

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 504.064.2

Oleksii V. Pyrikov¹, PhD
e-mail: 0506463222av@gmail.com

Sergii M. Chumachenko², Dr, Professor of Department of Information System
ORCID ID 0000-0002-8894-4262, *e-mail*: s_chum@ukr.net

Yevhenii O. Yakovlev³, Dr, Chief Scientist Specialist
ORCID ID 0000-0001-6934-618X, *e-mail*: yakovlevhydro@gmail.com

¹ The Foundation of development of environmental and energy markets NGO, Kyiv, Ukraine

² National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

³ Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF FORMATION OF ECOLOGICAL-TECHNOGENIC AND SOCIAL THREATS OF LIFE SAFETY IN THE COAL INDUSTRY ZONE OF DONBASS

Abstract. *The article considers the need to form an information-analytical complex of natural-technogenic geosystem (NTGS) of Donbass "regional technogenic complex – environment" as a tool base for building a model of ecological and economic development. Donbass (area up to 5.8 thousand km² with a population of more than 4 million people) is a technogenic-geological system (TGS) ("regional technogenic complex – geological environment"). In addition, there are more than 4,000 potentially dangerous objects within the PTGS of Donbass. The predominance of regional irreversible changes in the ecological parameters of the geological environment as the main "depot" of the technogenesis effects (deformation of the earth's surface, geochemical pollution of landscapes, surface and groundwater, biodiversity loss, etc.) necessitates the preservation of its ecological resources for further socio-economic recovery of the Donbass region. Comparison of the impact of natural resource potential of the geological environment (GS) of Donbass and the Chernobyl Exclusion Zone showed the fundamental importance of balancing the interaction of the lithosphere with the surface hydrosphere, near-surface atmosphere and biosphere for the formation of socio-economic parameters and safety of life activity. Flooding of coal mines and rising of groundwater level to surface are the critical ecological factors of post-mining situation within Donbas. The performed analysis of ecological and technogenic parameters of NTGS of mining areas within Donbass also showed that in case of further increase in the number of flooded mines, advanced scientific development of maximum allowable changes in the environment is necessary. It is also noted that all selected tools for the formation of life safety should have a clear justification of socio-economic and environmental-technological parameters. All this should provide an opportunity to assess the efficiency of the ecological and economic system, methods of its construction and possible forecasting.*

Key words: *life safety; geological media; environment; dangerous exogenous geological processes*

О.В. Пиріков¹, С.М. Чумаченко², Є.О. Яковлєв³

¹ ГО «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків», м. Київ, Україна

² Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

³ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННИХ І СОЦІАЛЬНИХ ЗАГРОЗ БЕЗПЕЦІ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ У ВУГЛЕПРОМИСЛОВІЙ ЗОНІ ДОНБАСУ

***Анотація.** У статті розглядається необхідність формування інформаційно-аналітичного комплексу природно-техногенної геосистеми (ПТГС) Донбасу “регіональний техногенний комплекс – навколишнє природне середовище” як інструментальної бази для побудови моделі еколого-економічного розвитку. При цьому враховано, що провідною еколого-ресурсною складовою ПТГС вуглепромислової зони Донбасу (площа до 5.8 тис км² з населенням понад 4 млн людей) є техногенно-геологічна система (ТГС) “регіональний техногенний комплекс – геологічне середовище”. Крім того, в межах ПТГС Донбасу розташовано понад 4000 потенційно-небезпечних об’єктів, просторова щільність яких втричі перевищує середній показник по Україні. Переважання регіональних незворотних змін екологічних параметрів геологічного середовища як головного “депо” наслідків впливу факторів техногенезу (порушення рівноваги надр, деформації земної поверхні, геохімічне забруднення ландшафтів, поверхневих і підземних вод, скорочення біорізноманіття і ін.) обумовлюють необхідність збереження його еколого-ресурсного потенціалу для подальшого соціально-економічного відновлення регіону Донбасу. Порівняння впливу природно-ресурсного потенціалу геологічного середовища (ГС) Донбасу та Чорнобильської зони відчуження засвідчило фундаментальне значення рівноваги взаємодії літосфери з поверхневою гідросферою, приземною атмосферою та біосферою для формування соціально-економічних параметрів та безпеки життєдіяльності населення. Виконаний аналіз еколого-техногенних параметрів ПТГС гірничо-добувних районів Донбасу також засвідчив, що за умови подальшого збільшення кількості шахт, що затоплюються, є необхідною випереджаюча наукова розробка гранично-припустимих змін навколишнього природного середовища (НПС). Також зазначено, що усі обрані інструментарії формування безпеки життєдіяльності повинні мати чітке обґрунтування соціально-економічних та еколого-технологічних параметрів. Все це повинно надавати можливість для оцінки працездатності еколого-економічної системи, методів її побудови та можливого прогнозування.*

