

ТЕХНОГЕННІ ПОРУШЕННЯ НАДР КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ. НАСЛІДКИ ТА НАПРЯМКИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Ю.Г. Вілкул, В.Д. Євсехов, М.І. Ступнік, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», Україна

Оцінена роль природних і техногенних факторів, які спричиняють порушення первинного природного стану верхньої частини земної кори, гідросфері, ландшафтосфери Криворізького басейну. Наголошується, що відсутня системна моніторингова інформація про тенденції розвитку геодинамічних процесів та змін, які відбуваються в межах техногенно перетворених ділянок надр і земної поверхні. Розглянуті головні положення програми комплексного дослідження цих ділянок з метою запобігання розвитку негативних природних і техногенних процесів та виникнення катастрофічних явищ.

Криворізький залізорудний басейн є одним з крупних індустріальних центрів України. Його розвиток забезпечують шість тисяч підприємств які відносяться до різних галузей промисловості – гірничодобувної, металургійної, машинобудівної, будівельних матеріалів, хімічної, поліграфічної, деревообробної, легкої, харчової та ін. Внаслідок їх діяльності утворилась потужна Криворізька промислова агломерація, обсяг реалізованої промислової продукції якої протягом останніх років щорічно перевищує 100 млрд. грн. Містоутворювальними галузями є гірничодобувна та металургійна. В Кривбасі розташовані гірничо-металургійний комбінат та вісім з одинадцяти підприємств України з видобутку та переробки залізорудної сировини.

Залізні руди і видобуваються в басейні протягом понад 135 років. За цей час змінились методи ведення гірничодобувних робіт, мінеральні різновиди руд, які вилучаються із надр. Головні гірничодобувні й рудопереробні підприємства Кривбасу були побудовані протягом 1930-70 рр. без урахування екологічних наслідків їх діяльності. Їх технологічні ланцюги не зазнали суттєвих змін, тому закладені в них форми негативного впливу на довкілля збереглись. Додатковим негативом є зношеність основних фондів промислової інфраструктури внаслідок тривалої експлуатації без суттєвого оновлення. Незбалансована експлуатація природних ресурсів стала причиною виникнення ситуації, яка склалась у Кривбасі – інтенсивна експлуатація надр без відповідних природоохоронних заходів.

Активна техногенна діяльність, пов'язана з розробкою корисних копалин відкритим та підземним способами, постійне зростання площі та глибини кар'єрів, об'ємів підземних виробок спричинили порушення понад 35 тис. гектарів земель. На території 585 км² спостерігаються наслідки потужного техногенного навантаження на геологічне середовище, яке спричиняє локальні та регіональні зміни ландшафтів, стійкості гірничих масивів, утворення гідрогеологічних і гідрологічних, метеорологічних аномалій тощо. До головних проявів негативних змін, які спричиняють надмірне техногенне навантаження на довкілля, відносяться:

– кар'єри гірничозбагачувальних комбінатів глибиною до 400 м, загальною площею майже 40 км², при формуванні яких було вилучено з надр і переміщено близько 15 млрд. м³ руд та розкритих гірських порід;

– порожнини шахт загальним об'ємом близько 6 млрд. м³;

– утворені в процесі відпрацювання покладів багатих залізних руд підземні порожнини, які формують зони послаблення міцності масивів гірських порід; внаслідок цього на значній території утворились зони просідання поверхні та провали загальним об'ємом близько 50 млн. м³;

– заповнені відходами збагачення залізних руд хвостосховища загальною площею близько 70 км², обваловані дамбами висотою до 100 м, у яких накопичено понад 4 млрд. т тонко подрібненої гірничої маси;

– ділянки підтоплення ґрунтів (близько 10 тис. га міської території) через закриття та затоплення деяких шахт, перекриття промисловими, інфраструктурними об'єктами природної

міграції вод по водоносних горизонтах і внаслідок цього порушення природного гідрогеологічного режиму масивів кристалічних порід і порід осадового чохла;

– відвали розкривних гірських порід висотою до 120 м і загальною площею понад 75 км², в яких накопичено близько 10 млрд. т розкривних гірських порід – понад 90% техногенних відходів Дніпропетровської обл. та близько 70% техногенних відходів України;

– прояви карстування у верствах вапняків осадового чохла родовищ південної частини Криворізького басейну загальною площею близько 10 км²;

– осуви та зсуви, які формуються на бортах кар'єрів, провальних воронок та інших техногенних об'єктів; загальна площа ділянок, в межах яких вони періодично утворюються – близько 7 км²;

– викиди пливунів на бортах від'ємних техногенних форм рельєфу.

