

УДК 351.82

Є. О. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. наук, головний науковий співробітник (Національний інститут стратегічних досліджень, Київ, Україна), yakovlev@niss.gov.ua

ВИЗНАЧАЛЬНІ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ В НАФТОГАЗОНОСНИХ БАСЕЙНАХ УКРАЇНИ

Викладено результати дослідження чинників екологічного впливу технології фрекінгу з видобутку сланцевого (shale gas) і центрально-басейнового (tight gas sand) газу на геологічне середовище Східного та Західного нафтогазоносних басейнів України. Обґрунтовано розрахункові схеми щодо оцінки еколого-геологічного впливу технології фрекінгу на горизонти підземних прісних і мінеральних вод і ризику техногенних землетрусів.

Considered in the article are results of investigations the factors of ecological influence the fracking technology of extraction the shale gas and tight gas sands on geological media within the Eastern and Western oil-gas bearing basins of Ukraine. In the article substantiated the estimation schemes for evaluation of fracking technology ecological influence on the underground fresh and mineral water layers and level of risk of technogenic earthquakes.

Вступ

За оцінками провідних учених, сучасна економіка України відрізняється аномальним енерго-ресурсоспоживанням, питомі параметри якого в 3–5 разів перевищують показники розвинених країн. Значною мірою це пов'язано з переважанням гірничодобувної, сировинно-перероблюючої, металургійної та хімічної галузей [1–5].

Середньорічне споживання паливно-енергетичних ресурсів становить до 80 млн т вугілля, 48 млрд м³ газу, 12 млн т нафти. При цьому до 75 % споживання вуглеводнів базується на імпорті, що формує чинник загрози національній безпеці. Крім того, провідні нафтогазоносні басейни (НГБ) України мають високій рівень освоєння наявних ресурсів вуглеводнів, який становить відповідно для Східного НГБ більше 65 %, Західного НГБ – 45 %.

За оцінками фахівців Держгеолслужби Мінприроди та Національної академії наук України (проф. Г. І. Рудько, проф. С. В. Гошовський, канд. геол.-міне-

рал. наук Н. Г. Люта, проф. М. М. Коржнєв, проф. М. А. Фесик, проф. В. С. Міщенко), в розвинутих гірничодобувних районах (Донбас, Кривбас, Центрально-український уранорудний, Східний і Західний НГБ та ін.) більшість шахт і кар'єрів і нафтогазодобувних свердловин досягли критичних глибин (1,5; 0,4 і 3,5–5,0 км відповідно) і характеризуються аномальними величинами енергоемності видобутку мінерально-сировинних ресурсів (МСР) на одиницю продукції, незворотними порушеннями та екологічно небезпечними рівнями забруднення навколишнього середовища з одночасною деградацією біосфери.

Таким чином, подальший розвиток гірничодобувного комплексу України за умов ринкової економіки та зростання конкуренції в надрокористуванні пов'язаний з пошуком нових власних джерел енергетичних ресурсів, в першу чергу вуглеводневих, які мають найбільшу здатність транспортування до об'єктів споживання та знижений екологічний вплив [1–4].

Принципово нова схема розвитку структури видобутку та використання вуглеводневої енергосировини у світі сьогодні формується на досвіді США з освоєння ресурсів сланцевого та центральнобасейнового газу (shale gas, tight gas sands) на основі використання технології фрекінгу (fracturing). Фрекінг-технологія (ФТ) базується на високоенергетичному гідророзриві (точніше гідродробленні) слабопроникних газонасних порід з наступним нагнітанням у них великих обсягів водно-піщаних хімічних сумішей. При цьому, як буде доведено далі, багатьма прибічниками видобутку сланцевого газу, не враховуються такі чинники впливу ФТ на екологічні параметри підземної гідрогеосфери:

– тиск у сотні атмосфер і більше з метою гідродроблення непроникних порід і створення в них просторово-розвинутих проникних тріщин;

– нагнітання в тріщинний простір токсичних водно-піщано-хімічних розчинів з метою фіксації проникності тріщин і десорбції газових сполук;

– розвиток глибинних високоенергетичних зон гідрогеомеханічних напруг із ризиком техногенних землетрусів і деформацій наземних інженерних споруд (потенційно-небезпечних об'єктів);

– формування у фрекінг-зоні (ФЗ) проникних тріщин завдовжки до 500–600 м (до 2 % від загальної кількості); враховуючи вимірювання довжини тріщин ФЗ за даними акустичного каротажу, їх фактична протяжність може бути більшою на 30–50 %, що суттєво підвищує ризик гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними структурами та вищезалеглими горизонтами прісних вод.

Порівняльний аналіз порушеності геологічних структур НГБ США та України свідчить про складність тектонічної будови останньої і знижену ізолюваність горизонтів питних вод від висхідної гідрогеоміграції із ФЗ залишків токсичних технологічних розчинів і мінералізованих вод глибоких газонасичених товщ. Варто відзначити також потенційну небезпеку впровадження в Україні фрекінг-технології, яка зумовлена її простим уподібненням з традиційним гідророзривом у відносно проникних шарах вільномігруючих газу й нафти.

За попередніми оцінками родовища сланцевого газу (СГ) більш-менш рівномірно поширені в надрах більшості держав нашої планети, що створює умови динамічного зростання в наступні роки їх ефективного використання за умови дотримання технологічних та екологічних параметрів безпеки [2–4, 9, 11, 12].

1. Регіональні перспективи видобутку сланцевого газу в Україні

На історичному шляху формування власної ресурсної бази вуглеводневого палива Україна пройшла складний шлях від повного

забезпечення ними власних потреб до держави, яка в кінці ХХ сторіччя має дефіцит вуглеводневої сировини та її велику частку в складі імпорту. Значна залежність економічного розвитку України від зовнішніх джерел енергопостачання вимагає від керівництва держави все активніше займатися питаннями енергодиверсифікації. Однією зі складових цього процесу є розробка нових родовищ вуглеводнів, зокрема сланцевого газу й газу щільних колекторів тощо. Щодо СГ привабливим є факт формування його покладів у межах більшої частини територій Східного і Західного НГБ України, а також наявність розвинутої мережі газопроводів, які можуть забезпечити оперативну доставку видобутого газу. Крім того, це виключає витрати значних коштів для будівництва нових трубопроводів [8, 9, 11, 12].

У квітні 2011 року було оприлюднено аналіз Американської інформаційної енергетичної агенції (U.S. EIA) "Світові ресурси сланцевого газу: аналіз 14 регіонів за межами США". Відповідно до цього документа Україна має досить великі запаси сланцевого газу, поклади якого за геолого-економічними оцінками підрозділів НАН України і Держгеолслужби Мінприроди України є перспективними для промислового освоєння (табл. 1).

Водночас загальнодержавний баланс запасів традиційних вуглеводнів у межах геологічних структур України (Східний, Західний, Південний НГБ) виглядає досить напруженим (табл. 2). Геолого-ресурсна і геолого-економічна складність сучасного видобутку нафти, газу і газоконденсату переважно пов'язана з розробкою малих і глибоких родовищ [5, 7–9, 11, 12].