***Ключові слова:** безпека життєдіяльності; геологічне середовище; довкілля; небезпечні екзогенні геологічні процеси*

DOI: 10.32347/2411-4049.2021.2.5-17

Вступ

Тривалий термін видобутку вугілля (понад 150 років), великі площі порушення рівноваги надр (до 15 000 км²), об’єми вилучення вугілля й порід (9,5–10,0 млрд м³) та витоків вибухонебезпечного метану (до 6 млрд м³/рік) за умов просторового розподілу до 4000 потенційно небезпечних об’єктів (хімічних, металургійних та ін.) створили нестійку природно-техногенну

геосистему (ПТГС) “техногенний комплекс – навколишнє природне середовище”, провідним елементом якої є техногенно-геологічна система (ТГС) “техногенний комплекс – геологічне середовище”. Ця ТГС внаслідок некерованого закриття й затоплення великої кількості шахт (до 90 об’єктів за попередніми даними) переходить у нестійкий, нерівноважний стан ураженості комплексом небезпечних процесів і критичних змін екологічного стану геологічного середовища (ГС).

За попередніми оцінками відбуваються додаткові осідання й деформації денної поверхні (до 0.25–0.50 м/рік) в межах значної кількості промислово-міських агломерацій вуглепромислового регіону, підтоплення й затоплення земель та територій міст і селищ, забруднення підземних і поверхневих водозаборів.

Військові чинники впливу на сучасному етапі (артилерійські обстріли (в тому числі з ракетних систем залпового вогню)), геохімічне забруднення ландшафтів, порушення енергопостачання, шахтного водовідливу й вентиляції шахт, соціальні напруження), як свідчать результати моніторингових обстежень [1, 4], суттєво пришвидшують процеси негативних незворотних змін навколишнього природного середовища (НПС) і погіршення соціальних та економічних параметрів безпеки життєдіяльності (БЖД) населення на регіональному та транскордонному рівні.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день є багато експертних та аналітичних матеріалів з оцінками й прогнозами наслідків комплексного впливу екологічно незбалансованого затоплення шахт та збройного конфлікту на Донбасі: насамперед військових, геополітичних, економічних, соціальних і різноманітних екологічних – щодо стану біосфери, заповідних територій, забрудненості поверхневих вод і приземної атмосфери внаслідок вибухів, руйнувань промислових об’єктів, критичної інфраструктури тощо. При цьому підкреслюється соціально-економічна важливість збереження гірничодобувного комплексу Донбасу, тому що відповідно до усереднених статистичних даних один шахтар вугільної шахти формує роботу 7–10 працівників на поверхні, а втрата 1% ВВП Донбасу еквівалентна скороченню 2,2–2,5% ВВП в інших регіонах України [1, 2]. На жаль, при цьому майже не звертають уваги на те, що Донбас, навіть у порівнянні з Рурським басейном (Німеччина), – найбільший у світі вуглепромисловий комплекс (табл. 1), у межах якого за 150 років індустріальної історії відбулися комплексні регіональні порушення як екологічних параметрів стану ГС, так і геодинамічного режиму геологічних структур: надр, рівноваги рельєфу, тектонічних систем, рівнів, напрямів потоків і хімічного складу та джерел формування підземних вод, геохімічного складу ландшафтів [1, 2, 4, 6].

Крім того, як засвідчують численні дослідження (проф. В.Д. Бабушкін, проф. Г.І. Рудько, проф. М.М. Коржнев, акад. НАНУ В.М. Шестопапов, чл.-кор. НАНУ А.В. Анциферов, чл.-кор. НАНУ О.М. Трофимчук, проф. А.В. Лушик, д.т.н. В.М. Єрмаков, д.т.н. О.В. Луньова, канд. геол.-мінерал. наук Г.Г. Лютий, М.І. Беседа та ін.), на період повномасштабного розвитку гірничодобувного району Донбасу його ГС значною мірою перетворилося на головне “депо” більшості техногенних викидів та механічних, фізичних

і хімічних впливів на складові довкілля (приземна атмосфера, поверхнева і підземна гідросфера, ґрунти, верхня зона літосфери тощо).