Територія прояву інтенсивних техногенних порушень має субмеридіональне простягання близько 100 км, є практично безперервним чергуванням кар'єрів, шахт, зон зниження стійкості масивів гірських порід, їх зсувів, просідання, провалів, локальних зон підроблення гірничих масивів, ділянок розміщення відвалів розкривних гірських порід, а також хвосто- та шламосховищ.

Посиленню негативного впливу техногенних чинників на стійкість гірничих масивів сприяє складна геологічна будова кристалічного фундаменту Криворізького басейну. Верстви метаморфічних гірських порід у процесі формування Криворізької геологічної структури були зібрані в серію синклінальних і антиклінальних складок різного масштабу. Пізніше консолідовані залізорудна та вміщуючі товщі Кривбасу зазнали впливу тривало діючих субмеридіональних, субширотних та діагональних розривних порушень. Утворилась сучасна складна верстово-блокова структура окремих родовищ і всієї Криворізької структури. Кристалічний фундамент поділений на тектонічні блоки розміром від менше 5 до понад 20 км², обмежені зонами розривних порушень, які являють собою тріщинуваті та дроблені вмісні гірські породи. Це спричиняє різке зниження сили міжблокового зчеплення, зменшення геомеханічної жорсткості та сейсмічної стійкості всієї структури Кривбасу.

Спільний вплив природних і техногенних факторів є причиною утворення перелічених вище різних форм порушення денної поверхні, що знижує рівень комфортності проживання населення, порушує нормальну роботу підприємств, сприяє зростанню імовірності катастроф.

Порожнини на денній поверхні й на різній глибині під нею спричинені відкритим і підземним видобутком залізних руд. За механізмом утворення та рівнем компенсації порожнини поділяються на: 1) не заповнені розкривними породами діючі та відпрацьовані кар'єри; 2) некомпенсовані та частково компенсовані підземні порожнини; 3) провальні лійки.

Небезпеки, пов'язані з діючими та відпрацьованими кар'єрами, обумовлені, головним чином, нестійкістю масивів гірських порід, які формують їх борти. Найчастіше спостерігаються осуви та викиди пливунів. Основними причинами осувів є надмірна крутизна бортів кар'єрів та нагромадження на поверхні поблизу контурів кар'єрів значних об'ємів видобутих з надр розкривних гірських порід, які складаються на пластичних породах осадового чохла. Осуви утворюються також у зонах обрамлення провальних лійок, які сформувались і продовжують формуватись над відпрацьованими підземним способом покладами багатих залізних руд (рис. 1). Фронти осувів нерідко перевищують 1000 м. До їх зон потрапляють промислові та житлові приміщення, об'єкти інфраструктури, техніка. Через несподівані прояви осувів фіксувались випадки загибелі людей. Спричинені осувами значні фінансові, технічні, технологічні втрати, зазвичай, пов'язані з недооцінкою впливу на стійкість гірничих масивів відомих геологічних, петрографічних, гідрогеологічних факторів. Їх урахування сприяє запобіганню катастрофічних наслідків.

Наприкінці ХІХ ст. і на початку ХХ ст. рудні поклади відпрацьовувались до глибини 25-50 м відкритим способом. Зі збільшенням глибини гірничодобувних робіт відпрацювання рудних покладів проводилось неглибокими (50-100 м) шахтами. Утворені внаслідок цього порожнини залишались або заповнювались рихлими розкривними породами, переважно, глинами, суглинками, які схильні до злежування та поступового винесення підземними водами.