На території України розглядаються два перспективних регіони з покладами

сланцевого газу: Дніпровсько-Донецький (Східний НГБ) і Люблинський (Західний НГБ) із запасами

1,36 трлн м³ і 4,22 трлн м³ відповідно (рис. 1).

Із цих 5,58 трлн м³ СГ в кінцевому випадку можуть

бути технічно вилучені 1,2 трлн м³ (до 20%), що дасть можливість суттєво посилити власну енергоресурс-

Таблиця 1. Порівняння запасів сланцевого газу в країнах Європи з наявними запасами природного газу, виробництвом і споживанням

Держави	2009 р. ринок природного газу, млрд м ³			Доведені запаси природного газу, млрд м ³
	виробництво	споживання	імпорт (експорт), у %	
Франція	0,85	49,00	98 %	56,66
Німеччина	14,45	92,63	84 %	175,64
Нідерланди	79,04	48,72	(62 %)	1388,10
Норвегія	103,40	4,53	(2156 %)	2039,66
Великобританія	59,21	88,10	33 %	254,96
Данія	8,50	4,53	(91 %)	59,49
Швеція	–	1,13	100 %	
Польща	5,95	16,43	64 %	164,30
Турція	0,85	35,13	98 %	5,67
Україна	20,40	44,19	54 %	1104,82
Литва	–	2,83	100 %	
Інші	13,60	0,27	50 %	76,77

Таблиця 2. Баланс запасів вуглеводнів у геологічних структурах України

Регіони	Розвідані запаси (станом на 2009 р.)			Видобуток з початку роботи		
	Нафта, млн т	Газ, млрд м ³	Газоконденсат, млн т	Нафта, млн т	Газ, млрд м ³	Газоконденсат, млн т
Україна	112	1014,5	61,7	315,4		72,6
Східний	65,5	810,7	56,3	205,1		68,6
Західний	40,1	132,8	2,6	110,0	298,2	2,7
Південний	6,4	71,0	2,8	0,3	29,9	1,3

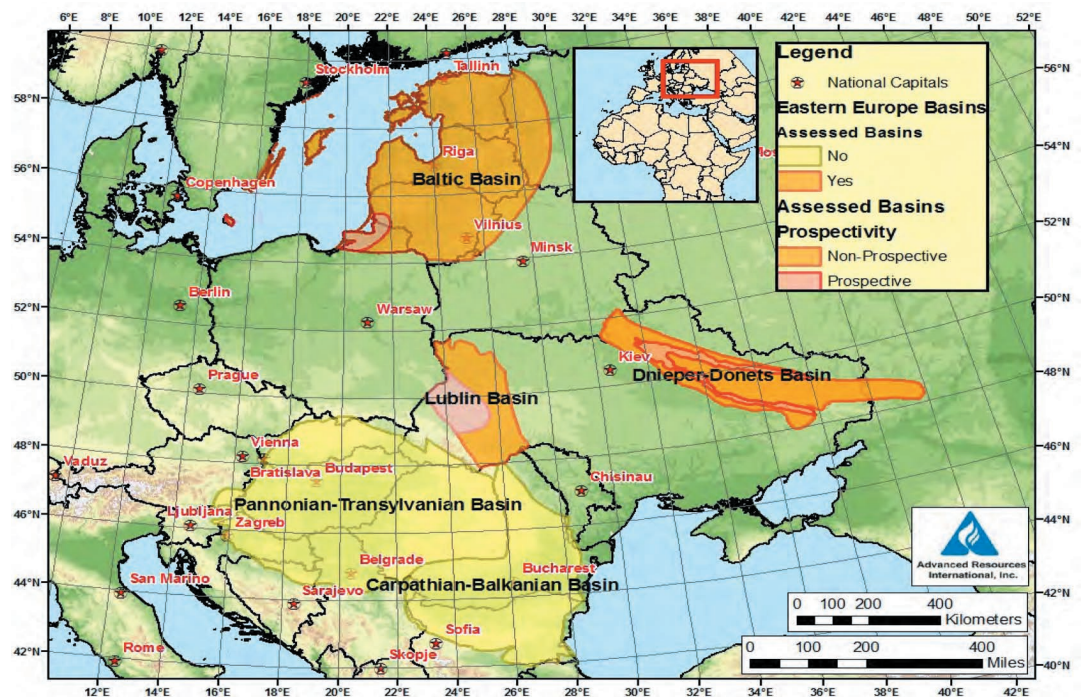


Рис. 1. Схема розміщення басейнів сланцевого газу в Європі

ну базу вуглеводнів в Україні. За умови використання лише технічно доступного сланцевого газу, на рівні споживання 2013 року, доведених запасів цих ділянок вистачить на 35–40 років.

2. Оцінка еколого-гідрогеологічної небезпеки техногенних змін стану геологічного середовища в процесах видобутку сланцевого газу

Як було показано вище, видобуток СГ пов'язаний із техногенним створенням просторово-розвинутих зон високопроникної тріщинуватості в стиснутих газодонасичених шарах, які залягають на глибині 3,0–4,5 км і більше. Для цього використовується фрекінг-процес (ФП), який відрізняється від традиційного гідророзриву високоенергетичним гідрогеомеханічним впливом на слабопроникні газодонасичені шари способом нагнітання в горизонтальні (до 1,0–1,5 км і більше) або нахилені свердловини суміші з води (96–97 %), піску (1,5–2,0 %), хімічно- і поверхнево-активних речовин (ПАР).

Аналіз технологічних параметрів ФП (тиски, динаміка пружно-пластичної деформації фрекінг-зони, тріщиноутворення та ін.) свідчить, що до основних еколого-техногенних загроз і геолого-економічних ризиків промислової розробки родовищ сланцевого газу в нафтогазоносних структурах України, порівняно з традиційними газовими родовищами, можна зарахувати такі:

1) великі енергетичні (гідрогеодеформаційні) та фізико-хімічні впливи на глибокі горизонти геологічного середовища, для чого необхідні потужне обладнання, висококваліфікований персонал, нормативно-правова адаптація сучасних технологій і дуже суттєві інвестиції;

2) формування об'ємно-просторової мережі га-

зоводопроникних тріщин, довжина яких у плані варіює від 250–350 м (до 90 %) до 500–600 м (2–3 %), що значно підвищує ризик гідравліко-фільтраційного зв'язку з водопроникними ділянками тектонічних порушень і регіональних водотривів (“гідрогеологічні проникні вікна”);

3) скорочений термін ефективного функціонування – до 3–8 років – свердловин на СГ (для порівняння – свердловини з видобутку вільного газу функціонують 15–20 і більше років);

4) підвищена агресивність сланцевого газу до металу призводить до скорочення терміну експлуатації газопроводів до 2 разів і зменшення їх енерговіддачі (за досвідом промислового видобутку, транспортування та використання в США);

5) зменшення окупності інвестицій до 10–12 років (у ряді регіонів США реальна собівартість сланцевого газу сягає 212–283 дол. на 1 тис. м³) порівняно з 5–7 роками при видобутку традиційного газу;

6) на відміну від газоносних площ США, де технологічні параметри геологічного середовища вивчені дуже добре і є сприятливими для видобутку (глибина 1,5–3,0 км, незначна тектонічна порушеність, знижена міцність порід), площі поширення відкладів зі сланцевим газом в Україні не досліджені настільки, щоб можна було з високою вірогідністю оцінювати запаси і витрати на видобуток способом побудови вірогідних геолого-економічних і бізнес-моделей, тим більше, що собівартість сланцевого газу сильно залежить від глибини та структурно-геодинамічних умов видобутку [5, 6, 7–12];