Таблиця 1 – Порівняння природно-техногенних геосистем (ПТГС)
“вуглепромисловий комплекс – навколишнє природне середовище”
Руру (Німеччина) та Донбасу (Україна)

Назва вугільних басейнів	Площа вуглепромислових територій, км ²	Кількість діючих шахт	Число працюючих шахтарів, тис.
Рур	5200	146	607
Донбас	6200	227	Понад 500

Загалом промислова розробка кам'яного вугілля призвела до необоротних порушень геодинамічної та гідродинамічної рівноваги регіону й суттєво підвищила чутливість ГС до впливу військових чинників збройного конфлікту. Тим часом, комплексні оцінки впливу техногенних і військових чинників на зміни ГС Донбасу в межах його вуглепромислового комплексу дають змогу дійти висновку про новий стан геологічних структур та їх нерівноважну взаємодію з техно- і гідросферою, а також приземною атмосферою [2, 6–9].

Техногенні порушення природних умов тут переважно зумовлені накопиченим просторово-часовим впливом гірничих робіт, які виконувалися майже на 900 шахтах по 180 вугільних пластів переважно на територіях, що прилеглі до переважної більшості місцевих промислово-міських агломерацій, враховуючи містоутворюючий характер вугільних шахт (табл. 2).

Таблиця 2 – Сукупні дані про порушеність вугледобувними роботами геологічного середовища міст і селищ Донбасу

№ з/п	Адміністративні області (кількість вуглепромислових міст і селищ)	Сукупна площа (орієнтовно на 2010 р.), км ²	
		Міст і селищ над гірничими виробками (потенційного просідання й підтоплення)	Фактичного підтоплення міст і селищ у зонах впливу затоплення шахт
1	Донецька (31)	783,2	53,7
2	Луганська (28)	202,5	22,2
Усього:		985,7	75,9

Усього в межах вугленосних геологічних структур нараховують приблизно 2 250 пласторозробок, що суттєво зменшило їхню геомеханічну стійкість під час затоплення та фонових землетрусів (до 4–5 балів за шкалою МСК-64). За майже повсюдного застосування способу керування покрівлею вироблених вугільних пластів через її повне обвалення, об'єм порушених гірських порід становив орієнтовно 600 млрд м³, тобто до 15% від загального об'єму гірського масиву в межах шахтних полів [2, 3].

Створена природно-техногенна геосистема (ПТГС) регіону “техногенні об'єкти – навколишнє середовище”, де мешкало до 7 млн населення (нині до 4,4 млн осіб), охоплювала до 4 000 потенційно небезпечних об'єктів (ПНО),

понад 300 шахт і кар'єрів та 2,5 тис. так званих “копанок” (неліцензійних неглибоких вугледобувних шурфів), до 1 300 териконів, з яких понад 300 горять і є стабільними джерелами забруднення токсичними елементами та сполуками приземної атмосфери, прилеглих ландшафтів і ґрунтових вод (див. табл. 2). Окрім того, за умов зменшення останніми роками шахтного водовідливу (орієнтовно до 2-3 разів) і збільшення площ підтоплення зростає ризик прискореного горіння териконів та їхнього вибухання з руйнівним впливом на прилеглі житлові та промислові об'єкти [2–4].

На нашу думку, потребує також оцінювання небезпека забруднення провідних складових навколишнього середовища (поверхневих і підземних вод, ґрунтів, об'єктів природно-заповідного фонду тощо), що пов'язана з довгостроковою експлуатацією понад 1,5 тис. фільтрувальних накопичувачів токсичних і забруднених стоків загальною площею 102 км². Новим зростаючим чинником хімічного забруднення, територіальної деградації і руйнування природних ландшафтів є небезпечні сполуки від **хімічних та металічних викидів, що утворюються** під час артилерійських обстрілів, щільність яких за даними аналізу матеріалів ДЗЗ може сягати до 60–70 вибухових воронок на 1 км².

Критичний екологічний вплив на гідрогеомеханічні умови ГС (фільтраційна компресія, механічна й хімічна суфозія та ін.), порушення режиму поверхневої та підземної гідросфери були зумовлені щорічним водоприпливом у гірничі виробки шахт до 760 млн м³ (24,5 м³/сек) забруднених мінералізованих шахтних вод (з вмістом до 2,5 млн т/рік водорозчинних солей). На практиці, за час зростання площі вугледобувних робіт і порушень ГС, зокрема регіональних водотривів, просторового розвитку техногенної тріщинуватості з порушенням річкових русел (понад 600 випадків) обсяг місцевих ресурсів підземного стоку збільшився до 5 разів [1, 2]. Отже, за умов досягнутого рівня техногенної взаємодії поверхневого й підземного стоку скорочення в умовах збройного конфлікту шахтного водовідливу впливатиме на прискорення затоплення шахт, прилеглих земель, міст і селищ [1, 2, 4].

