VISNYK OF LVIV UNIVERSITY
Series Geology. 2025. Is. 39. P. 88–106
ISSN 2078-6425

ВІСНИК ЛЬВІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Серія геологічна. 2025. Вип. 39. С. 88–106
ISSN 2078-6425

УДК 553.93:556.3.001.57

DOI https://doi.org/10.30970/vgl.39.07

ПРИРОДНІ УМОВИ, ТЕХНОГЕННЕ ПОРУШЕННЯ ТА ГЕОХІМІЧНІ ЗМІНИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ШЕПТИЦЬКОГО (ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО) ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Ганна Бучацька[1], Василь Дяків[1], Віталій Саднік[2]

[1]Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: hanna.buchatska@lnu.edu.ua; dyakivw@yahoo.com
[2]Національний університет «Львівська політехніка»,
пл. Св. Юра 9, Львів, Україна, 79013, e-mail: vitalii.y.stadnik@lpnu.ua

Проведено аналіз стану природних умов найбільшого вуглевидобувного комплексу на Заході України до початку гірничих робіт, зміни геологічного середовища внаслідок понад півстолітнього видобування кам'яного вугілля, просідання поверхні над видобуними полями, накопичення відходів вуглевидобутку та вуглезбагачення, із їхніми екзогенними й пірометаморфічними змінами, а також природно-техногенної трансформації Червоноградського (Шептицького) гірничо-промислового району (далі – ЧГПР). На основі рентгенофлуоресцентного аналізу відходів вуглевидобутку, оцінки хімічного складу вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів, аналізу надходження фтору в підземні води водозаборів ЧГПР встановлено підвищені вмісти геохімічно-рухомих важких металів, як-от Манган Сторнцій, Нікель, Рубідій, Хром, Мідь, Цинк, Ітрій та, імовірно, інші рідкісноземельні елементи ітрієвої групи, Плюмбум та Арсен, а також такі елементи, як Літій, Ванадій, Бісмут, Кобальт, Молібден, Кадмій, Ртуть, Барій, Уран виявлені іншими дослідниками.

Кислі сульфатні води з териконів та відвалу збагачувальної фабрики, які утворюються внаслідок екзогенного окислення піриту, сприяють підвищенню геохімічної рухливості більшості мікроелементів. Крім того, кислі інфільтрати потрапляють у геофільтраційне поле, рухаються від техногенних об'єктів до річок Західний Буг, Рата та Солокія, а також до водозаборів підземних вод у верхньокрейдовому горизонті тріщинуватих мергелів. Кислі сульфатні води активно взаємодіють з тріщинуватими мергелями верхньої крейди, нейтралізуються та спричиняють екстракцію Фтору з карбонатної і глинистої складової водоносної товщі з його концентруванням у підземних водах, що вилучаються водозаборами. Найбільш несприятливі умови притаманні для Соснівського водозабору, вода якого в середині 90-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

Ключові слова: Червоноградський (Шептицький) гірничо-промисловий район, відходи видобутку вугілля, рентгенофлуоресцентний аналіз, геохімічна рухливість, кислі інфільтрати, важкі метали, вилуговування Фтору, підземні води, забруднення.

Вступ. Природні гідрогеологічні умови території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Сілець, Межиріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших визначаються особливостями геологічної будови. У природних умовах, поверхневі та підземні води незабруднені й порушені лише окремими меліоративними каналами як гідротехнічними способами осушення перезволожених земель. До 1953 р. населення цієї території головно використовувало ґрунтові води четвертинних відкладів

© Бучацька Г., Дяків В., Саднік В., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

через індивідуальні колодязі та річкову воду напряму для поливу чи використання як технічної та навіть питної води.

У період інтенсивного індустріального розвитку в другій половині XX століття (від початку 1950-х років і до нашого часу) геологічне середовище досліджуваної території зазнає суттєвих техногенних змін як частина Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Тут були розвідані промислові поклади кам'яного вугілля на площі близько 10 тис. кв. км, із розвіданими балансовими запасами біля 970 млн т. У межах Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району кам'яне вугілля видобувать понад 60 років. У різний час тут працювало 12 шахт, функціонує збагачувальна фабрика, для промислових потреб та водопостачання населення відбиралась вода з 5 водозаборів сумарним об'ємом до 100 тис. $м^3$/добу. Тривале в часі функціонування гірничо-видобувного та збагачувального комплексу з порушенням цілісності геологічного середовища й накопиченням відходів зумовило техногенні порушення та геохімічні зміни гідрогеологічної системи.

Постановка проблеми. Територія Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району разом з населеними пунктами, копальнями з видобутку вугілля та їх інфраструктурою вважають одним з найбільш забруднених у Львівській області. Тут є проблеми з геологічним середовищем (просіданням поверхні над виробленим простором), якістю атмосферного повітря від горіння вугільних відходів та хімічним складом підземних вод, які призвели до епідемічно значущої захворюваності дітей на флюороз зубів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цій проблемі присвячена низка публікацій, авторами яких є С. І. Бик, В. І. Узіюк, Г. М. Бучацька, В. О. Дяків, Г. І. Рудько, Ю. П. Скатинський, В. П. Федосєєв, О. О. Маційовська [1–4; 6; 7; 10–13]. У цих роботах розглянуті екологічні та геохімічні наслідки експлуатації копалень ЧГПР. У роботі Н. О. Крюченко детально розглянуто геохімічну поведінку Фтору [8].

У працях Ф. А. Руденко, R. C. Doble, C. T. Simmons, G. R. Walker, G. Nilson, T. Franz [9; 14; 16] розглянуто теоретичні та прикладні аспекти гідрогеології, гідрогеологічного й геофільтраційного моделювання.

Водночас ми не натрапили на публікації, де висвітлено комплексні підходи до аналізу природних умов, техногенних порушень та геохімічних змін гідрогеологічної системи Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району.

Мета статті – оцінити природні умови, рівня техногенного порушення та геохімічних змін гідрогеологічної системи Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району від видобування кам'яного вугілля, обґрунтування впливу цих змін на геодинамічні, гідродинамічні умови району досліджень та простежування їх впливу на екологічну ситуацію досліджуваного району через видобування кам'яного вугілля, складування вуглевмісних порід на поверхні у вигляді териконів та відвалів, просідання поверхні над виробленим простором, формування мульд осідання, забруднення поверхневих і підземних вод, зміна їх хімічного складу та появу шкідливих для людського організму компонентів.

Методика досліджень – вивчення фондових матеріалів, польові моніторингові спостереження у зоні впливу вугільних копалень ЧГПР, аналіз гідрогеологічних умов, рентгенофлюоресцентний аналіз вугільних відвалів, аналіз хімічного складу поверхневих та підземних вод.

Виклад основного матеріалу. Природні умови гідрогеологічної системи території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Сілець, Межиріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших визначаються особливостями геологічної будови, природною захищеністю зони активного водообміну від токсикантів. Насамперед це рівнинний рельєф, що нівелює чи мінімізує ерозійні процеси, відсутність чи слабкий

ISSN 2078-6425. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2025. Випуск 39

прояв геодинамічних процесів, як-от карбонатний карст, виражена гідрогеологічна стратифікація, мінімальне використання підземних вод переважно із четвертинного водоносного горизонту, що майже не порушує систему та відсутність потужних техногенних джерел забруднення. Підземні води розвантажувалися в річкову мережу басейну Балтійського моря, у річку Західний Буг та його притоки Солокія та Рата з допливом Болотня і вагомих геоекологічних проблем не фіксували (рис. 1).

