

УДК 553.93:556.3.001.57(477.8)

МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ І ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ, ЇХНІ ЕКЗОГЕННІ ЗМІНИ ТА ВПЛИВ НА ПРИРОДНІ ВОДИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (ЧЕРВОНОГРАДСЬКИЙ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИЙ РАЙОН)

Г. Бучацька, Н. Дворянська, А. Дворянський, В. Дяків

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: dyakivw@yahoo.com*

Видобуток кам'яного вугілля та його збагачення в межах Червоноградського гірничо-промислового району призводить до складування відходів у відвали, мінеральний склад яких змінюється під впливом екзогенних процесів. У цьому разі з'являються забруднені кислі сульфатні води, які потрапляють у геофільтраційне поле. Гідрогеологічне моделювання дало змогу визначити закономірності руху забруднених вод від техногенних об'єктів (породні відвали, хвостосховища, гідровідвал, відстійник шахтних вод) до ділянок природного розвантаження – рік Західний Буг, Рата й Солокія, а також до підземних водозаборів, передусім Соснівського, вода якого в середині 90-х років ХХ ст. стала причиною спалаху гіпоплазії та флюорозу у дітей.

Ключові слова: Червоноградський гірничопромисловий район, відходи видобутку вугілля, відходи збагачення вугілля, пірометаморфізм, кислі сульфатні води, геофільтраційне поле, гідрогеологічне моделювання.

Червоноградський гірничопромисловий район (ЧГПР) розташований у центральній частині Львівсько-Волинського басейну у вугленосній формації карбонового віку, де виявлено до 88 пластів і прошарків вугілля, а сумарна потужність вугільних пластів перевищує 12 м [8, 18, 21]. Робочої потужності (понад 60 см) досягають 30 пластів, з них лише від одного до трьох найпотужніших пластів на глибині 450–550 м потужністю до 1,5 м експлуатували вуглевидобувними підприємствами. Видобуток вугілля у ЧГПР розпочався 1957 р. і досягав річного максимуму 10 млн т у 80-ті роки ХХ ст., коли працювало 12 копалень. Останніми роками видобуток значно зменшився, оскільки ліквідовано чи перебувають на стадії ліквідації чотири шахти (Червоноградська-1 (1995), Великомоствська-5 (2000), Бендюзька (2006) та Візейська (2009)), нові шахти не вводять в експлуатацію, діючі копальні відпрацювали більшу частину своїх запасів за суттєвого ускладнення гірничо-геологічних умов, зношеності технічного обладнання й низки інших причин. Копальні, що діють сьогодні, – Великомоствська, Червоноградська, Степова, Відродження, Міжрічанська, Лісова, Зарічна (ДП Львіввугілля), та шахта Надія підтримують сумарний видобуток на рівні 1,5–2,0 млн т за рік (2010–2013).

Вугілля ЧГПР має високу зольність, близько 45–55 % (планова зольність станом на 2013 р. – 49,0 %). З огляду на це його доводять до кондиційних вимог на збагачувальній

фабриці “Червоноградська” ПАТ Львівська вугільна компанія (колишня Центральна збагачувальна фабрика (ЦЗФ)), де більша половина видобутого рядового вугілля з фактичною зольністю 46,4 % іде у відходи – вихід продуктів збагачення готового вугільного концентрату становить лише 48,04 % (станом на 2013 р.). За проектною потужністю майже 10 млн т у рік фабрика найбільша в Європі. Фабрика має потужний вуглеприйм (три бокові вагоноперекидачі), значну ємність дозувально-акумулявальних бункерів, двосекційну (по два потоки) технологічну схему: для класу 13–150 мм – у важкосередовищних сепараторах, 0–0,5–13 мм – у відсаджувальних машинах, шлам 0–0,5 мм – флотажію. Нині флотажієне відділення демонтоване, у водно-шламову схему внесено відповідні зміни. На фабриці встановлено додаткове обладнання (гідроциклони, гвинтові сепаратори, фільтр-преси) для збагачення шламового продукту, який виймають з хвостосховищ та гідровідвалу, з метою одержання паливного продукту.

З огляду на це технологія підземного видобутку вугілля та його збагачення в межах ЧГПР передбачає складування відходів у відвали (терикони), хвостосховища, шламовідстійники (гідровідвали), відстійники. Пусту породу й некондиційне вугілля складають безпосередньо біля кожної з шахт у вигляді териконів. Крупні фракції відходів збагачення (понад 50 мм) нагромаджують у найбільшому породному відвалі збагачувальної фабрики. Тонкі фракції відходів (0,1–0,2 мм) акумулюють у двох хвостосховищах площею 72 та 59 га. Шламіві відходи складають у гідровідвалі (шламовідстійнику). Мінералізовані води, які відкачують з копалень, нагромаджують у відстійнику шахтних вод та використовують у технологічному процесі збагачення.

Технологія підземного видобутку вугілля та його збагачення в межах ЧГПР спричинила низку негативних геоecологічних впливів на довкілля: просідання земної поверхні над виробленим простором, що супроводжується підтопленням і затопленням земель; забруднення поверхневих і підземних вод дренажними водами з шахт, що акумулюються у відстійнику та інфільтратами з породних відвалів, хвостосховищ та гідровідвалів; забруднення атмосфери продуктами горіння породних відвалів, пилом і золою з імовірним ефектом кислих дощів.

Такі геоecологічні впливи призводять до радикальної зміни геохімічних, гідрологічних та гідрогеологічних умов території [15]. Саме тому ЧГПР, з одного боку, є одним із важливих центрів видобутку енергоносіїв в Україні, а з іншого, – джерелом складного негативного впливу та навантаження на довкілля, насамперед на природні води, оскільки критичні зміни їхнього хімічного складу вже призводили до виникнення спалаху гіпоплазії та флюорозу у підлітків через споживання вод Соснівського водозабору в середині 1990-х років.

Мінеральний склад відходів видобутку і збагачення вугілля. У межах ЧГПР локалізовано 22 відвали і терикони 12 шахт, відвал гравітаційних відходів ЦЗФ, два хвостосховища, гідровідвал та відстійник шахтних вод, які є головними техногенними об’єктами негативного впливу на природні води (рис. 1).

У літературі під породним відвалом розуміють розміщення відходів видобутку і збагачення вугілля з використанням автомобільного й залізничного транспорту та інших методів подачі породи, зазвичай плоскої, платоподібної форми, тоді як терикон – це специфічний відвал конічної форми, який формується із застосуванням скипів, канатної дороги та перекидних вагонеток.

Відвал гравітаційних відходів ЦЗФ є найбільшим за площею (76 га) та висотою (понад 60 м). У ньому складено понад 70 млн т відходів вуглезбагачення фракції 0,5–150 мм

з зольністю 78,4–79,3 % і вмістом сірки 3,1 %. Гравітаційні відходи вуглезнагачення – аргіліти (54–97 %), алевроліти (17–28), пісковики (2,0–20,7), вугілля (до 17 %). Хімічний склад цих відходів такий, %: SiO_2 – 56,22; TiO_2 – 1,09; Al_2O_3 – 23,7; Fe_2O_3 – 10,18; MgO – 0,73; CaO – 0,99; K_2O – 2,44; Na_2O – 0,50; SO_3 – 7,55 [11, 16, 20].