Аналіз даних поточного екологічного моніторингу та виконані у 2015–2017 рр. експедиційні обстеження місцевих джерел водопостачання (Центр гуманітарного діалогу, ОБСЄ, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, НДІ цивільного захисту ДСНС) засвідчили, що вищезазначені чинники негативно вплинули на водно-екологічні параметри транскордонного стоку р. Сіверський Донець (2–3-кратне збільшення мінералізації, концентрацій небезпечних хімічних та органічних сполук), який за умов збройного конфлікту є провідним джерелом питно-господарського водопостачання (до 80–85%), узбережжя Азовського моря, поверхневих і підземних водозаборів.

Виконаний аналіз просторово-часового впливу чинників збройного конфлікту на прискорення процесу зняття шахт з експлуатації (Інститути НАН України, УкрДГРІ та ДНВП “Геоінформ” Держгеонадра та ін.) за схемою “мокрої консервації” (простого автореабілітаційного затоплення внаслідок зупинки водовідливу) з перетіканням вод і вибухонебезпечних газів до робочих шахт показав загрозу ланцюгового (синергічного) розвитку комплексу нових небезпечних процесів:

1) ризики аварійних водо-газоприпливів до експлуатованих гідравлічно пов'язаних шахт, зокрема внаслідок руйнування міжшахтних захисних ціликів (держпідприємства “Лисичанськвугілля” та “Первомайськвугілля” Луганської обл., “Торецьквугілля” Донецької обл. та ін.);

2) додаткові осідання й зрушення денної поверхні з ризиком руйнівних деформацій будівель, шляхів, інженерних мереж критичної інфраструктури тощо;

3) додатковий розвиток площ підтоплення й затоплення прилеглих земель, міст і селищ; враховуючи, що більшість шахт є містоутворюючими, масштаб наслідків може мати катастрофічний характер;

4) незворотне забруднення підземних і поверхневих водних об'єктів та питно-господарських водозаборів на їх основі;

5) прискорення руху забруднюючих речовин внаслідок підтоплення й затоплення полігонів токсичних і побутових відходів;

6) розширення площ техногенних землетрусів (підземних гідрогеомеханічних поштовхів і деформацій порід).

Негативний вплив на безпеку життєдіяльності буде пов'язаний переважно з успадкованими порушеннями ГС, тому що до початку конфлікту більшість міст і селищ, особливо наближених до шахт і кар'єрів, перебували в небезпечному інженерно-геотехнічному стані внаслідок підтоплення (до 70%) і деформацій житлових і промислових будівель. Здебільшого це зумовлено аномальними втратами води й тепла (до 50–70% і більше) з 59 000 км водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж та підніманням рівнів підземних вод під час затоплення прилеглих (містоутворюючих) шахт і кар'єрів (табл. 1).

З даних табл. 1. випливає, що перед початком військових дій із робочих шахт із загальною площею шахтних полів 4,9 тис. км² понад 20% з них перебували під забудовою в межах території 63 міст і 91 селища міського типу; при цьому було підроблено відповідно 25 і 51% їхньої площі [1, 2].

Тому ризики некерованих в умовах збройного конфлікту зупини шахтного водовідливу призведуть до істотного збільшення площ активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП): осідань денної поверхні з руйнівними деформаціями житлових і промислових будівель та об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) – інженерних мереж, залізниці, нафто-, газопроводів та ін., розширення площ підтоплення й затоплення, активізації зсувоутворення.

Еколого-геологічна небезпека бойових дій в регіональній ПТГС Донбасу істотно підсилюється такими її характеристиками:

1) містоутворюючий характер більшості вугільних шахт і потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО);

2) зношеність критичного обладнання більшості ПНО перевищує 70%, що збільшує вразливість життєзабезпечуючих та інженерних систем (порушення енерго-, тепло-, водопостачання, функціонування нафто-, газопроводів тощо);

3) перебування великої кількості житлових і промислових будівель у старому та аварійному стані за умови втрати води й тепла з водопровідно- та теплоенергетичних мереж до 60–70% і більше, що в разі їх істотної кородованості й підтоплення формує загрозу численних ситуацій, як, наприклад, трапилось в Алчевську (морозне руйнування зовнішніх і

внутрішньодомових мереж з наступними деформаціями будівельних конструкцій, зменшення міцності фундаментів, шляхів, мостів та ОКІ).

Незворотні еколого-геологічні та соціально-економічні небезпеки для населення зони впливу військових дій та прилеглих територій можуть виникнути внаслідок руйнування захисного водовідливу Микитівського ртутного рудника, екологічно незбалансованого затоплення шахти “Юнком” з камерою атомного вибуху (квітень 2018 р.), забруднених високотоксичними сполуками гірничих виробок шахт поблизу проммайданчика Горлівського хімзаводу та некерованих витоків забруднених вод з численних (2,5–3,0 тис.) просторово розосереджених “копанок” (шурфів стихійного видобутку вугілля). Крім того, додаткові небезпеки руйнівних деформацій житлових і промислових комплексів можуть спровокувати техногенні землетруси під час прискореного затоплення шахт унаслідок накопичення потенційної енергії та розвитку гідрогеомеханічних поштовхів за деформацій породного масиву в зонах гірничих робіт (Стаханов, Краснодон, Дзержинськ, 2002–2009 рр.)