7) небезпека довгострокового забруднення підземної гідросфери, зокрема стратегічно важливих горизонтів прісних вод питної

якості та родовищ лікувальних мінеральних ресурсів унаслідок формування під час використання фрекінг-процесу деформацій регіональних водотривів, техногенних тріщинно-проникних зон із великою кількістю (тис. м³) токсичних технологічних сполук, радону та природних радіонуклідів, які здатні до міграції в підземні і поверхневі джерела питногосподарського водопостачання;

8) розвиток локальних деформацій денної поверхні і техногенних сейсмогеофізичних явищ (глибинні гідрогеомеханічні поштовхи або землетруси);

9) суттєві збільшення еколого-техногенних навантажень на існуючу інженерну інфраструктуру, які зумовлені вилученням значних земельних площ під шляхову, трубопровідну та складську інфраструктуру, виконанням до 4500–5500 рейсів дизельних великовантажних автомобілів на кластер (кущ) із шести свердловин, використанням з ризиком подальшого забруднення великих обсягів водних ресурсів (4–20 тис. м³ на одну видобувну свердловину).

Для забезпечення об'ємного розвитку високопроникної тріщинуватості попередньо виконується просторовий кульовий простріл пристовбурового породного масиву горизонтальних свердловин на глибину до 0,5–0,7 м з наступною закачкою в складі технологічного розчину піску та ПАВ. Об'єм закачки технологічного розчину під час ФП у 100–120 м секції горизонтальних свердловин сягає 600–1500 м³, а витрати часу 3–7 годин; при цьому величина тиску P_0 переважно визначається двома складовими: геостатичним тиском (вагою) вищезалеглих порід та їх міцністю на розрив перпендикулярно на шаруванню σ_{\perp} , таким чином

$$P_0 = \gamma h + \sigma_{\perp},$$

де γ , h – відповідно середня об'ємна вага та товщина шару порід, що залягають вище горизонту СГ, $\gamma = 2,2 \text{ т/м}^3$, розрахункове значення $h = 3000\text{--}5000 \text{ м}$;

σ_{\perp} – значення міцності осадових ущільнених порід на розрив перпендикулярно на шаруванню; за дослідними даними $\sigma_{\perp} = 150\text{--}250 \text{ кг/см}^2$ (15–25 МПа).

Відповідно до вищевведених параметрів тиск ФП сягає 800–1400 кг/см² (80–140 МПа), що забезпечує просторовий розвиток газо-водопроникних тріщин, інжекцію в їх простір 150–250 м³ кварцового піску на одну видобувну свердловину для забезпечення довгострокового збереження розкриття та газодопроникнення тріщин.

Варто відзначити, що реологічне (дуже повільне) стискання тріщинно-порового простору ФЗ зменшує в часі її проникність і тому відбувається збільшення питомої щільності видобувних свердловин на родовищах СГ (до 6–15 сверд./км²). Це призводить до створення в продуктивних горизонтах регіональних пластово-тріщинних систем і зон деформацій регіональних переक्रиваючих водотривів з ризиком їх локальних руйнувань. Дія вищезазначених чинників зумовлює суттєві порушення рівноваги гідродинамічних тисків, проникності та швидкостей фільтрації в товщах поширення СГ, які належать до зон уповільненого водообміну (ЗУВ) високомінералізованих вод (300–350 г/дм³). Наслідком цього є формування ризиків їх техногенної міграції до вищезалеглих горизонтів прісних вод (до 1–3 г/дм³) зони активного водообміну (ЗАВ).

Загалом у процесі техногенної еволюції гідрогеофільтраційної системи ФЗ можна виділити три фази:

1) просторового розвитку за умови пружно-пластичних

деформацій уздовж стовбура горизонтальної або пологонахиленої свердловини мережі проникних тріщин, відкритість яких фіксується піщаним матеріалом при одночасному заповненні токсичним технологічним розчином; у процесі розвитку фрекінг-тріщинуватості існує ризик руйнівних деформацій вищезалеглих слабопроникних шарів і периферійного розвитку гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними зонами. Останнє є основою формування інжекційного висхідного потоку токсичних технологічних забруднень до прісноводних горизонтів ЗАВ;

2) площадна висхідна гідрогеоміграція у вигляді повільного дифузійно-конвективного потоку залишків маломінералізованих технологічних розчинів під впливом їх зменшеної густини ($\gamma_{\text{пв}} = 1000 \text{ кг/м}^3$) порівняно з мінералізованими ($M = 300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$) поровими розчинами ($\gamma_{\text{мв}} = 1200 \text{ кг/м}^3$) і реологічного (уповільненого) скорочення тріщинного простору ФЗ; екологічно небезпечною складовою цієї фази розвитку ФЗ можна вважати поступове забруднення порових розчинів вищезалеглих горизонтів ЗУВ і ЗАВ;

3) розвиток у ФЗ гідрогеодеформаційного поля пружних напружень з накопиченням потенційної енергії та ризиком нерівномірних рухів породних блоків (прояв техногенних дрібнофокусних землетрусів) і деформацій денної поверхні.

Далі наводяться орієнтовні аналітичні оцінки часових та енергетичних показників вищезазначених ефектів еволюції ФЗ з урахуванням гідравліко-фільтраційних і геодинамічних процесів.

1. *Ризик формування гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними структура-*

ми оцінюється за результатами дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і визначення “питомої щільності” мережі лінеаментних структур (рис. 2, 3).

За результатами математичної обробки знімків ДЗЗ у районі першої по-

шукової свердловини (акад. В. І. Лялько, д-р геол. наук О. Т. Азімов) на Юзівській площі питома щільність лінеаментних зон становила $0,25 \text{ км/км}^2$.

Лінійна щільність техногенної тріщинуватості ФЗ у типовому кластері (США, штат Пенсильва-

нія) із шести горизонтальних свердловин (рис. 4) становить $1,5\text{--}3,0 \text{ км/км}^2$, тобто від 6 до 12 разів більше.