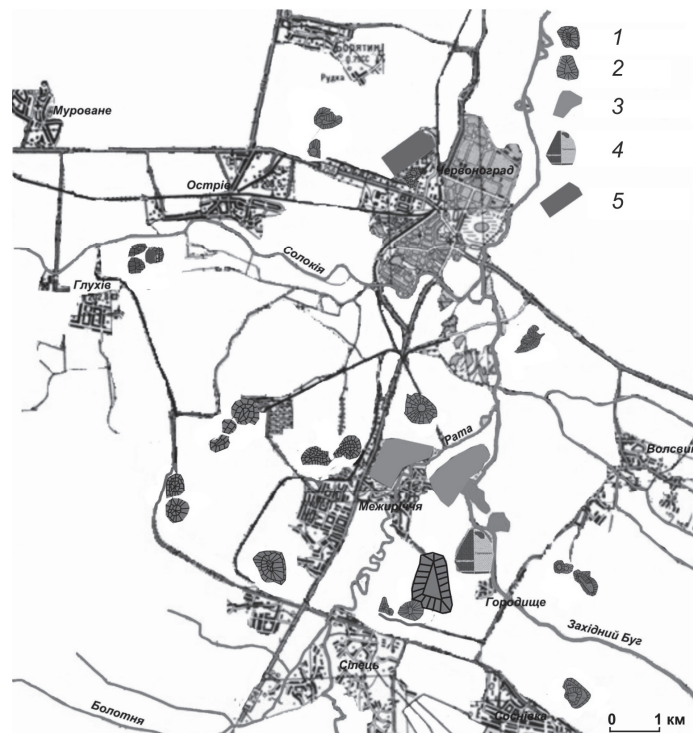


Рис. 1. Головні техногенні об'єкти негативного впливу на природні води в межах ЧГПР:

1 – терикони, породні відвали шахт; 2 – породний відвал ЦЗФ; 3 – хвостосховища; 4 – гідровідвал (шламовідстійник); 5 – відстійник шахтних вод.

Відвали (терикони) шахт локалізовані або біля їхніх скіпових стволів, або на незначній відстані від них та є штучними пагорбами, у плані – ізометричної або секторної форми, у розрізі – конусоподібні чи призматичні. Площа відвалів змінюється від 9–10 до 29–30 га. Загальна площа всіх відвалів ЧГПР – близько 165 га. Висота відвалів сягає 62 м за переважних висот 25–40 м. Кут відкосу порід коливається в межах 37–45°, досягаючи в місцях зсувів та ерозії 70–80°. Така крутість схилів зумовлена мінімальним відчуженням орних земель (площ основи) та насипанням вуглевмісних і приконтрактних з ними порід у вигляді конуса. У відвалах шахт ЧГПР зосереджено понад 100 млн м³ відвальних порід.

Середній склад відвальної маси такий, %: аргіліти – 66–75, алевроліти – 15–25, пісковики – 5–15, вугілля й вуглисті породи – 1–10. Зольність відвального вугілля досягає 85–88 %, вміст сірки – 2,5–3,0 %, вологість – 3–5 % [11, 16, 20].

Мінеральний склад відходів видобутку і збагачення вугілля визначали методом порошкової рентгенівської дифрактометрії (дифрактометр ДРОН-3.0, CuK_α -випромінювання, $\theta/2\theta$ -сканування, швидкість детектора – 4 °/хв). Обчислення, пов'язані з розра-

хунком міжплощинних відстаней та діагностикою мінеральних фаз, проводили на ЕОМ. Препарати готували у вигляді спресованої таблетки розтертого порошку досліджуваного зрізця (наважка – 10 мг), яку за допомогою вазелінового масла кріпили до скляної кювети.

Близько 61 % маси породних відвалів шахт становлять свіжі негорілі породи, для яких характерний природний чорно-сірий колір (рис. 2). Визначено, що в різноуламковій суміші аргілітів, алевролітів, пісковиків та вугілля, характерній для свіжого породного відвалу шахти Лісова, домінують кварц (до 40 % в аргілітах, 60–70 % в алевролітах і пісковиках) та гідрослюди (до 50 % в аргілітах, 10–20 % в алевролітах і пісковиках), підпорядковане значення мають польові шпати (до 5 % в аргілітах, 5–10 % в алевролітах та пісковиках), хлорит, кальцит, пірит, марказит, лімоніт (до 5 % у всіх різновидах порід). Про підвищений вміст залізистих мінералів на рівні 5–10 % свідчить підвищений фон рентгенограми, знятої на мідному випромінюванні (рис. 3).



Рис. 2. Чорно-сірі відвальні породи терикона шахти Межирічанська.

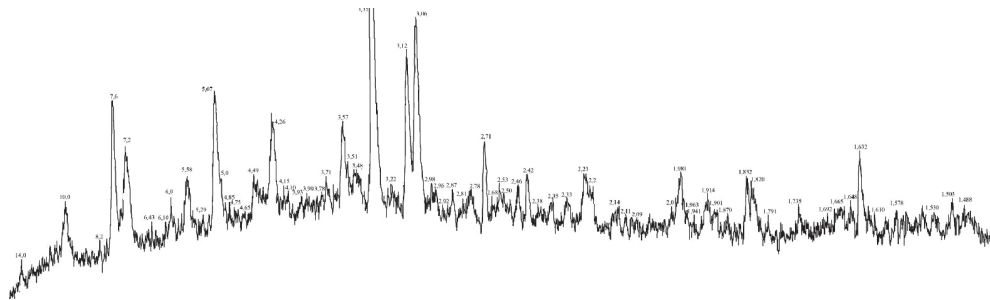


Рис. 3. Дифрактограма різноуламкової суміші аргілітів, алевролітів, пісковиків і вугілля зі свіжого породного відвалу шахти Лісова, А.

Рентгенодифракційною особливістю свіжого гумусового вугілля є наявність потужного рентгеноаморфного гало у малокутовій області (2θ – від 17,5 до 28,4 на $\text{CuK}\alpha$ -випромінюванні). Положення малокутових рефлексів рентгеноаморфного гало є важливою діагностичною ознакою (рис. 4). Положення цього гало у малокутовій області свідчить про розмір некристалічних органічних біомінеральних фаз, який, за нашими результатами, становить 0,4–0,5 нм. Зазначимо про збільшення кількості неупорядкованих (рентгеноаморфних) органічних фаз і більшого, і меншого розміру. Ці явища в сукупності з появою чітких гострих кристалічних фаз у досліджуваних зірцях можна пояснити збільшенням міри впорядкованості структури вугілля, наближенням її до кристалічної структури графіту зі збільшенням ступеня метаморфізації органічної речовини [19].

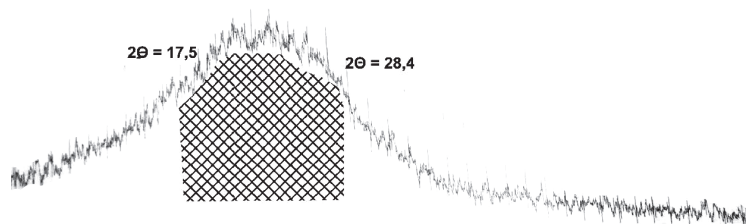


Рис. 4. Положення рентгеноаморфного гало гумусового дюреново-кларенового малозольного вугілля шахти Лісова.

Унаслідок низки перетворень отриманих дифрактограм і подальших обчислень визначали мінеральний склад свіжих відвалів. На дифрактограмах досліджених зірців вугілля виявлено рефлекси кварцу, піриту, гіпсу, глинистих мінералів (гідрослюди, каолінит), польових шпатів. Рентгенодифракційний аналіз довів, що вміст зазначених мінеральних фаз зростає зі збільшенням зольності вугілля. Як засвідчують результати досліджень, основну масу становлять органо-мінеральні агрегати, вугільно-мінеральні зростки та зовнішні мінеральні домішки. Характерною ознакою як шахтних відвалів, так і відвалу ЦЗФ, є їхня висока сірчистість, яка мінералогічно зумовлена підвищеним вмістом піриту й марказиту (рис. 5). Органо-мінеральні агрегати сформувалися під час метаморфогенного впливу підвищеного тиску й температури та перерозподілу речовини за відновного геохімічного бар'єра. Наявність у вмісних породах кварцу до 70 %, карбонатів (кальцит, доломіт, сидерит, анкерит) до 10, польових шпатів – до 5–7, слюд (біотит, мусковіт) – 2–3 % за умов відновного геохімічного бар'єра зумовлює сприятливі умови для відкладення сульфідів (піриту, марказиту) і навіть самородної сірки. Кількість піриту в окремих зірцях досягає 3–5 %.