Але найбільші просторово-часові екологічні небезпеки варто пов’язувати із суцільним порушенням гірничими виробками вугленосних порід і розвинутих у них водотривів, які екранували витoki солоних глибинних вод разом з вибухонебезпечними та токсичними газами [3, 4]. Під час затоплення шахт міцність порушених порід зменшиться, збільшиться площа просідання поверхні з додатковим підтопленням і затопленням прилеглих міст і селищ, розпочнеться довгострокова міграція забруднених шахтних вод у підземні й поверхневі водозабори.

Загалом, як засвідчують дослідження фахівців з проблем параметризації воєнно-техногенних загроз і ризиків для навколишнього середовища (НС) (проф. О.І. Лисенко, д.т.н. С.М. Чумаченко, проф. Г.В. Лисиченко, проф. О.М. Трофимчук, проф. А.Б. Качинський, проф. І.С. Романченко, проф. М.М. Коржнев, д.т.н. С.П. Іванюта, д.т.н. В.М. Єрмаков, к.т.н. В.В. Бігун, к.т.н. В.Ф. Гречанінов та ін.), необоротні порушення за умов збройного конфлікту складних ПТГС “ПНО – НС”, “ОКІ – НС” або “військова ПТГС – НС” доцільно виділити як самостійні “території критичного стану інженерної інфраструктури (ТКС II)”.

Підсумовуючи результати досліджень з вищезазначеної проблеми (акад. В.І. Лялько, чл.-кор. М.О. Попов, акад. В.М. Шестопалов, проф. А.В. Лущик, к.т.н. Г.Г. Стрижельчик, к.т.н. В.А. Соколов, к.г.-м.н. Н.Г. Люта та ін.), можна дійти висновку щодо дворівневої структури формування ТКС II та еколого-геологічних ризиків у зоні проведення ООС (АТО):

1) **сценарний або пошуково-оцінювальний**, пов’язаний з відповіддю на запитання “Що відбудеться, якщо...?”;

2) **інженерно-нормативний** – “Що треба зробити, щоб БЖД була на належному рівні?”.

Пошук відповіді на друге запитання є дуже складною проблемою на сьогодні, бо в зоні бойових дій чинники їх еколого-техногенного впливу мають практично непрогнозований характер, в той час коли на прилеглих територіях майже зруйновано систему екологічного моніторингу. Можна сказати, що життєдіяльність населення й військового персоналу в зоні впливу бойових дій відбувається в умовах “екологічної сліпоти”. На жаль, аналіз публікацій з екологічних проблем Донбасу засвідчив, що в спеціальній екологічній літературі поки що переважають підходи до оцінки розмірів порушення

природного середовища, зокрема концентрацій шкідливих речовин, переважно в біотичних складниках екосистеми. Водночас в умовах Донбасу переважно екологічна безпека ГС визначає рівень БЖД як за умов інтенсифікації збройного конфлікту, так і на період мирної реструктуризації вугледобувного комплексу регіону [2, 4].

Для отримання екологічної інформації останнім часом широко використовують найсучасніші методи моніторингових спостережень за станом природного середовища, навіть із застосуванням космічних засобів. Саме завдяки цим методам вдалося оцінити провідні регіональні чинники реального руйнування біосфери в південно-східному регіоні України.

Проте до цього часу ще не розроблено загальноприйнятого універсального методу оцінювання впливу бойових дій на довкілля в умовах техногенно-порушених ландшафтів вуглевидобувного регіону.

Виконаний протягом 2015-2018 рр. аналіз зменшення величин та хімічного складу сумарного шахтного водовідливу як індикатора стану регіональної гідрогеофільтраційної системи Донбасу засвідчив, що загалом некероване (аварійне) закриття численних шахт вже призводить до необоротної втрати геологічним середовищем своїх стабілізуючих еколого-захисних функцій і перетворення Донбасу на екологічно фрагментований регіон з переважанням територій, небезпечних для життєдіяльності людей. Щодо цього показовим є зіставлення екологічно-захисних функцій геологічного середовища в зонах аварійного впливу Чорнобильської АЕС і затоплення шахт (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Провідні еколого-геологічні чинники впливу масового закриття вугледобувних шахт Донбасу

