10^3) = 9,8 \text{ км}^2/\text{став.}$$

Причому відносно рівномірний просторовий розподіл ставків дає змогу оцінити їх підпирний вплив на рівні ґрунтового водоносного горизонту із визначенням величини *геопросторового радіусу* ($R_{\text{пр}}$) за питомою територіальною щільністю ставків (P):

$$R_{\text{пр}} = (P/\pi)^{0,5} = [(9,8 \cdot 10^6 \text{ м}^2/3,14)]^{0,5} = 1,74 \cdot 10^3 \text{ м.}$$

За умови загальної площі водного дзеркала ставків і середньо-малих водосховищ у $S_0 = 5,24 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ (та сумарної кількості ставків і водосховищ $N_0 = 5,18 \cdot 10^4$) їх орієнтовний *середній радіус гідрогеофільтраційного підпирного впливу* («великого колодязю») на ґрунтовий водоносний горизонт можна оцінити за наступною залежністю:

$$r_{\text{вк}} \approx (S_0 / \pi \cdot N_0)^{0,5} = [(5,24 \cdot 10^9 / 3,14 \cdot 5,18 \cdot 10^4)]^{0,5} \approx 180 \text{ м.}$$

За фондовими даними моніторингових спостережень за змінами рівнів і хімічного складу ґрунтового водоносного горизонту показник його рівнепроводності (гідрогеофільтраційної швидкості хвилі повеневого підпору) дорівнює $a_y \approx 10^4 \text{ м}^2/\text{добу}$. За цих умов під час повеневого підйому поверхні вод у річкових руслах, середньо-малих водосховищах і ставках протягом часу $t \approx 100$ діб орієнтовна *відстань підпорного впливу повеневої хвилі* ($R_{\text{п}}$) на ґрунтовий водоносний горизонт становитиме:

$$R_{\text{п}} \approx 1,5 \cdot (a_y \cdot t)^{0,5} \approx 1,5 \cdot (10^4 \cdot 10^2)^{0,5} \approx 1,5 \cdot 10^3 \text{ м.}$$

Результати вищенаведених розрахунків доводять, що існуючий масив ставків і середньо-малих водосховищ має практично однакові значення радіусів геопросторового розподілу ($R_{\text{пр}} = 1,74 \cdot 10^3 \text{ м}$) та підпорного гідрогеофільтраційного впливу повені на рівні ґрунтового водоносного горизонту ($R_{\text{п}} \approx 1,5 \cdot 10^3 \text{ м}$).

Кількісна оцінка геопросторового розподілу середніх та малих водосховищ ($N_{\text{снм}} = 1047$) і ставків ($N_{\text{ст}} = 50793$) та їх середніх підпорів ($h_{\text{снм}} = 3,60 \text{ м}$, $h_{\text{ст}} = 1,33 \text{ м}$) дає також змогу виконати орієнтовні розрахунки повздожнього порушення гідрологічного профілю річок ($L_{\text{п}}$) з урахуванням середньозважених регіональних значень їх гідравлічного градієнту ($I_{\text{гр}}$): $I_{\text{гр}} \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$.

Загальна *сумарна довжина повздожнього підпорного порушення гідрологічних профілів річок* України у зонах впливу середніх і малих водосховищ та ставків визначається наступною залежністю:

$$\begin{aligned} L_{\text{п}} &\approx N_{\text{снм}} \cdot (h_{\text{снм}} / I_{\text{гр}}) + N_{\text{ст}} \cdot (h_{\text{ст}} / I_{\text{гр}}) \approx \\ &\approx (1047 \cdot (3,60 / 0,5 \cdot 10^{-3}) + 50793 \cdot (1,33 / 0,5 \cdot 10^{-3})) \approx \\ &\approx (7538 + 135109) \approx 142647 \text{ км.} \end{aligned}$$

Із вищенаведених розрахунків випливає, що за загальної довжини річкової мережі України у $L_{\text{заг}} = 203 \text{ тис.км}$ *частка* (Δ) *регіонального повздожнього порушення* гідрологічного профілю річок ($L_{\text{п}}$) дорівнює :

$$\Delta = L_{\text{п}} / L_{\text{заг}} = (142647 / 203000) \cdot 100\% \approx 84\%.$$

За таких обставин можна дійти висновку, що в межах рівнинної території України, де зосереджена переважна більшість ставків та середніх і малих водосховищ, у XXI ст. сформувались умови для регіонального квазістабільного (десь стійкого, десь тимчасового) підтоплення земель, міських та сільських населених пунктів.