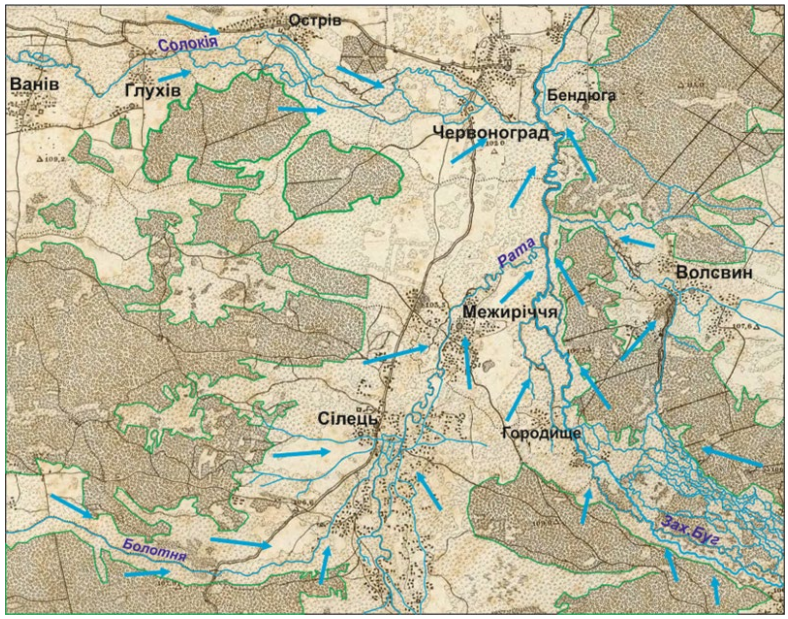

Рис. 1. Природний ландшафт території м. Червоноград (нині Шептицький) та прилеглих до нього населених пунктів до початку гірничих робіт

Шептицький гірничо-промисловий район, площею 180 км^2, розташований на території однойменного району в північній частині Львівської області. Геологічно належить до Львівсько-Волинського кам'яновугільного суббасейну, який є продовженням Люблінського басейну в Республіці Польща (рис. 2).

Тут у вугленосній товщі кам'яновугільного періоду, виявлено пласти й пропластки вугілля із сумарною потужність вугільних пластів більше 12 метрів [1; 2; 10]. З робочою потужністю (понад 60 см) виділяють 30 пластів, з них лише від одного до трьох найпотужніших пластів, на глибинах 450–550 м з потужністю до 1,5 м експлуатували шахти.

Досліджувану територію відносять до Західноукраїнської лісостепової фізико-географічної провінції. Північна частина району належить до Волинської височини, а південна – до Верхньо-Бузької котловини (Малого Полісся), межу між якими проводять біля м. Червоноград, по північних межах долин річок Солокія та Білосток.

Волинська височина геоморфологічно має характер плато з рівною поверхнею, глибокими і вузькими долинами з крутими схилами й широко розгалуженою системою ярово-балкової мережі. Мале Полісся є рівниною поліського типу, яка складена головно флювіогляціальними та алювіальними відкладами.

Клімат ЧГПР помірно-континентальний, його характеризують м'якістю та високою вологістю. На його формування впливає морське атлантичне повітря, яке влітку зумовлює

Рис. 2. Адміністративне розташування ЧГПР – складової частини Львівсько-Волинського суббасейну, який є продовженням Люблінського кам'яновугільного басейну

похолодання, а взимку – потепління. Тут спостерігають часті відлиги взимку, значну хмарність і затяжні дощі. Континентальність клімату пом'якшується переміщенням повітряних мас із заходу та особливостями рельєфу. Кількість опадів становить у середньому 642 мм на рік. Найбільше опадів випадає в теплу пору року. Середньорічні величини відносної вологості повітря становлять 80–85 %, середня випаровуваність з поверхні ґрунту становить 550–600 мм, з водної поверхі не перевищує 550 мм (рис. 3, 4) [2].

На температурний режим, кількість атмосферних опадів в останні десятиріччя впливає забруднення атмосферного повітря від горіння териконів та відвалу збагачувальної фабрики.

Головними річками є Західний Буг з лівими притоками Рата та Солокія, типово рівнинними з повільною течією. Широкі долини річок виповнені флювіогляціальними та алювіальними відкладами з глибокими врізами в корінні верхньокрейдові відклади. Заплави річок з плоскою поверхнею і нахилом у сторону русел, часто заболочені й заторфовані, з мережею меліоративних каналів. Надзаплавні тераси є тільки в долинах рік Західний Буг, Солокія та деяких їхніх приток [2].

Значно впливає на трансформацію річкової мережі та формування гідроекологічної ситуації в басейні Західного Бугу осушувальна меліорація. Інтенсивно меліорували територію в 60-ті роки минулого століття і полягала вона в русловипрямленні та русло поглиблюванні [7]. До 50 років змін зазнали лише незначні ділянки русел рік Рата, Полтва та Солокія. Сучасний стан малих річок басейну Західного Бугу характеризують переважанням антропогенно змінених типів русел. Майже 40 % території басейнової системи осушено, 80–90 % річок-водоприймачів дренажних вод спрямлено [5].

ISSN 2078-6425. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2025. Випуск 39

З позицій регіональної гідрогеології досліджувана територія належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну, зоною живлення якого є західний мегасхил Українського кристалічного щита. Тут підземні води виявлені в усіх осадових формаціях, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту.

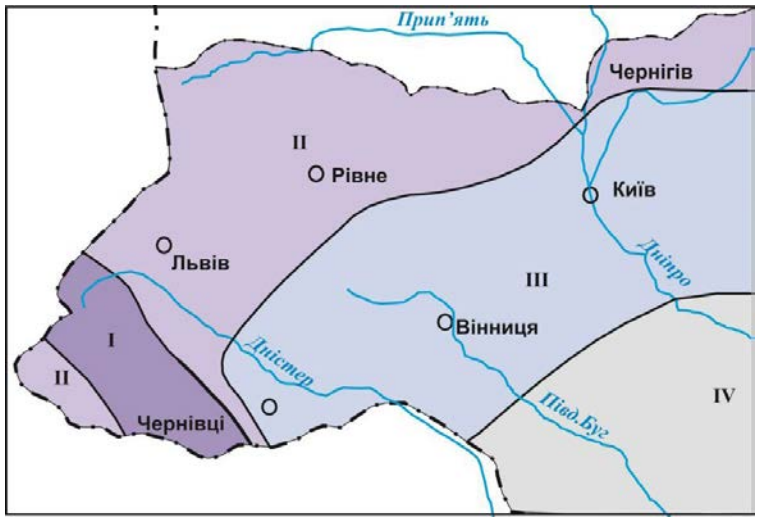

Рис. 3. Зони зволоження території України (за І. Є. Бучинським): 1 – зони зволоження (I – зона надлишкового зволоження з $К_{зв}$ > 1,2; II – зона достатнього зволоження з $К_{зв}$ = 1,0–1,2; III – зона нестійкого зволоження з $К_{зв}$ = 0,76–1,0; IV – зона недостатнього зволоження з $К_{зв}$ = 0,5–0,75

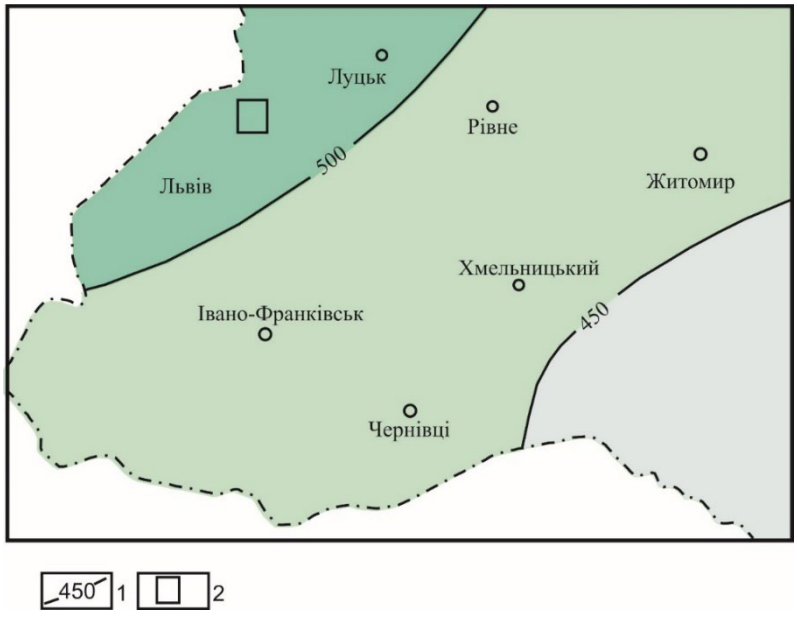

Рис. 4. Випаровування з поверхні суші як різниця між кількістю опадів та стоком (за В. М. Бабиченком): 1 – ізолінії кількості випаровування (мм/рік); 2 – район досліджень

Цей водоносний горизонт зазвичай називають сеноманським через те, що розповсюджений у зоні вилуговування мергелів однойменного над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний режим цього водоносного горизонту виявляється на вододілах. Напірний режим створюється на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

Геолого-геоморфологічні умови формування водного стоку та хімічного складу природних вод басейну істотно змінені. Характерною особливістю геологічної будови водозбору Західного Бугу є залягання вище від місцевих базисів ерозії карбонатних порід верхньої крейди, які представлені сильно тріщинуватими й закарстованими вапняками та мергелями, які й зумовлюють формування сольового складу води річки [12].