Результати розрахунку за вищенаведеною схемою свідчать про суттєве зростання вразливості забрудненню горизонтів прісних підземних



Рис. 2. Фрагмент “Карта розривних порушень та основних лінеаментів у зоні дослідної свердловини на сланцевий газ (Юзівська площа, Харківська обл.)” М 1:1 000 000 [М. А. Крилов та ін., 1988]



Рис. 3. Збільшений фрагмент схеми результатів регіонального структурного дешифрування радіолокаційних даних ДЗЗ на фоні синтезованого сканерного багатозонального К3 LANDSAT ETM+ із супутника “LANDSAT-7” від 01.06.2002 р. (сьомий, четвертий і другий канали, псевдокольори; акад. НАНУ В. І. Лялько, д-р геол. наук О. Т. Азімов)

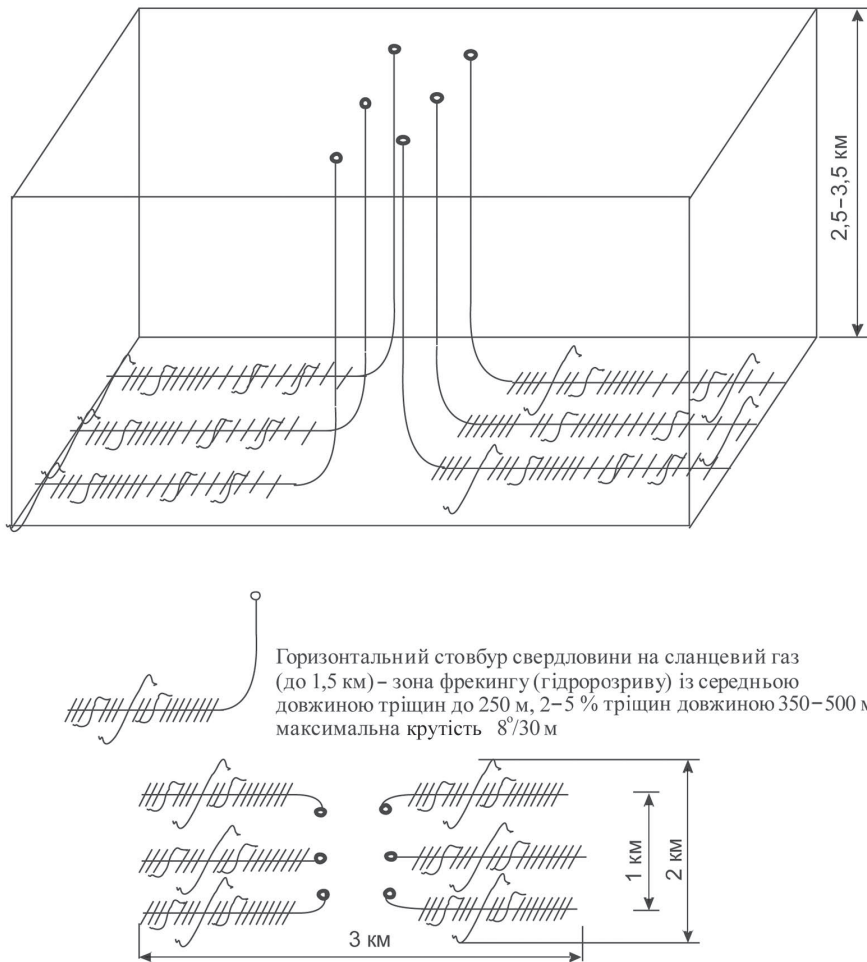


Рис. 4. Типова схема кластера видобувних свердловин на сланцевий газ (штат Пенсільванія, США)

вод у межах НГБ унаслідок дії чинників фрекінг-процесу. Наявні регіональні оцінки за даними математичного моделювання водо-теплопереносу (акад. НАНУ В. І. Лялько, акад. НАНУ В. М. Шестопапов, канд. геол.-мінерал. наук Д. Р. Литвак, канд. геол.-мінерал. наук Г. Г. Лютий та ін.) з урахуванням регіональних значень проникності ($K_r = (1 \div n) \cdot 10^{-4}$ м/добу) та активної пористості ($n_r = 10^{-3} - 10^{-4}$) тектонічних зон дають можливість виконати орієнтовний розрахунок часу висхідної міграції забруднень t_m із фрекінг-зони на глибині $H_{фз} = 3000$ м до ґрунтового водоносного горизонту (ГрВГ).

Згідно із залежністю Дарсі $t_m \approx H_{фз} / V_m$, де V_m – середня швидкість висхідної міграції забруднень технологічного розчину. Середнє значення V_m може бути розраховано

но за рівнянням $V_m = K_r i / n_r$, де i – градієнт висхідного потоку в гідравліко-фільтраційній системі “зона фрекінгу – проникна тектонічна структура”.

Допускаючи лінійне зниження в часі тиску у фрекінг-зоні від початкового ($P_0 = \gamma_n H + \sigma_{\perp}$) до гідростатичного, під час якого зупиняється вивільнення сланцевого газу, визначимо середню величину тиску висхідної міграції

$$P_{сер} = [(\gamma_n H_{фз} + \sigma_{\perp}) + H_{фз}] / 2,$$

де γ_n – об’ємна густина порід, $\gamma_n \approx 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³;

$H_{фз}$ – середня глибина фрекінг-зони (процесу); $H_{фз} = 3000$ м = 300 МПа (гідростатичний тиск прісної води);

σ_{\perp} – міцність сланцево-газоносних порід на розтягнення (розрив) перпендикулярно нашаруванню; за літературними даними

$\sigma_{\perp} \approx 30$ МПа (300 кг/см²).

Відповідно до вищенаведених даних величина градієнта висхідної міграції буде дорівнювати $i = P_{сер} / H_{фз} = [(\gamma_n H_{фз} + \sigma_{\perp}) + H_{фз}] / 2 H_{фз} = [(660 + 300) + 300] / 2 \cdot 300 \approx 2,1$, а час досягнення ГрВГ $t_m = H_{фз} / (k i / n_r) = 3000 / [(10^{-4} \cdot 2,1) / (10^{-3} \div 10^{-4})] \approx 14,2 \cdot 10^3 \div 1420$ діб $\approx 40 \div 4$ років.

Варто відзначити, що орієнтовні оцінки часу можливої висхідної міграції технологічних забруднень із ФЗ збігаються з терміном експлуатації фрекінг-зони ($t_m \geq 5$ років) і з проявами в США на родовищах СГ численних локальних забруднень підземних і поверхневих джерел водопостачання ($t_m > 20 \div 30$ років).

2. *Орієнтовний час площадної висхідної міграції технологічних забруднень ФЗ крізь суцільний породний*

масив оцінюється за умови, що рушійним чинником висхідної гідрогеоміграції в цьому випадку є різниця густини прісноводного технологічного розчину ($\gamma_{пр} = 1000$ кг/м³) і мінералізованих порових розчинів газозмісних порід ($\gamma_{пор} = 1200$ кг/м³).

При глибині фрекінг-зони $H_{фз} = 3000$ м і лінійному зниженні різниці щільності в інтервалі “зона фрекінгу – ГрВГ” середнє значення градієнта висхідної фільтрації становитиме $i_{ф} = (\gamma_{пор} - \gamma_n) H_{фз} / 2 H_{фз} = (1,2 - 1,0) / 2 = 0,1$. За формулою Дарсі час висхідної фільтрації в суцільному породному масиві становитиме $t_{пм} = H_{фз} / [(k_m i_{ф}) / n_{пм}]$,

де $k_{пм}$ – середня проникність суцільного породного масиву від фрекінг-зони до ГрВГ; $n_{пм}$ – активна пористість суцільного породного масиву (за даними лабораторних досліджень і математичного моделювання глибоких горизонтів ЗУВ, зокрема полігонів захоронення токсичних стоків $n_{пм} = 10^{-3}$; за формулою Тіма-Каменського $k_{пм} = H_{фз} / [(m_{пр} k_{пр} + m_0 / k_0)]$,

де $m_{пр}$ – товщина проникних шарів, $m \approx 500$ м,

$k_{пр}$ – середній коефіцієнт фільтрації проникних шарів, $k_{пр} = 2,0$ м/добу;

m_0, k_0 – відповідно середні значення товщини і коефіцієнтів фільтрації слабопроникних (розділяючих) шарів (т. зв. регіональних водотривів); сумарна товщина $m_0 = (3000 - 500) \cdot 2500$ м, $k_0 = (2 \div 5) \cdot 10^{-5}$ м/добу (за даними А. Б. Климчука, щодо проникності карстово-провідних систем).