Види впливу закриття шахт на геологічне середовище	Склад еколого-геологічних чинників впливу закриття шахт	Просторово-часова стійкість еколого-геологічних чинників впливу закриття шахт
Ландшафтно-геохімічні	Геохімічне поліелементне забруднення ландшафтів	Регіональне довгострокове порушення геохімічних ландшафтів
Літосферний: геомеханічні порушення рівноваги надр	Порушення внаслідок просідань, техногенного тріщиноутворення	Незворотні деформації поверхні та породного масиву
Гідрологічний: критичні зміни режиму та якості поверхневого стоку	Регіональне забруднення поверхневого стоку та водозборів	Уповільнена стабілізація еколого-ресурсних параметрів поверхневих водних об'єктів
Гідрогеологічний: критичні зміни рівнів та хімічного складу підземних вод	Автореабілітаційне підвищення рівнів підземних вод з розвитком підтоплення і затоплення земель	Скорочення площ формування прісних підземних вод, зростання уразливості забруднення водоносних горизонтів
Газогеохімічний: активізація висхідної міграції вибухонебезпечних та токсичних газів	Насичення верхньої зони літосфери та приземної атмосфери вибухонебезпечними та токсичними газами	Довгострокове збільшення витоків вибухонебезпечних та токсичних газів у приземний шар атмосфери

Продовження таблиці № 3

Види впливу закриття шахт на геологічне середовище	Склад еколого-геологічних чинників впливу закриття шахт	Просторово-часова стійкість еколого-геологічних чинників впливу закриття шахт
Інженерно-геологічний: регіональне порушення геомеханічної та динамічної рівноваги підстилаючих порід	Зростання водонасичення породного масиву, зниження міцності порід, активізація небезпечних геологічних процесів	Зменшення несучої здатності порід фундаментів, збільшення ураженості геологічними процесами
Інженерно-сейсмологічний: сейсотехногенні струшування породного масиву	Зниження інженерно-сейсмогеологічної стійкості породного масиву (на 1-3 бали)	Збільшення сейсмічності при транзитних землетрусах до 1-3 балів, ризик довгострокової додаткової активізації зсувів, осідань і зрушень денної поверхні, руйнівних деформацій інженерних споруд

Сучасне зростання комплексної техногенно-екологічної, економічної та соціальної небезпеки Донбасу неабиякою мірою пов'язане зі скороченням за період конфлікту шахтного водовідливу з 2,0 млн м³/добу (до 2010 р.) до 1,1 млн м³/добу й менше (у 2013–2018 рр.), що зумовлено як безпосереднім впливом бойових дій на енергопостачання та технологічні шахтні комплекси, так і щораз збільшуваним скороченням вугледобутку, зокрема на нерентабельних шахтах, більшість яких є містоутворюючими та моносировинною базою життєдіяльності населення Донбасу.

За умов потенційного територіального впливу підтоплення внаслідок затоплення шахт на площі з населенням 3,5 млн людей і середнього терміну автореабілітаційного затоплення (“мокрої консервації”) шахт, що становить 10–15 років, це дає змогу за консервативною схемою оцінити орієнтовну кількість людей, безпека життєдіяльності яких буде критичною (на рівні “екологічних біженців”):

$$N = \frac{3,5 \times 10^6}{(10 \times 15) \times (2,2 \times 10^6 \div 1,4 \times 10^6)} = 150 \text{ч} \div 230 \text{ тис. люд/рік}$$

Одночасно за умов територіального піднімання рівнів підземних вод, зокрема і мінералізованих, до критичних глибин (< 3-4 м від поверхні) у межах раніше сформованих площ осідання (до 90% від сумарної товщини видобутих вугільних шарів) прискориться процес додаткових (вторинних) осідань і горизонтальних зрушень поверхні, небезпечних деформацій житлових і промислових комплексів, нафто-, газо- і продуктопроводів, ділянок залізниці, ПНО та ОКІ.

Враховуючи те, що оцінювання рівнів впливу закриття шахт на геологічне середовище досить важко формалізувати через відсутність повного переліку аналітичних складових, авторами запропоновано розробити експертний метод на базі інформаційно-аналітичної системи [5]. Для оцінювання запропоновано наступну ієрархічну систему критеріїв і чинників, що наведена на рис. 1 (а). Результати оцінювання наведено на рис. 1 (б).

проф. О.І. Бондаря та ін.), можна дійти однозначного висновку, що на сьогодні потрібний соціо-еколого-економічний імператив у розвитку Донбасу як найкритичнішого регіону в державі.