Населені пункти здебільшого зосереджені в долинах річок, головно в долині Західного Бугу та пригирлових частинах Рати та Солокії. Тут розташовані два найбільші міста Червоноград та Соснівка, селище міського типу Гірник, сільські населені пункти Межиріччя, Сілець, Вільшина, Городище фактично створюють суцільну промислово-сільську агломерацію в техногенно найбільш перевантаженій ділянці району – межиріччі рр. Рати та Солокії (нижня частина) і Західного Бугу. Інші населені пункти розташовані в північно-західній частині ЧГПР (Ванів, Глухів, Муроване, Острів, Рудка, Борятин, Добрячин) та на правому березі р. Західний Буг (Бендюга та Волсвин).

Геологічна будова. До глибини 2 км ШГПР складений відкладами четвертинної, крейдової, юрської, кам'яновугільної та девонської систем. Комплекси порід силурійської, ордовицької та кембрійської систем, а також докембрійського кристалічного фундаменту поширені на більших глибинах та виходять на поверхню на суміжних територіях на відстані близько 10–150 км.

Геологічна карта домезозойських відкладів і геологічні розрізи ЧГПР та прилеглих територій показані на рис. 5.

Девонські відклади розвинені на глибинах 1000–1400 м і представлені трьома відділами. Нижній відділ складений товщею червоно-палевих пісковиків, алевролітів, алевритистих аргілітів і глин, потужністю 750–1200 м.

Середній відділ складений чергуванням темних кавернозних доломітів з вапняками й аргілітами, рідше алевролітами, пісковиками, глинами і гіпсами, потужністю 150–200 м. Верхній відділ складений доломітовими відмінами порід (доломіти, доломітизовані вапняки, глини) і товщею вапняків з прошарками доломітів, потужністю 750–1000 м.

Кам'яновугільні відклади поширені по всій площі ШГПР і представлені нижнім та середнім відділом. Породи, що містять вугільні пласти – це аргіліти, алевроліти, пісковики. Промисловий видобуток вугілля ведуть із відкладів бужанської світи серпухівського та нижньої частини башкирського ярусів нижнього карбону. Розріз кам'яновугільної продуктивної товщі (частина, яку відробляють) добре витриманий по площі для всього району.

На розмитій поверхні кам'яновугільної системи залягають юрські відклади, що у вигляді розрізнених ділянок розташовані в пониженнях рельєфу, які збереглися від розмивання. Юрські відклади представлені гіпсами, ангідритами, пісковиками, конгломератами, зрідка глинами та аргілітами. Їхня потужність у районі не перевищує 10 м, головно 1–3 м.

Відклади крейдової системи представлені сеноманським, туронським, коньякським, кампанським і маастрихтським ярусами. У нижній частині це пісковики, мергелі і вапняки. Вище за розрізом залягають мергельно-крейдяні породи, які в південно-західному напрямі заміщені крейдяноподібними вапняками, далі – мергелями й пісковиками. На

ISSN 2078-6425. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2025. Випуск 39

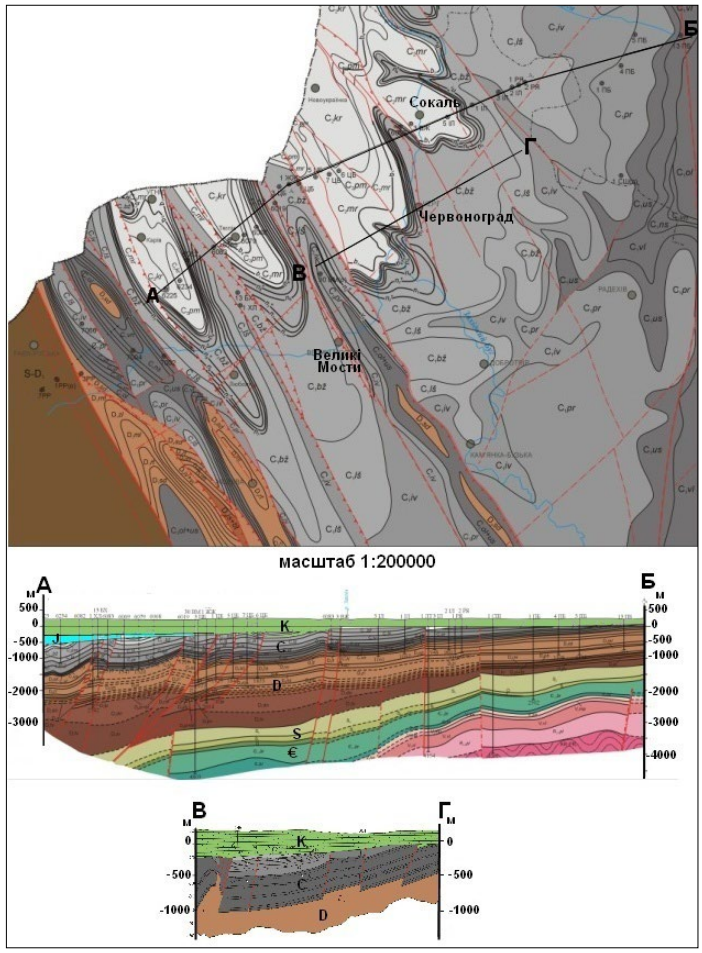

Рис. 5. Геологічна карта домезозойських відкладів і геологічні розрізи ЧГПР та прилеглих територій (*за Воропаєвою І. А. та доповненнями автора*)

занижених ділянках рельєфу у верхній частині верхньокрейдових відкладів поширений елювій (зона замулювання). Потужність верхньокрейдових відкладів – 120–860 м.

Відклади неогенової системи поширені південніше ШГПР.

Четвертинні відклади є по всій території, за винятком невеликих її ділянок, де на поверхню виходять відклади крейди. Вони представлені льодовиковими, утвореннями давніми й сучасними алювіальними та еоловими комплексами відкладів загальною потужністю 0,5–35,0 м. (див. рис. 6).

За природними гідрогеологічними умовами досліджуваний район належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну. Підземні води поширені в усіх стратиграфічних відкладах, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Сеноманський водоносний горизонт розповсюджений у зоні вилуговування мергелів сенонського над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний характер простежується на вододілах,