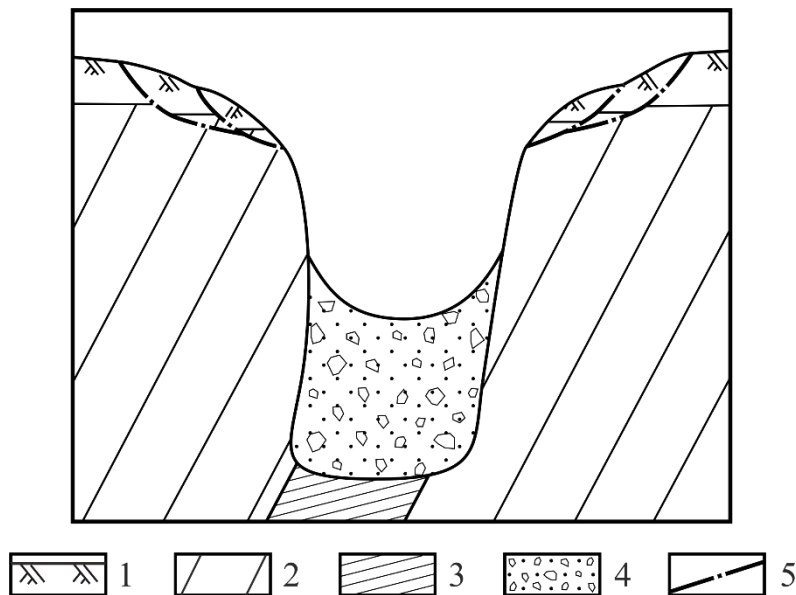


Рис. 1. Схема будови провальної лійки над відпрацьованим підземним способом покладом багатих залізних руд.

1 – рослинно-грунтовий шар і осадові породи кайнозойського віку; 2 – залізисті кварцити; 3 – багаті залізні руди; 4 – осувні гірські породи; 5 – розривні порушення осувів на бортах провальної лійки.

Значно більш складною є задача прогнозування порушень земної поверхні над некомпенсованими або частково компенсованими порожнинами, які утворились внаслідок підземного видобутку залізних руд (рис. 2).

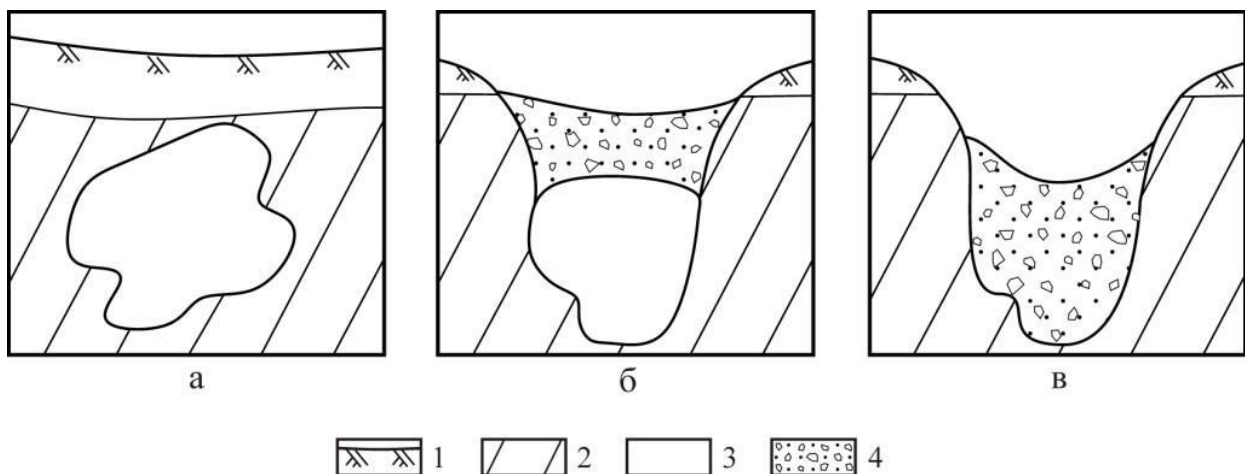


Рис. 2. Будова некомпенсованої (а), частково (б) та повністю компенсованої (в) порожнин, утворених внаслідок підземного відпрацювання рудного покладу.

1 – рослинно-грунтовий шар і осадові породи кайнозойського віку; 2 – залізисті кварцити; 3 – порожнина; 4 – осувні гірські породи.

Некомпенсовані порожнини існують серед міцних оточуючих гірських порід, які утримують тиск перекриваючих товщ (рис. 2 а). Внаслідок підвищеної техногенної тріщинуватості порід, спричиненої буровибуховими роботами при видобутку руд, у покрівлі й обрамленні порожнин активізуються процеси вивітрювання та дезінтеграції порід. Міцність масиву зменшується, зростає імовірність обрушення порід. Наслідком цього може бути заповнення порожнини мінеральною масою – компенсація порожнини (рис. 2 в) або неповна компенсація зі збереженням частини порожнини (рис. 2 б). В останньому випадку порожнина продовжує бути небезпечною. Протягом

десятиріч в межах Кривого Рогу були зафіксовані провали денної поверхні над некомпенсованими та частково компенсованими техногенними порожнинами, в декількох випадках вони набували катастрофічного характеру. Високою є вірогідність їх повторення.

