

**Василь ГАРАСИМЧУК<sup>1</sup>, Галина МЕДВІДЬ<sup>1</sup>,  
Олег ЧЕБАН<sup>2</sup>, Ольга ТЕЛЕГУЗ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> ТОВ «НГСН», Київ, Україна,  
e-mail: ovcheb2015@gmail.com

**ДОТРИМАННЯ ПРИНЦИПУ ЕКОЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ  
ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ НА ПРИКЛАДІ  
ДОБРІВЛЯНСЬКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА  
(Передкарпатська нафтогазоносна область)**

Реалізація принципу екологічної конверсії при видобутку вуглеводневої сировини на Добрівлянському газоконденсатному родовищі полягає в поверненні високомінералізованих, збагачених мікрокомпонентами та органічною речовиною супутніх пластових вод у виснажені пласти-колектори. Високі ємнісно-фільтраційні характеристики, достатня потужність і витриманість виснаженого пласта-колектора НД-12а забезпечують необхідну приймальну здатність для наявних об'ємів супутніх пластових вод. Ін'єкція супутніх пластових вод здійснюється через свердловину № 4. Встановлено, що за хімічними параметрами ці води ідентичні з водами водоносних горизонтів родовища. Вони мають хлоридний кальцієво-натрієвий, магнієво-натрієвий склад з підвищеними значеннями мінералізації. Оцінено геохімічну сумісність супутніх пластових вод із водами пласта-колектора НД-12а, яка не передбачає утворення соляних осадів та кольматації порового простору. Результати моніторингових досліджень хімічного складу вод четвертинного водоносного горизонту ділянки родовища та прилеглих населених пунктів вказують на відсутність негативного впливу утилізації супутніх пластових вод.

*Ключові слова:* екологічна конверсія, газоконденсатне родовище, супутні пластові води, утилізація, моніторинг.

**Вступ.** Термін «екологічна конверсія» у нафтогазовій промисловості означає застосування технологій, що мінімізують споживання енергії та природних ресурсів, зменшують вплив на довкілля і забезпечують повну утилізацію всіх видів відходів, що утворюються під час видобутку.

Одним з найбільш шкідливих наслідків діяльності нафтогазової промисловості на довкілля є накопичення супутніх пластових вод (СПВ). СПВ є побічним продуктом видобутку нафти, газу та газового конденсату. Ці води піднімаються на поверхню зі свердловини разом з вуглеводнями, часто утворюючи суміші, які потребують додаткових витрат для їхньої сепарації чи «осушення» газів. У процесі розробки родовища частка вуглеводнів у суміші зменшується, натомість частка СПВ зростає і на завершальному етапі розробки

родовища може перевищувати 90 %, що робить подальшу експлуатацію свердловин економічно недоцільною.

**Постановка проблеми.** Фізичні та хімічні властивості СПВ залежать від геолого-тектонічних особливостей нафтогазоносного басейну, типу та складу водовмісних порід, глибини залягання водоносного горизонту, типу вуглеводнів, із якими вони взаємодіють чи утворюють суміші. Часто СПВ можуть містити хімічні реагенти, що використовувалися під час буріння та експлуатації свердловин.

На сьогодні закачування (ін'єкція) СПВ у глибокі водоносні горизонти вважають найбільш ефективним та найменш ресурсозатратним методом їхньої утилізації. Найчастіше СПВ повертають у виснажені горизонти вуглеводневих родовищ, звідки вони надійшли. Нагнітання цих вод слугує також додатковим механізмом підняття пластового тиску з метою інтенсифікації видобутку нафти.

В Україні підходи щодо утилізації СПВ регламентуються «Правилами розробки нафтових і газових родовищ», затвердженими наказом Міністерства корисних ресурсів України № 118 від 17.03.2017 р. Цей документ передбачає повну утилізацію СПВ шляхом їхнього нагнітання в продуктивні пласти для підтримання пластового тиску або в глибокі поглинальні горизонти. Підготовка до цього процесу включає відокремлення СПВ від нафти чи газового конденсату, очищення від механічних домішок і сполук Феруму, які можуть кольматувати поровий простір поглинального горизонту.

Для вибору пласта-колектора з метою повернення в нього СПВ визначальними умовами є геолого-тектонічна будова структури та її гідрогеологічні властивості, які повинні забезпечувати надійну ізоляцію поглинальних горизонтів. Необхідними умовами також є достатня ємкість поглинального горизонту (потужність, пористість і проникність) та геохімічна сумісність підземних вод із СПВ.

**Аналіз актуальних досліджень.** За даними (Clark & Veil, 2009) у 2007 р. у США було отримано 20,9 млрд барелів (3,32 млрд м<sup>3</sup>) СПВ. За підрахунками (Haneef et al., 2020), загалом у світі щодня видобувають приблизно 250 млн барелів (39,7 млн м<sup>3</sup>) СПВ. Їхня значна частина припадає на країни Близького Сходу (Al-Hubail & El-Dash, 2006).