Тоді $k_{пм} \approx 3000 / [(500/2) + (2500 / (2 \div 5) \cdot 10^{-5})] = 2,4 \cdot 10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}$ м/добу, а орієнтовний час висхідної (дифузійно-конвективної) міграції технологічних забруднень крізь суцільний породний масив становитиме $t_{пм} = 3000 / [(2,4 \cdot 10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-1}] / 10^3 = 2500 \div 63000$ діб $\approx 70 \div 170$ років. Варто взяти до уваги, що в умовах ГС існує мож-

лівість значного зниження концентрації забруднень за рахунок впливу сорбції і регіонального руху підземного потоку в системі горизонтів ЗАВ.

Отримані оцінки швидкості висхідної міграції технологічних забруднень по проникних тектонічних зонах (від перших років до десятків) і крізь суцільний породний масив (від десятків до сотень років) є орієнтовними, враховуючи високу ймовірність прискорення висхідних потоків унаслідок утворення в зоні фрекінгу газиво-водної емульсії, в'язкість якої в десятки разів менша. Тому прискорений висхідний рух із ФЗ високопроникної емульсії з вуглеводневих газів, мінералізованих вод і залишків токсичних розчинів є чинником, який здатний призвести до зміни структури газогеохімічного поля у верхній зоні геологічного середовища, в першу чергу внаслідок прискореної міграції газів по тектонічних і послаблених (лінеаментних) зонах.

Таким чином, виявлення в початковій фазі проведення фрекінг-процесу зміни фонової структури приповерхневого газогеохімічного поля є ознакою порушення гідрогеофільтраційної ізоляваності ФЗ, а так само небезпеки забруднення горизонтів прісних підземних вод і поверхневих водних об'єктів.

Ризик геопросторового забруднення підземної гидросфери на площах видобутку СГ уявляється доцільним додатково оцінити за консервативною балансовою схемою співвідношення об'єму води для розчину забруднень $Q_{бр}$ до безпечних концентрацій $C_{гдк}$ з об'ємом порових розчинів $V_{пор}$, які залигають вище ФЗ

$$Q_{бр} = V_{бр} / C_{гдк} \leq V_{пм} \cdot n_{пм},$$

де $V_{бр}$, $V_{пм}$, $n_{пм}$ – відповідно питомі об'єми остаточних токсичних розчинів у ФЗ і порових вод у перекриваю-

чому ФЗ породному масиві m^3/km^2 ; за даними праць [2, 3], $V_{бр} \sim 400 m^3/km^2$, у більшості випадків $C_{гдк} \sim 1,0-0,1 mg/dm^3$ (відносна частка $10^{-6}-10^{-7}$), при глибині ФЗ = 3000 м $V_{пм} = 3 \cdot 10^9 m^3/km^2$;

$n_{пм}$ – загальна пористість порід вище ФЗ, $n_{пм} = 0,2$.

З результату вирішення вищенаведеної балансової залежності виходить, що

$$Q_{бр} = 400 / (10^{-6} - 10^{-7}) = 4 \cdot 10^8 - 4 \cdot 10^9 m^3, \text{ а об'єм порових вод вище ФЗ}$$

$$V_{пм} \cdot n_{пм} = 3 \cdot 10^9 \cdot 0,2 = 6 \cdot 10^8 m^3.$$

Таким чином, залишки технологічних розчинів у ФЗ в окремих випадках здатні до довгострокового забруднення підземних вод ЗУВ і ЗАВ.

З метою визначення площ ділянок, які мають мінімальний ризик забруднення підземних і поверхневих вод під час використання технології фрекінгу, нами була виконана геопросторова оцінка співвідношення площ оптимальних кластерів видобувних свердловин на сланцевий газ і питомої щільності лінеаментів за даними ДЗЗ (рис. 2-4). Отримані результати засвідчили, що екологічно безпечні (майже непорушені) ділянки з видобутку СГ у межах Юзівської площі становлять 60-65 %, а Олеської – 45-55 %, що зумовлено підвищеною тектонічною порушеністю останньої.

Отримані дані дають змогу зробити висновок про доцільність випереджаючого районування територій пошуково-розвідувальних робіт на сланцевий газ за геодинамічною стійкістю на основі комплексного аналізу матеріалів ДЗЗ і газогеохімічної зйомки.

3. Накопичення потенціальної енергії у фрекінг-зоні та ризик техногенних землетрусів під час видобутку сланцевого газу

У загальному плані землетрус на сучасному етапі дослідження належить до процесів транзиту енергії в

літосфері або локалізованих вибухів механічної енергії, яка поширюється в радіальних напрямках від джерела (фокусу).

Майже до 50-60-х років ХХ ст. землетруси розглядалися як природні явища, яким передують поступове зростання підвищених напруг з наступним переміщенням ділянок породного масиву з боків тектонічного розлому. Останніми десятиріччями в межах ряду країн Азії, Америки, Європи (Індія, 1967; Туркменістан, 1984; Україна, Кривий Ріг, 2007) мали місце землетруси в місцях будівництва великих водосховищ, видобутку газу і великих обсягів рудної сировини з техногенними порушеннями напружено-деформованого стану і змінами потенційної енергії верхньої зони літосфери.

У межах України до активних геодинамічних структур належать Західний і Східний НГБ. За даними карт загального й детального сейсморайонування в межах України виділяються зони з силою землетрусів від 8 до 4 балів, причому їх більшість зменшується з Південно-західного та Південного регіонів у північному напрямку [13].

Ураховуючи наближеність Західного НГБ до сейсмоактивної зони Вранча (Румунія) та наявність у Карпатському регіоні місцевих джерел землетрусів, сила місцевих природних сейсмопоштовхів може сягати 6-7 балів шкали МСК-64. Східний НГБ за результатами сейсмогеофізичних спостережень має природну сейсмічність у 4-5 балів, але при підвищеній щільності тектонічних лінеаментних і солештокових структур. Останнє може бути ознакою формування полів концентрації механічних напруг і підвищеної чутливості до техногенних змін напружено-деформованого стану

глибоких горизонтів геологічних структур.

У геодинамічному відношенні видобуток сланцевого й затисненого газу із слабопроникних колекторів способом використання ФТ супроводжується масштабними збільшеннями тиску внаслідок нагнітання великих об'ємів технологічних розчинів із швидкоплинними (години, доби) змінами первинного напружено-деформованого стану породного масиву.

Циклічне проведення фрекінг-процесу на кластерах видобувних свердловин у межах геологічних структур НГБ і техногенне дезінтегрування порід з активними тектонічними порушеннями здатне зумовити нерівномірне вивільнення з глибинних зон породного масиву техногенної потенційної енергії. Це може відбуватися у вигляді техногенно-сейсмічних поштовхів різної інтенсивності з наступними деформаціями денної поверхні, ризиком активізації зсувних, карстових, просадкових процесів, які мають велике поширення в межах Юзівської та Олеської площ першочергового видобутку СГ. До речі, активізацію даних екзогенних геологічних процесів ми спостерігаємо в зонах впливу видобутку корисних копалин, будівництва водосховищ та інших складних природно-техногенних систем (Донбас, Кривбас, Карпатський регіон).

