

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ МІСТ І СЕЛИЩ УКРАЇНИ

Яковлев Євгеній Олександрович,
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Проаналізовано зміни верхньої зони геологічного середовища міст і селищ України внаслідок впливу природних і техногенних чинників. Дано просторово-часові оцінки розвитку в межах промислово-міських агломерацій (ПМА) небезпечних геологічних процесів (зсувоутворення, просідання поверхні, підтоплення тощо), які свідчать про необхідність удосконалення системи державного інженерно-геологічного моніторингу територій міст і селищ як основного заходу для забезпечення безпеки життєдіяльності. Визначені напрями вдосконалення державного управління техногенною та екологічною безпекою ПМА з урахуванням подальшого розвитку в Україні процесів урбанізації та зростання впливу природних і техногенних чинників змін довкілля.

Ключові слова: геологічне середовище, безпека, екологічні та техногенні загрози і ризики.

В соціально-економічному плані Україна відноситься до держав з високим рівнем урбанізації – до 70 % населення мешкає у містах і селищах (445 міст та 909 селищ), загальна площа яких дорівнює 19 тис. км² (3,2 % території держави). За орієнтовними даними, у містах і селищах зосереджено до 96,5 тис. промислових об'єктів, у т.ч. понад 26,5 тис. потенційно небезпечних (станом на 01.06.2012 р.), що при середній щільності населення 1650 люд./км² формує високий рівень еколого-техногенних навантажень на геологічне середовище ПМА.

Досвід інженерно-вишукувальних досліджень (ІВД) у межах існуючої та нової забудови, інженерно-геологічний моніторинг територій ПМА свідчить про зростання впливу регіональних змін геологічного середовища (підтоплення, зсувоутворення, просідання поверхні тощо) як провідного чинника безпеки життєдіяльності (БЖД) у містах і селищах (Г. Г. Стрижельчик, В. А. Соколов, В. С. Шокорєв, Я. М. Семчук, І. Б. Абрамов, В. Й. Нікітенко, Г. М. Семчук, Г. І. Рудько, М. Г. Демчишин, О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, А. В. Лущик та ін.).

За останні десятиріччя на території України внаслідок дії природних і техногенних чинників (глобальні зміни клімату, підпор у зонах впливу водосховищ, масове закриття шахт, накопичення промислових і побутових відходів, погіршення стану водопровідно-ка-

налізаційних і теплоенергетичних мереж, старіння фонду житлових і промислових будівель тощо) загострилася проблема еколого-техногенної безпеки ПМА як складних природно-техногенних геосистем (ПТГС). Останні дані моніторингових спостережень (наземних, дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та ін.) свідчать про тенденцію до активізації цих негативних природно-техногенних процесів у просторово-часовому масштабі в межах ПМА. Передусім йдеться про збільшення площ підтоплення, зсувних, просадкових та інших небезпечних явищ як головних чинників еколого-техногенних загроз БЖД.

Враховуючи, що в Україні тривають процеси урбанізації, це зумовлює необхідність удосконалення науково-методичної бази, технічних засобів і технологій виконання ІВД, а також моніторингу геологічного середовища (ГС) в межах існуючої та нової забудови міст і селищ [1–6]. Сучасні нормативні документи України щодо містобудівельної діяльності передбачають екологічну безпеку забудованих територій та їхній захист від небезпечних природних і техногенних процесів переважно на рівні природних умов.

Водночас аналіз даних моніторингу змін ГС територій міст і селищ за останні десятиріччя (Держбуд, Мінрегіонбуд, Мінжитлокомунгосп, Держгеолслужба Мінприроди, Інститут геологічних наук НАН України та ін.) свідчить, що найбільш небезпечні зміни інже-

Стратегічні пріоритети, №4 (29), 2013 р.

нерно-геологічних умов у ПМА зумовлені техногенним і техногенно-природним підтопленням їхніх територій. За попередніми оцінками, щорічні збитки від стійкого підтоплення ПМА (до 200 тис. га або 11 % загальної площі ПМА у 550 містах і селищах), за даними спеціалізованого обстеження УкрНДІкомунпроект за 2004–2009 рр., сягають 1,5–2,0 млрд грн/рік [3–8].

Загалом площі підтоплення території ПМА подвоїлись за останні 20–25 років і внаслідок комплексної дії природних і техногенних чинників мають стійку тенденцію як до подальшого збільшення, так і до активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів – зсувів, просідань верхньої зони порід, а також карстово-суфозійних проявів, зниження міцності лесово-суглинистих порід (наявних на 70 % території держави), зростання їхньої агресивності до залізобетонних і металевих будівельних конструкцій.

Негативний вплив підтоплення на функціонування та перспективи подальшого розвитку ПМА за останні 10–15 років збільшується внаслідок зростання дії чинників глобальних змін клімату (ГЗК), у т.ч. підвищення приземних температур, збільшення опадів, частоти, висоти і площ повеней. Регіональні зміни режиму рівнів та хімічного складу ґрунтового і напірних горизонтів зони активного водообміну (ЗАВ) в умовах зарегулювання поверхневого стоку (до 70 % малих і середніх річок, 34 тис. ставків та водосховищ) і збільшення опадів активізують взаємодію ділянок локального підтоплення ПМА із зонами регіонального (критичного) підвищення рівнів ґрунтових вод на прилеглих територіях (до глибини 1,5–2,5 м) [6–8].

Найнесприятливіші умови з підтопленням ПМА склались у центральних і південних областях України. До найбільш підтоплених відносяться Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Миколаївська, Одеська, Полтавська, Харківська та Херсонська області (табл. 1).

Загалом, за експертними оцінками, від підтоплення земель тією чи іншою мірою потерпають мешканці 60 % ПМА України, а соціально-економічні збитки становлять кількасот гривень і більше на 1 га уражених територій у сільській місцевості та від 10–12 до 76–122 тис. грн/га території міст. При цьому на ділянках підтоплення суттєво зростає забруднення приземної атмосфери, скорочуються терміни безпечної експлуатації будівель та інженерних мереж, погіршуються параметри БЖД населення [7–11].