У світі використовують такі підходи до утилізації цих вод: скидання в океан (якщо видобуток вуглеводнів здійснюють у морській акваторії, а СПВ мають низьку мінералізацію та обмежену кількість органічних речовин), закачування в глибокі водоносні горизонти, евапорація, вторинне використання в промисловості і сільському господарстві (іригація нехарчових рослин за умов високого рівня очищення таких вод) (Hanson & Davies, 1994). Останній підхід є найбільш актуальним для країн Близького Сходу, які мають обмежені ресурси природних вод. У своїй роботі Haneef та інші дослідники (Haneef et al., 2020) розглядають ефективність застосування фізичних, хімічних, біохімічних методів та їхнє поєднання для ефективного очищення СПВ з метою подальшого використання для іригації.

**Метою досліджень** є вивчення особливостей хімічного складу супутніх пластових вод Добрівлянського газоконденсатного родовища (ГКР), оцінка підходів та перспектив утилізації, імовірність впливу на підземні води верхніх водоносних горизонтів.

**Методика роботи** полягала в аналізі та інтерпретації геолого-структурних, ємнісно-фільтраційних, нафтогазоносних, гідрогеологічних, еколого-гідрогеохімічних параметрів Добрівлянського ГКР в контексті його розробки та утилізації супутніх пластових вод.

Хіміко-аналітичні дослідження проведені в Лабораторії проблем геоелектрології Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України, компетенція якої підтверджена Свідоцтвом про відповідність вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 «Системи керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання» № РЛ 035/24 від 05 червня 2024 р., яке чинне 5 років, видане Львівським науково-виробничим центром стандартизації, метрології та сертифікації ДП «Львівстандартметрологія».

**Виклад основного матеріалу.** *Нафтогазоносність.* Добрівлянське ГКР відкрите 2016 р. При випробуванні свердловини 1-Добрівляни в інтервалі глибин 1142–1136 м отримали приплив газу дебітом 16,12 тис. м<sup>3</sup>/добу на штуцері 6,02 мм за пластового тиску 4,33 МПа.

Упродовж 2016–2019 рр. на території родовища пробурили сім свердловин, при випробуванні яких отримали промислові припливи газу з горизонтів  $N_1s_1$  (НД-9, НД-12) та  $K_2-N_1k$ . 2017 р. родовище ввели в пробну експлуатацію. Затверджені запаси вільного газу Добрівлянського ГКР категорії 121+121 (С1) становлять 153 млн м<sup>3</sup>, 122+222 (С2) – 94 млн м<sup>3</sup>, 332 (С2) – 67 млн м<sup>3</sup> та газового конденсату категорії 121+221 (С1) – 0,331 тис. т, 122+222 (С2) – 0,193 тис. т. Експлуатацію родовища здійснює ТОВ «Стрийнафтогаз».

Добрівлянське ГКР приурочене до Більче-Волицького нафтогазоносного району Передкарпатської нафтогазоносної області (рис. 1).

*Геологічна будова.* Добрівлянське ГКР розташоване в північно-західній частині Косівсько-Угерської підзони Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Розріз родовища сформований платформними карбонатно-теригенними мезозойськими та глинисто-евапоритовими і піщано-глинистими моласовими кайнозойськими відкладами. Тектонічні порушення переважно поширені в крейдово-карпатійських ( $K_2-N_1k$ ) відкладах. У локальному плані структура родовища є ерозійним виступом верхньокрейдових відкладів, а по кайнозойських відкладах вона має форму брахіантикліналі, південно-західне крило якої частково зрізане Стебницьким насувом. Розмір структури родовища по покрівлі гіпсо-ангідритового горизонту ( $N_1bd_2tr$ ) становить 2,9 × 1,2 км, висота – 40 м (ТОВ «Бурпроект», 2018).

*Гідрогеологічні умови.* Добрівлянська структура належить до суббасейну Зовнішньої (Більче-Волицької) зони Передкарпатського водонапірного басейну (Колодій, 2010), якому притаманні латеральна витриманість водоносних горизонтів та утворення напорів у верхніх горизонтах за принципом артезіанської системи. У розрізі, розкритому свердловинами Добрівлянської площі, виокремлюють два гідрогеологічні комплекси, які є типовими для всієї Більче-Волицької зони: мезозойсько-карпатійський ( $K_2+N_1k$ ) і баден-сарматський ( $N_1bd+N_1s$ ). Регіональним водотривким шаром між ними є відклади тираської світи та баранівські верстви бадену.

