

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.4.206734>  
УДК 553.947[552.574+550.42]

**А.В. ІВАНОВА**

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,  
E-mail: ariadna.vivanova@gmail.com

## СОЛОНЕ ВУГІЛЛЯ ЯК ПРОДУКТ ІЗ ВІДКЛАДЕНИМ ПОПИТОМ

*Солоне вугілля спостерігається на всіх континентах у вугленосних відкладах від кам'яновугільних до неогенових. В Україні воно зафіксовано в усіх вугленосних басейнах. Його характерною рисою є підвищений вміст натрію і хлору. Автор дотримується концепції засолення органічної речовини вугілля на стадії седиментодіагенезу. В усіх відомих випадках геоекологічні обстановки утворення солоного вугілля характеризувалися наявністю джерела солей в торф'яну стадію. У паралічних басейнах таким джерелом була морська вода, в областях розвитку галогенних утворень — продукти їх руйнування, в регіонах з проявом активного магматизму — похідні магматичної і постмагматичної діяльності. Виходячи з концепції седиментодіагенетичного засолення вугілля, можна ефективно вирішувати низку геологічних завдань, а саме: відновлення палеогеографічних умов торфонакопичення, прогнозування наявності солоного вугілля в тому чи іншому регіоні або геологічній формації, кореляцію геологічних подій та уточнення історії неотектонічного розвитку вугленосних басейнів, уточнення сольового балансу евапоритових басейнів тощо. Геологічний та гносеологічний аспекти феномену солоного вугілля становлять і суто прикладний інтерес, бо тісно пов'язані з технологічними завданнями його використання. Питання промислового використання солоного вугілля може бути вирішене вже найближчим часом за умови появи ефективних технологій його наземної або підземної переробки.*

**Ключові слова:** торфоутворення; седиментогенез; вугленосність; знесолення вугілля.

### Вступ

За даними Міжнародного енергетичного агентства (Malischek et al., 2020), виробництво електроенергії на вугіллі в розвинених країнах неухильно знижується в зв'язку з переходом на газ, поновлювані джерела енергії, а також ядерну енергетику. Попри це, вугілля, через його широке використання в країнах Азії, лишається основним джерелом для виробництва електроенергії у світі з часткою 36 %. Для України тренд зниження споживання вугілля також не є повною мірою беззаперечним, оскільки ресурси газу обмежені. Крім того, використання

джерел відновлюваної енергії має об'єктивні обмеження насамперед через нестабільність в добовому і сезонному ритмах, а ядерна енергетика буде відчувати постійну конкуренцію з вугільною генерацією через проблеми із похованням і переробкою ядерних відходів (Власенко та ін., 2014). Все це не дозволить Україні в осяжному майбутньому відмовитись від вугілля, геологічні запаси якого є цілком достатніми для потреб національної економіки. А солоне вугілля, яке за якісними показниками, запасами та умовами видобування є найбільш перспективним серед некондиційної енергетичної сировини, може розглядатися як пев-

Цитування: Іванова А.В. Солоне вугілля як продукт із відкладеним попитом. *Геологічний журнал*. 2020. № 4 (373). С. 34—42. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.4.206734>

Citation: Ivanova A.V. High-chlorine coal as a deferred demand product. *Geological Journal (Ukraine)*, No. 4 (373), pp. 34—42. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.4.206734>