Екзогенні зміни відходів видобутку і збагачення вугілля. Тривале перебування вуглевмісних порід в екзогенних умовах призводить до їхнього самозаймання та горіння, радикальної зміни мінерального складу подібно до природних контактово-метасоматичних змін [2, 4]. Вуглиста речовина за умов середовища, багатого на кисень, порівняно стабільна, проте нестабільними є сірковмісні мінерали – сульфід заліза (пірит і марказит), а також самородна сірка й сульфати. У разі температурного впливу та хімічної взаємодії з fumarольними газами суттєвих змін зазнають силікатні мінерали. Близько 39 % відвальних порід – перегорілі породи, зі зміненими структурно-текстурними особливостями, бурувато-червоного кольору з різноманітними відтінками, що свідчить про складні літологічні й петрографічні перетворення, які відбувалися в процесі так званого термального, або пірогенного, метаморфізму (рис. 6) [7, 14, 17].

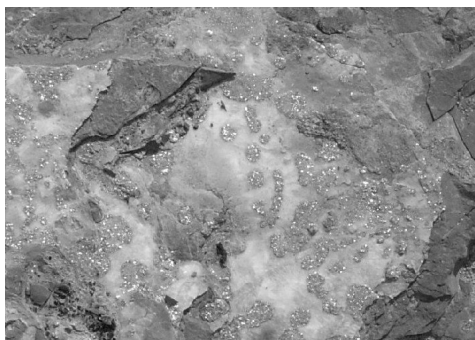


Рис. 5. Органо-мінеральні зростки вугілля з кальцитом і піритом.

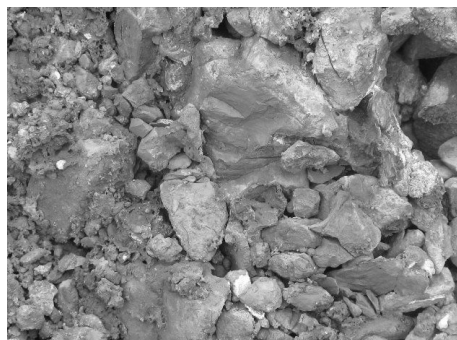
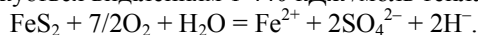


Рис. 6. Бурувато-червоні відвальні породи перегорілого терикона шахти Лісова.

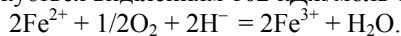
Термальний метаморфізм ускладнюється накладеними “післяметаморфічними” екзогенними процесами сірчаноокислої обробки алюмосилікатів і карбонатів свіжих порід, їхнього розкладання, гідратації й дегідратації, біохімічного окиснення тощо. Зазначені процеси відбуваються у відвалах пустих порід за умови достатньо потужної зони аерації та високих значень коефіцієнта фільтрації.

Як свідчать результати експериментального моделювання і натурних досліджень, тристадійне біогеохімічне окиснення піриту є ініціювальним чинником samozапалення вугільних відвалів та зміни їхнього мінерального складу під час пірометаморфізму [12, 17, 21].

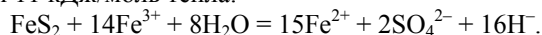
На першій стадії під каталітичною дією бактерій виду *Thiobacillus ferrooxidans* окиснення піриту супроводжується виділенням 1 440 кДж /моль тепла:



На другій стадії бактерії цього ж виду призводять до переходу двовалентного заліза у тривалентне, що супроводжується виділенням 102 кДж/моль тепла:



На третій стадії хімічна взаємодія піриту і тривалентного заліза призводять до розкладання сульфїду до сульфату й відновлення двовалентного заліза, процес супроводжується виділенням 11 кДж/моль тепла:



Наявність піриту у вугільних відвалах, перехід двовалентного заліза з першої та третьої стадій у другу забезпечують безперервність процесу окиснення та є своєрідним біогеохімічним реактором, швидкість процесів у якому в натурних умовах лімітована дифузїєю кисню у відвали, надходженням його з атмосферними опадами й поверхневими водами. Виділення великої кількості тепла призводить до підвищення температури всередині відвалів і створення оптимальних умов для мезофільних мікроорганізмів. За таких умов відвальні пірито- й вуглевмісні відходи біогеохімічно самонагріваються внаслідок автоклавного процесу окиснення піриту й підвищення температури породи до 100 °С і вище, після чого відбуваються винятково геохімічні зміни. За подальшого нагрівання порід елементарна сірка випаровується, а за 248–261 °С газоподібна сірка samozаймається та підпалює вуглевмісні відходи. Від полум'я сірки з породи десорбуються метан і сірководень, а самонагрівання породи переходить у її загоряння. За температури горіння близько 300 °С і вище з вугілля та вуглевмісних порід виділяється велика кількість мінеральних новоутворень з різною стійкістю в екзогенних умовах.

Діагностика рентгенограм і структурно-текстурні особливості мінеральних виділень, що зазнали температурного впливу, дають змогу опосередковано оцінити температурні межі пірометаморфогенних змін, зрозуміти умови, геохімічні та мінералогічні механізми формування. За даними [14], температурні межі формування метаморфогенних мінералів визначено на підставі експериментальних досліджень, вони ґрунтуються на фізико-хімічному аналізі діаграм плавкості. На цих діаграмах визначали інтервали температури, у межах яких виявлялася стійкість діагностованих мінеральних асоціацій [13, 16]. Відповідно, мінерали, які кристалізувались з вихідних продуктів та визначають температурні межі метаморфічного процесу, отримали назву геотермометрів. Отже, наявність таких мінералів і мінеральних асоціацій у досліджуваних перегорілих відвалах дає змогу за принципом аналогій проводити паралелі між температурними умовами в модельних експериментах і процесів горіння, плавлення й кристалізації у вугільних териконах.

Ініційовані екзогенними геологічними процесами у вуглевмісних відвалах явища самозаймання та горіння призводять до активізації принципово нових техногенно-пірометаморфічних змін речовинного складу відвалів. У складі вихідної породи є глинисті водовмісні (гідролюда, каолінит, хлорит) та сірковмісні мінерали (пірит, марказит) (див. рис. 3). За високої температури дегідратація й десульфуризація цих мінералів забезпечує надходження в газову фазу великого об'єму води та сірчистого газу у газоподібному стані. Експаляція продуктів горіння й термічного розкладання мінералів зумовлює появу "псевдофумарол". Переміщуючись від джерел горіння до холодної поверхні терикона, водовмісні кислотні гази конденсуються в рідині з низькими значеннями рН. Висока температура породи сприяє інтенсивному вилученню лужних і частково лужно-земельних елементів. Вилугувані породи (збагачені SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) зазнають впливу високої температури й перекристалізуються у нові форми, такі як кварц, слюда, муліт, α -кристобаліт (рис. 7).

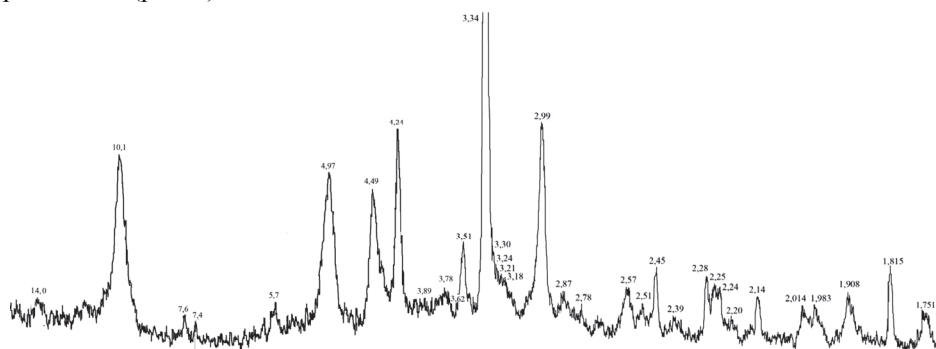


Рис. 7. Дифрактограма взірця, відібраного з перегорілого породного відвалу шахти Відродження, Å.