В цьому аспекті привертає увагу близькість величини середнього підпору у зонах впливу мозаїчно розподілених ставків та значень середньобогаторічних коливань рівнів ґрунтового водоносного горизонту (0,6–1,3 м), що практично виключає формування гідравлічного градієнту потоку ґрунтових вод у прируслових зонах та сприяє регіональному підйому їх рівнів з наступною активізацією небезпечних ЕГП: підтоплення земель, ерозії, осідань земної поверхні, зсуво- та карстоутворення.

Для регіональних картометричних оцінок ризику підтоплення раніше доводилося використовувати електронну версію «Інженерно-геологічної карти прояву та розвитку підтоплення на території України» (М 1:1000000, 2002 р.), свого часу оцифрованої і накладеної на топооснову М 1:200000 для потреб колишнього МНС України. При цьому контури ареалів підтоплення зазнали вимушеної генералізації, оскільки вплив регіонального техногенного підпору річкового стоку як на регіональну дренажну супроводжується просторово-часовими змінами параметрів поля рівнів ґрунтових водоносних горизонтів. Зазначена карта відображала розподіл ареалів регіонального ризику підтоплення таких *типів* (за умовами і причинами виникнення):

1) Природне (природно-техногенне) під впливом високого стояння ґрунтових вод (у надмірно зволжених природних зонах Полісся і рівнинного Закарпаття).

2) Техногенне у зонах впливу водосховищ (основний ареал у Середньому Придніпров'ї).

3) Техногенне у зонах ділянок зрошення (південні регіони).

4) Природне (природно-техногенне) від перезволоження верхнього шару ґрунту (його зони аерації або ненасиченої фільтрації) через особливості рельєфу та ґрунтового покриву (в Лісостеповій і Північній Степовій зонах).

За результатами ГС-аналізу цієї карти, загальна площа ареалів *регіонального ризику підтоплення* всіх типів на початку 2000-х років становила 163 тис.км², це 27,3% території України. Цілком закономірно, що за площею серед них переважали зони природно високого стояння ґрунтових вод (тип 1, Полісся і Закарпаття) – 58,1%. Але й ареали явно техногенного ризику (типи 2 і 3) становили понад третину площ регіонального підтоплення (35,2% від усіх підтоплених). Ці зони чутливі до активізації підтоплення внаслідок посилення в останні десятиріччя впливу факторів глобальних змін клімату (потепління, збільшення зливових опадів, висоти й частоти повеней і паводків тощо). До всіх ареалів регіонального ризику підтоплення усіх типів тоді входили 8534 населені пункти (з них 392 міські).

Зрозуміло, що значна частина цих населених пунктів потрапляє до ареалів регіонального ризику підтоплення лише частково, часто дуже малою ділянкою своєї площі (особливо це стосується великих за площею міських поселень). Перевищення їх кількості майже в два рази порівняно з кількістю населених пунктів, де зафіксовані прояви підтоплення згідно з даними «Інформаційних щорічників...» [4, 5], пояснюється тим, що ризик реалізується далеко не кожного року і далеко не в усіх загрозованих населених пунктах.

Оскільки розроблення «Карти підтоплення території України» за 2015 р. (М 1:1000000) у ДНВП «Геоінформ України» не було завершено через організаційні причини, нами було здійснено її доопрацювання як електронної «Карти прояву та розвитку підтоплення за причинами на території України на 2015 р.» (рис. 1) – на основі сканованого паперового оригіналу,

геоприв'язаного до «Топографічної електронної карти України з інформацією Держкомстату про чисельність наявного населення України» (2004 р., М 1:200000), з переписною чисельністю населення в населених пунктах на кінець 2001 р. Контури ареалів ризику і прояву підтоплення креслилися вручну згідно з растровими зображеннями сканованого оригіналу засобами інструменту Editor у середовищі ArcGis 10.2 (в картографічній проекції UkraineEquidistantConic). Нев'язки сканованого оригіналу до топооснови не перевищують 2–3 км, що дає підставу надати доопрацьованій карті масштаб 1:1000000.