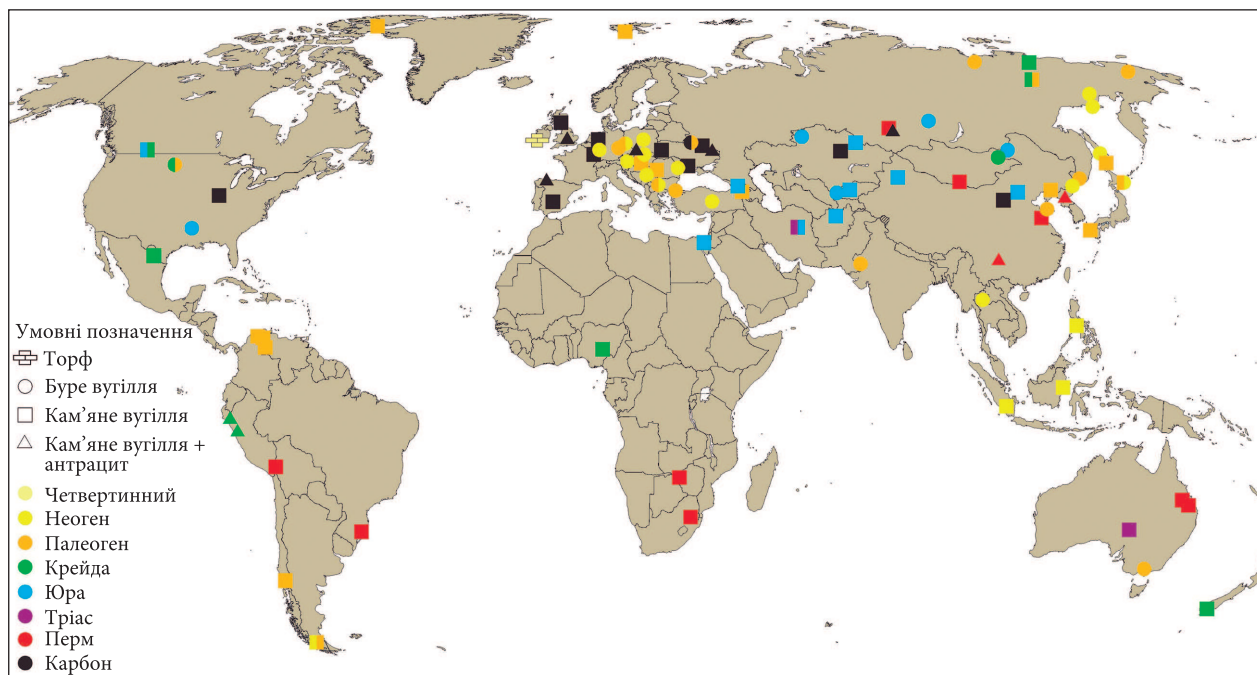


Рис. 1. Оглядова карта родовищ вугілля з підвищеним вмістом натрію та хлору

Fig. 1. Overview map of coal deposits with high content of sodium and chlorine

ний стратегічний резерв за умов винайдення ефективної технології його використання.

В 1995 р. Геологічною службою США разом з рядом установ і вчених із країн, що займаються розробкою вугільних родовищ, ініційовано та у 2006 р. завершено створення бази даних The World Coal Quality Inventory (WoCQI), що містить широку стандартизовану інформацію про якість вугілля та репрезентує найважливіші вугільні шари в усіх основних вуглевидобувних країнах світу (Tewalt et al., 2010). Усього в проєкті взяли участь 56 країн, відібрано та проаналізовано 1580 зразків вугілля. Серед цієї інформації присутні і дані, що характеризують ступінь його засолення.

Відомі на даний час родовища солоного вугілля або з ознаками засолення відображені на карті світу (рис. 1) (Іванова, 2016). Засолена органічна речовина спостерігається на всіх континентах у вугленосних відкладах від карбону до неогену, а також у сучасних торфовищах, що знаходяться під впливом дії морських вод.

### Аналіз попередніх досліджень

Що являє собою солоне вугілля? Це вугілля, що містить хлор і сполуки лужних металів, а саме натрію. Його називають «солоним», «засоленим», «соляним», «з підвищеною солоніс-

тю», «солевмісним», «низькосортним», «лужним» тощо поряд з визначенням «високохлористе вугілля» («High-chlorine coal», «High-Cl coals» і т.п.) в англомовній літературі. Також немає загальноприйнятих критеріїв віднесення вугілля до солоного. Для характеристики солоності введені різні градації по натрію: за вмістом оксиду натрію на золу, на сухе вугілля, за вмістом водорозчинного натрію, за співвідношенням  $K^+/Na^+$  (Німеччина, США, Росія, Україна). В Англії для віднесення вугілля до придатного для використання прийнята градація за вмістом хлору. Крім того, в США для характеристики схильності золи до забруднення поверхонь нагріву використовуються технологічні критерії (за хімічним складом золи) (Белецький и др., 1998; Білецький, 2014; Іванова, 2016; Іванова, Кривега, 1985; Клер и др., 1988; Hatt & Mann, 2015 та ін.).

Наведені дані свідчать про те, що настав час виробити єдиний погляд і єдині критерії для оцінки цього продукту еволюції органічної речовини.

В зв'язку з підвищеним вмістом натрію і хлору ця цінна енергетична сировина на сьогодні знаходиться за рамками промислового освоєння. При спалюванні вугілля ці елементи призводять до зашлаковування поверхонь нагріву

парових котлів, корозії їх металевих частин і теплоізоляційних карборундових матеріалів (Белецкий и др., 1998; Білецький, 2014; Іванова, 2016; Іванова, Кривега, 1985; Клер и др., 1987; Hatt & Mann, 2015; Oleschko et al., 2007 та ін.), а також до виділення в повітря токсичних мікроелементів і хлорвмісних летких сполук (Шендрік, 1999 та ін.).

У розвинутих країнах дефіцит палива назрів раніше, тому вивчення й спроби використання солоного вугілля спочатку були розпочаті саме там. При їхньому вивченні основна увага приділялася прикладному аспекту проблеми — речовинному складу вугілля і технології його використання. При цьому геологічні й палеогеографічні умови формування такого вугілля, його зв'язок з певними типами вугленосних формацій, положення в класифікаційних рядах за складом, генезисом і ступенем метаморфізму розглядалися в недостатньо широкому обсязі.