Як зазначається у проектно-нормативних джерелах, комплексна вартість дренажного

захисту 1 га території середнього міста становить близько 5 тис. дол./рік. Таким чином, при його недостатній розвинутості в межах підтоплених міст і селищ України фактично формується опосередкований ризик щорічних втрат (ремонт деформованих будівель, зруйнованих інженерних мереж, шляхів тощо) на рівні $5 \cdot 10^3 \times 200 \cdot 10^3$ га \approx 1 млрд дол./рік, де $200 \cdot 10^3$ га – сумарна площа підтоплених ділянок у межах ПМА (за даними УкрКомунНДІПроекту Мінжитлокомунгоспу України, 2008 р.).

Про можливість збільшення економічних втрат за умови подальшого розвитку підтоплення в межах міст і селищ свідчать також дані економічних розрахунків, наведені в Комплексній програмі ліквідації наслідків підтоплення територій в містах і селищах України (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 100):

- розрахункова вартість першочергового захисту 7220 га підтоплених територій у період 2003–2005 рр. становила 550,7 млн грн (або 76,5 тис. грн/га);

- витрати на перспективу до 2010 р. для захисту підтоплених територій на площі 196,2 тис. га на той час сягали 23,89 млрд грн або близько 122,0 тис. грн/га.

Таким чином, спостерігається тенденція до збільшення витрат на ліквідацію підтоплення у містах і селищах в 1,5–2 рази протягом кожних 7–10 років. Виконаний Національним інститутом стратегічних досліджень аналіз еколого-інженерно-геологічної безпеки міст Євро-2012 (Київ, Донецьк, Харків, Львів) засвідчив, що геологічне середовище цих ПМА характеризується підвищеною чутливістю до впливів метеорологічних, транспортних, комунальних, гірничо-промислових та інших навантажень [8–13].

Якщо врахувати, що термін сталої експлуатації дренажних споруд в умовах впливу агресивних вод у ґрунтах ділянок підтоплення ПМА не перевищує 12–15 років, то виконані оцінки дають змогу зробити висновок, що сучасний стан підтоплення міст і селищ може формувати ризик постійних додаткових економічних втрат в обсязі $23,89 \cdot 10^9$ грн/12÷15 років \approx 1,79÷2,24 млрд грн/рік.

Варто взяти до уваги, що у згаданих оцінках враховані ділянки зафіксованого прояву підтоплення (переважно в підвалинах будівель і каналізаційних споруд), а також фактичні площі критичних глибин залягання ґрунтових вод і зменшення міцності порід (або зон повного водонасичення) за результатами польових обстежень 1982–2010 рр., а раз вони можуть бути у 2–3 рази більшими.

Таблиця 1

**Узагальнена характеристика площ проявів підтоплення
міст, селищ і сільських населених пунктів у 1999–2010 рр.**

Назва адміністративної одиниці	Площа адміністративного утворення, тис. км ²	Площі підтоплення, тис. км ² , станом на 2007 р.	Кількість населених пунктів, у яких зафіксоване підтоплення	
			с.н.п.	міста та селища
АР Крим	27,0	4,43	316	12
Вінницька	26,5	0,9	112	10
Волинська	20,2	12,9	36	11
Дніпропетровська	31,9	7,3	226	43
Донецька	26,5	3,04	41	42
Житомирська	29,9	20,13	Нв	55
Закарпатська	12,8	3,02	32	27
Запорізька	27,2	3,2	216	24
Івано-Франківська	13,9	0,014	Нв	Нв
Київська	28,9	8,1	5	23
Кіровоградська	24,6	0,142	18	11
Луганська	26,7	0,164	55	34
Львівська	21,8	0,116	119	17
Миколаївська	24,6	17,767	484	10
Одеська	33,3	19,685	568	40
Полтавська	28,8	8,5	13	22
Рівненська	20,1	12,8	16	19
Сумська	23,8	0,474	Нв	20
Тернопільська	13,8	–	70	10
Харківська	31,4	3,02	158	32
Херсонська	28,5	11,297	250	19
Хмельницька	20,6	0,014	1	19
Черкаська	20,9	0,08	10	8
Чернівецька	8,1	0,4	5	18
Чернігівська	31,9	4,4	Нв	11
Україна загалом	603,7	121,73	–	–

У наведених орієнтовних оцінках економічних втрат, зумовлених регіонально розподіленим розвитком процесу підтоплення міст і селищ України, не враховані збитки внаслідок зростання захворюваності при вживанні забруднених вод, скорочення в 1,5–2 рази терміну безпечної експлуатації житлових, промислових і шляхових споруд, стійкого зниження міцності порід підгрунтя й верхньої зони геологічного середовища під впливом техногенного водонасичення, надходжень тепла та хімічних сполук.

Водночас виконаний свого часу в Інституті проблем національної безпеки РНБО України (2006–2007 рр.) та в Національному інституті стратегічних досліджень (2010–2012 рр.) аналіз просторово-часової динаміки зростання площ підтоплення ПМА України та величини локальних підйомів рівнів ґрунтових вод у їхніх межах (до 5–8 м і навіть до 12–35 м у містах Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ та ін.) засвідчив формування переважно купольної структури техногенних ділянок додаткового водонасичення порід зони ненаси-

Стратегічні пріоритети, №4 (29), 2013 р.

ченої фільтрації (аерації). Їхній регіональний просторовий розподіл при одночасній втраті природних дрен у ПМА (засипка ярів і балок, русел малих річок, підземне будівництво тощо) суттєво впливає на уповільнення регіонального потоку ґрунтових вод і сприяє підйому їхніх рівнів.

Оцінки на базі державної статистичної звітності балансу водокористування в межах ПМА (звітність підрозділів Мінрегіонбуду, Держводгоспу, Держгеолслужби Мінприроди та ін.) свідчать, що за останні 10–15 років спостерігається зростання втрат вод із водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж (ВКТЕМ) ПМА з 15–20 % до 35–45 % і більше.