Отже, у середині териконів відбуваються хімічні зміни вмісних порід під впливом процесів, які в літературі отримали назву техногенного пірометаморфізму:

- 1) згорання вугілля в зонах з окиснювальним режимом випалювання та піроліз вугілля у зоні відновного випалення за температури 800–1 000 °С;
- 2) реакції дегідратації шаруватих силікатів, унаслідок чого випаровується велика кількість води;
- 3) розкладання карбонатів з виділенням CO і CO_2 та утворенням периклазу, вапна й феритів за температури 600–800 °С;

- 4) видалення F, Cl на початкових етапах горіння відвалу за температури 600–800 °С;
- 5) локальне плавлення з утворенням осклованих клінкерів і базитових паралав за температури 1 000–1 250 °С [9, 13].

Ці зміни дають нам підстави виділити такі зони перегорілих відвалів, як зона займання і зона горіння. Тут відбувається утворення нових мінералів (за умов впливу температурного чинника), які представлені головню безводними силкатами й оксидами. Зональна будова териконів дає підстави говорити і про наявність шаруватої будови спеченої маси в тілі відвалів, які візуально оконтурені на відслонених ділянках. У цьому разі вогнище займання та зони інтенсивного інгібування горіння приурочені до центральних частин териконів з їхнього підвітряного боку; зона інгібування горіння локалізована в тих ділянках відвалів, де її потужність сумірна з межею проникнення у товщу відвалу атмосферних опадів. Зона фумарольного розвантаження, за нашими передбаченнями, має динамічну локалізацію, оскільки змінює розташування відповідно до напрямку руху фронту горіння. Зони охолодження й екзогенних змін перегорілих продуктів чітко приурочені до поверхні та приповерхневого шару терикона.

Можна стверджувати, що свіжі відходи видобутку та збагачення вугілля ЧГПР представлені типовими осадовими породами за домінування аргілітів, з підпорядкованим значенням алевролітів і пісковиків головню кварц-гідролудистого складу, збагачених кам'яних вугіллям, кальцитом і піритом.

Ініціювальним чинником формування зони займання та горіння є наявність у відвалах піриту, продуктів його біохімічного розкладання (H_2S , S), газів вуглеводневого складу (насамперед CH_4) та органічної складової вугілля. За умов тривалого існування біогеохімічного реактора формується вогнище займання, яке призводить до практично повного вигорання органічних речовин і термічного розкладання сірковмісних мінералів у зоні інтенсивного пірометаморфізму. Рентгенодифракційний аналіз перегорілих відвалів виявив значну кількість (не менше 75 %) α -кристобаліту та муліту (див. рис. 7). Ці мінерали локалізовані у склоподібній рентгеноаморфній алюмосилікатній масі [5]. Їхня наявність свідчить про найвищу температуру кристалізації близько 1 450–1 600 °С (згідно з діаграмами Н. Боуена і Дж. Грейса (1924) та Дж. Шерера (1942)) [14]. Обмежувальним чинником поширення зони інтенсивного пірометаморфізму є відсутність чи незначна концентрація органічної речовини у відвалах, що унеможлиблює досягнення зазначеної температури, повільне вистигання цієї зони з 1 200 до 750 °С, з кристалізацією оксидів заліза (унаслідок окиснення піриту) – гематиту, магнетиту й магнетиту.

Зона водного інгібування горіння локалізована в тих ділянках відвалів, де її потужність сумірна з межею проникнення атмосферних опадів у товщу відвалу. Мінералогічно ця зона фіксована за наявністю в досліджуваних взірцях водовмісних силкатів – іліту, каолініту і вкраплень гідроксидів – гетиту α -FeOOH, лепідокрокіту γ -FeOOH, бруситу $Mg(OH)_2$, портландиту $Ca(OH)_2$ [20]. Ця зона формується за умов фільтрації в товщу відвалу атмосферних опадів, їхнього нагрівання та хімічної взаємодії з вмісними розжареними новоутвореннями склоподібної алюмосилікатної маси муліт-кристобалітового складу внаслідок гідратації й гідролізу з різким зниженням температури мінералоутворення на рівні 100–150 °С.

Зона фумарольного розвантаження та вивільнення в атмосферне повітря газоподібних продуктів горіння має динамічну локалізацію внаслідок мінливості фронту вигорання териконів та фіксована за наявністю у досліджуваних пробах мінералів – продуктів перегону (сублімації): самородної сірки, нашатирю та низки інших амонійних мінералів

(літовіцит $(\text{NH}_4)_3\text{H}[\text{SO}_4]_2$, годовикіт $\text{NH}_4(\text{Al},\text{Fe})[\text{SO}_4]_2$ та ін.). Температурні межі формування цих мінералів є найнижчими – 50–100 °С. Зазначимо, що, крім температурних умов, мінеральний склад агрегатів та їхня збереженість суттєво залежать від речовинного складу приповерхневої товщі відвалів, крізь яку відбувається міграція продуктів горіння, та сезонних змін метеорологічних умов. Наприклад, наявність вуглистої речовини визначає можливість відновлення та кристалізації сірки з сірчистого газу, а надмірна кількість опадів – швидке вилуговування легкорозчинних амонійних солей.

Зони охолодження та екзогенних змін перегорілих продуктів чітко приурочені до поверхні та приповерхневого шару терикона; процеси відбуваються за умов сезонних варіацій температури, у разі незначного внутрішньотериконного підігріву за температури нижче 50 °С. За таких умов унаслідок окиснення сульфідів та вилуговування легкорозчинних сульфатів на випарному геохімічному бар'єрі кристалізуються прості сульфати – алуноген, епсоміт, мелантерит, гіпс, водовмісні амонійні солі сульфатів (чермігіт $\text{NH}_4\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, бусенготит $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ та ін.), карбонати – кальцит та арагоніт, а у поверхневі та підземні води стікають кислі сульфатні води, які разом із забрудненістю токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоecологічного стану території.

Гідрогеологічне моделювання території Червоноградського ГПР. За умов порушення геологічного середовища та поверхневого річкового стоку, наявності джерел забруднення, експлуатації водозаборів гідрогеологічне моделювання є одним з найважливіших методів, що дає змогу з'ясувати закономірності руху підземних вод і прогнозувати техногенні зміни, зумовлені господарською діяльністю: підйом ґрунтових вод та підтоплення територій, зниження рівня підземних вод поблизу водозаборів, забруднення джерел водопостачання внаслідок міграції токсичних речовин у підземних водах тощо [6, 10, 15]. Саме така ситуація є в межах ЧГПР.

Для досягнення цієї мети ми розробили цифрову геофільтраційну модель ЧГПР для використання в комплексі програм Visual Modflow, призначеному для обчислення рівнянь підземної гідродинаміки в частинних похідних на тривимірній кінцево-різницеєвій сітці. До складу програмного комплексу входить пакет Modflow, що вирішує завдання стаціонарної й несталої фільтрації, пакет PMPATH (Chiang and Kinselbach, 1998), який дає змогу простежувати міграцію хімічних компонентів уздовж ліній потоку, MT3DMS (Zheng and Wang, 1998) для моделі масоперенесення, а також пакет PEST (Doherty et al., 1994), призначений для вирішення зворотних завдань [22, 23].

Для природних гідрогеологічних умов ЧГПР у межах Волинсько-Подільського артезіанського басейну та Львівсько-Люблінської западини характерний розвиток водоносних горизонтів і комплексів у четвертинних, крейдових, юрських, кам'яовугільних і девонських відкладах. З них найважливішими з позицій водопостачання є два: перший від поверхні водоносний комплекс четвертинних водно-льодовикових (флювіогляціальних) та делювіальних відкладів, який використовують головно для індивідуального водопостачання, та водоносний горизонт у зоні екзогенної тріщинуватості мергелів верхньої крейди до глибини 100 м, який є важливим для промислового використання (експлуатують кількома водозаборами, великою кількістю окремих свердловин і колодязів). Нижче тріщинуватість верхньокрейдових порід суттєво зменшується, а разом з нею і водозбагаченість.