Оцінки складу й динаміки додаткових просторових змін екологічного стану ГС Донбасу, виконані протягом збройного протистояння (2014–2018 рр.), свідчать про початок його довгострокового переходу в новий еколого-геологічний стан унаслідок провідного впливу зменшення шахтного водовідливу (перериви енергопостачання, виведення з експлуатації нерентабельних шахт, аварійні прориви вод із затоплених шахт і т.ін.) і регіонального підвищення рівнів підземних (грунтових) вод.

Подібний аналіз гірничо-геологічних умов відновлення шахт Донбасу в післявоєнний період (1944–1951 рр.), коли шахтний фонд регіону був у 2,5–3,0 рази меншим за площею та глибиною, дав змогу виявити такі впливові чинники змін еколого-геологічного стану регіону:

1) зменшення міцності порід та ускладнення гірничо-геологічних умов видобутку вугілля в зонах впливу затоплених виробок;

2) погіршення захисних параметрів міжшахтних породних ціликів та протифільтраційних перемичок;

3) збільшення ділянок деформацій поверхні, забруднення підземних вод і підтоплення земель у наближених до шахт містах і селищах.

Таким чином, розроблення нової моделі соціально-економічного та екологічно-збалансованого розвитку Донбасу після закінчення військового конфлікту є новим складним геополітичним і науково-методичним завданням, успішне розв'язання якого можливе тільки за умов досконалого знання нових закономірностей формування геологічного середовища та природно-техногенних геосистем "техногенний об'єкт – навколишнє середовище".

Висновки

Зважаючи на зростання за умов продовження збройного конфлікту загрози збільшення руйнівних територіальних змін життєзабезпечуючих складових навколишнього середовища Донбасу (біорізноманіття, гідросфера, приземна атмосфера, геологічне середовище) насамперед унаслідок розвитку процесу некерованого (аварійного) затоплення шахт і ризику втрати природно-ресурсного потенціалу для його майбутнього екологічно збалансованого розвитку, вважаємо за потрібне рекомендувати:

1. Терміново створити при Адміністрації Президента України Міжнародну експертно-аналітичну раду з фахівців наукових, адміністративних і природоохоронних установ обох сторін конфлікту для оцінки природно-техногенних загроз безпеці життєдіяльності некерованого (аварійного) затоплення вугледобувних шахт і ризиків необоротних втрат промислово-територіальних комплексів, руйнування систем та об'єктів критичної інфраструктури – тепло-, водо- та енергопостачання, транспортних мереж, нафто-, газо-, продуктопроводів і т. ін.

2. Виконати комплексний екологічний аудит зони впливу військового конфлікту та прилеглих територій з визначенням переліку та стану природних ресурсів (земельних, водних, мінерально-сировинних, біотичних та ін.) як основи екологічно збалансованого розвитку регіону.

3. Розпочати комплекс науково-дослідних робіт з обґрунтування гранично-допустимих змін довкілля та техногенних навантажень за умов реструктуризації Донбасу.

4. Терміново організувати роботи, залучивши інститути НАН України, ДСНС та Міністерства екології і природних ресурсів, з відновлення екологічного моніторингу зони впливу військових дій на прилеглі території із застосуванням матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), контактного моніторингу та математичного моделювання можливих сценаріїв розвитку ситуації на Донбасі.

5. Провести перемовини щодо унеможливлення воєнно-техногенного впливу на системи водовідливу та вентиляції шахт, щоб запобігти катастрофічним порушенням умов функціонування об'єктів критичної інфраструктури (систем енерго-, тепло- та водопостачання, залізниці, нафтогазопроводів, руйнівних деформацій і підтоплення житлових і промислових об'єктів денної поверхні тощо).

6. Розробити державну програму з розвитку систем підземного водопостачання на базі захищених від поверхневого забруднення розвіданих запасів підземних вод.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Піріков О.В. Індикатори та системи сталого розвитку: теорія та практика / О.В. Піріков // Ефективна економіка. – 2013. – № 11. – С. 42–51.
2. Рудько Г.І., Бондар О.І., Яковлев Є.О., Єрмаков В.М. Екологічна безпека вугільних родовищ України. – Київ: БукРек, 2016. – 608 с.
3. Яковлев Є.О. Асиміляційний потенціал геологічного середовища гірничо-добувних регіонів України як провідний показник екологічних проблем надрокористування // Мінеральні ресурси України. – № 4. – 2015. – С. 37–43.
4. Яковлев Є., Чумаченко С. Екологічні загрози у Донбасі, Україна. Посольства Великої Британії і Канади, Центр Гуманітарного Діалогу (Женева). – 2017. – 60 с.
5. Чумаченко С.М. Методика комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції Об'єднаних сил / С.М. Чумаченко, Є.В. Морщ, А.В. Михайлова, А.С. Парталаян // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2020. – №1 (9). – С. 23–33.
6. Луньова О.В. Наукові основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств / О.В. Луньова // Екологічні науки. – 2020. – № 1 (28) – С. 50–59.
7. Луньова О.В. До питання оцінки екологічних небезпек динаміки затоплення шахт Центрального району Донбасу / О.В. Луньова // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2019. – № 2 (45). – С. 93–103
8. Єрмаков В.М. Вплив вуглевидобувних підприємств на рівень екологічної безпеки техноосистем Донбасу / В.М. Єрмаков, О.В. Луньова // Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки» (2–4 жовтня 2019 р. м. Кременчук). – Кременчук. – 2019. – С. 137–142.
9. Lunova O. Potential territorial risk in the eastern Ukraine / O. Lunova, V. Yermakov, D. Averin // Journal of Geology, Geography and Geoecology. – 2019. – Vol. 28(3). – P. 600–609.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2020 і прийнята до друку після рецензування 08.04.2021