Стосовно генезису солоного вугілля, часу й джерела його засолення дослідники висловлюють різні, часом діаметрально протилежні погляди, наприклад при оцінці буровугільних родовищ Німеччини. У свій час ні в кого не викликало сумніву джерело засолення бурого вугілля еоценового віку Тюринго-Саксонського вугленосного району, яким вважалися вилужені солі цехштейну Середньої Німеччини. Спірним було питання про механізм їх засолення (у процесі торфоутворення або у стадію епігенезу) (Lehmann, 1967). У результаті більш пізніх досліджень лігнітів у тому ж Тюринго-Саксонському вугленосному районі Б. Хартманном (Hartmann, 2005) було піддане ревізії й джерело засолення. Ним з усією очевидністю встановлено, зокрема за хлорбромним коефіцієнтом, що підвищений вміст у вугіллі натрію за рахунок солей цехштейну виключений і що вугілля було збагачено натрієм під впливом морської води.

Мета статті — привернути увагу наукової громадськості до важливої і дуже цікавої проблеми генезису, еволюції та можливості використання солоного вугілля.

## **Фактичний матеріал та методи досліджень**

В Україні вугілля солоне та з ознаками засолення зафіксоване в усіх регіонах, що вивчалися: Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ), Доне-

цькому басейні, Львівсько-Волинському басейні (південно-східній частині Львівсько-Люблінського вугільного басейну), Переддобруджинському та Закарпатському прогинах, Дніпровському буровугільному басейні (рис. 2). Його формування є закономірним результатом певних умов, що відбувалися в геологічній історії цих регіонів, а саме періодів активізації ендегенних процесів, які супроводжувалися трансгресіями й регресіями моря та інтенсивним вулканізмом. Наявність солоного вугілля в ДДЗ, Львівсько-Волинському басейні (ЛВБ), Переддобруджинському та Закарпатському прогинах автором було встановлено вперше (Іванова, 2016).

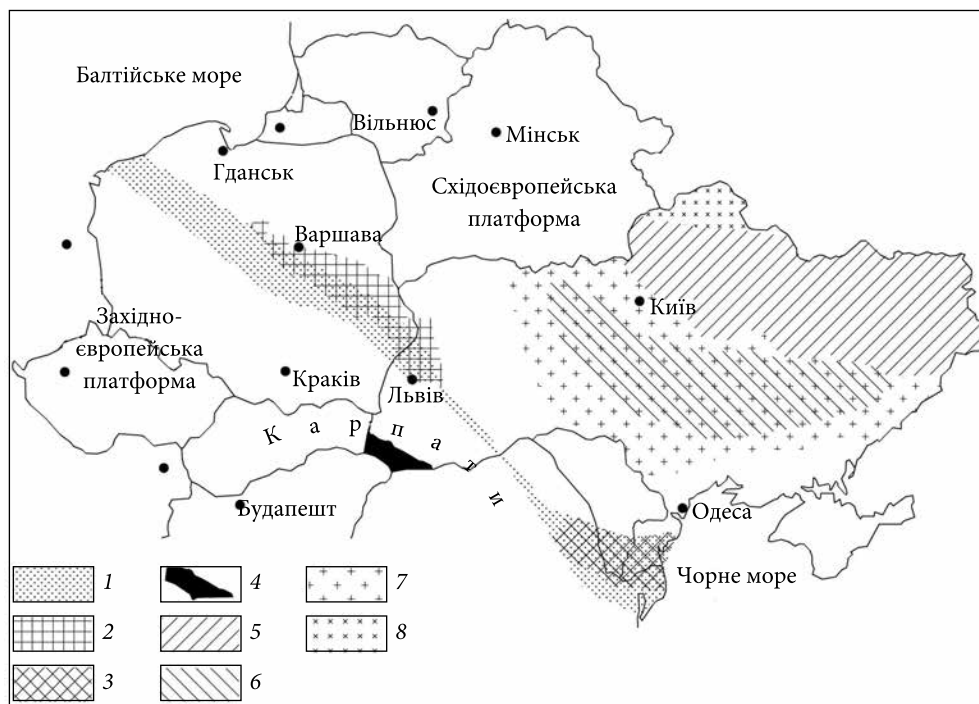
Не лише прояви, але і значні родовища солоного вугілля кам'яновугільного віку відомі в Донбасі — Західному (Петриківське, Новомосковське родовища) і Північному (Старобільська вугленосна площа з Богданівським і Петрівським родовищами) (рис. 3). Розвідані запаси вугілля становлять близько 25 млрд т (Білецький, 2014). Родовища характеризуються неглибоким заляганням вугільних пластів калорійного енергетичного вугілля та розвинутою транспортною інфраструктурою.

Вугілля родовищ і перелічених вище регіонів вивчалось петрографічними, хімічними й фізичними методами. Переважна кількість досліджених зразків відноситься до кам'яновугільних відкладів Доно-Дніпровського прогину. Крім того, було узагальнено накопичений по розглянутих регіонах фондовий і літературний матеріал. Отримані дані комплексно оброблялися із залученням апарату математичної статистики для аналізу результатів дослідження і побудови ілюстративного картографічного матеріалу (Іванова, 2016; Іванова, Кривега, 1985).