Чинником зростаючих негативних змін соціально-економічних і водно-геотехнічних параметрів ВКТЕМ міст і селищ є втрати теплових ресурсів, які збільшують теплоперенесення верхньої зони порід на рівні 14–20 млнГвт, або 3 млн т умовного палива. При загальній протяжності водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж, відповідно 231,0 та 36,5 тис. км (середня щільність 11,0 км/км²), їх вплив на інженерно-геологічний стан (зниження міцності порід у підґрунті будівель, шляхів, зсувоутворення на схилах) охоплює більшу частину територій ПМА.

У цих умовах привертає увагу те, що значна частка енергоспоживання ПМА пов'язана із забезпеченням функціонування ВКТЕМ, підвищені водні втрати з яких внаслідок аномальної кородованості та незадовільної гідроізоляції впливають як на підйом рівнів і температури (агресивності до металу та бетону) ґрунтових вод, так і на активізацію при підвищених опадах локальних затоплень і деформацій (просідань і провалів) шляхів, підґрунтя будівель, підземних споруд, схилів.

Узагальнені водно-балансові розрахунки свідчать, що при сучасних втратах води в межах ПМА (близько 1,3 млрд м³/рік), техногенне додаткове живлення ґрунтового горизонту на площі міст і селищ (19,6 тис. км²) у середньому сягає:

$1,3 \cdot 10^9 \text{ м}^3 / \text{рік} : 19,6 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \approx 0,067 \text{ м} \approx 67 \text{ мм} / \text{рік}$ (або 2,1 л/сек·км²), що в 2–3 рази перевищує багаторічні регіональні значення ($\sim 0,7 \div 1,0$ л/сек км²) і тому сприяє як подальшому збільшенню підтоплення міст, селищ і прилеглих територій, так і активізації просадкових, зсувних, карстових та інших небезпечних процесів.

Беручи зазначене до уваги, можна зробити припущення, що за останні десятиріччя й на наступні 10–15 років сучасний стан ВКТЕМ залишиться головним чинником зростання

енерго-водоємності більшості ПМА України та розвитку підтоплення й погіршення соціально-економічних показників функціонування житлових і промислових споруд у їх межах. Одночасно слід очікувати зростання ризику НС інженерно-геологічного та будівельно-геотехнічного походження. При цьому попередній аналіз структури розвитку підтоплення окремих міст і селищ із використанням даних ДЗЗ (міста Херсон, Павлоград, Одеса, Донецьк, Маріуполь та ін.) засвідчив, що ділянки підтоплення розвинуті на обмежених площах, формуючи таким чином центральну зону («ядро») техногенного підвищення рівнів ґрунтових вод на прилеглих ділянках ПМА.

Отже, за попередніми оцінками, можна зробити висновок, що майже завжди додаткові водно-техногенні навантаження існуючої та нової забудови ПМА активізують підтоплення та його подальший розвиток із формуванням техногенних водоносних горизонтів, полів гідрогеомеханічних напруг, електрохімкорозії та ін.

Загалом можна виділити 3 складники у загальній структурі схеми формування підтоплення ділянок ПМА [9–11]:

– *перша схема* – підтоплення розвивається внаслідок стійкого регіонального підйому рівнів ґрунтових вод на значних площах (зони впливу водосховищ, накопичувачів промстоків, фільтрозавіс, масивів зрошення тощо);

– *друга схема* – техногенне водонасичення порід зони аерації (т.зв. надмірна фільтрація) з поступовим підйомом рівнів ґрунтових вод, формування «верховодки» чи техногенного водоносного горизонту (переважно в умовах лесово-суглинистого розрізу зони ненасиченої фільтрації Придніпровського, Південного та Східного регіонів);

– *третья схема* – територіальний підпір ґрунтового водоносного горизонту і скорочення його низхідного розвантаження внаслідок підйому рівнів напірних горизонтів (закриття шахт і кар'єрів за схемою їх затоплення, зменшення водовідбору з підземних водозаборів, зниження ефективності дренажних споруд).

Загалом, можна виділити наступні чинники, які ускладнюють формування ефективної політики щодо захисту території міст і селищ від НЕГП і негативного впливу чинників глобальних змін клімату:

1) неузгодженість нормативно-правових документів, які регламентують інженерно-вишукувальні роботи в межах ПМА із значними змінами інженерно-геологічних умов, у т.ч. унаслідок їхньої переважаючої орієнтації на вивчення локальної та об'єктової взаємодії будівель з геологічним середовищем; даний

Таблиця 2

Технічний стан житлового фонду в міській і сільській місцевості станом на 01.01.2010 р.