Беручи вищенаведене до уваги, нами виконані оцінки техногенної сейсмогеологічної небезпеки на ділянках видобутку СГ за умови використання ФТ з урахуванням додаткових надходжень потенційної енергії в процесі гідрогеомеханічних деформацій глибоких горизонтів геологічного середовища.

У загальному плані кількість потенційної енергії

у фрекінг-зоні дорівнює $E_{\text{пор}} = P_{\text{фн}} \cdot V_{\text{ф}}$,

де $P_{\text{фн}}$ – середній тиск фрекінг-процесу, для глибини 3000 м $P_{\text{фн}} = 90$ МПа (900 кг/см^2);

$V_{\text{ф}}$ – середній об'єм закачки технологічного розчину у свердловину з тиском $\rho_{\text{фн}}$, $V_{\text{ф}} \approx 10 \cdot 10^3 \text{ м}^3$;

$E_{\text{пор}} = 90 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 10^4 \text{ м}^3 \approx 0,9 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$.

Згідно із залежністю, що наведена в праці [7], вищезазначений енергетичний рівень струшування (подрібнення) породного масиву є еквівалентним землетрусу магнітудою 3,5–4,0 (4–5 балів шкали МСК-64). Варто відзначити, що подібний рівень сейсмострушувань на ділянках видобутку сланцевого газу відзначався в США, Англії та полігонах захоронення токсичних стоків (США, Росія та ін.).

Окрім того, геодинамічний режим територій першочергового видобутку СГ у межах Східного й Західного НГБ великою мірою порушений видобутком мінеральної сировини, підземних вод, регіональним розвитком процесів підтоплення, зсуво-карстоутворення, які збільшують вплив сейсмопоштовхів на 1–2 бали.

4. Шкала екологічних ризиків під час видобутку сланцевого газу

Видобуток СГ на основі фрекінг-технології призводить до формування просторово-розвинутих складних ПТГС, які мають різний рівень змін навколишнього, в першу чергу геологічного, середовища. Виходячи з цього, уявляється доцільним розглянути основні різновиди екологічного ризику, які пов'язані з видобутком СГ у нафтогазоносних басейнах України, в межах яких розвинуті Дніпровсько-Донецький і Волино-Подільський артезіанські басейни з великими запасами питних і мінеральних лікувальних вод.

У загальному плані з чинниками техногенного впливу ФТ пов'язано кілька різновидів екологічного ризику, головними серед яких є такі:

1) ризик небезпечного порушення гідрогеодинамічної рівноваги і хімічного забруднення глибоких горизонтів геологічного середовища, активізація взаємодії підземної та поверхневої гідросфери;

2) ризик активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів, критичних деформацій поверхні і потенційно небезпечних об'єктів;

3) ризик погіршення безпеки життєдіяльності внаслідок забруднення джерел питно-господарського водопостачання, ґрунтів та сільгосппродуктів.

Характер прояву вищенаведеного переліку екологічних ризиків може бути доволі різноманітним унаслідок впливу суттєвих невизначеностей технологічного, економічного та соціального змісту. Тому нами наведено узагальнений розподіл основних груп екологічних ризиків, пов'язаних з техногенними змінами геологічного середовища, як основного “депо” наслідків використання ФТ.

Наведений далі в “Шкалі екологічних ризиків під час використання технології фрекінгу в процесі будівництва, експлуатації та ліквідації свердловин на сланцевий газ” (табл. 3) розподіл ризиків за балами є відносно умовним і пов'язаним з динамікою технологічного процесу розкриття родовища СГ і змінами його геомеханічних, гідрогеодинамічних, геофізичних і фізико-хімічних параметрів.

Під час розробки вищенаведеної “Шкали екологічних ризиків...” брали до уваги такі методичні положення:

– зростання величини екологічного ризику (бала оцінки) відповідно до тех-

нологічних фаз формування життєвого циклу фрекінг-процесу;

– впровадження в Україні концепції “прийнятного ризику” у зв'язку з неможливістю використання концепції “нульового ризику” за умови переважання регіонів з високим техногенним навантаженням на довкілля.

5. Висновки і рекомендації

1. Фрекінг-технологія є досконалою технологією щодо вилучення вуглеводнів із глибоких шарів (3,5–5,0 км) слабопроникних порід способом їх гідрогеомеханічного подрібнення і створення високопроникних довгоіснуючих (до 5–8 років) зон, заповнених механічними домішками і токсичними технологічними розчинами.

2. Створення глибинних високопроникних фрекінг-зон призводить до довгострокових порушень геомеханічної цілісності, гідрогеофільтраційної та геоенергетичної рівноваги глибоких горизонтів геологічного середовища.

3. Видобуток сланцевого газу на основі фрекінг-технології супроводжується формуванням у глибоких горизонтах на великих площах (сотні-тисячі квадратних кілометрів) техногенних проникних високонапірних зон. Їх особливістю є збільшення проникності глибоких водоносних горизонтів і формування висхідної міграції токсичних забруднень із фрекінг-зони в горизонти прісних підземних вод та поверхневі водні об'єкти (ріки, озера, джерела).

4. Площинне формування під час видобутку сланцевого газу високопроникних тріщинних зон призводить до гідрогеофільтраційної і геохімічної перебудови глибинних горизонтів високомінералізованих вод зони уповільненого водообміну та багаторазової активізації їх взаємодії з вищезазначеними прісноводними горизонтами

та поверхневими водними об'єктами.

5. Тріщинно-поровий простір фрекінг-зон є колектором великих залишкових об'ємів токсичних технологічних розчинів, які здатні до масштабного просторово-часового забруднювального впливу на горизонти прісних вод і поверхневі водні об'єкти.

6. Провідними шляхами прискореної міграції токсичних технологічних забруднень із зон техногенного тріщиноутворення під час видобутку сланцевого газу є проникні тектонічні порушення, які найвірогідніше діагностуються за матеріалами ДЗЗ і газогеохімічних зйомок.

Беручи до уваги великий енергопотенціал сланцевого газу в межах нафтогазоносних структур Східного й Західного регіонів України, їх значну структурно-тектонічну порушеність, техногенну навантаженість і підвищену екологічну чутливість геологічного середовища до механічних, фізичних і хімічних чинників впливу фрекінг-технології, уявляється необхідним виконання:

1. Випереджаючої оцінки тектонічної порушеності (суцільності) породного масиву в межах сланцево-газоносних структур на базі аналізу матеріалів ДЗЗ і визначення природної (фонові) структури газогеохімічного поля ділянок пошуково-розвідувальних робіт на сланцевий газ.

2. Удосконалення структури моніторингу параметрів газогеохімічного поля, рівневого і хімічного режиму підземних і поверхневих вод, геохімічного стану ландшафтів у межах родовищ сланцевого газу.