У мезозойсько-карпатійському комплексі родовища водоносними є пісковики та вапняки верхньої крейди і пісковики та алевроліти карпатію. Припливи вод у свердловинах становили 200–600 м<sup>3</sup>/добу при зниженні рівня

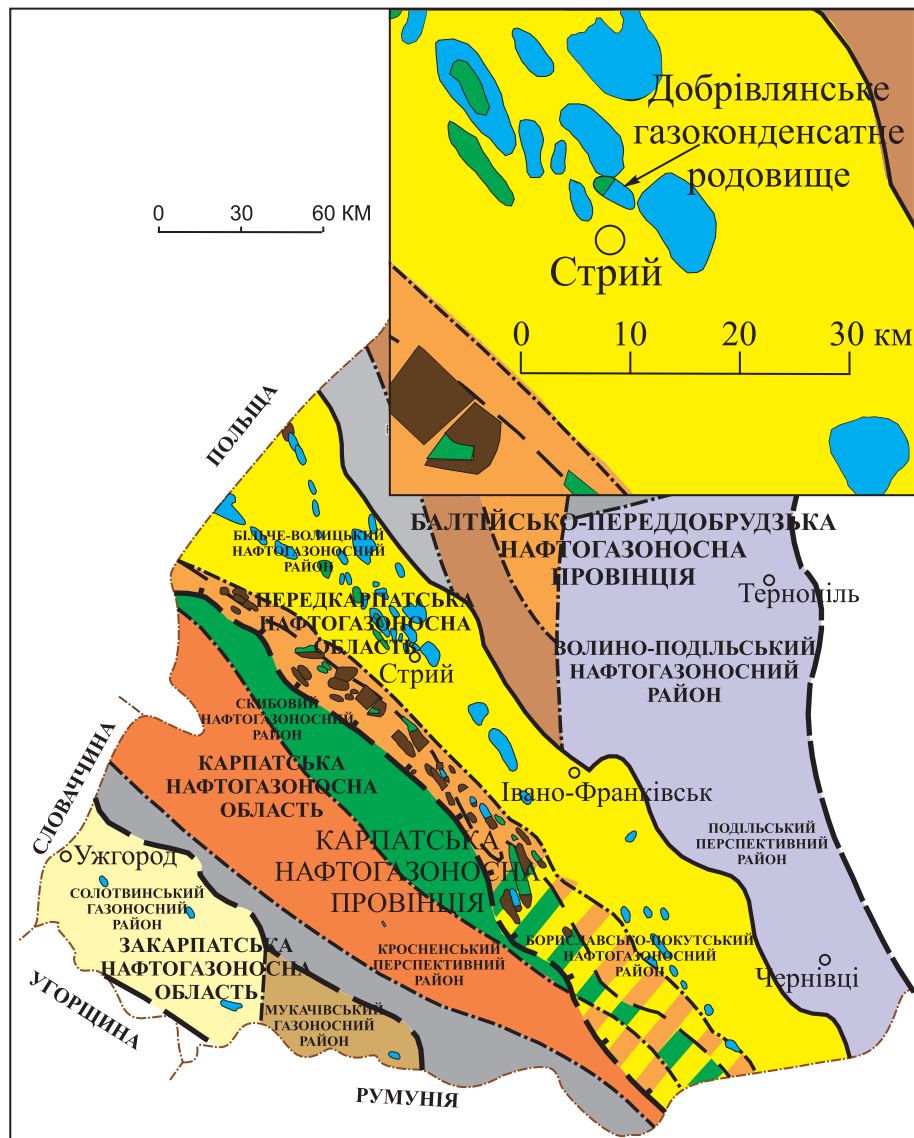


Рис. 1. Локація Добрівлянського газоконденсатного родовища, основа за (Іванюта, 1998)

на 100–200 м від статичного. Мінералізація вод комплексу становить 67,4–100,3 г/дм<sup>3</sup>. Вони мають хлоридний натрієвий макрокомпонентний склад. Генетичні коефіцієнти ( $r_{Na/rCl} - 0,88-0,99$ ;  $Cl/Br - 233-287$ ) за відповідної мінералізації свідчать про механізм давньої елізії солянок вилуговування із глинисто-соленосних молас Стебницького покриву та заповнення ними платформних порід-колекторів (Гарасимчук & Колодій, 2002). Комплекс характеризується застійним гідродинамічним режимом, а ці води є підшовними для покладу газового конденсату.

У баден-сарматському комплексі водоносними є прошарки пісковиків та алевролітів нижнього сармату, які залягають лінзами серед глинистих порід. Унаслідок цього припливи пластових вод у свердловини становили 5–20 м<sup>3</sup>/добу

і були малоактивними при розробці газових покладів. Мінералізація вод коливається переважно в інтервалі 33,8–40,8 г/дм<sup>3</sup>. Води мають хлоридний натрієвий, рідше хлоридний кальцієво-натрієвий макрокомпонентний склад. Низькі значення  $r_{Na}/r_{Cl}$  (0,82–0,85) вказують на давню седиментогенну генезу та тривалу метаморфізацію вод комплексу. Комплекс характеризується застійним гідродинамічним режимом. Відносно газових покладів НД-12б, НД-12а ці води є підшовними.