Регіон	Кількість житлових будинків, N, всього, тис. од.	Ветхі житлові будинки, од. (%)	Аварійні житлові будинки, од. (%)	Загальна кількість ветхих і аварійних будинків, од. (%)	Рівень загрози ризику руйнування (n/N) 10 ⁻³
АР Крим	332,69	987 (0,3)	161 (0,05)	1148 (0,35)	3,5
Вінницька	569,43	3018 (0,6)	878 (0,15)	3896 (0,75)	7,5
Волинська	232,37	1299 (0,6)	229 (0,1)	1528 (0,7)	7,0
Дніпропетровська	608,02	1740 (0,3)	258 (0,04)	1998 (0,34)	3,4
Донецька	849,50	4946 (0,6)	1617 (0,2)	6563 (0,8)	8,0
Житомирська	380,47	2870 (0,8)	515 (0,15)	3385 (0,95)	9,5
Закарпатська	303,01	911 (0,3)	237 (0,08)	1148 (0,38)	3,8
Запорізька	351,67	827 (0,25)	232 (0,07)	1159 (0,32)	3,2
Івано-Франківська	340,77	972 (0,3)	347 (0,1)	1319 (0,4)	4,0
Київська	525,56	2614 (0,5)	451 (0,08)	3065 (0,58)	5,8
Кіровоградська	318,77	149 (0,05)	19 (0,01)	168 (0,06)	0,6
Луганська	518,39	1793 (0,35)	231 (0,05)	2024 (0,4)	4,0
Львівська	453,59	1336 (0,3)	430 (0,1)	1766 (0,4)	4,0
Миколаївська	269,96	1456 (0,5)	623 (0,23)	2079 (0,73)	7,3
Одеська	481,42	4258 (0,9)	1314 (0,27)	5572 (1,17)	11,7
Полтавська	422,61	1389 (0,3)	210 (0,05)	1599 (0,35)	3,5
Рівненська	261,67	1414 (0,55)	235 (0,09)	1649 (0,64)	6,4
Сумська	330,84	1836 (0,5)	270 (0,08)	2106 (0,03)	6,3
Тернопільська	285,86	897 (0,3)	490 (0,17)	1387 (0,47)	4,7
Харківська	495,53	4177 (0,85)	547 (0,11)	4724 (0,96)	9,6
Херсонська	285,76	1011 (0,35)	323 (0,11)	1334 (0,46)	4,6
Хмельницька	380,42	1566 (0,4)	309 (0,08)	1875 (0,48)	4,8
Черкаська	429,24	2728 (0,65)	590 (0,14)	3318 (0,79)	7,9
Чернівецька	246,17	977 (0,4)	286 (0,12)	1263 (0,52)	5,2
Чернігівська	393,51	836 (0,2)	100 (0,03)	936 (0,23)	2,3
м. Київ	33,68	356 (1,05)	6 (0,02)	362 (1,07)	10,7
м. Севастополь	30,10	86 (0,3)	54 (0,18)	146 (0,48)	4,8
Всього по Україні	10313,0	46449 (0,46)	10962 (0,1)	57411 (0,56)	5,6

підхід не враховує вплив на розвиток депресій та регресій ґрунтових вод регіональних чинників змін структури річкової мережі (параметрів підземних вод, техногенної фільтрації, ГЗК та ін.);

2) зниження в багатьох випадках вимог до інженерно-захисних споруд, використання недосконалих технологій при їхньому будівництві;

3) недостатній рівень випереджаючого спорудження систем інженерного захисту, у т.ч. при різночасовому будівництві на суміжних

ділянках, а також виконанні робіт численними установами;

4) недостатній розвиток систем інженерно-гідрогеологічного моніторингу на ділянках існуючої та нової забудови;

5) недосконале врахування в схемах розвитку ПМА змін гідрогеологічних умов і чинників ГЗК, розширення підземного будівництва (метро, паркінги, складські приміщення тощо).

Зазначимо, що більшість існуючих схем захисту від підтоплення ПМА має об'єктовий

Стратегічні пріоритети, №4 (29), 2013 р.

рівень, що в умовах активізації регіонального підтоплення земель на прилеглих територіях та чинників ГЗК обмежує їхній територіально-захисний вплив під час надзвичайних ситуацій (повені, підвищені опади, критичні зниження температур повітря, сейсмічні струшування тощо).

Враховуючи, що до 80 % міст і селищ України розташовані на території рівнинного розповсюдження лесово-суглинистих та піщаних осадкових порід і регіонального розповсюдження ґрунтових вод, техногенні підвищення рівнів останніх у межах забудованих територій здатні суттєво перевищувати їхні площі. Таким чином, якщо порівняти сумарні площі ПМА (до 19 тис. км²) та техногенних поверхневих водойм (до 13 тис. км²), то можна зробити висновок про формування регіонального гідрогеофільтраційного впливу міст і селищ на динаміку та режим рівнів ґрунтового водоносного горизонту. Орієнтовні оцінки в цих умовах фільтраційного опору ділянок ПМА регіональним потокам ґрунтових вод свідчать про високу можливість збільшення впливу ГЗК та сучасного високовтратного водокористування в містах і селищах на подальші негативні зміни інженерно-геологічних умов ПМА. Дія зазначених чинників вимагає удосконалення нормативно-правової бази функціонування міст і селищ, у т.ч. випереджаючої розробки генпланів їх перспективного розвитку, створення державної бази інженерно-геологічних карт, а також методики та складу ІВД [4–8].

Сучасний рівень інженерно-технічних передумов зростання геотехнічного ризику міст і селищ внаслідок комплексного впливу старіння житлово-промислового фонду, активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів, розвитку підтоплення їх території можна проілюструвати наступними розрахунками рівня загроз їх руйнівних деформацій на базі даних МНС щодо кількості аварійних і ветхих житлових будинків у містах і селищах України (табл. 2).

Співставлення даних моніторингу МНС, НАН України, Держгеолслужби Мінприроди щодо ураженості геологічного середовища небезпечними процесами (зсуви, карст тощо) за останнє десятиріччя свідчить, що відбувається постійне ускладнення інженерно-геологічних умов функціонування будівельних об'єктів міст і селищ, декотрі з яких можуть призвести до критичних знижень технологічної стійкості конструкцій чи техногенно-геологічної системи (ТГС) «будівля – геологічне середовище підґрунтя» в цілому, а останнє сприятиме зростанню геотехнічного ризику території.

З урахуванням цього нами пропонується комплексний показник інженерно-геотехнічного ризику міст і селищ на основі оцінки сумарного впливу підтоплення та НЕГП – зсувів як провідних загроз БЖД у ПМА, а також впливу регіонально поширених просадковості та карстоутворення. Методологічно функцію геотехнічного ризику ТГС міст і селищ на регіональному рівні можна подати у вигляді схеми за 4 групами зазначених параметрів, які формують основний складник комплексного геотехнічного ризику міст і селищ на регіональному рівні.