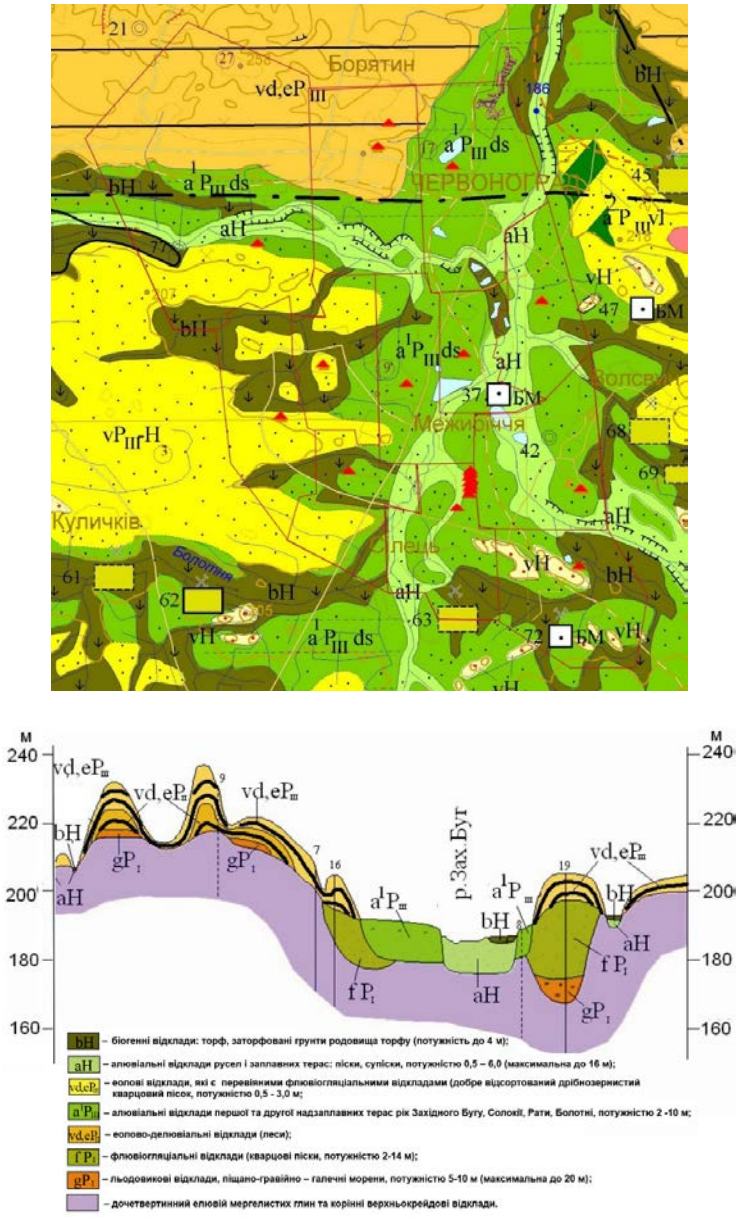

Рис. 6. Карта четвертинних та техногенних відкладів ЧГПР та прилеглих територій і геологічний розріз через північну частину території (*за Богуцьким А. Б. та доповненнями автора*)

а напір менший від водоносної потужності відкладів. Напори формуються на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

ISSN 2078-6425. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2025. Випуск 39

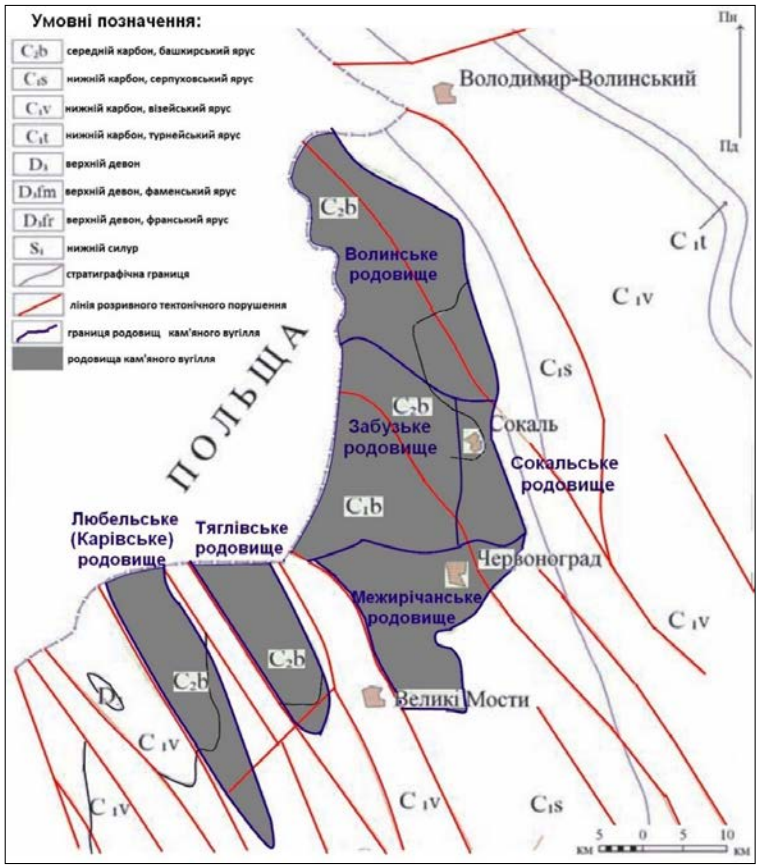

Рис. 7. Контури найбільших за запасами розвіданих родовищ кам'яного вугілля у межах Львівсько-Волинського суббасейну

На цьому етапі можна говорити про непорушений стан геофільтраційного поля та гідрогеохімічних умов.

Техногенне порушення гідрогеологічної системи Шептицького гірничо-промислового району почалися із середини 1950 років, коли було розвідано родовища кам'яного вугілля (див. рис. 7). ШГПР повністю розташований у межах Межирічанського та частково Забузького родовищ (див. рис. 8).

Біля кожної із шахт розташовані один або декілька териконів (рис. 9), де складують відходи вуглевидобутку. Понад половина териконів вугільних шахт перегоріла.

Проведений рентгенофлуоресцентний аналіз відходів вуглевидобутку, виявив 11 мікроелементі (табл. 1).

Найбільші концентрації притаманні для Мангану, Сторнцію та Цирконію (від 0,045 до 0,1 %). Вміст Нікелю, Рубідію, Хрому та Міді біля 0,02 %. У слідових кількостях виявлені Цинк, Ітрій, Плюмбум та Арсен.

Крім цих мікроелементів, рентгенофлуоресцентний аналіз у значних концентраціях виявив хімічні елементи, що входять до складу породотвірних та широкопоширених акцесорних мінералів: Кремній, Алюміні, Ферум, Сірку, Калій, Титан, Магній, Кальцій (рис. 10 та 11).

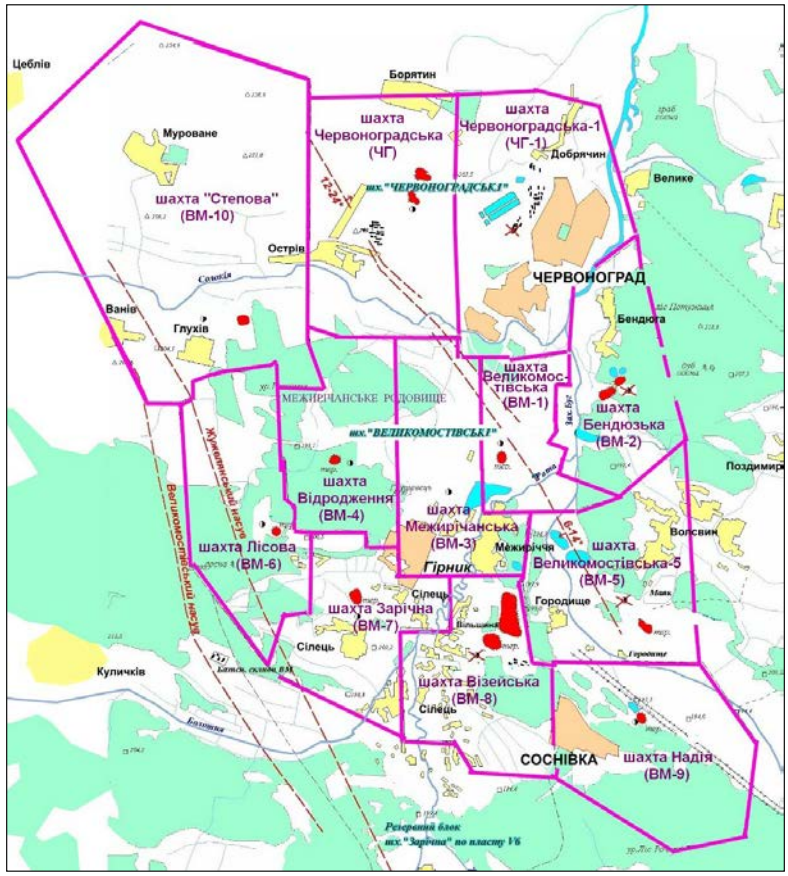

Рис. 8. Межі гірничих відводів, місця розташування відвалів шахт ЧГПР

Таблиця 1

Результати рентгенофлуоресцентний аналіз відходів вуглевидобутку Червоноградського (Шептицького) гірничо-промислового району (ЧГПР)