Зона активного водообміну (глибина проникнення прісних інфільтраційних вод – четвертинний водоносний горизонт) у межах ділянки родовища не перевищує 6 м.

*Супутні пластові води родовища.* Припливи пластових вод в експлуатаційні свердловини Добрівлянського родовища почалися з моменту введення його в промислову експлуатацію. Вони видобуваються разом із газом та газовим конденсатом, відтак транспортуються трубопроводами на установку підготовки газу (УПГ). На УПГ здійснюється збір продукції газових свердловин, періодичні заміри дебіту свердловин, відокремлення пластової води, дегазація рідин, адсорбційна осушка газу, компримування низьконапірного газу та подача товарного природного газу у вихідний газопровід.

Відділені СПВ скидаються для зберігання в підземні ємності-відстійники. На виході з відстійників встановлені фільтри, які очищають СПВ від нафтопродуктів та завислих речовин. Очищені СПВ закачуються трубопроводами у виснажений горизонт НД-12а (глибини 993–1002 м) свердловини № 4. Вона експлуатувала продуктивні горизонти НД-12а і НД-9б упродовж 2017–2019 рр. У грудні 2019 р. у зв'язку з виснаженням газового покладу її перевели до спостережного фонду.

Геолого-гідрогеологічні критерії придатності пласта-колектора до закачування в нього СПВ викладені в (ДК «Укртрансгаз», 2004; Німець та ін., 2019; УкрНДІгаз, 2013). Визначальними є: приуроченість пласта-колектора до зон уповільненого чи застійного гідродинамічного режиму; його надійна гідроізоляція; високі ємнісні та фільтраційні властивості; велика площа та потужність; відсутність у ньому глинистих прошарків, здатних до розшарування і розбухання; гідрохімічна сумісність СПВ із природними водами і породами пласта-колектора, що унеможливує утворення більш шкідливих сумішей та погіршення ємнісних і фільтраційних властивостей.

Пласт-колектор НД-12а у свердловині № 4 характеризується сприятливими умовами для повернення СПВ: середня пористість – 19,5 %, проникність – 0,1–0,8 мД, потужність – до 86 м. Він добре ізольований водотривкими породами, що забезпечують гідродинамічну замкнутість системи (рис. 2). За результатами досліджень, проведених у листопаді 2019 р., приймальна здатність свердловини № 4 становить 15 м<sup>3</sup>/год (360 м<sup>3</sup>/добу) (ТОВ «Стрийнафтогаз», 2020).

Обсяги накопичення СПВ на Добрівлянському ГКР з 2022 р. становлять 275 м<sup>3</sup>/рік. Станом на кінець 2023 р. з початку розробки родовища піднято та утилізовано 572,37 м<sup>3</sup> СПВ (табл. 1).

Починаючи з 2019 р., увесь об'єм СПВ нагнітається через свердловину № 4 у пласт-колектор НД-12. За хімічним складом ці води ідентичні з водами горизонтів, з яких вони надходять в експлуатаційні свердловини

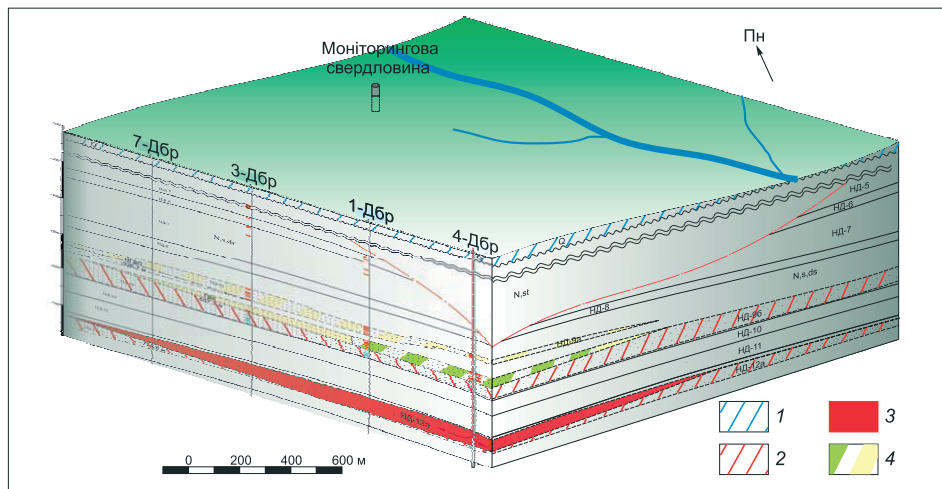


Рис. 2. Гідрогеологічна модель закачування супутніх пластових вод у глибокі водоносні горизонти на Добрівлянському газоконденсатному родовищі: 1 – зона активного водообміну; 2 – зона застійного гідродинамічного режиму; 3 – об’єкт закачування супутніх пластових вод; 4 – поклади газу та газового конденсату