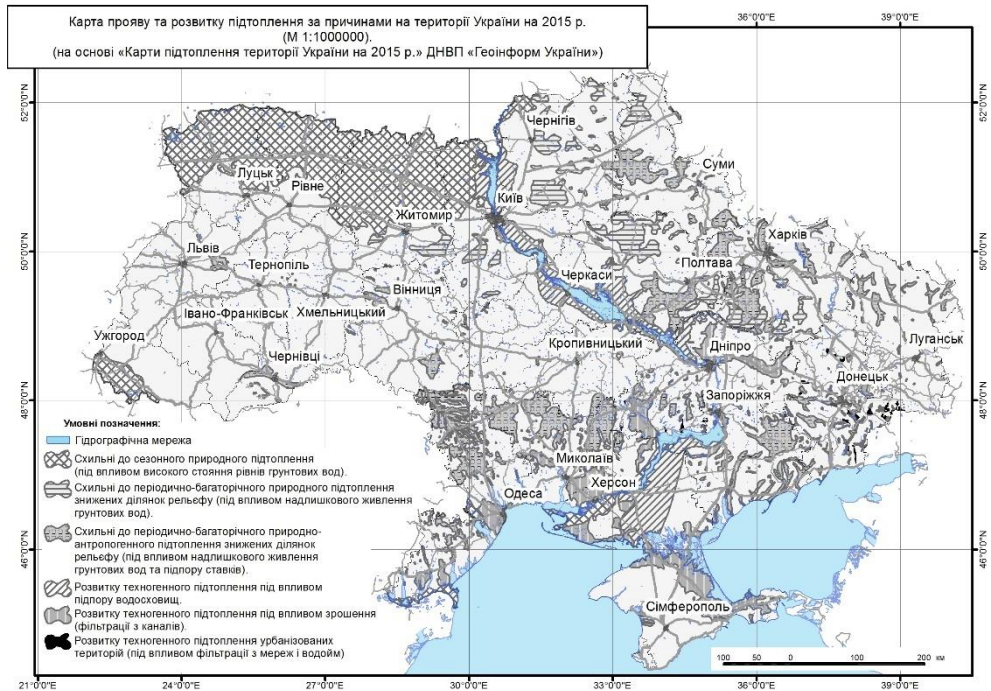


Рис. 1. Доопрацьована «Карта прояву та розвитку підтоплення за причинами на території України на 2015 р.»

В разі потреби отримані контури уточнювалися, доповнювалися та інтерпретувалися за «Картою оцінки динаміки територій розвитку підтоплення за період 1982-2002 рр.» (М 1:1000000) та «Схематической картой оценки распространения и инженерно-геологических параметров подов и блюдец на территории Украины» (автор І.І. Молодих, 1983 р.), оскільки на недоробленому оригіналі наведені, зокрема, заболочені (обводнені) ділянки й поза зоною природно високого стояння рівнів ґрунтових вод, власне поди та блюдця із підвищеним інфільтраційним живленням ґрунтових водоносних горизонтів, особливо у південних регіонах України.

Визначені у такий спосіб контури ареалів поширення ризику підтоплення дешифрувалися за типами умов і факторів генезису (з розподіленням на відповідні картографічні шари). Вдалося визначити такі *типи* умов розвитку підтоплення:

1) Схильність до сезонного природного підтоплення (під впливом природно високого стояння рівнів ґрунтових вод) – у надмірно зволених зонах Волинського, Житомирського та Київського Полісся, рівнинного Закарпаття, заплави нижніх Дунаю, Дніпра і Дністра.

2) Схильність до періодично-багаторічного природного підтоплення знижених ділянок рельєфу (під впливом надлишкового живлення ґрунтових вод) – в Лівобережному Поліссі та Лісостепу, лісостеповій Житомирщині та Київщині.

3) Схильність до періодично-багаторічного природно-антропогенного підтоплення знижених ділянок рельєфу (під впливом надлишкового живлення ґрунтових вод та підпору середніх і малих водосховищ, ставків) – в основному південні, східні регіони та лівобережна частина України.