Номер елементу	Хімічний елемент	Серія	Інтенсивність флюорисценції	Концентрація хімічного елемента
25	Mn	K	9001	0.096936 ± 0.004687%
38	Sr	K	76512	0.061753 ± 0.000674%
40	Zr	K	73698	0.045117 ± 0.000545%
28	Ni	K	2799	0.029876 ± 0.004107%
37	Rb	K	30298	0.024942 ± 0.000589%
24	Cr	K	2323	0.023653 ± 0.003817%
29	Cu	K	1360	0.023440 ± 0.007046%
30	Zn	K	577	0.016523 ± 0.010606%
39	Y	K	13541	0.008242 ± 0.000441%
82	Pb	L	3056	0.005272 ± 0.000546%
33	As	K	2418	0.003953 ± 0.000408%

ISSN 2078-6425. Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2025. Випуск 39

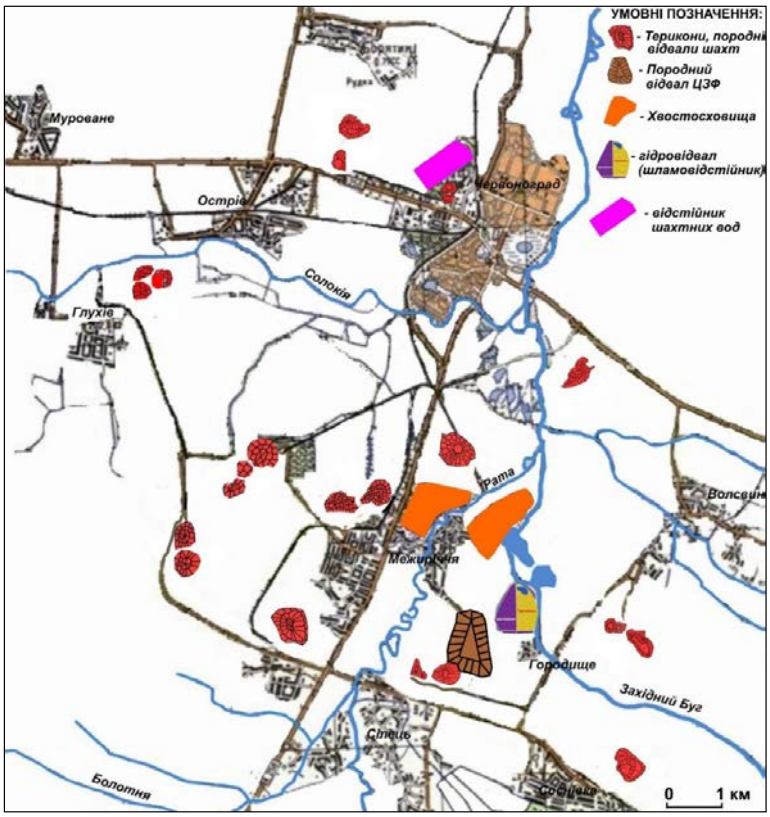

Рис. 9. Головні техногенні об'єкти негативного впливу на природні води в межах Червоноградського ГПР

Важливою особливістю отриманих результатів рентгенофлуоресцентного аналізу, є відсутність Фтору у відходах вуглевидобутку, але його наявність у токсичних концентраціях у підземних водах.

Водночас аналітичними дослідженнями підтверджуються високі концентрації Феруму та Сірки, що вказують на високі вмісти піриту, а тому і на його потенційну трансформацію в екзогенних умовах териконів та відвалів. Геохімічна трансформація є головним чинником формування кислих інфільтратів, окиснення Сірки та горіння вуглевмісних порід:

$$FeS_2 + 7/2\ O_2 + H_2O = Fe^{2+} + 2\ SO_4^{2-} + 2\ H^+$$
$$2\ Fe^{2+} + 1/2\ O_2 + 2\ H^+ = 2\ Fe^{3+} + H_2O$$
$$FeS_2 + 14\ Fe^{3+} + 8\ H_2O = 15\ Fe^{2+} + 2\ SO_4^{2-} + 16\ H^+$$

За таких умов у поверхневі та підземні води стікають кислі сульфатні води, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоекологічного стану території, зокрема є чинниками вилуговуваннія фтору із карбонатних порід.

Кислі інфільтрати мігрують у четвертинний горизонт, де їх агресивність зменшується у лесових товщах (північна територія Червоноградського ГПР, район шахти Червоноградська) завдяки реліктам карбонатів і майже не змінюється на решті території, де переважають алювіальні відклади заплав та надзаплавних терас.

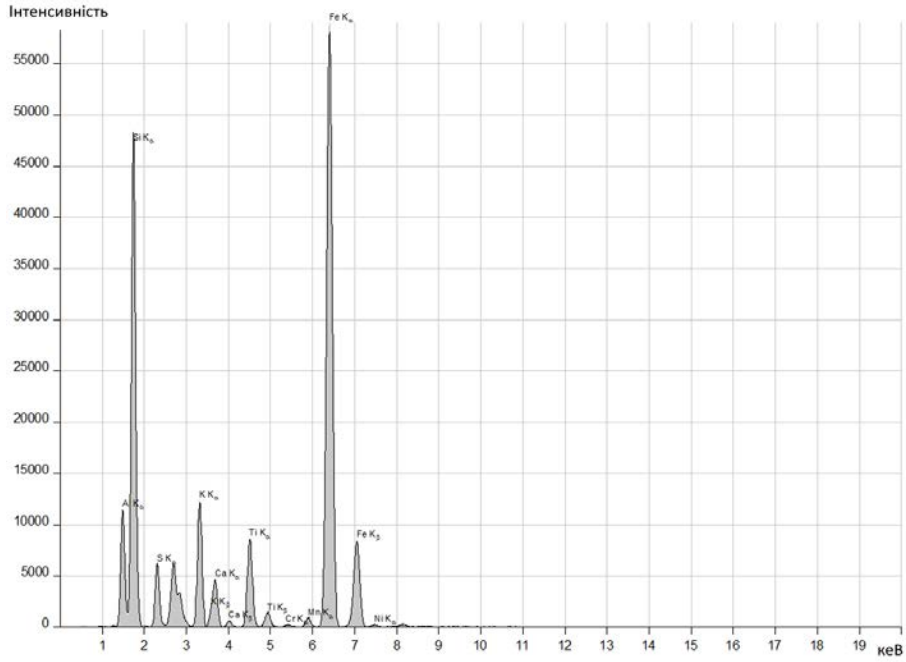

Рис. 10. Характеристичні спектри рентгенофлюоресценції легких елементів

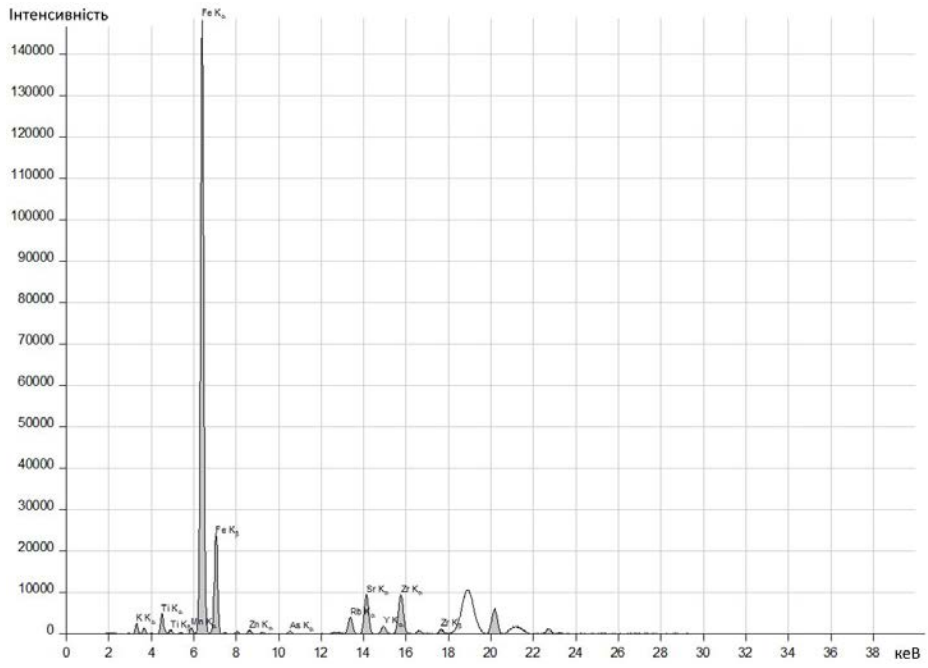

Рис. 11. Характеристичні спектри рентгенофлюоресценції важких елементів

Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчанокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – до екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітувальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації.