Між четвертинними та верхньокрейдовими відкладами локалізована зона елювію мергелястої глини, яка виконує функцію водотриву.

Юрські та особливо кам'яновугільні відклади часто здреновані багаторічними відпомповуваннями з вугільних копалень. Окремі автори зазначають про гідравлічний зв'язок водоносних верств девонських відкладів із зоною активного водообміну по тектонічних розломах. Унаслідок вироблення вугільних пластів на багатьох ділянках простежують достатньо значні просідання земної поверхні (до 3 м). У підсумку збільшуються площі надмірно зволжених земель, зазнають затоплення й підтоплення сільськогосподарські угіддя, важливі господарські об'єкти, будинки і споруди. Вуглевидобуток та вуглезбагачення спричиняють суттєві зміни гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов, якості поверхневих та підземних вод. Гірничодобувна діяльність призводить до того, що в межах гірничих відводів діючих і ліквідованих копалень відбуваються принципові (найчастіше незворотні) зміни природного стану геологічного середовища, гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов: формується техногенний ландшафт у вигляді териконів, гідровідвалів, хвостосховищ, відстійників, які є джерелом надходження у поверхневі й підземні води забруднювальних речовин, активізуються небезпечні екзогенні процеси, знижується природна захищеність гідросфери, збільшується глибина зони активного водообміну.

З метою гідрогеологічного моделювання території ЧГПР ми провели схематизацію умов формування підземних вод, яка ґрунтується на врахуванні зазначених вище особливостей техногенезу, що забезпечує адекватність моделі природним і природно-техногенним умовам. За гірничодобувного навантаження природний розподіл фільтраційних і ємнісних властивостей масиву, живлення, транзит і розвантаження підземних вод у порушених умовах залежать не тільки від геоморфологічних і геологічних чинників, а й від спостережуваних особливостей техногенезу. У разі відпрацювання з обваленням виробленого простору та нагромадження на денній поверхні незахищених від атмосферних опадів відвалів відбувається деформування масиву гірських порід унаслідок порушення його природної рівноваги, у зонах обвалення розвиваються площинне просідання та крайова техногенна тріщинуватість, які призводять до формування фільтраційної зональності, зростання проникності, збільшення тріщинної пористості, площинного живлення й підземного акумулювання вод зміненого гідрохімічного складу (рис. 8).

Схематизацію гідрогеологічних умов формування потоку підземних вод у зоні впливу ЧГПР проводили з урахуванням того, що його просторова структура, граничні умови та параметри водоносних комплексів мають принципові відмінності в природних і техногенно-змінених умовах. Кількісну міграцію речовин у підземних водах дають змогу визначити математичні моделі масоперенесення в пористих і тріщинуватих породах. У моделях беруть до уваги неоднорідність породного масиву, порушеного господарською діяльністю, складний масообмін розчинів з гірськими породами у порах, а також фізико-хімічні перетворювання забруднювачів.

Досліджувану територію поділяють на окремі ділянки, що мають однакові гідрогеологічні та гідродинамічні особливості. Гідрогеологічна межа – це поверхня, у разі перетину якої змінюються гідрогеологічні ознаки [3]. Граничні умови – це сукупність гідрогеологічних умов і процесів, що відбуваються на межах водоносного пласта [1]. Межею першого роду (з постійним напором $H = \text{const}$) у межах ЧГПР є річки Західний Буг, Рата, Солокія, Болотня. Межами другого роду (зі сталою витратою $Q = \text{const}$) є водозабори Червоноградського родовища підземних вод, приурочені до зони поширення підземних вод гідрокарбонатного кальцієвого, магнієвого, натрієвого типів з мінералізацією від 0,32 до 0,68 г/дм³.

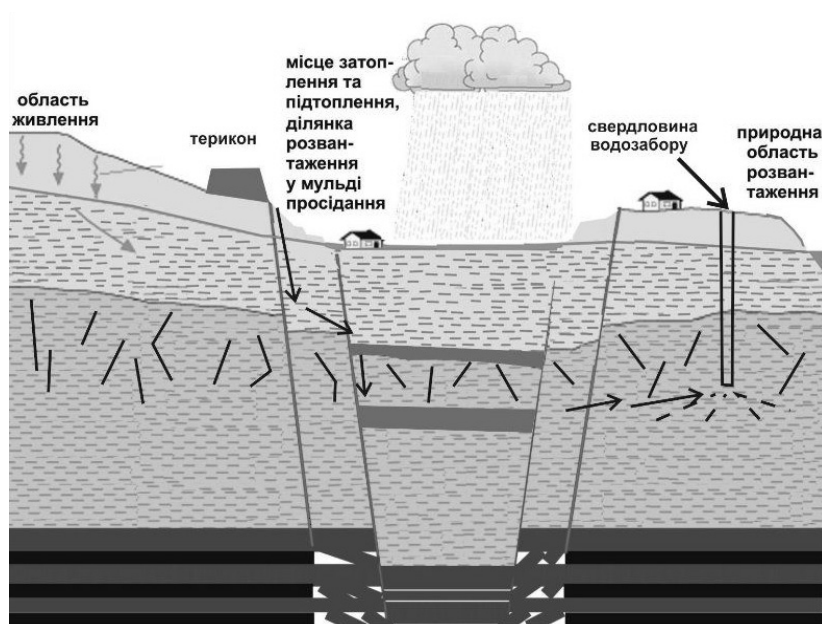


Рис. 8. Формування мульд просідання над ділянками обвалення виробленого простору та стоку від териконів по крайових зонах техногенної тріщинуватості забруднених вод у порушені водоносні верстви четвертинних і верхньокрейдових відкладів.

Винятком є Соснівський водозабір, у якому вода належить до хлоридно-гідрокарбонатного, сульфатно-гідрокарбонатного натрієвого, магнієво-натрієвих типів з мінералізацією до $0,83 \text{ г/дм}^3$. Уважали, що в районі водозабору глибинне поширення кальцієвих вод не перевищує 20–25 м від поверхні, а глибокі свердловини (90 м і більше) розкрили гідрокарбонатно-хлоридні натрієві води з мінералізацією понад 1 г/дм^3 . Цей водозабір має найменший вміст у воді кальцію ($0,025\text{--}0,050 \text{ г/дм}^3$) і меншу водопровідність порід ($< 200 \text{ м}^2/\text{добу}$). Основним водоносним горизонтом є горизонт відкладів верхньої крейди, поширений до глибини 55 м.

Межами третього роду з заданою лінійною залежністю витрати від напору $Q(t) = H(t)$ є канали, хвостосховища, гідровідвали, мульди просідання, накопичувачі інфільтраційних стоків від породних відвалів.

Межі четвертого роду (рівність усіх характеристик процесу фільтрації або інших гідрогеологічних процесів) наявні на ділянках фаціальних змін (суглинків і флювіогляціальних пісків) у четвертинному водоносному горизонті. Підземні води четвертинних відкладів розвинуті практично повсюди, їхня водозбагаченість нерівномірна й залежить від літологічного складу порід, положення у рельєфі та кількості атмосферних опадів.

Видобувна діяльність у досліджуваному районі призвела до переміщення речовини. Величезні маси гірських порід виймали і складували на поверхні, формуючи терикони, а на глибині 425–500 м утворювались порожнини, які з часом спричинили просідання поверхні землі. Найзначнішими процесами, що зумовлені зміною стану гірських порід у підробленому масиві, є зміщення та зсування цих порід. Досягаючи поверхні землі, ці процеси викликають просідання у вигляді мульд просідання, розмір яких завжди більший від площі відпрацьованого вугільного пласта. Просідання в межах мульд відбу-

вається нерівномірно зі збільшенням глибини від периферії до центру. Деформації спричиняють стиснення та розтягнення ґрунтів.