4) Розвиток техногенного підтоплення під впливом підпору водосховищ – основний ареал у Нижньому та Середньому Придніпров'ї.

5) Розвиток техногенного підтоплення під впливом зрошення (фільтрації з каналів) – південні регіони і Придніпров'я.

6) Розвиток техногенного підтоплення урбанізованих територій (під впливом фільтрації з мереж і водойм) – промислово-міські агломерації в Східному і Придніпровському регіонах.

Ці типи помітно відрізняються від таких за «Інженерно-геологічною картою прояву та розвитку підтоплення на території України» (2002), їх кількість зросла на два за рахунок введення «схильності до періодично-багаторічного природного підтоплення знижених ділянок рельєфу» (тип 2) та «розвитку техногенного підтоплення урбанізованих територій» (тип 6). Типи «розвиток техногенного підтоплення під впливом зрошення» (тип 4) та «розвиток техногенного підтоплення під впливом підпору водосховищ» (тип 5) аналогічні таким у «Інженерно-геологічній карті...». А типи «схильність до сезонного природного підтоплення через природно високе стояння ґрунтових вод» (тип 1) та «схильність до періодично-багаторічного природно-антропогенного підтоплення знижених ділянок рельєфу» (тип 3) відповідні типам «природне (природно-техногенне) під впливом високого стояння ґрунтових вод» та «природне (природно-техногенне) від перезволоження верхнього шару ґрунту» у «Інженерно-геологічній карті...».

За результатами ГИС-аналізу електронної «Карті прояву та розвитку підтоплення за причинами на території України на 2015 р.» загальна площа ареалів регіонального ризику підтоплення всіх типів в середині 2010-х років була 162 т.км² (до 27% території України) – це майже стільки ж, скільки на початку 2000-х рр. За площею серед них переважають типи: «схильність до сезонного природного підтоплення через природно високе стояння ґрунтових вод» (тип 1: 36,1%) та «схильність до періодично-багаторічного природно-антропогенного підтоплення знижених ділянок рельєфу» (тип 3: 26,1%). Ареали явно техногенного ризику (типи 4, 5 і 6) становили 27,7% площ регіонального підтоплення, таблиця 1. В ареали поширення всіх типів регіонального ризику підтоплення потрапило 8639 населених пунктів (до 30% від усіх), з них 464 міських (34,5% від усіх міських). Всіх населених пунктів із ризиком підтоплення виявилось дещо менше (на 1,5%), ніж на початку 2000-х рр. (за рахунок сільських), натомість міських поселень – помітно більше (на 5,7%).

Таблиця 1. Площа ареалів регіонального ризику підтоплення та кількість населених пунктів і населення у них (ГІС-оцінка на 2015 р.)

	Типи підтоплення						Всього
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6	
Площа ареалів регіонального підтоплення, т.км ²	58,4	16,4	42,3	22,5	21,4	0,96	161,9
% за типами умов підтоплення	36,1	10,2	26,1	13,9	13,2	0,6	100
Всіх населених пунктів із ризиком підтоплення	2630	1124	2885	879	1037	84	8639
% за типами умов підтоплення	30,4	13,0	33,4	10,2	12,0	1,0	100
з них міських	100	52	154	55	85	18	464
% за типами умов підтоплення	21,6	11,2	33,2	11,9	18,3	3,9	100
Кількість населення, що зазнає ризику підтоплення, млн. осіб	2,43	0,93	2,50	2,66	3,13	0,1	11,76
% за типами умов підтоплення	20,7	7,9	21,3	22,6	26,6	0,9	100
з них міського	1,04	0,56	1,52	2,08	2,47	0,08	7,76
% за типами умов підтоплення	13,5	7,2	19,6	26,8	31,8	1,1	100
Площа ареалів підтоплених лесів, т.км ²	2,21	9,71	31,93	13,13	17,03	0,49	74,5
% за типами умов підтоплення	2,97	13,03	42,86	17,62	22,86	0,66	100
Населених пунктів на підтоплених лесах	225	765	2317	560	882	50	4800
% за типами умов підтоплення	4,7	15,9	48,3	11,7	18,4	1,04	100
з них міських	17	41	127	37	69	11	303
% за типами умов підтоплення	5,6	13,5	41,9	12,2	22,8	3,6	100
Кількість населення, що зазнає ризику на підтоплених лесах, млн	0,31	0,46	0,14	0,86	2,36	0,06	5,39
% за типами умов підтоплення	5,7	8,6	2,5	16,0	43,7	1,1	100
з них міського	0,15	0,28	0,08	0,55	1,87	0,05	3,71
% за типами умов підтоплення	4,0	7,5	2,2	14,8	50,4	1,4	100