Технологічна група інженерно-геологічних та екзо-геодинамічних чинників геотехнічного ризику віддзеркалює локально-територіальні та об'єктові характеристики ТГС міст та селищ і НЕГП. У загальному випадку всі ділянки прояву НЕГП та будівельні об'єкти в їхньому спільному впливі на БЖД у межах ПМА формують об'єктово-територіальну базу розподіленого геотехнічного ризику, яку, на наш погляд, з урахуванням просторово-часової неоднорідності прояву НЕГП у системі ГС та підвищеної детермінованості інженерно-будівельних параметрів доцільно розглядати як напівстохастичну (кількісно-ймовірнісну) сукупність. Досвід впровадження даного підходу свідчить, що сумісний аналіз параметрів ПМА і характеристик їх ураженості НЕГП у межах адміністративних областей дає змогу отримати інтегральну оцінку їх впливу на комплексні зміни інженерно-геологічних умов та формування геотехнічного ризику $R_{ГТ}$ за адитивною схемою врахування чинників:

$$R_{ГТ} = f(r_{ас} + r_{пр} + r_{к} + r_{підт}),$$

де відповідно: $r_{ас}$, $r_{пр}$, $r_{к}$, $r_{підт}$ – ураженість території міст і селищ зсувами, осадковістю, карстом, підтопленням у балах (див. табл. 3, 4).

Екзогеодинамічна група чинників геотехнічного ризику території міст і селищ нами прийнята з урахуванням того, що ТГС «об'єкти міст і селищ – ГС» функціонує на регіональному рівні з фактичним проявом природно-техногенних змін ГС передусім у формі активізації небезпечних ЕГП (карст, зсуви тощо) при комплексному впливі підтоплення. Крім того, довготривалість функціонування більшості будівельних об'єктів міст і селищ можна порівняти з періодами природної активізації НЕГП і глобальних змін клімату, що здатні впливати на динаміку геотехнічного ризику ПМА.

Як уже відзначалося, переважний зв'язок геотехнічного ризику об'єктів міст і селищ прослідковується з двома визначальними групами інженерно-геологічних і гідрогеоло-

гічних параметрів ГС: природне (фонове) надмірне зволоження верхньої зони прояву ЕГП і динаміка підвищення рівнів ґрунтових вод або формування техногенних водоносних горизонтів. У зв'язку з цим у регіональних розрахунках показників інженерно-геологічної групи чинників геотехнічного ризику вводяться площі з оцінками питомої ураженості НЕГП у відсотках від території адміністративної області, міст і селищ.

Така залежність базується на тому, що головним місцем інженерно-геологічної та екогеодинамічних складників геотехнічного ризику міст і селищ є зона розвитку ТГС «будівельні об'єкти – ГС». При цьому нами були враховані два базові положення, що обґрунтовують правомірність використання згаданої методики:

– еколого-геологічна еквівалентність впливу будівельних об'єктів міст і селищ на природні й техногенні зміни ГС (зміни тепло- та вологоперенесення, несучої здатності порід, навантаження тощо);

– інженерно-геологічна еквівалентність провідних процесів, які відбуваються в ГС і в зоні формування ТГС «будівельний об'єкт – ГС» (фільтрація, зміна приземного шару повітря, порушення профілю схилів, провальні деформації шляхів та ін.) у межах ПМА (рис. 1, 2).

Водночас широке розповсюдження ПМА в різних інженерно-геологічних умовах регіонів України та різноманітність у їх межах ТГС «техногенний об'єкт – ГС» створює середовище для сталого геотехнічного впливу як в умовах експлуатації інженерних споруд міст і селищ, так і в аварійних ситуаціях. При цьому геотехнічний ризик регіонального рівня залежатиме від об'єктової й територіальної щільності об'єктів і ділянок НЕГП, їх здатності до

активізації в умовах зміни кліматичних параметрів, гідросфери, ландшафтів.

Специфіка формування геотехнічного ризику в межах міст і селищ, як свідчать результати аналізу, характеризується, головним чином, фактично не поновлюваним характером змін гідрогеологічних та інженерно-геологічних параметрів ГС. Загалом геопросторове розташування територій міст і селищ у різних фізико-географічних, структурно-тектонічних, ландшафтно-геохімічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних і сейсмо-геофізичних умовах формує складну функціональну структуру геотехнічного ризику та еколого-геологічних умов життєдіяльності і впливу великої кількості як детермінованих, так і вірогідних (випадкових) природних і техногенних чинників.

Таким чином, прийняті групи чинників формування геотехнічного ризику міст і селищ, у межах яких має місце підтоплення як основний фактор еколого-геологічної небезпеки ПМА, дають змогу виконати:

– порівняльну оцінку фактичних регіональних параметрів інженерно-геологічних та екогеодинамічних умов у межах адміністративних областей;

– функціональне визначення безрозмірних параметрів (модульних чи відносних) геотехнічного ризику;

– узагальнену (інтегральну) оцінку інженерно-геологічного та екогеодинамічного складників геотехнічного ризику.

Необхідно зазначити, що у разі високого ступеня ураженості адміністративної області на регіональному рівні тим чи іншим екзогенним геологічним процесом (зсуви, підтоплення) знижується ризик активізації цих процесів на об'єктовому рівні. І навпаки, за невисокої регіональної ураженості території



Рис. 1. Провал ґрунту на шляховому полотні у м. Києві по вул. О. Теліги



Рис. 2. Утворення зсувів течій на виположених схилах (8–10°) у м. Куп'янськ (Харківська обл.)

НЕГП виникає ризик значної техногенної активізації зсувів, підтоплення та інших небезпечних процесів на об'єктовому рівні. При цьому високий рівень прояву підтоплення супроводжується значним ризиком активізації зсувних процесів у межах міст і селищ (табл. 3, 4).

Наведені результати комплексного регіонального районування міст і селищ України за рівнем геотехнічного ризику підтоплення та НЕГП базуються на обліку сумарного впливу оцінених природних і техногенних чинників. Необхідно відзначити, що нині фактично відсутні прості методики об'єднання різних інженерно-геологічних, гідрогеологічних та інших показників і властивостей порід ТГС «техногенний об'єкт – ГС» у єдину систему оцінки геотехнічного ризику міст і селищ. У зв'язку з цим нами прийнято припущення про можливий сумарний вплив природних і техногенних чинників на геотехнічний ризик $R_{ГТ}$ шляхом сумування безрозмірних відносних модульних параметрів.