Т а б л и ц я 1. Обсяги видобутку супутніх пластових вод на Добрівлянському газоконденсатному родовищі

Рік	Об’єм супутніх пластових вод, м <sup>3</sup>	Усього з початку розробки, м <sup>3</sup>
2021	7,82	31,03
2022	274,98	306,01
2023	266,36	572,37

та разом з вуглеводнями піднімаються на поверхню. СПВ мають хлоридний натрієвий, рідше хлоридний кальцієво-натрієвий чи хлоридний магнієво-натрієвий склад. Мінералізація вод залежить від водоносного горизонту, з якого вони надходять, і коливається в межах 28,5–100,3 г/дм<sup>3</sup>. Нижчі значення притаманні горизонтам баден-сарматського комплексу, а вищі – мезозойсько-карпатійського. Причому значення мінералізації СПВ майже не змінюються упродовж 2017–2023 рр.

Мінералізація сумішей СПВ у ємкостях збору (відстійниках) за період аналітичних досліджень становила 31,72–77,66 г/дм<sup>3</sup>. Води характеризувалися слабкокислою реакцією середовища. Вміст загального Феруму не перевищує 16,8 мг/дм<sup>3</sup>, амонію – 105,1 мг/дм<sup>3</sup>, Бромю – 193 мг/дм<sup>3</sup>, Йоду – 42,3 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст нафтопродуктів у сумішах не перевищує 7,3 мг/дм<sup>3</sup>, метанолу – <0,1 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2).

Оцінка сумісності СПВ з пластовими водами поглинального горизонту. Згідно з (УкрНДІгаз, 2013) граничний вміст контрольованих компонентів у сумішах СПВ, підготованих до повернення в глибокі водоносні горизонти, є таким: рН – 5–8; сульфат-іон – не більше ніж 1500 мг/дм<sup>3</sup>; залізо в окисній формі – не більше ніж 10 мг/дм<sup>3</sup>; нафтопродукти – не більше ніж 50 мг/дм<sup>3</sup>; вільна вуглекислота – не більше ніж 200 мг/дм<sup>3</sup>; завислі речовини – відповідно до розрахункових значень.

Т а б л и ц я 2. Хімічна характеристика сумішей супутніх пластових вод з ємкостей збору Добрівлянського газоконденсатного родовища

Дата відбору проби	<i>pH</i>	Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Вміст основних аніонів та катіонів, % екв	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Br <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	J <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Fe <sub>зат</sub> <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	Метанол, мг/дм <sup>3</sup>
23.03.2021	6,07	77,66	$\frac{Cl99}{Na89} \frac{HCO_3^-}{Ca7} \frac{Mg4}{Mg4}$	12,0	193,0	31,0	16,8	7,3	<0,1
26.05.2021	6,07	43,87	$\frac{Cl99}{Na84} \frac{HCO_3^-}{Ca9} \frac{Mg7}{Mg7}$	63,0	115,6	42,3	12,4	6,2	<0,1
21.09.2021	6,07	36,77	$\frac{Cl98}{Na83} \frac{HCO_3^-}{Ca9} \frac{Mg8}{Mg8}$	49,7	88,3	35,5	11,8	6,8	<0,1
01.12.2021	6,15	36,23	$\frac{Cl98}{Na89} \frac{HCO_3^-}{Ca9} \frac{Mg2}{Mg2}$	43,2	84,6	33,8	11,8	7,1	<0,1
22.03.2022	6,38	33,59	$\frac{Cl98}{Na81} \frac{HCO_3^-}{Ca10} \frac{Mg9}{Mg9}$	72,4	87,3	35,4		6,5	<0,1
14.06.2022	6,54	32,14	$\frac{Cl98}{Na79} \frac{HCO_3^-}{Mg11} \frac{Ca10}{Ca10}$	105,1	92,5	38,8		5,3	<0,1
07.09.2022	6,42	31,72	$\frac{Cl98}{Na79} \frac{HCO_3^-}{Mg11} \frac{Ca10}{Ca10}$	81,7	84,8	32,6		5,1	<0,1
22.11.2022	6,65	33,13	$\frac{Cl98}{Na78} \frac{HCO_3^-}{Mg11} \frac{Ca11}{Ca11}$	92,5	93,7	40,2		5,7	<0,1