Гірничодобувна діяльність сприяє в межах гірничих відводів дійсних та ліквідованих копалень 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.

Геологічне середовище Червоноградського ГПР зазнає первинного порушення: формуються мульди осідання над виробленим простором, просідає русло р. Західний Буг та лівий борт р. Рата, змінюються напрями геофільтраційних потоків до ділянок осідань. Разом з будівництвом перших шахт і гірничих селищ почали розвідувати водозабори підземних вод у сенонських відкладах верхньої крейди та експлуатувати їх. Так, запрацювали Бендюзький (1962 р.) та Борятинський (1963 р.) водозабори. У результаті їх функціонування утворилися депресії, які стягують забруднені води від шахтних териконів.

За останні 60 років через просідання земної поверхні на виробленим простором вугільних копалень тільки в межах Малополіських ландшафтів широко розвинені процеси затоплення, підтоплення та заболочування.

Кліматичні чинники просідання й підтоплення територій вуглевидобутку слід розглядати на двох рівнях: власне кліматичному, у розумінні багаторічного режиму атмосферних умов, та на рівні конкретних метеорологічних умов за стислий період часу. Власне кліматичні чинники є не такими визначальними, коли йдеться про просідання, але вони часто є визначальними в разі активізації процесів підтоплення. Особливо велике значення мають температурний режим і режим зволоження [6].

За відсутності будь-яких техногенних впливів породи перебувають у рівноважному напруженому стані. Видобування вугілля зумовлює зміни напруженого стану гірських порід з вертикальними (нахили, скручування, тріщини) та горизонтальними (розтягнення, стиснення, зсуви) деформаціями через обвалення масиву та зсуванням перекриваючих порід з формуванням мульд осідання на земній поверхні. Максимальне порушення природної структури вуглевмісних відкладів спостерігають безпосередньо над відробленим простором, де формується зона дезінтеграції породного масиву [16]. Висота зони дезінтеграції масиву головно залежить від потужності вугільного пласта, який видобули, і становить 3–5 м. Над зоною обвалення в пісковиках, аргілітах та алевролітах (кам'яновугільних відкладах), а також верхньокрейдових глинистих мергелях по краях зміщення виникають тріщини, які збільшують водопроникність порід над відпрацьованим простором, змінюють режим поверхневих та підземних вод. Зсунення проходить швидко, протягом перших місяців після відробки видобувних блоків. Далі поверхня зазнає повільних деформацій, які затухають протягом 1–2 років. Фактично просідання поверхні землі досягає 2–4 метрів станом на 2015 р (рис. 12).

Для крайової частини мульди осідання характерні деформації розшарування. На земній поверхні горизонтальні деформації направлені до центру мульди, на краях – розтягнення, а в центрі – стиснення. Осідання земної поверхні призводить до формування ослаблених зон, крайової техногенної тріщинуватості, які зумовлюють формування

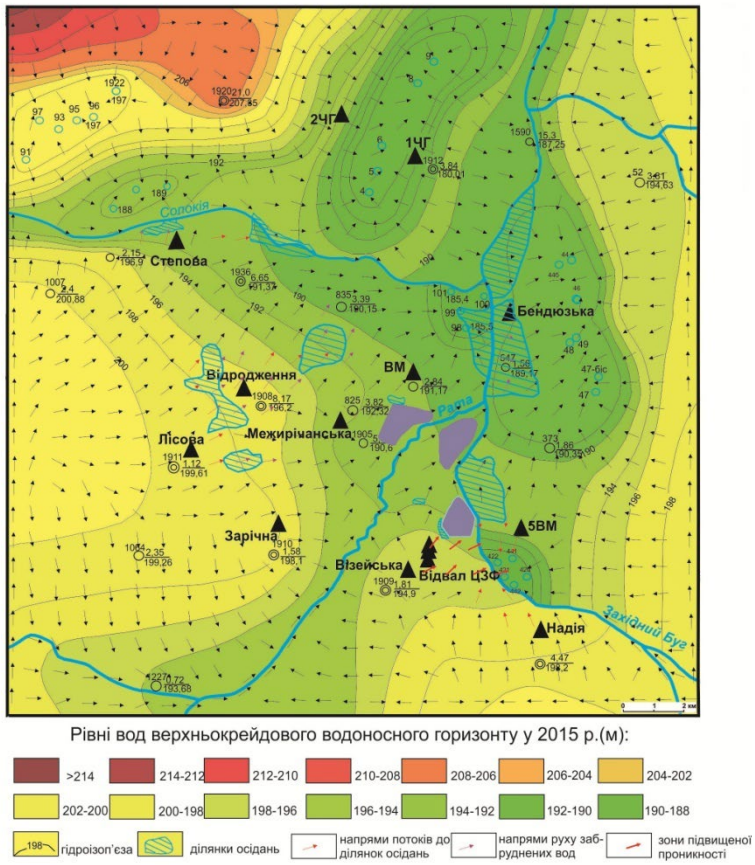

Рис. 12. Геофільтраційні умови Червоноградського ГПР станом на 2015 р.

фільтраційної зональності, зростання проникності, збільшення тріщинної пористості, площинного живлення та підземного акумулювання вод зміненого гідрохімічного складу.

Над зоною зміщення на поверхні формуються мульди осідання з озерами та зонами акумулювання важких інфільтратів у четвертинному та вехньокрейдовому водоносних горизонтах.

Над зоною зміщення в карбонових відкладах на поверхні шахтних полів формуються мульди осідання, які заболочуються та перетворюються на техногенні озера. Такі території стають непридатні для сільськогосподарського користування. Максимальні осідання, деформації та швидкості зсування прямо залежать від потужності пласта, який видобувають. За невеликих кутів падіння пластів (до 5°) мульда осідання симетрична відносно площини, що проходить через точку максимального осідання паралельно до простягання пластів. Глибина залягання пластів теж впливає на деформації земної поверхні. Зі зростанням глибини видобутку всі деформації на земній поверхні зменшуються [4].

Ці зміни вплинули і на водоносні горизонти досліджуваного району. Так, на тих ділянках, де утворилися мульди осідання, у водоносних горизонтах у четвертинних та верхньокрейдових відкладах з'явились аналогічні заглиблення, які стають зонами акумулювання забруднених стоків з териконів.

Терикони і відвали, меншою мірою хвостосховища та відстійники, є об'єктами деформаційного впливу на водоносні горизонти, насамперед четвертинний та меншою мірою крейдовий. Техногенні форми рельєфу, у яких закумульовано великий об'єм пустих порід, містять Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co.

Внаслідок вимивання і видування цих елементів із крихкої породи відбувається отруєння не лише прилеглих екосистем, а й жителів довколишніх міст і сіл. Найнебезпечнішими негативними наслідками накопичення відходів за таких умов є забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод важкими металами, фтором, їх закислення та невідповідність санітарно-гігієнічним нормативам. Зокрема, на території Шептицького району Львівської обл. досліджено вплив підвищеного вмісту хімічних речовин у природному середовищі на стан здоров'я дітей. Так, серед дітей та підлітків м. Соснівка в 90-ті роки зафіксоване зростання захворюваності на флюороз зубів.

Геохімічні зміни проходять через формування кислих інфільтратів шляхом біохімічного окиснення та горіння. За таких умов у поверхневі та підземні води стікають кислі сульфатні води, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоекологічного стану території.

Кислі інфільтрати мігрують у четвертинний горизонт, де їх агресивність зменшується в лесових товщах (північна територія Червоноградського ГПР, район шахти Червоноградська) завдяки реліктам карбонатів і майже не змінюється на решті території, де переважають алювіальні відклади заплав та надзаплавних терас. Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчанокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітувальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації.

Так, геологічне середовище Червоноградського ГПР натепер є природно-техногенною системою, де в процесі видобутку вугілля первинні радикальні зміни геологічного середовища (утворення шахтних пустот та відвалів на поверхні) зумовили всю сукупність геоекологічних проблем, зокрема пов'язану зі здоров'ям людей.