Одночасна дія більшої кількості різноманітних за параметрами інженерно-будівельних об'єктів міст і селищ у просторово-часовому континуумі чисельних ТГС обумовлює можливість сумарного обліку 4 груп чинників геотехнічного ризику у формі раніше наведеного лінійного одновимірного рівняння:

$$R_{ГТ} = f(r_{ас} + r_{пр} + r_{к} + r_{підт})$$

Як зазначалося раніше, ці групи чинників мають модульну (площинну) форму вираження; при цьому для дотримання їх екологічної подібності використана однакова шкала оцінки зміни значень:

$$\Delta r_i = (r_{max} - r_{min})/n,$$

де n – прийняте число зміни значень параметра, що оцінюється, однакове для всіх видів. Враховуючи значний рівень осереднення та генералізації показників, пропонується 5-бальна шкала.

Таким чином, оцінюваним (з урахуванням фактичних природних і техногенних характеристик) їх розрахунковим параметрам надаються однакові інтервальні характеристики в межах значень $r_{max} - r_{min}$. При цьому було припущено, що отримані відомості охоплюють існуючі межі просторово-часових інженерно-геологічних характеристик міст і селищ. Можливість адитивного (сумарного) обліку оціночних параметрів визначається наступними властивостями прийнятої 5-бальної шкали оцінки розглянутих чинників геотехнічного ризику:

– відносною рівномірністю територіального розподілу значень параметрів у межах $r_{max} - r_{min}$;

– використанням середніх значень інженерно-геологічних та екогеодинамічних параметрів територій міст і селищ на регіональному рівні.

Прийнята математична модель оцінки регіонального геотехнічного ризику міст і селищ із проявами підтоплення їх територій має вірогідний характер у зв'язку з випадковим характером проявлення більшості природних і техногенних інженерно-геологічних процесів, які призводять до аварій.

Максимальним (критичним) геотехнічним ризиком території міст і селищ на регіональному рівні характеризуються Чернівецька,

Таблиця 3

Типові параметри регіонального прояву підтоплення у містах і селищах

Адміністративні області, міста, селища	Площа населених пунктів S , га	Площа підтоплення населених пунктів f , га	Небезпечність території населених пунктів щодо підтоплення $\alpha = f/S$, %	Ураженість адміністративної області щодо підтоплення L , %	Індекс техногенної активізації підтоплення в області α/L , %
Черкаська	14628	14021	59,5–100	0,4	148–250
Хмельницька	12712	3002	10,0–7,0	0,1	100–700
Харківська	48558	16188	0,5–100	9,6	0,1–10,4
Полтавська	36967	13040	4,8–100	29,5	0,2–3,4
Одеська	35967	15882	8,9–100	59,1	0,2–1,7
Луганська	61737	23495	5,0–100	0,6	8,3–166,7
Закарпатська	8038	5377	50–100	23,6	2,1–4,2
Житомирська	38891	4280	2,0–26,3	67,3	0,1–0,2
АР Крим	28555	7280	1,3–100,0	16,4	0,1–6,1

Таблиця 4

Регіональні параметри розвитку зсувів у містах і селищах

Адміністративні області, міста	Тип і розташування населених пунктів*	Група поселень за чисельністю населення**	Площа населеного пункту S , га	Площа зсувонебезпечних та зсувних територій f , га	Зсувонебезпечність території міста, селища, $\alpha = \frac{f}{S}$, %	Ураженість адміністративного регіону зсувами, L , %	Зміни індексу техногенної активізації зсувів α/L
Вінницька	II – II 4;5	B, M	12205	2925	5–52	0,03	161–166
Дніпропетровська	II	H, B, M	55011	5444	2,4–13	0,05	48–260
Донецька	II – II6	C, 3, M	21840,5	4383	5,1–19,0	0,03	170–633
Закарпатська	III	M, C	4659,4	341,3	2,4–29,8	3,15	0,8–9,5
Запорізька	III – III	M, C	11901	178	0,7–7,0	0,01	70–7000
Івано-Франківська	II – II4 – III	H, M, C	13303	2814,5	2,4–90	3,45	0,7–12,2
Київська	III	M, H	19370	5534	4,9–45	0,06	82–750
Кіровоградська	III – II6	B, M, C	4273	641	15,0	0,01	1–1500
Луганська	II6	B, M, C	308501,7	4966,5	7,9–30,5	0,03	103–667
Львівська	II4 – II7 – III	3, C, M	25136	1139,3	1,9–30,2	0,2	2,5–151
Миколаївська	II – II5	B, M	12930	100	8,0	0,08	до 100
Одеська	I – II	M, H, C	27055	1042,2	0,4–50,6	0,32	1,25–158
Полтавська	III	B, M	17584	1835	4,8–30,0	0,32	15,0–93,8
Сумська	III – II4	M, C	4024	549	12,0–20,0	0,04	300–500
Тернопільська	II4	M, C	8579	579	3,1–12,0	0,01	310–1200
Харківська	II6	M	46883,1	2920,6	1,0–30,0	0,23	4,5–130
Хмельницька	III – II4 – II5	B, M, C	10563	1222,6	4,5–17,4	0,02	225–870
АР Крим	I – II – III	B, C	49599	978,6	0,2–42,0	0,17	0,2–38,8

Примітки:

* I – морські рівнинні узбережжя; II – річкові долини; III – гірські райони.

1 – узбережжя Чорного моря; 2 – узбережжя Азовського моря; 3 – басейн Дніпра; 4 – басейн Дністра; 5 – басейн Південного Бугу; 6 – басейн Сіверського Донця; 7 – басейн Вісли.

** Категорії міст за чисельністю населення (тис. осіб): H – надзначні, понад 1000; 3 – значні 500–1000; B – великі 100–500; C – середні 50–100; M – малі 10–50.

Одеська, Херсонська, області з активним розповсюдженням слабопроникних осадових порід та активним підтопленням земель.