Продовження табл. 2

Дата відбору проби	pH	Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Вміст основних аніонів та катіонів, % екв	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Br <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	J <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Fe <sub>зат</sub> <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	Метанол, мг/дм <sup>3</sup>
22.03.2023	6,78	33,37	Cl <sub>198</sub> HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> Na <sub>80</sub> Mg <sub>10</sub> Ca <sub>10</sub>	83,2	89,1	37,4		6,3	<0,1
08.06.2023	6,78	34,02	Cl <sub>198</sub> HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> Na <sub>78</sub> Mg <sub>11</sub> Ca <sub>11</sub>	77,2	82,7	35,1		6,8	<0,1
05.09.2023	6,80	32,91	Cl <sub>198</sub> HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> Na <sub>80</sub> Mg <sub>10</sub> Ca <sub>10</sub>	78,4	80,4	33,8		6,7	<0,1
14.11.2023	6,72	33,56	Cl <sub>198</sub> HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> Na <sub>78</sub> Mg <sub>11</sub> Ca <sub>11</sub>	76,1	85,3	35,2		6,7	<0,1

Таблиця 3. Хімічна характеристика усереднених проб супутніх пластових вод та вод горизонту НД-12 Добрівлянського газоконденсатного родовища

Проба води	Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Густина, г/см <sup>3</sup>	pH	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sub>зат</sub>
СПВ	34,62	1,028	6,36	11488,4	990,4	592,8	21168,9	6,2	323,7	39,3
НД-12	39,51	1,032	6,27	13382,5	1000,3	567,5	24132,8	1,0	338,0	23,3



Оцінку сумісності СПВ з пластовими водами поглинального горизонту проведено при підготовці «Технологічного проекту повернення супутньо-пластових вод у надра Добрівлянського родовища» (ТОВ «Стрийнафтогаз», 2020).

Оцінку граничної величини завислих речовин виконано за формулою:

$$b \approx n \cdot k \cdot F, \quad (1)$$

де  $b$  – допустима норма вмісту завислих речовин у СПВ, г/м<sup>3</sup>;  $n$  – допустиме питоме навантаження на одиницю проникності пласта, мг/(дм<sup>3</sup> · см<sup>2</sup> · мД);  $k$  – середня проникність поглинального пласта, мД;  $F$  – середня поверхня фільтрації, см<sup>2</sup>.

Допустиме питоме навантаження на одиницю проникності пласта для такого типу вод та відповідних ємнісно-фільтраційних характеристик поглинального пласта прийнято  $2,5 \cdot 10^{-6}$  мг/(дм<sup>3</sup> · см<sup>2</sup> · мД). Середня проникність горизонту НД-12 – 0,8 мД. Поверхню фільтрації визначено за геометричними розмірами забою свердловини № 4. Згідно з розрахунками вміст завислих речовин у СПВ, підготованих до закачування, не повинен перевищувати 296 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналітичні визначення хімічного складу пластових вод та СПВ Добрівлянського ГКР упродовж 2017–2023 рр. (табл. 3) показали, що у водах відсутній карбонат-іон, що, відповідно, не створює передумов для утворення карбонатів кальцію і магнію.

Основним ускладненням у технології повернення СПВ у пласт-колектор може бути випадання в осад сульфату Кальцію ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), карбонатів Кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) і Магнію ( $\text{MgCO}_3$ ). Випадання карбонатів кальцію і магнію відбувається в лужному середовищі. Оскільки і СПВ, і пластові води Добрівлянського ГКР мають слабкоокислу реакцію середовища, випадання в осад карбонатів не передбачається.

Оцінку можливості випадання сульфату кальцію із СПВ Добрівлянського ГКР виконано на основі методу Н. Д. Шустера та Б. В. Озоліна, де рівноважну концентрацію сульфат-іонів розраховано за формулою:

$$C \text{SO}_4^{2-} = 108/\rho^2 C \text{Ca}^{2+}, \quad (2)$$

де  $C \text{SO}_4^{2-}$ ,  $C \text{Ca}^{2+}$  – концентрація йонів  $\text{SO}_4^{2-}$  та  $\text{Ca}^{2+}$ , мг-екв/100 г;  $\rho$  – густина розчину, г/см<sup>3</sup>.

Розрахунки рівноважних концентрацій сульфат-іонів у сумішах СПВ та пластових вод горизонту НД-12 Добрівлянського ГКР у різних пропорціях (табл. 4) свідчать про набагато вищі значення від фактичних, що унеможливує випадання в осад сульфату кальцію.

Можливість окиснення двовалентного Феруму та його випадання в осад вирішує підприємство шляхом аерації та відстоювання СПВ.

*Моніторинг стану підземних вод.* Моніторинг хімічного стану підземних вод ділянки Добрівлянського ГКР здійснюється для четвертинного водоносного горизонту в моніторинговій свердловині, розташованій поблизу УПГ «Добрівляни» (див. рис. 2). Результати моніторингу показують, що якісний стан води залишається стабільним (табл. 5). За фізико-хімічними параметрами води відповідають гігієнічним вимогам до води питної, призначеної для споживання людиною (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010).

Окрім моніторингової свердловини, у межах Добрівлянської площі проводилися дослідження вод із колодязів домогосподарств села Добрівляни.