REFERENCES

1. Pyrikov, O.V. (2013). Indicators ta systemy stalogo rozvytku: teoria ta practica [Indicators and systems of sustainable development: theory and practice]. *Efektivna ekonomyka*, 11, 42-51 (in Ukrainian).
2. Rudko, G.I., Bondar, O.I., Yakovlev, Ye.O., & Yermakov, V.M. (2016). *Ecologichna bezpeka vugilnyh rodovishch Ukrainy* [Ecological safety of coal deposits of Ukraine]. Kyiv: BukRek.
3. Yakovlev, Ye. O. (2015). Asimilyciyniy potential geologichnogo seredovyssha girnychodobuvnyh regioniv Ukrainy yak providnyy pokaznyk ecolochnyh problem nadrokorystuvanya [Assimilation potential of the geological environment of mining regions of Ukraine as a leading indicator of environmental problems of subsoil use]. *Mineralni resursy Ukrainy*, 4, 37-43 (in Ukrainian).
4. Yakovlev, Ye., & Chumachenko, S. (2017). *Ecologichni zagrozy u Donbasi, Ukraina* [Environmental threats in Donbass, Ukraine]. Posolstva Canada, Velikobritaniya, Centr Humanitarnogo Dialogu (Zheneva) (in Ukrainian).
5. Chumachenko, S.M., Morshch, Ye.V., Mykhaylova, A.V., & Partalyan, A.S. (2020). Metodyka kompleksnoho operatyvnoho ekspertnoho otsynuvannya viys'kovo-tekhnohenykh zahroz v zoni provedennya operatsiyi Ob'yednanykh syl [Methods of comprehensive operational expert assessment of military-man-made threats in the area of the Joint force operation]. *Naukovyy visnyk*, 1 (9), 23-33 (in Ukrainian).
6. Lunova, O.V. (2020). Naukovi osnovi upravlinnya ekologichnoyu bezpekoyu promislovih kompleksiv vuglevidobuvnyh pidpriemstv [Scientific bases of management of ecological safety of industrial complexes of coal mining enterprises]. *Ekologichni nauki*, 1 (28), 50-59 (in Ukrainian).
7. Lunova, O.V. (2019). Do pitannya ocinki ekologichnih nebezpek dinamiki zatoplennya shaht Central'nogo rajonu Donbasu [On the issue of environmental hazard assessment of the dynamics of flooding of mines in the Central district of Donbass]. *Visti Donec'kogo girnichogo institutu*, 2 (45), 93-103 (in Ukrainian).
8. Yermakov, V.M., & Lunova, O.V. (2019). Vpliv vuglevidobuvnyh pidpriemstv na riven' ekologichnoy bezpeki tekhnоекосистем Donbasu [The impact of coal mining enterprises on the level of ecological safety of technical ecosystems of Donbass]. In *XVII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferenciya «Problemi ekologichnoi bezpeki»*, (pp. 137-142) (in Ukrainian).
9. Lunova, O., Yermakov, V., & Averin, D. (2019). Potential territorial risk in the eastern Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28, 600-609 (in Ukrainian).

The article was received 10.12.2020 and was accepted after revision 08.04.2021

Пиріков Олексій Валерійович

кандидат технічних наук, доцент, експерт ГО «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків»

Адреса робоча: 03150, м. Київ, вул. Антоновича, буд. 131

e-mail: 0506463222av@gmail.com

Чумаченко Сергій Миколайович

доктор технічних наук, с.н.с., завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій

Адреса робоча: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68

ORCID ID 0000-0002-8894-4262, **e-mail:** sergiy23.chumachenko@gmail.com

Яковлев Євгеній Олександрович

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

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

ORCID ID 0000-0001-6934-618X, **e-mail:** yakovlevhydro@gmail.com