## **Результати досліджень**

Вугілля палеозойських прогинів України формувалося в умовах паралічних басейнів.

Вугілля Західного Донбасу ранньо- та середньокам'яновугільного віку належить до малометаморфізованого: від бурого в Петриківському районі та довгополуменового на Новомосковському родовищі до газового на північно-східній границі з Павлоградським родовищем. Вугілля ранньокам'яновугільного віку



**Рис. 2.** Геоструктурна позиція Доно-Дніпровського, Львівсько-Люблінського та Переддобруджинського палеозойських прогинів, Закарпатського внутрішнього прогину, Дніпровського буровугільного басейну: 1 — Зона Тейсейра-Торнквіста, 2 — Львівсько-Люблінський прогин, 3 — Переддобруджинський прогин, 4 — Закарпатський внутрішній прогин, 5 — Доно-Дніпровський прогин, 6 — Дніпровський буровугільний басейн, 7 — Український щит, 8 — Воронежський масив.

**Fig. 2.** Geostructural position of the Don-Dnieper, Lviv-Lublin and Fore-Dobrogea Paleozoic depressions, Transcarpathian inland depression, Dnieper brown coal basin: 1 — Teisseyre-Tornquist Zone, 2 — Lviv-Lublin Depression, 3 — Preddobrudzha Depression, 4 — Transcarpathian Inland Depression, 5 — Don-Dnieper Trough, 6 — Dnieper Brown Coal Basin, 7 — Ukrainian Shield, 8 — Voronezh Massif.

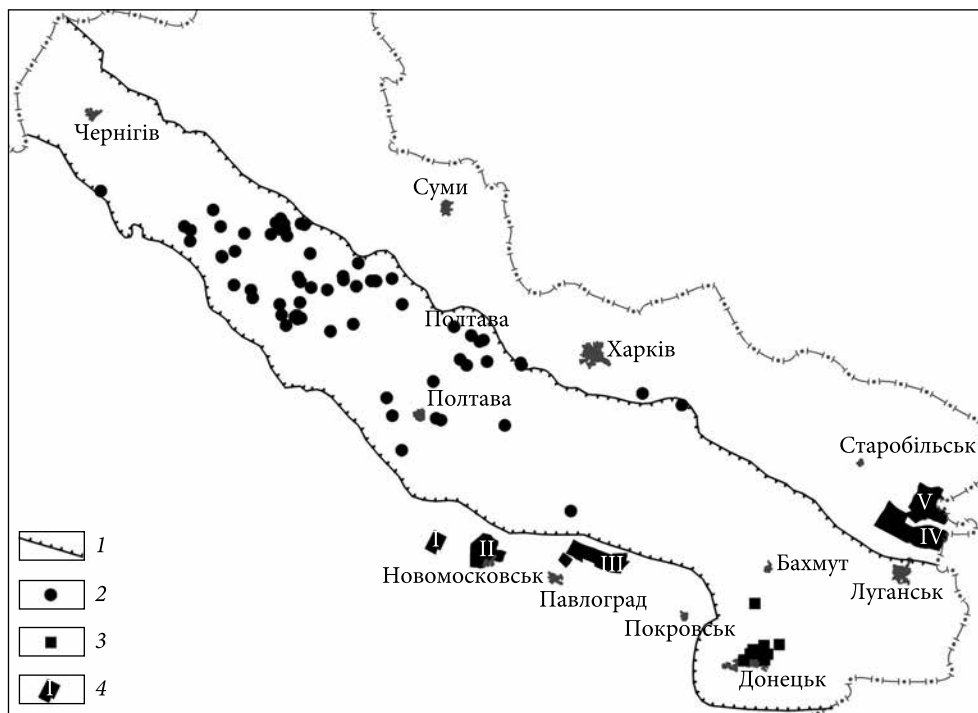
переважно мало- і середньосірчисте, мало- і середньозольне. В найбільш солоному вугіллі Новомосковського родовища, в якому вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  в золі досягає 16—18 %, зольність в середньому не перевищує 10 %, вміст сірки не більше 2 %, теплота згоряння становить 0,9 МДж/кг. Вугілля середнього карбону в основному сірчисте з підвищеною зольністю. У напрямку на схід-північний схід згідно з ростом ступеня вуглефікації вугілля Західного Донбасу характеризується закономірним зменшенням вмісту оксиду натрію. У Петропавлівському вугленосному районі вміст натрію в золі вугілля вже не перевищує 1 %, і воно не є солоним (Іванова, 2016; Іванова, Кривега, 1985).