Ці зміни вплинули і на водоносні горизонти досліджуваного району. Наприклад, на тих ділянках, де утворились мульди просідання, у водоносних горизонтах четвертинних і верхньокрейдових відкладів з'явилися аналогічні заглиблення. Ці ділянки стають зонами акумулювання забруднених стоків, які надходять з териконів. Атмосферні опади потрапляють на поверхню терикона, просочуються через його тіло, сприяючи вимиванню дрібних часток. Так формується зона замулювання, або водотрив, у підшві терикона. По цьому водотриву стікає інфільтрат, який біля контуру терикона потрапляє у четвертинний водоносний горизонт. Цей інфільтрат має високу мінералізацію (шахта Відродження – 3 г/дм³, шахта Лісова – 24 г/дм³) і, відповідно, більшу густину. Важчі солоні води рухаються вниз до підшви водоносного горизонту у четвертинних відкладах і акумулюються в заглибленнях від просідання. Оскільки суцільність порід уже порушена, то по тріщинах ці води рухаються далі вниз до тріщинуватої зони водоносного горизонту у відкладах верхньої крейди. Важчі солоні води швидше рухаються у нижній частині пласта й акумулюються на ділянках просідання (див. рис. 8). Ці ділянки з акумульованим стоком є об'єктами, що підживлюють водозабори забрудненими водами.

Для створення геофільтраційної моделі гідрогеологічні умови ЧГПР було схематизовано відповідно до особливостей геологічної будови й техногенного навантаження, використано топографічні основи карт масштабу 1:50 000 та 1:25 000. Для обґрунтування граничних умов і фільтраційних параметрів використано результати гідрогеологічних досліджень, проведених ДП Західукргеологія, ДП Львіввугілля та ін.

У тривимірній геофільтраційній моделі задано 12 водовмісних і водотривких шарів: шар 1 – водовмісний горизонт техногенних відкладів (свіжі й горілі відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення, заскладовані у териконах, відвалах, хвостосховищах, відстійниках); шар 2 – водотривкий горизонт зі штучно гідроізолюваних чи самоущільнених порід із затампованим поровим простором під техногенними відкладами; шар 3 – водовмісний комплекс четвертинних відкладів (флювіогляціальні піски чи суглинки); шар 4 – порівняно водотривкий горизонт у покрівлі порід крейди (елювіальні мергелясті глини); шар 5 – водоносні тріщинуваті відклади верхньої крейди (тріщинуваті мергелі); шар 6 – порівняно водотривкі нетріщинуваті відклади верхньої крейди (нетріщинуваті мергелі); шар 7 – водоносні відклади юри (звітрені пісковики); шар 8 – водотривкі верхні відклади карбону (аргіліти); шар 9 – водоносні відклади карбону (пісковики, вугілля); шар 10 – водотривкі нижні відклади карбону (аргіліти); шар 11 – водоносні відклади девону (пісковики); шар 12 – водотривкі відклади девону (вапняки).

У такій геофільтраційній моделі розглядають потоки у визначеній зоні фільтрації, яку покривають прямими, паралельними до осей ортогональних координат, перетини яких утворюють комірки (блоки сітки) – квадрати, а їхні центри – вузли сітки. Зона моделювання обмежена неактивними комірками. Серед вузлів і відповідних їм комірок виділяють внутрішні, у яких усі "сусіди" належать зоні, та граничні, у яких хоча б один "сусід" є за межами зони.

Зона моделювання та розміри блоків сітки обрані на підставі розмірів найменших техногенних об'єктів – невеликих териконів, а також густоти річкової мережі та наявності водотоків, які слугують межами з постійним напором у часі. Розміри комірок обрані з умови масштабу неоднорідностей 100 × 100 м. Вертикальний розмір блока дорівнює потужності водовмісного шару.

Отже, геометрично водоносний горизонт зображають у вигляді сукупності паралелепіпедів різної висоти, однакової ширини та довжини, які контактують один з одним. У плані розмір зони моделювання становить 80×91 комірка (сумарно – 7 280 комірок в одному шарі).

Верифікація й калібрування тривимірної моделі виконані зіставленням отриманої на моделі карти ізопотенціалів (ізопіс та ізоп'ез) з гідрогеологічною картою, складеною внаслідок детального гідрогеологічного картування родовища. Недоліком програмного комплексу є відсутність можливості моделювання шарів обмеженого поширення, наприклад, техногенних відкладів. У ході моделювання враховували залежність гідродинамічного поля від граничних умов першого–четвертого роду в об'ємі геофільтраційних потоків. Фільтраційні властивості водовмісних і водотривких відкладів приймали відповідно до даних опробування.

З використанням цифрової геофільтраційної моделі визначено закономірності руху підземних вод у двох найважливіших водовмісних верствах четвертинних і верхньокрейдових відкладів, ділянками розвантаження у яких є природні водотоки та штучні водозабори (рис. 9).

Атмосферні опади, потрапляючи на поверхню землі, інфільтруються у природні ґрунти й техногенні об'єкти, представлені породними відвалами вугільних копалень, відвалом пустих порід збагачувальної фабрики, хвостосховищами, гідровідвалом та відстійником шахтових вод. Під час проходження через ці об'єкти інфільтрована вода змінює свій хімічний склад і стає забрудненою. Породні відвали розташовані на ділянках з різними породами основи. Відвал шахти Червоноградська розміщений на лесоподібних суглинках схилу з абсолютними позначками 205–210 м. Терикон шахти Лісова й породний відвал шахти Зарічна є у межиріччі рік Солокія і Рата на піщаних відкладах на рівні 197,5–200,0 м. Трохи нижче, на позначці 195 м, розміщені відвали шахт Межирічанська й Відродження. Терикон шахти Червоноградська-1 та відвал Візейської шахти побудований на водно-льодовикових піщаних відкладах на абсолютній позначці 192,5 м. Терикон шахти Великомоствська та відвал шахти Степова повністю розташовані на алювіальних відкладах: Великомоствська – у заплаві рік Рата і Західний Буг (абсолютна позначка – 192,5 м), Степова – у заплаві р. Солокія (195 м). Відвали шахт Бендюзька, Великомоствська-5 і терикон шахти Надія розміщені на флювіогляціальних пісках, частково на алювіальних відкладах р. Західний Буг.

Оцінка впливу відходів видобутку і збагачення вугілля в межах ЧГПР на природні води за результатами гідрогеологічного моделювання. У разі планування господарського освоєння території вуглевидобутку в межах ЧГПР домінував не зовсім раціональний підхід.

Наприклад, першим було вирішене питання про розміщення шахт і їхньої інфраструктури, другим передбачали розміщення робочої сили й житлове будівництво, останнім – централізоване водопостачання промисловості й населених пунктів. Уже під час будівництва копалень і промислових об'єктів водопостачання їх забезпечували за тимчасовою схемою. Отже, об'єкти водовидобутку (водозабори) були розвідані й закладені останніми, без урахування того, що воду можна отримати не там, де вона потрібна, а там, де вона є. Не продумували питання екологічних наслідків такої діяльності. Багато об'єктів-забруднювачів опинилися в межах депресійних ліжок водозаборів або в потоці води, що прямувала до цих водозаборів. У випадку техногенного перевантаження території в межах депресійної ліжки залишилися населені пункти.