Таблиця 4. Розрахункові значення фактичної і рівноважної концентрації  $SO_4^{2-}$  для суміші супутніх пластових вод та вод горизонту НД-12

Суміші проби супутніх пластових вод та вод горизонту НД-12 у пропорціях	Концентрація $Ca^{2+}$ , мг-екв/100 г	Фактична концентрація $SO_4^{2-}$ , мг-екв/100 г	Рівноважна концентрація $SO_4^{2-}$ , мг-екв/100 г
1:9	4,832	0,0025	20,986
2:8	4,832	0,0033	21,028
3:7	4,827	0,0042	21,048
4:6	4,827	0,0050	21,090
1:1	4,822	0,0059	21,111
6:4	4,817	0,0067	21,132
7:3	4,817	0,0076	21,173
8:2	4,813	0,0084	21,194
9:1	4,812	0,0093	21,236

Таблиця 5. Хімічні характеристики вод четвертинного водоносного горизонту із моніторингової свердловини ділянки Добрівлянського газоконденсатного родовища

Дата відбору	<i>pH</i>	Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Вміст основних аніонів та катіонів, % екв	$Fe_{заг}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$NH_4^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	$NO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	$PO_4^{3-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Нафто-продукти, мг/дм <sup>3</sup>	Метанол, мг/дм <sup>3</sup>
10.07.2019	7,28	696,6	$\frac{HCO_3}{Ca60} \frac{68}{Na30} \frac{C124}{Mg10} \frac{SO_4}{8}$	0,12	0,08	21,40	0,07	0,00	0,00
10.06.2020	7,05	695,8	$\frac{HCO_3}{Ca63} \frac{75}{Na26} \frac{C116}{Mg11} \frac{SO_4}{9}$	0,13	0,07	18,60	0,064	0,00	0,00
17.09.2020	7,15	680,2	$\frac{HCO_3}{Ca74} \frac{61}{Na22} \frac{C120}{Mg4} \frac{SO_4}{19}$	0,12	0,02	20,20	0,06	0,00	0,00

Згідно з їхніми результатами (Медвідь та ін., 2022), водневий показник у пробах становив 7,10 і 7,35; мінералізація – 584,3 і 520,3 відповідно. За складом ці води були гідрокарбонатними кальцієвими (магнієво-кальцієвими). Кількість нафтопродуктів та метанолу знаходилася на межі чутливості аналізу ( $\leq 0,1$  мг/дм<sup>3</sup>). За якісними характеристиками ці води також відповідають нормативним вимогам до питних вод (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010).

Відповідні ознаки вказують на надійну ізоляцію пласта-колектора, а також відсутність забруднень від інших технологічних видів діяльності, що виконуються на родовищі.

**Висновки.** Оцінено принципи дотримання екологічної конверсії при видобутку вуглеводневої сировини на Добрівлянському газоконденсатному родовищі. Реалізація цієї концепції полягає в поверненні високомінералізованих та збагачених мікрокомпонентами і органічною речовиною СПВ, які в процесі розробки родовища піднімаються на поверхню разом з газовим конденсатом, у виснажені пласти-колектори.

Встановлено, що пласт-колектор НД-12а, у який закачують СПВ, має високу гідродинамічну ізолюваність. Ємнісно-фільтраційні характеристики пласта НД-12а забезпечують необхідну приймальну здатність для наявних об'ємів СПВ.

За хімічними параметрами СПВ є ідентичними з водами водоносних горизонтів, характеризуються хлоридним кальцієво-натрієвим, магнієво-натрієвим складом, стабільними показниками мінералізації. Геохімічна сумісність СПВ із водами пласта-колектора не передбачає випадання в осад солей та коагуляції порового простору.

Результати моніторингових досліджень вод четвертинного водоносного горизонту ділянки родовища та прилеглих населених пунктів упродовж 2019–2021 рр. вказують на незмінність їхнього хімічного складу та відповідність гігієнічним вимогам до питної води.

Гарасимчук, В. Ю., & Колодій, В. В. (2002). Походження і умовини формування підземних вод Лопушнянського нафтового родовища у південно-східній частині Передкарпатського прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3, 21–36.

*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною* (ДСанПіН 2.2.4-171-10). (2010). Київ.

ДК «Укртрансгаз». (2004). *Підземні сховища газу. Регламент повернення супутньо-пластових вод у надра* (СОУ 60.3-30019801-009-2004). Київ.

Іванюта, М. М. (Ред.). (1998). *Атлас родовищ нафти і газу України: Т. 4. Західний нафтогазоносний регіон*. Львів: Центр Європи.

Колодій, В. В. (2010). *Гідрогеологія. Підручник*. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.