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Природна гідрогеологічна система території в околицях міст Шептицький (Червоноград), Соснівка, селища Гірник, сіл Солець, Міжріччя, Острів, Ванів, Глухів та деяких інших у техногенно-непорушеному стані є частиною Волино-Подільського артезіанського басейну. Її функціонування в непорушених умовах визначалось особливостями геологічної будови, природною захищеністю зони активного водообміну від токсикантів, насамперед рівнинним рельєфом, що мінімізує ерозійні процеси, відсутністю чи слабкою проявленістю геодинамічних процесів, як-от карбонатний карст, вираженою гідрогеологічною стратифікацією з мінімальними відборами підземних вод переважно із четвертинного водоносного горизонту, що її майже не порушує, та відсутністю потужних техногенних джерел забруднення.

2. У природних умовах поверхневі та підземні води незабруднені й порушені лише окремими меліоративними каналами як гідротехнічними способами осушення перезволожених земель з метою пришвидшення стоку до річкових русел. До 1953 р. населення цієї території головно використовувало ґрунтові води четвертинних відкладів за допомогою індивідуальних колодязів та річкову воду напряму для поливу чи використання як технічної і навіть питної води.

3. З позицій регіональної гідрогеології досліджувана територія належить до Волинсько-Подільського артезіанського басейну, зоною живлення якого є західний мегасхил

Українського кристалічного щита. Тут підземні води виявлені в усіх осадових формаціях, проте промислово використовують лише води верхньокрейдового водоносного горизонту. Цей водоносний горизонт зазвичай називають Сеноманським через те, що поширений у зоні вилуговування мергелів однойменного над'ярусу, має значну потужність, широке територіальне поширення і є напірним. Безнапірний режим цього водоносного горизонту виявляється на вододілах. Напірний режим формується на Подільській та Волинській височинах, а розвантажується водоносний горизонт у долини рік та балок численними джерелами, що зумовлює напрямок течії підземного потоку від вододілів до долини р. Західний Буг і його допливів.

4. Для вугільних відходів притаманні високі вмісти геохімічно-рухомих важких металів, таких як Манган, Сторнцій, Нікель, Рубідій, Хром, Мідь, Цинк, Ітрій та, імовірно, інші рідкісноземельні елементи ітрієвої групи, Плюмбум та Арсен, виявлені нами методом рентгенофлуоресцентного аналізу, а також такі елементи, як Літій, Ванадій, Бісмут, Кобальт, Молібден, Кадмій, Ртуть, Барій, Уран, виявлені іншими дослідниками.

5. Геохімічну рухливість більшості мікроелементів, виявлених у вугільних відвалах, спричиняють підтверджені високі концентрації піриту при його екзогенному окисленні та пірометаморфізмі з утворенням кислих інфільтратів. За таких умов у поверхневі гідрологічні об'єкти та водоносні горизонти потраплять забруднені від локацій зберігання вугільних відходів поверхневі та підземні води підвищеної мінералізації, які разом із токсичними мікроелементами є головними чинниками погіршення геоекологічного стану території.

6. Важливою особливістю отриманих результатів рентгенофлуоресцентного аналізу є відсутність Фтору у відходах вуглевидобутку, але його наявність у токсичних концентраціях у підземних водах. Це, на наш погляд, є додатковим підтвердженням раніше висунутої гіпотези про те, що встановлені підвищені вмісти Фтору в підземних водах Соснівського та інших водозаборів, пов'язані з вилуговуванням цього хімічного елемента з карбонатними породами. Потрапляючи у водоносний горизонт у верхньокрейдових відкладах, інфільтрати з териконів спричиняють сірчанокислотне вилуговування тріщинуватих мергелів. Це призводить, з одного боку, до нейтралізації кислих вод карбонатом кальцію, а з іншого – екстрагування фтору з карбонатного та глинистого складників мергелів. Причому лімітувальним чинником цих процесів є вміст сульфатної кислоти в інфільтраті до її повної нейтралізації. Найбільш несприятливі умови притаманні для Соснівського водозабору, вода якого в середині 90-х років спричинила гіпоплазію та флюороз у дітей.

7. Гірничодобувна діяльність сприяє в межах гірничих відводів дійсних та ліквідованих копалень значним (найчастіше незворотним) змінам природного стану геологічного середовища, гідрогеологічних і гідрогеохімічних умов: формується техногенний ландшафт у вигляді мульд просідання, териконів, гідровідвалів, хвостосховищ, відстійників, які, з одного боку, змінюють геофільтраційне поле, а з іншого – є джерелом надходження в поверхневі й підземні води забруднювальних речовин, активізуються небезпечні екзогенні процеси, знижується природна захищеність гідросфери, збільшується глибина зони активного водообміну, що призвело до техногенних порушень і геохімічних змін гідрогеологічної системи.

Подяки. Частина результатів отримана з використанням обладнання Центру колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія перспективних технологій створення та фізико-хімічного аналізу нових речовин і функціональних матеріалів» (https://lpnu.ua/ckkno).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бик С. І., Узіюк В. І. Еколого-геохімічні особливості відходів вугілля Львівсько-Волинського басейну. *Уголь Украины*. 2000. №7. С. 22–23.

2. Бобровник Д. П., Болдирєва Т. О., Іщенко А. М. Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн. Київ, 1962. 145 с.
3. Бучацька Г. М., Дяків В. О. Причинно-наслідкові зв'язки забрудненості фтором підземних вод Червоноградського гірничо-промислового району за результатами гідрогеологічного моделювання. Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи: матеріали Всеукраїнської наукової конференції. Львів, 14–15 травня 2015, Львів, 2015. С. 65–70.
4. Бучацька Г. М., Дяків В. О. Сірчанокислотна обробка тріщинуватих мергелів інфільтратами вугільних відвалів Червоноградського гірничопромислового району як головний чинник збагачення підземних вод фтором (за результатами експериментального та геофільтраційного моделювання). Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування ків: матеріали другої наук.-практ. конференції, Трускавець, 5–8 жовтня 2015. Київ, 2015. С. 419–424.
5. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К., Манченко А. П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України. Київ : Ніка Центр, 2006. 184 с.
6. Карабин В. В. Чинники просідання та підтоплення територій вуглевидобутку Червоноградського гірничопромислового району. *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 3. С. 32–36.
7. Ковальчук І. П., Хільчевський В. К. Гідроекологічні проблеми Поліського регіону. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2003. Т. 5. С. 179–195.
8. Крюченко Н. О. Геохімія фтору питних вод України : автореф. дис… канд. геол. наук: 04.00.02 « геохімія». Київ, 2002. 17 с.
9. Руденко Ф. А. Гідрогеологія Української РСР. Київ, 1972. 174 с.
10. Рудько Г. І. Скатинський Ю. П., Федосєєв В. П. Екологічний стан геологічного середовища як фактор масового захворювання дітей флюорозом у ЧГПР. Мінеральні ресурси України. 1997. № 4. С. 34–42; 1998. № 5. С. 17–23.
11. Рудько Г. І., Мацієвська О. О. Розподіл фтору в природних водах. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 171–178.
12. Янишин С. Природні умови як один з основних чинників формування гідрологічного і гідрохімічного режиму річок басейну Західного Бугу. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. *Сер : Агрономія*. 2013, Вип. 17. С. 93–100.
13. Buchatska H., Diakiv V., Kovalchuk M. Geochemistry of fluorine in the hydrogeological system of Chervonograd mining and industrial region (Western Ukraine) according to the data of experimental and geofiltration modeling. *Modern Science. Moderní věda*. 2015. № 4. P. 150–166.
14. Doble R. C., Simmons C. T., Walker, G. R., Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems. *Ground Water*. 47 (1), 2009. P. 129–135.
15. Marschalko M., Yilmaz I., Lamich D., Drusa M., Kubekova D., Penaz T., Burkotova T., Slivka V., Bednarik M., Krcmar D., Duraj M., Sochorkova A. Unique documentation, analysis of origin and development of an undrained depression in a subsidence basin caused by underground coal mining (Kozinec, Czech Republic). *Environ Earth Sci*. 2014. N. 72 (1). P. 11–20.
16. Nilson Guiguer, Thomas Franz.Visual MODFLOW version 2.00: guidebook. Toronto: Waterloo Hydrogeologic Software, 1996. 231 p.