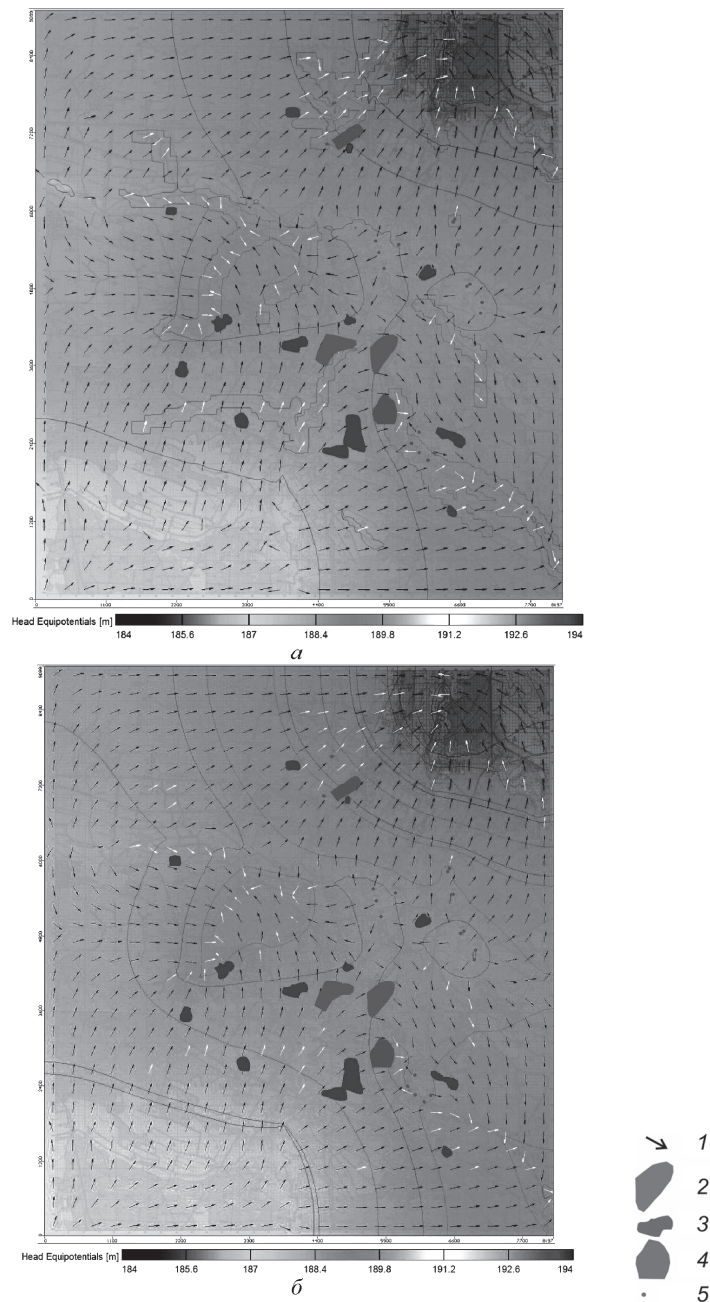


Рис. 9. Закономірності міграції підземних вод у четвертинному (а) та верхньокрейдовому (б) водоносних горизонтах на підставі гідрогеологічного моделювання:
1 – напрям руху підземних вод; 2 – шламонакопичувач; 3 – терикон; 4 – відстійник шахтних вод; 5 – свердловина водозабору.

Під час будівництва водозаборів, усупереч добре відомому факту незначної товщі прісних гідрокарбонатно-кальцієвих вод і наявності під ними мінералізованих хлоридно-натрієвих вод, пробурено глибокі свердловини, які досягли рівня цих вод. Усе це не могло не позначитися на якості підземних вод, які мають найактивніший показник у системі водо- й масообміну з навколишнім середовищем, і зумовило негативний вплив на здоров'я населення.

Причиною цього є те, що, потрапляючи у геофільтраційне поле, забруднена вода мігрує до зон розвантаження у природні водотоки (ріки Західний Буг, Солокія та ін.) чи водозабори. Досліджувана територія є рівнинною, іноді безстічною, тому вода зрідка потрапляє у поверхневі водні об'єкти, частіше вона надходить до підземних водоносних горизонтів, де мігрує за напрямом потоків у четвертинному водоносному горизонті. На шляху руху таких вод є мульди просідання, які утворилися від видобування вугілля, і у них відбувається акумуляція цих вод. Юрські та крейдові відклади також зазнають змін, розущільнюються, у них формуються тріщинні зони, по яких інфільтрат з териконів потрапляє у верхньокрейдний водоносний горизонт та у водовмісні товщі, що залягають нижче, до зони підземного розвантаження – гірничих виробок вугільних копалень.

У досліджуваному районі функціонує низка водозаборів, які експлуатують цей верхньокрейдний водоносний горизонт. Під час роботи водозаборів рух підземних вод змінюється – відкачування води призводить до підтягування інфільтрату до свердловин. Як наслідок, за результатами гідрогеологічного моделювання визначено, що забруднені інфільтрати від відвалу ЦЗФ, териконів шахт Надія та Великомоствівська-5, а також гідровідвалу і хвостосховища потрапляють у підземні води четвертинного водоносного горизонту, де акумулюються в мульдах просідання, перетікають по зонах периферійної тріщинуватості у верхньокрейдний водоносний горизонт та зазнають стягування роботою Соснівського водозабору. Саме це, на наш погляд, є причиною різкого погіршення якості води в цьому водозаборі, що зумовило спалах гіпоплазії зубів у підлітків у середині 1990-х років.

Отже, на підставі виконаних досліджень можна зробити такі висновки.

1. Технологія підземного видобутку вугілля та його збагачення в межах ЧГПР призвела до акумулювання на денній поверхні десятків мільйонів тонн різних за мінеральним та хімічним складом, геохімічно нестійких вугле- та сірковмісних відходів, що містять токсичні мікроелементи, просідання земної поверхні над виробленим простором, забруднення поверхневих і підземних вод.

2. Рентгенодифракційним аналізом різноуламкової суміші аргілітів, алевролітів, пісковиків, а також вугілля, притаманної свіжому породному відвалу ЧГПР, з'ясовано, що для неї характерне домінування кварцу (до 40 % в аргілітах, 60–70 % в алевролітах і пісковиках) та гідрослюди (до 50 % в аргілітах, 10–20 % в алевролітах і пісковиках), підпорядковане значення мають польові шпати (до 5 % в аргілітах, 5–10 % в алевролітах і пісковиках), хлорит, кальцит, пірит, марказит, лімоніт (до 5 % у всіх різновидах порід).

3. Ініціювальним чинником формування зони займання та горіння є наявність у відвалах піриту, продуктів його біохімічного розкладання (H_2S , S), газів вуглеводневого складу (насамперед CH_4) та органічної складової вугілля. За умов тривалого існування біогеохімічного реактора формується вогнище займання, яке призводить до практично повного вигорання органічних речовин і термічного розкладання сірковмісних мінералів у зоні інтенсивного пірометаморфізму. Рентгенодифракційний аналіз перегорілих відвалів виявив значну кількість (не менше 75 %) α -кристобаліту й муліту. Обмежувальним

чинником поширення зони інтенсивного пірометаморфізму є відсутність чи незначна концентрація органічної речовини у відвалах.

4. Екзогенні зміни мінерального складу відвалів у зонах водного інгібування горіння (до межі проникнення атмосферних опадів у товщу відвалу), фумарольного розвантаження, охолодження й вивільнення в атмосферне повітря газоподібних продуктів горіння з поверненням геохімічно-зміненої води під час взаємодії з атмосферними опадами, що має динамічну локалізацію внаслідок мінливості фронту вигорання териконів та фіксоване за наявності у досліджуваних пробах мінералів – продуктів перегону: самородної сірки, нашатиру та низки інших мінералів (літовіцит, годовікіт, чермігіт, бусенготит та ін.), визначають можливість відновлення та кристалізації сірки з сірчистого газу, окиснення сульфідів, швидкого вилуговування карбонатів, легкорозчинних амонійних солей і сульфатів на випарному геохімічному бар'єрі, стоку у поверхневі та підземні води кислих сульфатних вод, які разом із забрудненістю токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоecологічного стану території.