Загальна площа території Кривбасу, підробленої підземними гірничими роботами (діючі, ліквідовані та законсервовані шахти, відпрацьовані кар'єри), складає 3,6 тис. га, у тому числі зон порушення масивів гірських порід (зони осувів, зсувів, просідання поверхні, провальних лійок та ін.) – 1,03 тис. га. Підземні порожнини від видобутку руд розташовані під зонами сучасної щільної забудови, автомобільними дорогами з напруженим рухом, місцями перебування великої кількості людей. Найбільшу небезпеку представляють території ліквідованих шахт (ГПУ, шахти №10, шахти №4-біс, «Червоний партизан», «Північна» ім. В.А.Валявка та ін.), а також інші ділянки, в межах яких розроблялись родовища залізних руд наприкінці XIX в першій половині XX ст. Відомості про їх утворення та сучасний стан недостатні, проектна й експлуатаційна документація по багатьом з них втрачена.

Брак вивченості порожнин суттєво ускладнює ефективне використання міських земель, а руйнування земної поверхні внаслідок раптового виходу провальних лійок на поверхню спричиняє значні негативні соціальні, технічні, економічні, екологічні наслідки.

З утворенням порожнин пов'язаний також ризик активізації природно-техногенних землетрусів. За тектонічними, структурно-геологічними, геофізичними даними, гірничі виробки Криворізького басейну орієнтовані субмеридіонально, що відповідає загальній орієнтації регіональних глибинних (мантійних, корово-мантійних) розломів. Вони поєднують Криворізько-Кременчуцький мантійний розлом із сейсмоактивною зоною румунських Карпат (зона Вранча) та Кримсько-Чорноморською сейсмоактивною зоною. За новітніми сейсмо-геофізичними даними, глобальним фактором їх сейсмічної активності є зустрічний рух Африканської та Євразійської материкових плит. Деформаційні тектонічні процеси циклічно змінюють свою інтенсивність, у поточний час вони знаходяться в стадії активізації.

В разі виникнення природних землетрусів у сейсмоактивних зонах, Криворізько-Кременчуцький розлом може бути своєрідним хвилеводом і викликати в Кривбасі природні землетруси магнітудою до 5 балів, а також провокувати місцеві техногенно спричинені землетруси близької потужності. За попередніми сейсмологічними оцінками, для Кривого Рогу особливу небезпеку становлять ділянки гірничих відводів шахт, закритих протягом першої половини XX століття, під якими проводився видобуток руд на глибині до 300 м. Зараз у межах таких ділянок і в безпосередній близькості до них розташовані численні житлові та промислові зони міста.

Результати попередніх спостережень у межах території Криворізького басейну свідчать про зростання з часом кількості руйнівних явищ – осувів, зсувів, провалів, природних і техногенних землетрусів тощо. Протягом минулого століття в Кривому Розі землетруси силою 3-3,7 бали фіксувались один раз на 8-10 років, за останні ж 10 років зафіксовані вже чотири поштовхи силою 3,2-4 бали (останній – 24 вересня 2016 р.).

Негативні зміни, спричинені техногенними факторами, характерні не тільки для об'єктів літосфери, але й гідросфери Криворізького басейну. В порівнянні з доіндустріальним періодом розвитку регіону відбулись суттєві зміни складу та динаміки підземних і поверхневих вод.

Протягом останніх років щорічно в Кривому Розі використовується 160-170 млн. м³ води, в тому числі 70-75 млн. м³ для господарсько-побутових потреб і 90-95 млн. м³ – для виробничих. Обсяг скиду стічних вод до поверхневих водних об'єктів становить близько 75 млн. м³. Значна частина їх використовується гірничодобувними й збагачувальними підприємствами міста в системах оборотного водопостачання.

Через вплив техногенних чинників у Криворізькому басейні відбувається порушення природного обігу води, головними складовими якого є атмосферні опади, транспортування річкової води по природних (ріки) та штучних (водоводи) каналах, побутові, технічні, технологічні витрати води, міграція природних та техногенно змінених вод по водоносних горизонтах осадових і кристалічних гірських порід, накопичення та зберігання первинної та техногенно зміненої прісної води в штучних водоймах (водосховища, хвостові та шламосховища тощо), випаровування води з відкритих водойм та ін.