Джерело: авторські розрахунки.

Зазначена ситуація в містах корелює з приростом водних втрат із водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж (орієнтовно щорічно на 0,5–1,0% внаслідок корозії та зростання агресивності підтоплених ґрунтів). Так, виконані оцінки балансу водокористування в межах ПМА на основі статистичної звітності підрозділів Мінбуду, Держводгоспу та ін. дають змогу дійти висновку, що в останні 25–30 років має місце зростання втрат води з водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж з 15–20% до 35–45% і більше.

Про значний водно-геотехнічний вплив таких мереж в містах і селищах (загальна протяжність водопровідних, каналізаційних та теплоенергетичних мереж, відповідно, 127,4, 37,6 та 40,8 тис.км при 35–40% аварійних) на інженерно-геологічний стан ГС свідчить їх загальна середня щільність, яка досягає 11,0 км/км². Причому дослідження просторово-часової динаміки зростання площ підтоплення ПМА України з використанням даних ДЗЗ

(мм. Херсон, Дніпро, Запоріжжя, Одеса та ін.) та величини локальних підйомів рівня ґрунтових вод в їх межах засвідчило формування центральних переважно купольних структур («ядер») техногенних ділянок додаткового водонасичення порід зони аерації. Все це відбувається тому, що значна частка енергоспоживання в ПМА пов'язана із забезпеченням функціонування водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж, підвищені водні втрати з яких внаслідок незадовільної гідроізоляції впливають на: підйом рівня ґрунтових вод, додаткові деформації поверхні та прискорення старіння і зношеності будівель [7–10].

При сучасних втратах води в межах ПМА до 1,3 млрд м³/рік, додаткове техногенне живлення ґрунтового горизонту на території міст і селищ (19,6 тис.км²) становить у середньому: $(1,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{рік}) / (19,6 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \text{ м}^2) = 0,067 \text{ м} = 67 \text{ мм/рік}$ (або 2,1 л/сек-км²), що майже в 2 рази перевищує багаторічні регіональні значення (~1,0 л/сек-км²) і тому сприяє подальшому підтопленню території міст і селищ.

З огляду на все вищенаведене, можна зробити припущення, що в останні 2–3 десятиріччя незадовільний стан водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж перетворився на головний фактор розвитку підтоплення й погіршення стійкості та соціально-економічних показників житлових і промислових споруд в більшості ПМА України.

При цьому необхідно враховувати, що водно-теплові втрати з водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж у межах міст і селищ мають цілорічний характер, що внаслідок фільтраційної анізотропії найпоширеніших в Україні лесових порід (їх вертикальна проникність до 5–10 разів і більше перевищує горизонтальну) обумовлює довгостроковий куполоподібний підйом рівнів ґрунтових вод (у м. Дніпро – до 35 м) із стійким перезволоженням схилових територій в межах ПМА.

Крім того, під час гідромеліоративних зйомок в Дніпропетровській області, було встановлено, що величина статичного напруження зрушення (СНЗ) перезвожених лесів дорівнює $a_{\text{снз}} = 100\text{--}150 \text{ мг/см}^2$, що робить їх пливуноздатними і різко зменшує стійкість схилів. Відповідно, *критична стрімкість схилу* ($a_{\text{кр}}$) для даних умов техногенних змін геомеханічних показників та середньої щільності водонасичених лесово-суглинистих порід у $\rho \sim 1,8 \text{ г/см}^3$ та приросту товщини розрідженого шару (dh) буде дорівнювати:

$$a_{\text{кр}} = \arctg [a_{\text{снз}} / (\rho \cdot dh)]. \quad (1)$$

Розрахунки за вищенаведеною залежністю з використанням фактичних геомеханічних параметрів лесово-суглинистих порід цілком збігаються з фактичними даними щодо зростаючих випадків сучасного зсувоутворення в межах ПМА на схилах зі стрімкістю 5°–7°, а також щодо суфозійних осідань поверхні біля будівель, місць скупчення транспорту, каналізаційних колодязів, де має місце інтенсивна техногенна інфільтрація та активні динамічні зміни порового тиску, геомеханічного та фізико-хімічного стану порід підґрунтя будівель і верхньої зони ГС міст та селищ в цілому [8–12].

Однак більшість населених пунктів в Україні зазнає регіонального ризику підтоплення у зонах періодично-багаторічного природно-антропогенного підтоплення знижених ділянок рельєфу (тип 3) – 2885 (33,4% від усіх підтоплених поселень) та сезонного підтоплення через природно високе

стояння ґрунтових вод (тип 1), 2630 (30,8% від усіх підтоплених поселень). Під ризик явно техногенного підтоплення (типи 4, 5 і 3) потрапило лише 2000 населених пунктів (23,2% від усіх підтоплених поселень), зокрема 158 міських (34,1% від усіх підтоплених міських поселень).

Регіонального ризику всіх типів підтоплення зазнає до 11,76 млн осіб (24,3% всього населення України). Причому більша частина такого населення перебуває під загрозою явно техногенного підтоплення (типи 4, 5, 6: 50,1% від усього підтопленого населення), переважно внаслідок зрошення та підпору водосховищ. В умовах зростаючого впливу зарегульованого поверхневого стоку та глобальних змін клімату це збільшує загрозу погіршення безпеки життєдіяльності у більшості регіонів України. Більшу частину загроженого населення становить міське – 7,76 млн осіб (24,1% всього міського населення). Явно техногенного ризику зазнає більшість (59,7%) підтопленого міського населення, переважно внаслідок зрошення та підпору водосховищ. Натомість загрожене сільське населення здебільшого зазнає ризику сезонного природного підтоплення під впливом високого стояння рівнів ґрунтових вод (34,8%), а також – періодично-багаторічного природно-техногенного підтоплення під впливом надлишкового живлення ґрунтових вод та підпору ставків (24,5%). Разом ці типи підтоплення були характерними для 59,4% загроженого сільського населення.

Розроблення нами оновленої електронної карти дало змогу актуалізувати територіальний ГІС-аналіз впливу фактору підтоплення на розвиток небезпечних ЕГП на нестійких до перезволоження породах підґрунтя, особливо на лесах, площа поширення яких перевищує 60% території України.

Так, поєднання картографічних шарів контурів регіонального ризику підтоплення і контурів поширення лесових порід (за «Картою поширення лесових ґрунтів за просадковістю на території України», 1995 р., М 1:1000000, ДНВП «Геоінформ України) інструментом Intersect виявило ареали перезволожених (підтоплених) лесів (загальною площею 74,5 т.км², понад 12,4% території країни), а їх подальше поєднання з картографічним шаром «населені пункти» топокарти М 1:200000 – сільські і міські поселення, що потрапляють у них. Найбільша частка (42,9%) перезволожених лесів зазнає ризику підтоплення за типом 3 (періодично-багаторічне природно-антропогенне підтоплення знижених ділянок рельєфу), наступна позиція (22,9%) – підтоплення за типом 5 (під впливом зрошення). Ризику чисто техногенного підтоплення (типи 4, 5, 6) зазнає 41,1% території перезволожених лесів.

Населених пунктів на перезволожених лесах виявилось 4799 всього і 302 міських, причому найбільша частка з них (48,3% і 41,9%, відповідно) також зазнає загрози підтоплення саме за типом 3. Загрози техногенного підтоплення (типи 4, 5, 6) зазнає 31,2% населених пунктів, зокрема 38,9% міських поселень на підтоплених лесах. Натомість найбільша частка всього населення на перезволожених лесах, особливо міського, піддається загрозі саме техногенного підтоплення за типом 5 (під впливом зрошення) – 43,7% і 50,4%, відповідно (за рахунок міста-мільйонника Одеси). Причому ризику всіх типів техногенного підтоплення (4, 5, 6) піддано 60,8% всього населення і 66,6% (дві третини!) міського населення, що мешкає на перезволожених лесах. Тобто саме техногенний фактор є провідним у генеруванні ризику підтоплення на перезволожених лесах в Україні.