В Північному Донбасі розвинуте вугілля середнього карбону від бурого до довгополумєного. Воно містить меншу, ніж в Західному Донбасі, кількість оксиду натрію, і засолене вугілля не має регіонального поширення. Вугілля Старобільської площі, де знаходяться Богда-

нівське та Петрівське родовища, характеризується зниженою і середньою зольністю (7,5—10,3 %), частіше середньосірчисте (до 2 %), теплотворна здатність 30,5—31,8 МДж/кг (Іванова, Кривега, 1985).

Дані, отримані у Відкритому Донбасі, підтверджують думку автора, що в середньокам'яновугільну епоху торфи засолювались, але в результаті висхідних рухів і метаморфізму вугілля було значною мірою знесолоне. Однак ознаки первинного засолення, незважаючи на високий ступінь вуглефікації (вугілля від жирного до напівантрацитів), збереглися у вигляді підвищеного вмісту  $\text{Na}_2\text{O}$  (понад 2 % в золі вугілля) і низьких значень співвідношення  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  (менше 0,5—1 %) в зразках ряду шахт Донецько-Макіївського і Луганського районів (Іванова, 2004; Іванова, 2016; Tewalt et al., 2010).

У ДДЗ солоне вугілля ранньо- та середньокам'яновугільного віку зафіксоване в усіх тектонічних зонах як у прибортових, так і при-



**Рис. 3.** Карта фактичного матеріалу з проявами засолення Доно-Дніпровського прогину: 1 — краєві розломи; 2 — свердловини; 3 — шахти; 4 — вугільні родовища: I — Петриківське, II — Новомосковське, III — Павлоградське, IV — Петрівське, V — Богданівське

**Fig. 3.** Map of original evidence with manifestations of salinization of the Don-Dnieper depression: 1 — marginal faults; 2 — wells; 3 — mines; 4 — coal deposits: I — Petrykivka, II — Novomoskovsk, III — Pavlograd, IV — Petrivka, V — Bogdanivka

своїй частині западни. Підвищений вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  (понад 2 % в золі вугілля) виявлено в вугіллі від бурого до жирного на глибинах від 2 до понад 4—6 км (Гужевська, Західно-Хрещищенська структури). Наявність солоного вугілля на великих глибинах свідчить про відсутність тут активного водообміну, який би сприяв його знесоленню внаслідок виносу продуктів метаморфізму (Ivanova, 2004).

В межах ЛВБ ознаки засолення має газове вугілля як нижнього, так і середнього карбону. При вмісті  $\text{Na}_2\text{O}$  менше 2 % воно віднесене до солоного за параметром  $\text{K}^+/\text{Na}^+ < 1$ . Така ж картина спостерігається в межах Переддобруджинського прогину (Білоліський блок, газове вугілля візейського віку). На Нижньопрутському виступі зафіксоване буре вугілля міоценового віку з високим ступенем засолення (до 7 %  $\text{Na}_2\text{O}$  на золу), джерелом якого могли бути води мілкого середньо-пізньоміоценового моря (Ivanova, 2015).

Дослідження еоценового бурого вугілля Верхньодніпровського родовища Дніпробасу виявили, що за параметром  $\text{K}^+/\text{Na}^+ < 1$  воно є

солоним. Крім наявності засолення, висока сірчистість вугілля (2,5—6,7 %) та значення коефіцієнтів Лейфмана-Вассоєвича, які в середньому не перевищують 0,54, підтверджують факт формування торфовища в прибережно-морській обстановці (Ivanova, 2016).

Засоленим виявилось і буре вугілля пліоценового віку Ільницького родовища Закарпаття. Воно вміщує в золі до 9 % лужних металів. Одним з основних чинників засоленості є вулканізм, який проявлявся тут синхронно з торфо-накопиченням (Ivanova, 2016).

### Концепція генезису та еволюції солоного вугілля

На підставі проведених досліджень та узагальнення фактичного матеріалу можна констатувати, що солоне вугілля є не тільки цінною енергетичною сировиною, а і дуже цікавим геологічним об'єктом. Серед дослідників існує дві точки зору щодо механізму і часу засолення вугілля: епігенетичного чи седиментодіагенетичного. Згідно з першою, засолювалося вже



**Рис. 4.** Класифікація сучасних способів переробки солоного вугілля (Белецкий и др., 1998), з виправленнями та доповненнями автора

**Fig. 4.** Classification of modern methods of salt coal processing (Белецкий и др., 1998), with the author's corrections and additions

сформоване буре та найменш метаморфізоване кам'яне вугілля, яке здатне у великих кількостях сорбувати сіль із високомінералізованих підземних вод при проникненні їх у вугільні шари по тріщинах (Белецкий и др., 1998 та ін.). Автор відстоює позиції засолення вугілля на стадії седиментодіагенезу. Концепція седиментодіагенетичного засолення вугілля обґрунтовується на підставі комплексу показників, отриманих при аналізі геологічної будови досліджуваних об'єктів, гідрогеологічних умов родовищ солоного вугілля у різних регіонах України та за кордоном, фаціальних умов торфонакопичення, фізико-хімічних властивостей торфів і вугілля, петрохімічних характеристик вугілля і закономірностей його поширення. Згідно з цією концепцією, саме стадія седиментодіагенезу найбільш сприятлива для засолення органічної речовини у зв'язку з її високою реакційною здатністю та оптимальними умовами для контактування і взаємодії з хімічними елементами, що надходять із зовнішнього середовища. Саме на стадії торфовища органічна речовина має найвищу здатність до сорбції, найбільш високі іоннообмінні

властивості і можливості зв'язування з хімічними елементами, що привносяться, внаслідок чого створюються особливо сприятливі обставинки для її засолення (Іванова, 2016; Іванова, Кривега, 1985).