Результати регіональної інтегральної оцінки груп параметрів, які розглядаються, дозволили виділити в межах України території з різним ступенем геотехнічного ризику міст і селищ (табл. 5).

Прогнозні оцінки рівня інженерно-геологічних ризиків свідчать, що підвищену небезпеку ускладнень природи та зростання геотехнічних загроз БЖД у містах і селищах становлять такі процеси, які при своїх відносних новизні та комплексності проявів, на наш погляд, можуть мати синергетичне підсилення:

1) мінімальні значення початкового просядкового тиску (В. І. Крутов, 1998 р.) $\beta=0,2$ кг/см² (0,02 МПа), що еквівалентно геостатичному тиску шару порід $M=\beta/\gamma=0,2$ кг/см²: 0,0016 кг/см³=125 см=1,25 м, де γ – об'ємна вага лесово-суглинистих порід у природному стані;

2) здатність лесових і лесово-суглинистих порід у техногенних умовах ПМА (перезволоження, нагрів, насичення техногенними хімічними агресивними сполуками, циклічні гідрогеодеформаційні напруги) до переходу у тиксотропний стан зі стрімкістю кута рівноважного профілю 5°–8° (статичне напруження зрушення 80–120 мг/см²;

Інтегральна оцінка параметрів, що характеризують еколого-геологічний і геотехнічний ризик міст і селищ України (у балах)

№ з/п	Назва адміністративної одиниці	Прояви зсувів ($r_{зс}$)	Розповсюдження осадкових порід ($r_{ос}$)	Прояви карсту ($r_{к}$)	Прояви підтоплення ($r_{підт.}$)	Сумарні бали
1	АР Крим	2	1	2	2	7
2	Вінницька	1	1	1	1	4
3	Волинська	1	1	4	2	8
4	Дніпропетровська	1	5	2	4	12
5	Донецька	1	2	2	2	7
6	Житомирська	1	1	1	5	8
7	Закарпатська	3	1	3	5	12
8	Запорізька	2	3	2	4	11
9	Івано-Франківська	3	1	1	1	6
10	Київська	3	3	1	4	11
11	Кіровоградська	1	2	1	2	6
12	Луганська	1	1	3	2	7
13	Львівська	2	1	2	2	7
14	Миколаївська	2	2	5	3	12
15	Одеська	3	4	2	4	13
16	Полтавська	3	4	1	4	12
17	Рівненська	1	1	5	4	11
18	Сумська	2	1	3	4	10
19	Тернопільська	3	3	4	2	12
20	Харківська	2	3	2	3	10
21	Херсонська	1	5	4	3	13
22	Хмельницька	2	1	4	3	10
23	Черкаська	2	1	1	2	6
24	Чернівецька	5	5	5	5	20
25	Чернігівська	1	1	1	5	8

3) зниження за умов перезволоження та підтоплення територій ПМА інженерно-сейсмо-геологічної стійкості підгрунтя будівель (зростання порового тиску та загрози плинунотворення при сейсмопоштовхах) і зменшення стійкості схилів (стрімкість 5° – 10° і більше) при зустрічному русі повздовжних сейсмохвиль;

4) можливість формування техногенних полів гідрогеомеханічних напруг і поштовхів у процесі видобутку сланцевого газу з упродовженням фрекінг-технології (гідродроблення) у Східному (Харківська, Донецька обл.) та Західному (Прикарпаття) регіонах і високоенергетичних впливів на напружено-деформований стан геологічного середовища.

Високий геотехнічний ризик території міст і селищ на регіональному рівні спостерігається в Закарпатській, Тернопільській, Рівненській, Київській, Дніпропетровській, Полтавській, Запорізькій, Миколаївській областях [3, 6, 9, 11–13].

Фоновий і низький еколого-інженерно-геологічний ризик відмічається у більшості ПМА в північній, північно-східній та центральній частинах України (Івано-Франківська, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, АР Крим (крім ПБК), Волинська, Львівська, Житомирська, Чернігівська області).

Більша частина території України характеризується середнім, високим і критичним рівнем геотехнічного ризику.

Висновки

Таким чином, виконана регіональна оцінка геотехнічного ризику ПМА на території України свідчить про дуже складний характер її територіального розподілу внаслідок змін взаємодії техногенних, геологічних і фізико-географічних чинників.

Насторожує той факт, що територія Донбасу за рівнем впливу підтоплення належить до зон з відносно зниженим геотехнічним ризиком території міст і селищ, що можна пояснити обмеженим розвитком зсувних, просядкових і карстових формацій у верхній зоні ГС.

Зараз у Донбасі планується подальше закриття діючих шахт, що додатково активізує підйом рівнів підземних вод та підтоплення пришахтових ПМА, просідання поверхні, збільшить ризик техногенних землетрусів, підвищить загрозу формування нових шляхів прискореної міграції мінералізованих і забруднених вод, а також вибухонебезпечних і токсичних газів (метан, радон та ін.).

У зв'язку з цим життєво важливого значення набуває необхідність прогнозу можливого взаємовпливу автореабілітаційного регіонального підйому рівнів підземних вод і змін стану геологічного середовища при масовому закритті шахт і збільшення геотехнічного ризику для міст і селищ [3, 11].

Аналіз даних моніторингу НЕГП засвідчує, що сучасний обсяг інформації про інженерно-геологічний стан території міст і селищ та існуючі методи її обробки не можуть дати достатньо повну оцінку впливу змін режиму рівнів та хімічного складу підземних вод, техногенних порушень надр, глобальних змін клімату та інших чинників на формування геотехнічного ризику.

З цієї точки зору виникає необхідність у продовженні наукових робіт з оцінки впливу регіонального й територіального підтоплення на інженерно-геологічні умови, структуру та рівень активізації НЕГП, геотехнічного ризику міст і селищ, удосконалення їх методичної основи та переходу на сучасні технології (ГС, ДЗЗ, математичне моделювання ПМА, територіальних та об'єктових ТГС тощо), а також еколого-економічні та страхові оцінки безпеки життєдіяльності у містах і селищах України.