Висновки

Розроблення оновленої електронної «Карти прояву та розвитку підтоплення за причинами на території України на 2015 р.» передусім дало змогу актуалізувати територіальний ГІС-аналіз розподілу підтоплення по території України у взаємозв'язку з ризиками активізації інших небезпечних ЕГП.

Однак її функціональність не вичерпується цим. Вона може бути однією з підстав (стартовою позицією) для перегляду будівельних норм і правил, зокрема в частині оцінки геотехнічної стійкості підгрунтя фундаментів і несучих конструкцій будівельних споруд у напрямі їх посилення на загрозованих територіях, особливо на підтоплених лесових породах. Такий перегляд набуває зростаючої актуальності в контексті майбутніх широкомасштабних програм відбудови/реконструкції населених пунктів та інфраструктури, пошкоджених/зруйнованих в ході російсько-української війни.

Крім того, зазначена карта є аргументом для зміни політики (й загалом підходів) до природокористування у ареалах ризику техногенного і природно-техногенного підтоплення, особливо щодо екологізації технологій зрошення (для мінімізації фільтрації з каналів тощо), відновлення поверхневого і підземного стоку річок (ліквідація зайвих ставків, реконструкція великих водосховищ із зниженням їх нормального підпорного рівня тощо), осучаснення систем водопостачання і водовідведення в урбанізованих районах (їх реконструкція із застосуванням жорстких екологічних норм).

Ця карта може бути також одним з елементів наукового обґрунтування програм екологічної реабілітації зруйнованих війною регіонів України.

Звісно, що для належної реалізації всього цього вона потребуватиме подальшого доопрацювання за оновленими даними польових обстежень моніторингу проявів підтоплення, який слід відновити у повному обсязі на всій території України у періодичності хоча б 1 раз на 3 роки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рогожин О.Г., Яковлев Є.О. Потенційний приріст сейсмічності в Україні як фактор зростання ризику життєдіяльності від аварій на хіміко-небезпечних ПНО / О.Г. Рогожин, Є.О. Яковлев // Екологічна безпека та природокористування. – К. – 2015. – Вип. 1(17). – С. 15–27.
2. Яковлев Є.О., Рогожин О.Г. Фактори і можливі наслідки регіональних змін інженерно-геотехнічного стану лесів та лесово-суглинистих порід України / Є.О. Яковлев, О.Г. Рогожин // Екологічна безпека та природокористування. – К. – 2018. – Вип. 3(27). – С. 5–23.
3. Яковлев Є.О., Рогожин О.Г. Фундаментальний екологічний фактор забезпечення сталого розвитку регіонів України / Сталий розвиток – ХХІ століття. Дискусії 2021: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції / Національний університет «Кієво-Могилянська академія» / за ред. проф. Хлобистова Є.В. – Київ, 2021. – С. 114–119.
4. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2013. – 101 с.

5. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП – Київ, Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. – 78 с.
6. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн. – К.: Генеза, 2003. – Т.1, кн. 1-2. – 400 с.
7. Довгий С.О., Лялько В.І., Трофимчук О.М. та ін. Інформатизація аерокосмічного землезнавства. – К.: Наукова думка, 2001. – 606 с.
8. Шестопалов В.М., Трофимчук А.Н., Лущик А.В., Яковлев Е.А. Эколого-геодинамические аспекты влияния регионального подъема уровня грунтовых вод и подтопления земель Украины на снижение инженерно-сейсмогеологической безопасности жилищных и промышленных объектов // Труды Международной научной конференции. – Москва, МГУ. 2006. – С. 142–144.
9. Трофимов В.Т., Королев В.А. (ред.). Инженерная геология массивов лесовых пород. – М.: МГУ, 2004. – 139 с.
10. Вознесенский В.А., Коваленко В.Г., Кушнарева Е.С., Фуникова В.В. Разжижение грунтов при циклических нагрузках. – М.: МГУ, 2005. – 134 с.
11. Яковлев Є.О., Черний В.Г., Шокарев В.С. Аналіз замочування лесових ґрунтів України та ймовірнісні оцінки параметрів плям замочування у межах видовжених капітальних об'єктів // Екологія і ресурси. – К. – 2003. – №6. – С. 124–129.
12. Рудько Г.І. Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методологічні основи) // Монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Я. Франка, 2001. – 359 с.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2023 і прийнята до друку після рецензування 23.05.2023