Геоекологічні обставинки формування солоного вугілля характеризувалися наявністю джерела солей в торф'яну стадію. У паралічних басейнах таким джерелом була морська вода, в регіонах з проявом активного магматизму — похідні магматичної і постмагматичної діяльності, в областях розвитку галогенних утворень торфовище могло засолюватись продуктами їх руйнування. Основним джерелом засолення кам'яновугільних торфовищ палеозойських прогинів України, включаючи ДДЗ, де розвинена соляна тектоніка, була морська вода. В кам'яновугільних товщах западини в основному поховані седиментаційні розсоли, похідні нормальної морської води. Бром у цих розсолах має переважно морське походження, і його концентрація є показником ступеня осолонення води басейну седиментації. Також морська вода була головним джерелом засолення міоценових торфовищ Переддобруджинського про-

гину та еоценових торфовищ Дніпробасу. Основним джерелом засолення неогенових торфовищ Закарпаття були продукти вулканічної діяльності (Іванова, 2016).

Подальша еволюція солоного вугілля визначається постдіагенетичними процесами, зокрема метаморфізмом, що відіграє визначальну роль у знесоленні вугілля. Знесолення реалізується при відповідному тектонічному режимі, який визначає фізичні і реологічні властивості вугілля та гідрогеологічні умови вуглепородного масиву, забезпечуючи винос продуктів метаморфізму.

Виходячи з концепції седиментодіагенетичного засолення вугілля, можна ефективно вирішувати ряд різних геологічних завдань, наприклад відновлення палеогеографічних умов торфонакопичення, прогнозування наявності солоного вугілля в тому чи іншому регіоні або геологічній формації, кореляцію геологічних подій та уточнення історії геотектонічного розвитку вугленосних басейнів, уточнення солового балансу евапоритових басейнів та ін. Зокрема, з позицій концепції седиментодіагенетичного засолення вугілля та його еволюції під дією метаморфізму та зміни тектонічного положення вуглепородного масиву підтверджена точка зору щодо інверсії Донбасу на рубежі С-Р (уральська фаза тектогенезу). Показано, що ранньопермський евапоритовий басейн Доно-Дніпровського прогину є десцендентно-седиментаційним, одним із джерел надходження солей у який була товща вугленосних відкладів карбону, що руйнувалася та знесолювалася (Іванова, 2016).

## Проблеми освоєння солоного вугілля

Геологічний та гносеологічний аспекти феномену солоного вугілля тісно пов'язані з технологічними завданнями його освоєння. Всебічне вивчення властивостей солоного вугілля, критичний аналіз його класифікаційних характеристик, методів використання і збагачення дозволили авторові рекомендувати найбільш об'єктивні, з його погляду, оціночні параметри та заострити увагу на специфіці умов виділення з вугілля натрію й хлору, а також на різних формах зв'язку натрію з органічною речовиною бурого і кам'яного вугілля, що має

принципове значення при розробці методів його знесолення (Іванова, 2016).

Як вітчизняна, так і зарубіжна енергетика не мають досвіду промислового спалювання солоного вугілля, також не знайдено раціональних методів його знесолення. Але пошуки тривають, і час від часу результати експериментів висвітлюються в фахових міжнародних та вітчизняних виданнях. Напрями, в яких проводяться дослідження по використанню солоного вугілля, показані на рис. 4.

Питання про промислове освоєння солоного вугілля може стати на порядок денний вже в недалекому майбутньому за умови появи дієвих технологій його використання, наземної або підземної переробки, які відповідали б вимогам економічності, комплексного використання сировини й охорони навколишнього середовища та дозволили б успішно вирішити проблему використання солоного вугілля і перевести його запаси із проблематичного в реальний резерв паливно-енергетичних ресурсів.

## Висновки

На підставі наведеного можна стверджувати таке. Родовища солоного вугілля відомі у відкладах усіх систем (від кам'яновугільної до неогенової), їх утворення — закономірний результат певних умов геологічного минулого Землі. В Україні солоне та з ознаками засолення вугілля зафіксоване в усіх вугленосних басейнах, що вивчалися. Збагачення торфовищ натрієм і хлором відбувається найчастіше під дією морської води в умовах паралічних басейнів. Засолення вугілля має місце на стадії седиментодіагенезу, що найбільш сприятлива для засолення органічної речовини у зв'язку з її високою реакційною здатністю та оптимальними умовами для контактування і взаємодії із хімічними елементами, що надходять із зовнішнього середовища. Питання про промислове освоєння солоного вугілля може стати на порядок денний вже в недалекому майбутньому за умови появи дієвих технологій його наземної або підземної переробки.