Наслідками порушення обігу води в Криворізькому басейні є зміна динаміки руху підземних вод, обводнення верхніх шарів осадового чохла Кривбасу, перетікання та змішування вод різних водоносних горизонтів, накопичення високомінералізованих підземних вод у штучних і природних водних басейнах, осуви масивів гірських порід по обводнених верствах, викиди пливунів, карстоутворення та ін.

Гострою для Криворізького басейну є проблема підтоплення значних ділянок його території, що загрожує безпеці проживання населення, негативно впливає на стан підземних комунальних мереж, житлових і промислових будівель, транспортної мережі. Серед техногенних факторів головне місце у виникненні підтоплення посідають порушення умов стоку поверхневих вод, незадовільний стан природного дренажу та мереж водопостачання й каналізації, високий рівень техногенного навантаження на території, техногенний підйом рівня підземних вод при закритті гірничопромислових підприємств. Техногенні явища періодично загострюються проявами природного підйому ґрунтових вод.

На фоні підвищення рівня ґрунтових вод активізуються осуви, а за наявності в осадовому чохлі верств легко насичуваних водою осадових гірських порід (пісків, супісків, піщанистих суглинків) – викиди пливунів на бортах діючих і відпрацьованих кар'єрів, інших техногенних порушень поверхні. Викиди пливунів часто супроводжуються осувами механічно нестійких осадових порід кайнозойського чохла Кривбасу (рис. 3).

З комбінованим впливом природних і техногенних вод пов'язане формування карстових порожнин, просядок, провалів у південній частині Криворізького басейну. Карстоутворення – природний процес, який повільно відбувається у слабкорозчинних гірських породах (вапняках, мергелях, вапнякових глинах) осадового чохла. Карбонати кальцію та магнію (кальцит, доломіт, арагоніт та ін.), які входять до складу цих порід, при контакті з підземними водами перетворюються на легкорозчинні бікарбонати. Останні потоком підземних вод виносяться з карбонатних верств до місцевих базисів ерозії (долин річок, балок тощо).

В південній частині Кривбасу в межах ділянок, прилеглих до хвостосховищ Південного, Інгулецького гірничозбагачувальних комбінатів та гірничозбагачувального комплексу комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг», карстовий процес протягом останніх 50 років значно активізований через дію двох головних факторів: хімічної агресивності техногенно зміненої води хвостосховищ та підвищеного гідростатичного тиску у водоносних горизонтах осадових порід через суттєве перевищення гіпсометричного рівня дзеркала ставка хвостосховища (рис. 4) над базисом ерозії (рівнем води ріки Інгулець), яке перевищує 100 м. Наслідком прояву карстових процесів у верствах карбонатних і карбонат-вмісних порід осадового чохла родовищ південної частини Криворізького басейну та прилеглих територій загальною площею близько 10 км² є поширення площі утворення просядок і провалів у межах населених пунктів, промислових об'єктів, сільськогосподарських угідь.

Проблемними залишаються питання накопичення, зберігання, утилізації шахтних і кар'єрних вод. Для них характерний різний рівень вмісту солей – від менше 1 до 96 г/л, середній показник близько 30 г/л. Надзвичайно актуальним є розділення цих вод на прісні, які можуть бути використані в багатьох напрямках, та солоні, які слід концентрувати й скидати або використовувати. Солоні води характеризуються високим вмістом хлорид-, сульфат-, натрій-, калій-, магній- та кальцій-іонів, вміст яких суттєво перевищує гранично допустимі концентрації для вод поверхневих водних басейнів. Через порушення гідроізоляції останніх – техногенно змінені солоні води надходять до водоносних горизонтів, змінюють склад ґрунтових вод, викликають засолення орних земель. Запропоновані методи утилізації та евакуації солоних вод залишаються недостатньо науково, технологічно, технічно, фінансово, екологічно обґрунтованими, що заважає обрати найбільш ефективний з них і розробити заходи, спрямовані на його реалізацію.

Природа, особливості розвитку та прогнозування порушень об'єктів земної кори та гідросфери на території Криворізького басейну з використанням сучасних методів і наукового обладнання досліджені недостатньо. Несистемними, фрагментарними є результати визначення механічної та сейсмічної стійкості гірничих масивів різних ділянок міста Кривого Рогу та прилеглих територій. Відсутня надійна моніторингова інформація про стан

техногенних порожнин, ділянок обводнення ґрунтів і гірських порід, зон потенційних осувів, карстоутворення тощо. Недостатньо вивчені тенденції розвитку геодинамічних процесів та змін, які відбуваються в межах техногенно перетворених ділянок надр і земної поверхні.