REFERENCES

1. Rogozhin, O.G., & Yakovlev, E.O. (2015). Potential increase of seismic in Ukraine as a factor of life risk growth from accidents on chemically dangerous objects. *Environmental safety and natural resources*, 1(17), 15-27 [in Ukrainian].
2. Yakovlev, Y., & Rogozin, O. (2018). The factors and possible consequences of regional changes in engineering and geotechnical status of loesses and loessy-loamy soils of Ukraine. *Environmental Safety and Natural Resources*, 27(3), 5–23 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2018.3.5-23>
3. Yakovlev E.O., & Rogozhin O.G. (2021). A fundamental environmental factor for ensuring the sustainable development of the regions in Ukraine. In E.V. Khlobistov (Ed.) *Sustainable development – XXI century. Discussions 2021: materials of the VII International Scientific and Practical Conference* (pp. 114-119). Kyiv: National University "Kyiv-Mohyla Academy" [in Ukrainian].
4. Information yearbook on the activation of dangerous exogenous geological processes on the territory of Ukraine according to monitoring data of EGP. (2013). Kyiv: State Service of Geology and Bosom of Ukraine, State Research and Production Enterprise "State Geological Information Fund of Ukraine" [in Ukrainian].
5. Information yearbook on the activation of dangerous exogenous geological processes on the territory of Ukraine according to monitoring data of EGP. (2021). Kyiv: State Service of Geology and Bosom of Ukraine, State Research and Production Enterprise "State Geological Information Fund of Ukraine" [in Ukrainian].
6. Yatsik, A.V. (2003). Aquicultural ecology: in 4 vol., 7 books (Vol. 1, books 1-2). Kyiv: Genesis [in Ukrainian].
7. Dovgiy, S.O., Lyalko, V.I., Trofimchuk, O.M. et al. (2001). Informatization of aerospace physical geography. Kyiv: "Naukova dumka" [in Ukrainian].

8. Shestopalov, V.M., Trofimchuk, A.N., Luschik, A.V., & Yakovlev, E.A. (2006). Ecological and dynamic aspects of the regional increase of underground water level and soil overwetting influence on the decline of engineer and seismological safety of housing and industrial objects in Ukraine. In *Works of International scientific conference* (pp. 142-144). M.: Moscow state university [in Russian].
9. Trofimov, V.T., Korolev, V.A. (eds.). (2004). Engineering geology of loess rock arrays. M.: Moscow state university [in Russian].
10. Voznesenskiy, V.A., Kovalenko, V.G., Kushnareva, E.S., & Funikova, V.V. (2005). Dilution of soils under the cyclic loading. M.: Moscow state university [in Russian].
11. Yakovlev, E.O., Cherniy, V.G., & Shokarev, V.S. (2003). Analysis of soakage of loess soils of Ukraine and probabilistic estimations of spots of soakage parameters within the limits of the extended capital objects. *Ecology and resources*, 6, 124-129 [in Ukrainian].
12. Rudko, G.I. (2001). Technogenic ecological safety of geological environment (scientific and methodological bases). Lviv: the Publishing center of Lviv national university the name of I.Y. Franco [in Ukrainian].

The article was received 28.02.2023 and was accepted after revision 23.05.2023

Рогожин Олексій Георгійович

доктор економічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-8101-9368 **e-mail:** olexarog@gmail.com

Яковлев Євген Олександрович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-6562-4015 **e-mail:** yakovlevhydro@gmail.com

Крета Дмитро Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

Адреса робоча: 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: 0000-0001-5897-0008 **e-mail:** dim.leo@gmail.com