*Стаття підготовлена за результатами досліджень за темою, що виконувалась в Інституті геологічних наук НАН України та фінансувалась за КПКВК 6541030.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Белецький В.С., Пожидаєв С.Д., Кхелуфі А., Сергєєв П.В. Перспективи освоєння соляних углей України. Донецьк: ДонГТУ, УкрЦентр, 1998. 96 с.
- Білецький В.С. Технологічні й екологічні аспекти освоєння вітчизняного соляного вугілля. *Розробка родовищ*, 2014. Т. 8. С. 527—534.
- Власенко Н.И., Годун О.В., Кирьянчук В.Н. Оценка сценариев развития ядерной генерации Украины после 2030 года. *Ядерная та радіаційна безпека*. 2014. Т. 61, № 1. С. 8—13.
- Иванова А.В. Условия формирования и проблемы освоения соляных углей Украины. *Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий*. Ростов-на-Дону: Южный федерал. ун-т, 2015. С. 188—199.
- Иванова А.В. Генезис і еволюція соляного вугілля України та проблеми його освоєння: автореф. дис. ... д-ра геол. наук / Ін-т геол. наук НАН України. Київ, 2016. 40 с.
- Иванова А.В., Кривега Т.А. Соляные угли Западного Донбасса (условия формирования и проблемы использования). Киев: Наук. думка, 1985. 124 с.
- Клер В.Р., Дик Э.П., Жаров Ю.Н. Изучение соляных углей. *Разведка и охрана недр*. 1987. № 2. С. 30—34.
- Клер В.Р., Жаров Ю.Н., Сливинская И.И. О распределении натрия и калия в углях. *Докл. АН СССР*. 1988. Т. 298, № 4. С. 936—938.
- Шендрік Т.Г. Структура, фізико-хімічні властивості та перспективи енергохімічного використання соляного вугілля: автореф. дис. ... д-ра хім. наук / Ін-т фіз.-орган. хімії та вуглехімії НАН України. Донецьк, 1999. 35 с.
- Hartmann B. Die Genese des stofflichen Inventars des Braunkohlenflözes Bruckdorf (Obereozän) zwischen Halle und Bitterfeld, Sachsen-Anhalt: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.). Halle (Saale), 2005. 130 S. Retrieved from <http://digital.bibliothek.uni-halle.de/ulbhalhssun/content/titleinfo/2591509>.
- Hatt R., Mann Ch. Operational Considerations When Burning Higher-Chlorine Coal. *Power Journal Article*. 2015. Retrieved from <http://www.powermag.com/operational-considerations-when-burning-higher-chlorine-coal>.
- Ivanova A.V. Saline Coals of the Ukraine. *Lithology and Mineral Resources*. 2004. Vol. 39 (3). P. 254—258. doi: 10.1023/B:LIMI.0000027611.56637.0f
- Lehmann H. Zur Kenntnis der eozänen Salzkohlen. *Bergbau-technik*. 1967. Bd. 17, No. 7. S. 350—355.
- Malischek R., Alvarez C.F. Coal-Fired Power. IEA, Paris, 2020. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/coal-fired-power>.
- Oleschko H., Schimrosczyk A., Lippert H., Müller M. Influence of coal composition on the release of Na-, K-, Cl-, and S-species during the combustion of brown coal. *Fuel*. 2007. Vol. 86, No. 15. P. 2275—2282.
- Tewalt, S.J., Belkin, H.E., SanFilipo, J.R., Merrill, M.D., Palmer, C.A., Warwick, ... Park, A.J. Chemical analyses in the World Coal Quality Inventory, version 1 (USGS Open-File Report 2010-1196). Reston, Virginia, 2010. 7 p. doi: 10.3133/ofr20101196.