У період незалежності України розвиток міст і селищ як складних ПМА відбувається в умовах ринкової економіки зі змінами власності на землю, будівлі, інженерні життєзабезпечуючі комунікації, побутові послуги.

Водночас із-за недосконалості законодавчої бази та економічних механізмів природокористування у містах і селищах відбулася фактична

втрата системи інженерно-геологічного, інженерно-будівельного, ландшафтно-геохімічного та інженерно-сейсмо-геологічного моніторингу.

Критичність даної ситуації підтверджується тим, що значна кількість міст і селищ України є складниками гірничо-видобувних районів та комплексів з високим рівнем порушень рівноваги геологічного середовища. Екологічно незбалансоване закриття багатьох нерентабельних шахт і кар'єрів переважно шляхом т.зв. мокрої консервації (автореабілітаційного затоплення при некерованому підйомі рівня підземних вод) призводить до катастрофічної активізації просядкових, зсувних, карстово-провально-суфозійних, сейсмо-геофізичних процесів (Кривбас, Донбас, Солотвино, Калуш та ін.).

Насторожуючим є той факт, що сучасний розвиток ПМА відбувається на вкрай застарілій картографічній інженерно-геологічній основі 60–70-х років ХХ ст., яка не здатна відобразити накопичені зміни інженерно-геологічних параметрів ГС у межах ПМА, а також забезпечити надійний прогноз їх змін на майбутнє. Ситуація ускладнюється тим, що ринкові механізми суттєво вплинули на формування складу та умови виконання інженерно-вишукувальних досліджень при значних змінах інженерно-геотехнічного стану існуючої забудови, зростанні поверховості будівель, освоєнні приміських ділянок із складними інженерно-будівельними параметрами.

Уявляється, що подальший розвиток ПМА за умов покращення БЖД можливий при пріоритеті його екологічного складника, параметри якого мають забезпечити нові моделі інженерно-вишукувальних досліджень.

Аналізуючи загалом стан інженерно-геологічної та геотехнічної безпеки верхньої зони ГС міст і селищ України, можна дійти висновку щодо її значної ураженості збиткоутворюючими та небезпечними процесами. Тому нині перехід до формування БЖД міст і селищ на рівні вимог ХХІ ст. вимагає першочергового виконання таких заходів.

1. Розробка та виконання Державної науково-технічної програми зі створення сучасної картографічної інженерно-геологічної основи ПМА (масштаб 1:25000–1:50000);

2. Еколого-економічне районування територій міст і селищ за рівнем безпеки змін інженерно-геологічних умов та їх чутливості до впливу чинників глобальних змін клімату, сейсмо-геофізичного (природних і техногенних) космо-геофізичного походження.

3. Створення системи комплексного екологічного моніторингу ПМА, передусім його інженерно-геологічного складника (пункти

Стратегічні пріоритети, №4 (29), 2013 р.

інженерно-геотехнічних, інженерно-геофізичних, інженерно-геодезичних, ландшафтно-геохімічних спостережень, бази даних моніторингу, ДЗЗ, математичні моделі).

4. Розробка наукових основ гранично-допустимих змін екологічних, передусім еколого-геологічних параметрів навколишнього середовища ПМА.

Список використаних джерел

1. Трофимов В. Т. Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики / В. Т. Трофимов, В. А. Королёв (ред.). – М. : Изд. МГУ, 2006. – 216 с.
2. Трофимов В. Т. Инженерная геология массивов лёссовых пород / В. Т. Трофимов, В. А. Королёв (ред.). – М. : Изд. МГУ, 2004. – 138 с.
3. Рудько Г. И. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы / Г. И. Рудько, В. А. Осюк (ред.). – Киев-Черновцы : Изд. ГКЗ Украины, 2012. – 591 с.
4. Демчишин М. Г. Учёт ослабленных зон в делювиальных накоплениях на склонах при оценке устойчивости территорий / М. Г. Демчишин. – К. : Изд. ИГН НАНУ, 1972. – С. 33–34.
5. Стржельчик Г. Г. Современные аспекты теоретических основ инженерной геологии : зб. наук. праць / Г. Г. Стржельчик // Екологічна безпека та природокористування. – 2012. – Вип. 10. – С. 220–226.
6. Абрамов И. Б. Оценка воздействия на подземные воды промышленно-городских агломераций и экологическая безопасность / И. Б. Абрамов. – Харьков. : Изд. ХГУ, 2007. – 283 с.
7. Яковлев С. О. Аналіз впливу сучасного стану водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж міст та селищ на їх інженерно-геологічну, геотехнічну та соціально-економічну безпеку / С. О. Яковлев // Світ геотехніки. – 2007. – № 1. – С. 4–12.
8. Соколов В. А. Обгрунтавання інженерно-геологічних вишукувань для забезпечення екологічної безпеки об'єктів реконструкції : дис. ... канд. техн. наук : спеціальність 26.06.01, 2009 р.
9. Іванюта С. П. Екологічна та природно-техногенна безпека України : регіональний вимір загроз та ризиків : монографія / С. П. Іванюта, А. Б. Качинський. – К. : НІСД, 2012. – 306 с.
10. Довгий С. О. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / С. О. Довгий, В. І. Лялько, О. М. Трофимчук. – К. : «Наукова думка», 2001. – 606 с.
11. Лущик А. В. Спостереження в системі моніторингу за екзогенними геологічними процесами на території України і станом навколишнього природного середовища промислово-міських агломерацій / А. В. Лущик, О. С. Романюк, С. О. Яковлев // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 1. – С. 3–11.
12. Адаменко О. М. Екологічні проблеми розвідки і видобутку сланцевих газів на Олеській площі / О. М. Адаменко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2013. – № 2 (8). – С. 4–12.
13. Адаменко Я. О. Наукова еколого-експертна оцінка проектів малих ГЕС в Івано-Франківській області / Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, С. В. Пернеровська // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2013. – № 2 (8). – С. 26–34.