3. Дослідження сорбційно-десорбційних властивостей мінерального скелета і порових розчинів породного масиву над зоною фрекінгу з метою визначення захисної

Таблиця 3. Шкала екологічних ризиків під час використання технології фрекіну (frace making) у процесі будівництва, експлуатації та ліквідації свердловин на сланцевий газ (shale gas)

Бал аварійної події	Гіосфера	Технологічний зміст аварійної події	Провідний екологічний чинник аварійної події	Можливий рівень усунення еконаслідків аварійної події	Просторово-часова характеристика екологічних наслідків
1	Наземна поверхня, окремі технологічні блоки проммайданчику бурової	Руйнування інженерної інфраструктури, без виходу забруднень за межі проммайданчику (витоки палива, мастильних матеріалів, реагентів)	Короткочасове (до 1–3 місяців) забруднення ґрунтів, приземної атмосфери, можливо ґрунтових вод (локальне)	Майже повний	Обмежене остаточно забруднення ґрунтів, підстиляючих порід
2	Наземна поверхня, окремі технологічні блоки проммайданчику або їх угруповання	Порушення регламенту експлуатації або руйнування кількох елементів інженерної інфраструктури з виходом забруднень за межі проммайданчику	Довгострокове (до 1 року) наднормативне забруднення ґрунтів, поверхневих вод, підстиляючих порід, ґрунтових вод за межами проммайданчику	Майже повний	Тимчасове хімічне забруднення діянок водозбірних ландшафтів, поверхневих і підземних вод, погіршення умов земле-водокористування в прилеглих містах і селищах
3	Підземна гідрогеосфера (середня глибина до 2,0–3,0 км)	Вертикальний стовбур свердловини до зони викривлення – поглинання бурового розчину, деформації стовбура, обрив обсадних колон, неякісна цементация затрубного простору	Забруднення водоносних горизонтів прісних і мінералізованих вод, погіршення ізолюючої здатності регіональних водоотривів і захищеності підземних і поверхневих вод від забруднення	Значний (іноді до повного)	Обмежене забруднення підземної гіросфери, зокрема прісноводних горизонтів зони активного водообміну (ЗАВ) і наближених підземних водооборів
4	Підземна гідрогеосфера (середня глибина до 3,0–3,5 км)	Ризик розкриття в зоні викривлення стовбура свердловини нестійких (порушених) порід, поглинання технологічного розчину	Локальне забруднення горизонтів мінералізованих вод зони уповільненого водообміну (ЗУВ) і ризик переготу забруднень до горизонтів питних вод ЗАВ	Частковий	Обмежене довгострокове забруднення порід і горизонтів мінералізованих вод і ризик уповільненої міграції забруднень до водоозабірних споруд
5	Підземна гідрогеосфера (глибина 3,5–5,0 км)	Ризик розкриття стовбурами горизонтальних (середня довжина 1,5–2,0 км) або полого-нахилених свердловин тектонічних проникних зон з висхідною міграцією мінералізованих вод у горизонти прісних вод ЗАВ	Прискорена міграція технологічних розчинів, хімічних сполук, токсичних хімічних елементів до горизонтів прісних вод, підземних і поверхневих водооборів	Частковий	Небезпека міграції забруднень у горизонти підземних вод зон уповільненого та активного водообміну, об'ємне геохімічне забруднення геологічного середовища

Бал аварійної події	Геосфера	Технологічний зміст аварійної події	Провідний екологічний чинник аварійної події	Можливий рівень усунення еконаслідків аварійної події	Просторово-часова характеристика екологічних наслідків
6	Підземна гідрогеосфера (глибина 3,5–5,0 км)	Виконання технологічних процедур фрекінгу зі створенням у геостатично стиснутих породах об'ємної системи проникиних тріщин з нагнітанням водно-піщаних хімічних розчинів	Підвищена ймовірність гідравлічно-фільтраційної інжекції водно-піщаних хімічних розчинів і мінералізованих вод ЗУВ у приповерхові горизонти ЗАВ і поверхневі водні об'єкти (зокрема у вигляді водно-газової високо-проникної емульсії)	Украї обмежений	Ризик прискореної висхідної міграції водно-газової емульсії з технологічних забруднень і мінералізованих вод по тектонічних та ослаблених зонах з формуванням розсереджених ділянок забруднення підземних і поверхневих водо-заборів. Можливі локальні деформації поверхні та сейсмо-струшування, погіршення умов експлуатації складних інженерних споруд (трубопроводів, залізниць, мостів та ін.)
7	Підземна гідрогеосфера (глибина 3,5–5,0 км)	Висхідна гідрогеоміграція із зони фрекінгу низькоцінних технологічних розчинів (питома густина 1,0 г/дм ³) крізь гідрогеофільтраційне поле мінералізованих вод ЗУВ (питома густина 1,2 дм ³ при мінералізації 300–350 г/дм ³)	Розвиток довгострокового процесу конвективно-дифузійного забруднення горизонтів ЗУВ і ЗАВ залишків технологічних розчинів унаслідок реологічного стиснення зони фрекінгу. Ризик формування техногенних порушень рівноважного водо-енергообміну горизонтів ЗУВ і ЗАВ	Майже унеможливлений	Формування довгострокової уповільненої висхідної гідрогео-міграції техногенних і природних забруднень із залишкових ділянок фрекінг-камор і глибоких горизонтів з можливістю територіального стійкого забруднення підземних і поверхневих водо-заборів

здатності геологічного середовища на ділянках видобутку сланцевого газу.

4. Розробки математичних моделей техногенно-геологічних систем (ТГС) “зона фрекінгу – геологічне середовище” з метою визначення гранично-припустимих параметрів фрекінг-процесу на стадіях геолого-пошукових та експлуатаційних робіт, а також прогнозу довгострокового впливу залишків токсичних технологічних розчинів у фрекінг-зоні на якість підземних і поверхневих вод.

5. Дослідження з розробки нормативно-правової та науково-методичної бази щодо використання фрекінг-технології під час геологічного вивчення та експлуатації родовищ сланцевого газу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адаменко О. М. Екологічні проблеми розвідки і видобутку сланцевих газів на Олескій площі. Екологічне та збалансоване ресурсористування. 2013. № 2 (8). С. 4–12.
2. Довгий С. О., Євдошук М. І., Коржнев М. М. та ін. Енергетично-ресурсна складова розвитку України. Київ: Ніка-Центр, 2010. 263 с.
3. Якушенко Л. М., Яковлев Є. О. Перспективи видобутку сланцевого газу в Україні: екологічні аспекти. Аналітична записка НІСД, 2012. 12 с.
4. Рябцев Г. Л., Сапегін С. В. (ред.). Сучасні проблеми державної політики у сфері видобутку нетрадиційних вуглеводнів в Україні. Київ: НТЦ “Психея”, 2012. 239 с.
5. Довгий С. О., Коржнев М. М., Куріло М. М. та ін. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. Київ: Ніка-Центр, 2012. 316 с.
6. Лялько В. І., Попов М. А. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых (2-е изд.). Киев: Карбон-ЛТД, 2012. 436 с.
7. Ломниця П., Розенблют Э. (ред.) Сейсмический риск и инженерные решения. Москва: Недра, 1981. 683 с.
8. Рудько Г. І. (ред.) Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин України та проблеми надрокористування//Зб. наукових праць. Київ-Чернівці: Букрек, 2013. 307 с.