Надійшла до редакції 29.06.2020

Надійшла у ревізованій формі 22.09.2020

Прийнята 22.09.2020

## REFERENCES

- Beletsky, V.S., Pogidaev, S.D., Kheloufi, A., Sergeev, P.V., 1998. Perspectives of development salty coals of Ukraine. Donetsk: DonSTU, UCCS, 96 p. (in Russian).
- Biletskyi, V.S., 2014. Technological and environmental aspects of Ukrainian salty coal development. *Rozrobka rodovyshch*, vol. 8, pp. 527—534 (in Ukrainian).
- Hartmann, B., 2005. Die Genese des stofflichen Inventars des Braunkohlenflözes Bruckdorf (Obereozän) zwischen Halle und Bitterfeld, Sachsen-Anhalt: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.). Halle (Saale). 130 S. Retrieved from <http://digital.bibliothek.uni-halle.de/ulbhalhssun/content/titleinfo/2591509>.
- Hatt, R., Mann, Ch., 2015. Operational Considerations When Burning Higher-Chlorine Coal. *Power Journal Article*. Retrieved from <https://www.powermag.com/operational-considerations-when-burning-higher-chlorine-coal>.
- Ivanova A.V., 2004. Saline Coals of the Ukraine. *Lithology and Mineral Resources*, vol. 39 (3), pp. 254—258. doi: 10.1023/B:LIMI.0000027611.56637.0f
- Ivanova A.V., 2015. Formation conditions and problems of development salty coals of Ukraine. In: *Geoecological problems of coal mining territories*. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy federalnyy unversitet, pp. 188—199 (in Russian).
- Ivanova A.V., 2016. Genesis and evolution of salt coal of Ukraine and problems of its development. (Extended abstract of Doctor thesis). Kyiv: Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, 40 p. Retrieved from <http://igs-nas.org.ua/index.php/en/specrada/2616202> (in Ukrainian).
- Ivanova, A.V., Krivega, T.A., 1985. Saline Coals in Western Donbas (Origin and Utilization Problems). Kiev: Naukova Dumka, 124 p. (in Russian).
- Kler, V.R., Dik, E.P., Zharov, Yu.N., 1987. Study of Saline Coals. *Razvedka i okhrana nedr*, No. 2, pp. 30—34 (in Russian).



- Kler, V.R., Zharov, Yu.N., Slivinskaya, I.I., 1988. Sodium and Potassium Distribution in Coals. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 298, No. 4, pp. 936—938 (in Russian).
- Lehmann, H., 1967. Zur Kenntnis der eozänen Salzkohlen. *Bergbau-technik*, Bd. 17 (7), S. 350—355.
- Malischek R., Alvarez C.F., 2020. Coal-Fired Power. IEA, Paris, Retrieved from <https://www.iea.org/reports/coal-fired-power>.
- Oleschko, H., Schimrosczyk, A., Lippert, H., & Müller, M., 2007. Influence of coal composition on the release of Na-, K-, Cl-, and S-species during the combustion of brown coal. *Fuel*, vol. 86 (15), pp. 2275—2282. doi: 10.1016/j.fuel.2007.01.030.
- Shendrik, T.G., 1999. Structure, physical chemical properties and perspectives for energetic-chemical usage of salty coals (Extended abstract of Doctor thesis). Donetsk: Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry of NAS of Ukraine, 35 p. Retrieved from <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/020013%20Shendrik.pdf> (in Ukrainian).
- Tewalt, S.J., Belkin, H.E., SanFilipo, J.R., Merrill, M.D., Palmer, C.A., Warwick, ... Park, A.J., 2010. Chemical analyses in the World Coal Quality Inventory, version 1 (USGS Open-File Report 2010-1196). Reston, Virginia, 7 p. doi: 10.3133/ofr20101196.
- Vlasenko N.I., Godun O.V., Kir'yanchuk V.N., 2014. Assessing the scenarios of nuclear generation development in Ukraine after 2030. *Yaderna ta radiatsiyina bezpeka*, vol. 61 (1), pp. 8—13 (in Russian).

Received 29.06.2020

Received in revised form 22.09.2020

Accepted 22.09.2020

A.V. Ivanova

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,  
E-mail: [ariadna.vivanova@gmail.com](mailto:ariadna.vivanova@gmail.com)

#### HIGH-CHLORINE COAL AS A DEFERRED DEMAND PRODUCT

High-chlorine coal (salt coal) is observed on all continents in coal-bearing sediments from the Carboniferous to the Neogene. In Ukraine high-chlorine coal is recorded in all coal-bearing basins. Its characteristic feature is the increased content of sodium and chlorine. The author adheres to the concept of salinization of coal organic matter in the stage of sedimentodiagenesis. The formation of high-chlorine coals is a natural consequence of certain conditions of the geological past of the Earth. In all known cases geo-ecological conditions of high-chlorine coal formation were determined by the presence of a salt source at the peat stage. Such a source in paralytic coal basins was sea water, in areas of development of halogenic formations — products of their decomposition, in active magmatism regions — derivatives of magmatic and postmagmatic activities. On the basis of the conception of sediment-diagenetic salinization of coals, a wide range of various geological tasks can be solved, such as recovery of paleogeographical conditions of peat accumulation, prognosis of content of high-chlorine coals in various regions or geological formations, correlation of geological events and specification of the history of geotectonic development of coal bearing basins, specification of salt balance of evaporitic basins and etc. The geological and epistemological aspects of the phenomenon of salt coal are of purely applied interest, because they are closely related to the technological tasks of its use. The question of the industrial use of high-chlorine coal can be solved already in the near future with the advent of effective technologies for its ground or underground processing.

**Keywords:** *peat formation; sedimentogenesis; coal content; coal desalination.*