Медвідь, Г., Чебан, О., Кость, М., Телегуз, О., Гарасимчук, В., Сахнюк, І., Майкут, О., & Кальмук, С. (2022). Еколого-геохімічна характеристика природних вод в межах впливу Добрівлянського газоконденсатного родовища. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2(187–188), 115–126. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.115>

Німець, Н. Н., Брусенцева, Т. В., & Німець, О. Д. (2019). Підвищення екологічної безпеки видобування вуглеводнів шляхом вивчення сумісності супутньо-пластових вод при поверненні в надра. *Вісник Національного технічного університету «ХП»*. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 15, 42–50. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2019.15.08>

- ТОВ «Бурпроект». (2018). *Уточнений проект дослідно-промислової розробки Добрівлянського родовища*. Львів.
- ТОВ «Стрийнафтогаз». (2020). *Технологічний проект повернення супутньо-пластових вод (СПВ) у надра Добрівлянського родовища*. Львів.
- УкрНДІгаз. (2013). *Методика визначення привнесених компонентів та вимоги до їх вмісту при поверненні супутньо-пластових вод у надра (СОУ 09.1-30019775-004:2013)*. Київ.
- Al-Hubail, J., & El-Dash, K. (2006). Managing Disposal of Water Produced with Petroleum in Kuwait. *Journal of Environmental Management*, 79, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.012>
- Clark, C. E., & Veil, J. A. (2009). *Produced water volumes and management practices in the United States* [Technical Report]. <https://doi.org/10.2172/1007397>
- Haneef, T., Mustafa, M. R. U., Farhan Yasin, H. M., Farooq, S., & Hasnain Isa, M. (2020). Study of Ferrate(VI) oxidation for COD removal from wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 442, 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/442/1/012007>
- Hanson, B. R., & Davies, S. H. (1994). Review of potential technologies for the removal of dissolved components from produced water. *Chemical Engineering Research and Design*, 72, 176–188.

Стаття надійшла:  
23.09.2024 р.

**Vasyl HARASYMCHUK<sup>1</sup>, Halyna MEDVID<sup>1</sup>,  
Oleh CHEBAN<sup>2</sup>, Olha TELEHUZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> Ltd “NGSN”, Kyiv, Ukraine,  
e-mail: ovcheb2015@gmail.com

**OBSERVANCE OF THE PRINCIPLE OF ENVIRONMENTAL CONVERSION  
IN THE EXTRACTION OF HYDROCARBON RAW MATERIAL  
ON THE EXAMPLE OF THE DOBRIVLIANY GAS CONDENSATE FIELD  
(Precarpathian oil-and-gas-bearing region)**

The implementation of the principle of ecological conversion during the extraction of hydrocarbons at the Dobrivliany gas condensate field consists in the return of highly mineralized and enriched with microcomponents and organic matter produced waters to depleted horizons.

From 2022 the volumes of produced water reach 275 m<sup>3</sup>/year. From the beginning of the development of the field to the end of 2023, 572.37 m<sup>3</sup> of produced water were from the beginning of the development of the deposit to the end of 2023, 250 m were accumulated and utilized.

It has been established that the chemical parameters of produced waters are identical to those of the aquifers of the field. They have a calcium-sodium chloride, magnesium-sodium composition, with increased mineralization values. Total dissolved solids of waters, depending on the aquifer from which they came, is 28.5–100.3 g/dm<sup>3</sup>. Its lower values are characteristic of the Badenian-Sarmatian aquifer complex, while higher values are characteristic of the Mesozoic-Carpathian complex. The values of total dissolved solids of these waters almost do not change during 2017–2023.

Total dissolved solids of waste water mixtures in collection tanks (settling tanks) during the period of analytical research was 31.72–77.66 g/dm<sup>3</sup>. The waters were characterized by a slightly acidic reaction (*pH* 6.07–6.80). The content of total Ferrum does not exceed 16.8 mg/dm<sup>3</sup>, ammonium – 105.1 mg/dm<sup>3</sup>, Bromine – 193 mg/dm<sup>3</sup>, Iodine – 42.3 mg/dm<sup>3</sup>, petroleum products – no more than 7.3 mg/dm<sup>3</sup>, methanol – <0.1 mg/dm<sup>3</sup>.

Injection of produced waters is carried out through well No. 4. The reservoir-collector ND-12a in this well is characterized by favourable conditions: average porosity – 19.5 %, permeability – 0.1–0.8 mD, thickness – up to 86 m. It is well isolated by water-proof rocks that provide hydrodynamic closure of the system. The acceptability of well No. 4 is 15 m<sup>3</sup>/h (360 m<sup>3</sup>/day). The geochemical compatibility of produced waters with waters of the horizon ND-12a was evaluated, which does not involve precipitation of salts and clogging of the pore space.

The results of monitoring studies of the chemical composition of the waters of the Quaternary aquifer of the field site and nearby settlements indicate the absence of the impact of the utilization of produced waters.

*Keywords:* ecological conversion, gas-condensate field, produced waters, utilization, monitoring.