9. Шестопалов В. М. (ред.) Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа: в 2-х книгах. Киев: Карбон-ЛТД, 2001. 860 с.

10. Лукін О. Ю., Шукін М. В. Проблеми нафтогазоносності великих глибин/Проблеми нафтогазоносності глибоко занурених горизонтів осадових басейнів України//Зб. наук. праць. Івано-Франківськ: Факел, 2005. С. 18–21.

11. Price L. C. Organic geochemistry of core samples from an ultra-deep hotwell (300 °C, 7 km)// Chemical Geology. 1982. Vol. 37. № 3/4. P. 215–228.

12. Гожик П. Ф. и др. Нефть и природный газ на континентальном склоне Европы//Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 1. С. 5–47.

13. ДБН В.1.1-12.2006. Будівництво у сейсмічних районах України.

REFERENCES

1. Adamenko O. M. Ecological problems of exploration and production of shale gas in Oleskiv area. Environment and Sustainable resource management. 2013. № 2 (8). P. 4–12.
2. Dovgiiy S. A., Yevdoschuk M. I., Korzhnev M. N. and others. Energy-resource potential the development of Ukraine. Kyiv: Nick Center, 2010. 263 p.
3. Yakushenko L. M., Yakovlev E. A. Prospects for shale gas in Ukraine: ecological aspects. Analytical Brief, NISS, 2012. 12 p.
4. Riabtsev G. L., Sapegin S. V. (eds.). Recent problems in state policy of the extraction of unconventional hydrocarbons in Ukraine. Kyiv: STC “Psyche”, 2012. 239 p.
5. Dovgiiy S. A., Korzhnev M. M., Kurylo M. M. and others. Environmental risks, damages and limits of rational use of mineral resources in Ukraine. Kyiv: Nick Center, 2012. 316 p.
6. Lyalko V. I., Popov V. A. Satellite methods of mineral exploration (2nd ed.). Kyiv: Carbon-Ltd, 2012. 436 p.
7. Lomnici C., Rozenblyut T. (eds.). Seismic risk and engineer decision. Moscow: Nedra, 1981. 683 p.
8. Rud'ko G. I. (eds.). Geological and economic evaluation of mineral deposits of Ukraine and subsoil problems//Zbirnyk naukovykh prats. Kyiv-Chernivtsi: Bukrek, 2013. 307 p.
9. Shestopalov V. M. (eds.). Water exchange in hydrogeolo-

gical structures of Ukraine. Water exchange in hydrogeological structures and Chernobyl accident: 2 books. Kiev: Carbon-LTD, 2001. 860 p.

10. *Lukin A. Yu., Shchukin M. V.* Problems of hydrocarbon bearing formations of great depths/Problems hydrocarbon deeply embedded layers of sedimentary basins of Ukraine//Zbirnyk naukovykh prats. Ivano-Frankivsk: Fakel, 2005. P. 18–21.

11. *Price L. C.* Organic geochemistry of core samples from an ultra-deep hotwell (300 °C, 7 km)// *Chemical Geology*. 1982. Vol. 37. № 3/4. P. 215–228.

12. *Gozhyk P. F.* and others. Oil and nature gas on the continental slope of Europe/Geology and mineral resources of World Ocean. 2010. № 1. P. 5–47.

13. *DBN V.1.1-12.2006.* Construction in seismic regions of Ukraine.

УДК 92:93/99 (477.61/62)

М. В. ЖИКАЛЯК, канд. геол. наук, генеральний директор ДРГП “Донецькгеологія”

Л. І. ЛУТУГІН – ПОЕТ І НАТХНЕНИЙ СКУЛЬПТОР ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ

Стаття присвячена видатному вченому-геологу, талановитому досліднику надр Донецького басейну Л. І. Лутугіну у зв'язку із 150-річчям з дня його народження. Розглянуті основні етапи та особливості створення детальної геологічної карти-моделі Донбасу, інноваційні підходи й досягнення з прикладної геології та гірничої справи вугільних родовищ, його невичерпні організаційські здібності, прогресивні демократичні погляди й принципи. Особистість Л. І. Лутугіна цікава своєю багатогранністю, новаторством та сподвижністю як дослідника та як ученого-геолога з людським серцем, демократа й патріота.

The article is devoted to the outstanding scientist-geologist, talented researcher of Donetsk basin subsoil, L. I. Lutugin in connection with the 150th anniversary of his birthday. It discusses the main stages and peculiarities of creation of detailed geological map - model of Donbass, as well as innovative approaches and achievements of the scientist in the field of applied Geology and mining engineering of coal deposits, his inexhaustible organizational skills, progressive democratic views and principles. Personality of L. I. Lutugin is interesting by its versatility, innovation and selfless devotion as classical researcher, and as someone with kind heart, democrat and patriot.

Вступ

Видатний дослідник надр Донецького басейну Лутугін Леонід Іванович народився в небагатій купецькій сім'ї 4 березня 1864 року в м. Петербурзі. Середню освіту здобув у реформатському училищі й після дворічної підготовки вступив до Петербурзького гірничого інституту, який закінчив за першим розрядом у 1889 р.

Після закінчення Петербурзького гірничого інституту молодий талановитий геолог був направлений на роботу в Геологічний комітет – тоді єдиний урядовий заклад, який займався вивченням геології та корисних копалин [4]. Уже за перші геологічні дослідження вододілу між верхів'ями рік Печори і Вичегди Л. І. Лутугіну була присуджена велика срібна медаль. Але найважливіша доленосна робота

Леоніда Івановича розпочалася влітку 1892 року в Донецькому басейні, спочатку під керівництвом Ф. М. Чернишова, а з 1897 р. самостійно. Тому ім'я Л. І. Лутугіна як вченого й геолога-новатора нерозривно пов'язане зі створенням першої детальної геологічної карти Великого Донбасу та заснуванням всесвітньо відомої донецької школи геологів-вугільників.

Його титанічна праця в Донецькому басейні є прикладом життєвого подвигу та інновацій стосовно методики польових досліджень, виконаних картопобудов, комплексної оцінки вугільних басейнів, раціонального видобування та використання вугілля. І саме, зважаючи на це, прикро, що в 2011 році, в період абсолютної централізації виконавчої влади в Україні вихідцями з Донбасу та їх київськими васалами й з мовчазної згоди чиновників від геології, була скасована галузева нагоро-



Леонід Іванович Лутугін
(1864 – 1915)

да – медаль ім. Л. І. Лутугіна. Тому нині важливо не тільки віддати належне генію вугільної геології з нагоди його 150-річного ювілею, а насамперед відновити моральні цінності та стимули в галузі геології й надр, надати статусу державних основним галузевим нагородам і забезпечити стале функціонування державних регіональних геологічних підприємств та галузі загалом. Саме в цьому нас переконує громадянський та науковий приклад Леоніда Івановича як самовідданого патріота й сподвижника.

Детальна геологічна карта Великого Донбасу – вінець наукової творчості Л. І. Лутугіна

У 1892 році Гірничий департамент на вимогу гірничих промисловців півдня Росії запропонував Геологічному комітету провести в Донбасі детальне картування кам'яновугільних відкладів для точної