REFERENCES

1. Byk, S.I., Uziiuk, V.I. (2000). Ekoloho-heokhimichni osoblyvosti vidkhodiv vuhillia Lvivsko-Volynskoho baseinu [Ecological and geochemical features of coal waste in the Lviv-Volyn basin]. *Uhol Ukrayny*. №7. p. 22–23 [in Ukrainian].
2. Bobrovnyk, D.P., Boldyrieva, T.O., Ishchenko, A.M. Lvivsko-Volynskyikamianovuhilnyi basein. Kyiv, 1962. 145 s. [in Ukrainian].

3. Buchatska, H.M., Diakiv, V. O. (2015). Prychynno-naslidkovi zviazky zabrudnenosti ftorom pidzemnykh vod Chervonohradskoho hirnycho-promyslovoho raionu za rezultatamy hidroheolohichnoho modeliuvannia. Konstruktyvna heohrafiia i kartohrafiia: stan, problemy, perspektyvy: materialy Vseukrainskoi naukovoi konferentsii., Lviv, 14–15 travnia 2015, Lviv, 2015. S. 65–70. [in Ukrainian].
4. Buchatska, H.M., Diakiv, V.O. (2015). Sirchanokyslotna obrobka trishchynuvatykh merheliv infiltratamy vuhilnykh vidvaliv Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu yak holovnyi chynnyk zbahachennia pidzemnykh vod ftorom (za rezultatamy eksperymentalnoho ta heofiltratsiinoho modeliuvannia) [Sulfuric acid treatment of fractured marls with infiltrates from coal dumps of the Chervonohrad mining district as the main factor in the enrichment of groundwater with fluorine (according to the results of experimental and geofiltration modeling)]. Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia kiv: materialy druhoi nauk.-prakt. konferentsii, Truskavets, 5-8 zhovtnia 2015. Kyiv, 2015. S. 419–424. [in Ukrainian].
5. Zabokrytska, M.R., Khilchevskyi, V.K., Manchenko, A.P. (2006). Hidroekolohichnyi stan baseinu Zakhidnoho Buhu na terytorii Ukrainy [Hydroecological state of the Western Bug basin in Ukraine]. Kyiv : Nika Tsentr, 184 s. [in Ukrainian].
6. Karabyn, V.V. (2018). Chynnyky prosidannia ta pidtoplennia terytorii vuhlevydobutku Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho raionu [Factors of subsidence and flooding of coal mining areas of the Chervonohrad mining district]. *Mineralni resursy Ukrainy*. №3. S.32–36 [in Ukrainian].
7. Kovalchuk, I.P., Khilchevskyi, V.K. (2003). Hidroekolohichni problemy Poliskoho rehionu [Hydroecological problems of the Polesie region]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. T. 5. S. 179–195 [in Ukrainian].
8. Kriuchenko, N.O.(2002). Heokhimiia ftoru pytnykh vod Ukrainy [Fluoride geochemistry of drinking water in Ukraine]: avtoref. dys… kand. heol. nauk: 04.00.02 « heokhimiia»; Kyiv, 17 s. [in Ukrainian].
9. Rudenko, F.A. (1972). Hidroheolohiia Ukrainskoi RSR [Hydrogeology of the Ukrainian SSR]. Kyiv, 174 s. [in Ukrainian].
10. Rudko, H.I., Skatynskyi, Yu.P., Fedosieiev, V.P. (1997,1998). Ekolohichnyi stan heolohichnoho seredovyshcha yak faktor masovoho zakhvoriuvannia ditei fliuorozom u ChHPR [Ecological state of the geological environment as a factor in the mass disease of children with fluorosis in the ChGPR]. *Mineralni resursy Ukrainy*. № 4. C. 34–42; № 5. S. 17–23 [in Ukrainian].
11. Rudko, H.I., Matsiievska, O.O. (2010). Rozpodil ftoru v pryrodnykh vodakh/ H.I.Rudko [Distribution of fluorine in natural waters]. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. № 664. S.171–178 [in Ukrainian].
12. Yanyshyn, S. (2013). Pryrodni umovy yak odyn z osnovnykh chynnykiv formuvannia hidrolohichnoho i hidrokhimichnoho rezhymu richok baseinu Zakhidnoho Buhu [Natural conditions as one of the main factors in the formation of the hydrological and hydrochemical regime of the rivers of the Western Bug basin]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser : Ahronomiia*. Vyp. 17. S.93–100 [in Ukrainian].
13. Buchatska, H., Diakiv, V., Kovalchuk, M. (2015). Geochemistry of fluorine in the hydrogeological system of Chervonograd mining and industrial region (Western Ukraine) according to the data of experimental and geofiltration modeling *Modern Science. Moderní věda*. № 4. P. 150–166 [in English].
14. Doble, R.C., Simmons, C.T., Walker, G.R. (2009). Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems. *Ground Water*. 47 (1), pp.129–135 [in English].
15. Marschalko, M., Yilmaz, I., Lamich, D., Drusa, M., Kubekova, D., Penaz, T., Burkotova, T., Slivka, V., Bednarik, M., Krcmar, D., Duraj, M., Sochorkova, A. (2014). Unique

documentation, analysis of origin and development of an undrained depression in a subsidence basin caused by underground coal mining (Kozinec, Czech Republic). *Environ Earth Sci*. N. 72 (1). P. 11–20. [in English].
16. Nilson Guiguer, Thomas Franz (1996). Visual MODFLOW version 2.00: guidebook Toronto: Waterloo Hydrogeologic Software. 231 p [in English].

NATURAL CONDITIONS, TECHNOLOGICAL DISTURBANCE AND GEOCHEMICAL CHANGES OF THE HYDROGEOLOGICAL SYSTEM OF THE SHEPTYTSKY (CHERVONOGRAD) MINING AND INDUSTRIAL DISTRICT

Hanna Buchatska[1], Vasyl Dyakiv[1], Vitaliy Sadnik[2]

[1]Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005 e-mail: hanna.buchatska@lnu.edu.ua; dyakivw@yahoo.com
[2]Lviv Polytechnic National University, Yura square Str., 9, Lviv, Ukraine, 79013, e-mail: vitalii.y.stadnik@lpnu.ua

An analysis of the state of natural conditions of the largest coal mining complex in Western Ukraine before the start of mining operations, changes in the geological environment as a result of more than half a century of coal mining, subsidence of the surface above the mined fields, accumulation of coal mining waste and coal enrichment, with their exogenous and pyrometamorphic changes, as well as natural and technogenic transformation of the Chervonohrad (Sheptytsky) mining and industrial region (CHGPR) was carried out. Based on X-ray fluorescence analysis of coal mining waste, assessment of the chemical composition of waters in the Upper Cretaceous horizon of fractured marls, analysis of fluorine inflow into groundwater of ChGPR water intakes, it was established that there are increased contents of geochemically mobile heavy metals such as Manganese, Storzium, Nickel, Rubidium, Chromium, Copper, Zinc, Yttrium and probably other rare earth elements of the yttrium group, Lead and Arsenic, as well as elements such as Lithium, Vanadium, Bismuth, Cobalt, Molybdenum, Cadmium, Mercury, Barium, Uranium, discovered by other researchers.

Acidic sulfate waters from the waste heaps and the enrichment factory dump, which are formed as a result of exogenous oxidation of pyrite, contribute to an increase in the geochemical mobility of trace elements. In addition, acidic infiltrates, entering the geofiltration field, move from man-made objects to the Zakhidnyi Bug, Rata and Solokiya rivers, as well as to groundwater intakes in the Upper Cretaceous horizon of fractured marls. Acidic sulfate waters actively interact with fractured marls of the Upper Cretaceous, are neutralized and cause the extraction of fluoride from the carbonate and clay components of the aquifer with its concentration in groundwater extracted by water intakes. The most unfavorable conditions are inherent in the Sosnivskyi water intake, the water of which in the mid-90s caused hypoplasia and fluorosis in children.

Key words: Chervonohrad (Sheptytsky) mining and industrial district, coal mining waste, X-ray fluorescence analysis, geochemical mobility, acidic infiltrates, heavy metals, Fluoride leaching, groundwater, pollution.

Дата надходження статті: 28.07.2025
Дата прийняття статті: 25.08.2025
Опубліковано: 29.10.2025