5. Результати гідрогеологічного моделювання території ЧГПР однозначно доводять, що забруднені інфільтрати від техногенних об'єктів (породних відвалів шахт і ЦЗФ, хвостосховищ, гідровідвалу та відстійника) потрапляють у геофільтраційне поле та суттєво впливають на водоносні горизонти досліджуваного району. Атмосферні опади потрапляють на поверхню породного відвалу, просочуються через тіло терикону, сприяючи вимиванню дрібних часток. Так формується зона замулювання, або водотрив, у підшві терикона. По цьому водотриву інфільтрат стікає і біля контуру терикона потрапляє у четвертинний водоносний горизонт. Цей інфільтрат має високу мінералізацію (3 г/дм³ – копальня Відродження, 24 г/дм³ – копальня Лісова) і, відповідно, більшу густину. На тих ділянках, де утворились мульди просідання, у водоносних горизонтах у четвертинних і верхньокрейдових відкладах з'являються зони акумуляції забруднених вод, що стікають сюди від поряд розташованих породних відвалів шахт. Ці ділянки з акумульованим стоком є об'єктами, що підживлюють водозабори забрудненими водами. Така ситуація склалась на Соснівському водозаборі, коли були пробурені свердловини завглибшки 90 м. Завдяки експлуатації цих свердловин підтягувались забруднені води з ділянок акумулювання, і це спричинило захворювання дітей на флюороз у 90-х роках ХХ ст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Биндеман Н. Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод / Н. Н. Биндеман. – М. : Госгеолтехиздат, 1963. – 197 с.
2. Блайда И. А. Биотехнологические методы обезвреживания металлсодержащих отходов углеобогащения / И. А. Блайда, Т. В. Васильева, Л. И. Слюсаренко // Энергосбережение. – 2012. – № 6. – С. 7–9.
3. Гавич И. Гидрогеодинамика / И. Гавич. – М. : Недра, 1988. – 349 с.
4. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. – М. : Высшая школа, 1988. – 331 с.
5. Дворянська Н. Експериментальне моделювання процесів техногенного пірометаморфізму вуглевмісних відвалів Львівсько-Волинського басейну / Н. Дворянська, А. Дворянський, В. Дяків // Стан і перспективи сучасної геологічної освіти та нау-

- ки : наук. конф. до 65-річчя геол. ф-ту ЛНУ імені Івана Франка : тези доп. – Львів, 2010. – С. 61–63.
6. Євграшкіна Г. Гідрогеологія та основи гідромеліорації : [Навч. посібник] / Г. Євграшкіна, Н. Шерстюк. – Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2010. – 121 с.
 7. Иносова К. И. Петрографическая характеристика углей / К. И. Иносова // Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения юга Европейской части СССР. – М. : Госгеоліздат, 1963. – С. 297–332.
 8. Львовско-Волинский каменноугольный бассейн: Геолого-промышленный очерк / [М. И. Струев, В. И. Исаков, В. Б. Шпакова и др.]. – Киев : Наук. думка, 1984. – 272 с.
 9. Мельников В. С. Минералогенезис в горящих угольных отвалах: фундаментальные и прикладные аспекты неоминералогии / В. С. Мельников, Е. Е. Гречановская // Наук. праці ДонНТУ. Сер. гірничо-геол. – 2004. – Вип. 81. – С. 30–36.
 10. Мироненко В. А. Динамика подземных вод / В. А. Мироненко. – М. : Недра, 1983. – 358 с.
 11. Осокин В. В. Биохимическая теория самовозгорания горных пород, способы предотвращения возгорания и тушения горящих отвалов угольных шахт / В. В. Осокин, М. П. Зборщик // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов : междунар. науч.-практ. конф. : материалы. – Донецк; Авдеевка, 2004. – С. 315–321.
 12. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М. : Астрель-2000, 1999. – 610 с.
 13. Пирогенный метаморфизм / Э. В. Сокол, Н. В. Максимова, Е. Н. Нигматулина [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005. – 284 с.
 14. Ревердатто В. В. Фации контактового метаморфизма / В. В. Ревердатто. – М. : Недра, 1970. – 271 с.
 15. Рудаков Д. В. Математичні методи в охороні підземних вод : [Навч. посібник] / Д. В. Рудаков. – Дніпропетровськ : Нац. гірничий ун-т, 2012. – 158 с.
 16. Сокол Э. В. Минералообразование в процессах пирогенного метаморфизма : автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра геол.-мин. наук / Э. В. Сокол. – Новосибирск, 2003. – 41 с.
 17. Тютюнова Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф. И. Тютюнова. – М. : Наука, 1987. – 335 с.
 18. Угленосные формации карбона юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Е. С. Бартошинская, С. И. Бык, А. А. Муромцева, М. Я. Сывый. – Киев : Наук. думка, 1983. – 172 с.
 19. Федущак М. Ю. Атлас макроструктур вугілля Львівсько-Волинського басейну / М. Ю. Федущак, В. О. Кушнірук, Є. С. Бартошинська. – К. : Наук. думка, 1974. – 105 с.
 20. Чесноков Б. В. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Опыт минералогии техногенеза / Б. В. Чесноков, Е. П. Щербакова. – М., 1991. – С. 14–16.
 21. Шульга П. Л. Стратиграфія карбону Львівсько-Волинської западини / П. Л. Шульга, О. А. Завьялова, Г. М. Помяновська // Стратиграфія УРСР. – К. : Наук. думка, 1969. – Т. 5. Карбон. – С. 314–361.

22. Doble R. C. Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems / R. C. Doble, C. T. Simmons, G. R. Walker // Ground Water. – 2009. – Vol. 47, N 1. – P. 129–135.
23. Nilson G. Visual MODFLOW version 2.00: Guidebook / Nilson Guiguer, Thomas Franz. – Toronto : Waterloo Hydrogeologic Software, 1996. – 231 p.

*Стаття: надійшла до редакції 16.10.2014
прийнята до друку 02.12.2014*

**MINERAL COMPOSITION OF WASTE OF COAL MINING
AND ENRICHMENT, THEIR EXOGENOUS CHANGES
AND INFLUENCE ON NATURAL WATER ON THE RESULTS
OF HYDROGEOLOGICAL SIMULATION
(CHERVONOHRAD MINING AREA)**

H. Buchatska, N. Dvoryanska, A. Dvoryanskyi, V. Dyakiv

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: dyakivw@yahoo.com*

Mining of coal and its enrichment in Chervonohrad mining region lead to the storage of waste in dumps, mineral composition of which varies under the influence of exogenous processes. At that contaminated acidic sulphate waters appear that fall into geofiltrational field. Hydrogeological modelling has made it possible to identify the patterns of contaminated water movement from man-made objects (waste dumps, tailings, hydraulic dump, sump mine water) to areas of natural discharge – rivers Zahidnyi Buh, Rata and Solokiya, as well as to underground water intakes, especially Sosnovskiy, the water of which led to the outbreak of children' hypoplasia and fluorosis in the middle of the 1990s.

Key words: Chervonohrad mining area, waste of coal mining and enrichment, pyrometamorphism, acid sulphate waters, geofiltrational field, hydrogeological simulation.

**МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ
И ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ, ИХ ЭКЗОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
И ВЛИЯНИЕ НА ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
(ЧЕРВОНОГРАДСКИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ РАЙОН)**

А. Бучацкая, Н. Дворянская, А. Дворянский, В. Дякив

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина
E-mail: dyakivw@yahoo.com*

Добыча каменного угля и его обогащение в пределах Червоноградского горнопромышленного района приводят к складированию отходов в отвалы, минеральный состав которых изменяется под действием экзогенных процессов. При этом появляются загрязненные кислые сульфатные воды, которые попадают в геофильтрационное поле. Гидрогеологическое моделирование дало возможность выявить закономерности движения загрязненных вод от техногенных объектов (породные отвалы, хвостохранилища, гидроотвал, отстойник шахтных вод) к участкам естественной разгрузки – рекам Западный Буг, Рата и Солокия, а также к подземным водозаборам, прежде всего Сосновскому, вода которого стала причиной вспышки гипоплазии и флюороза у детей в середине 90-х годов XX в.

Ключевые слова: Червоноградский горнопромышленный район, отходы добычи угля, отходы обогащения угля, пирометаморфизм, кислые сульфатные воды, геофильтрационное поле, гидрогеологическое моделирование.