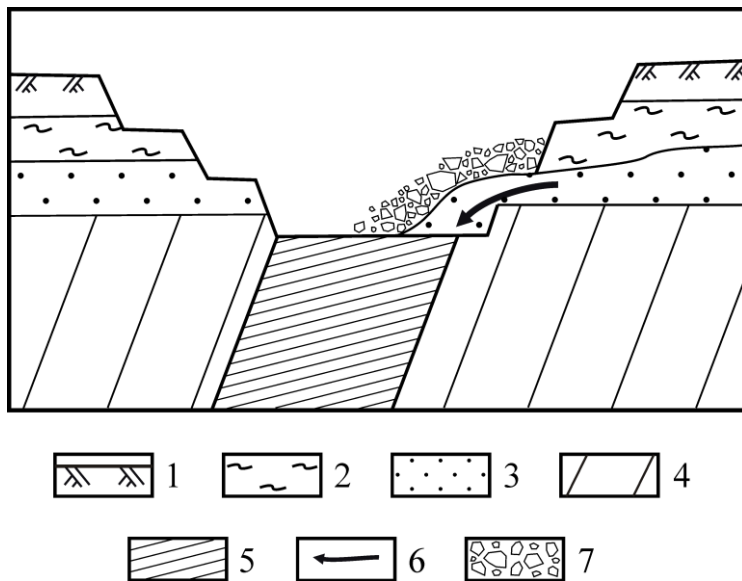


Рис. 3. Викид пливуну з водонасиченої верстви піску в осадовому чохлі залізородного родовища, яке розробляється відкритим способом.

1 – рослинно-ґрунтовий шар; 2 – глини; 3 – піски; 4 – залісті кварцити; 5 – залізнi руди; 6 – напрям руху пливуну; 7 – уламкова покрівля пливуну.

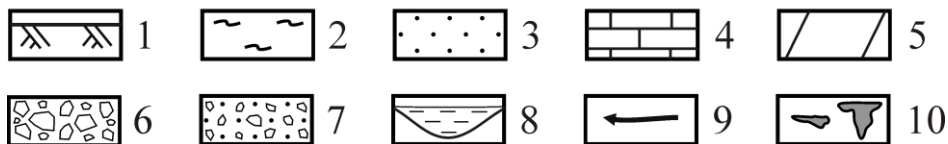
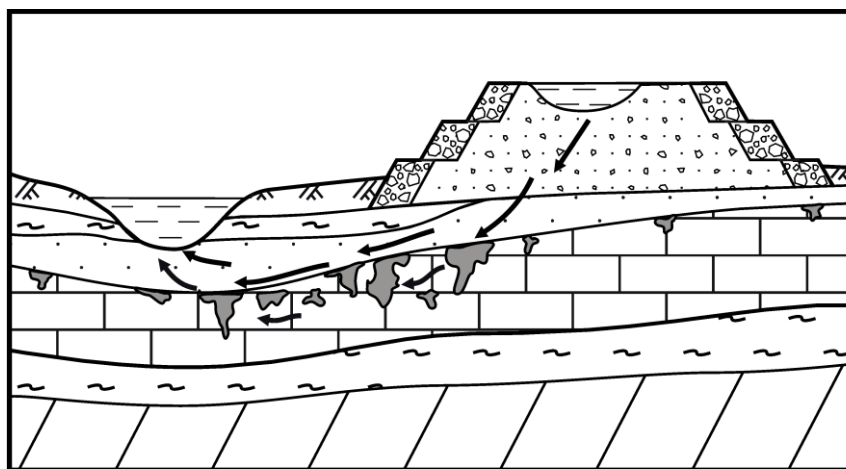


Рис. 4. Схема формування карстових порожнин у верстві кайнозойських вапняків під впливом мінералізованих вод хвостосховищ Південного промислового вузла Криворізького басейну.

1 – рослинно-ґрунтовий шар; 2 – глини; 3 – піски; 4 – вапняки; 5 – залісті кварцити; 6 – скельні розкривні породи дамби хвостосховища; 7 – лежалі відходи збагачення у хвостосховищі; 8 – вода техногенного ставку хвостосховища та ріки Інгулець; 9 – напрям руху води з хвостосховища; 10 – карстові порожнини.

В поточний час розробляється програма комплексного дослідження цих ділянок, головними складовими якої є:

- виконання комплексу науково-дослідних геологічних, геоморфологічних, геофізичних, геодезичних, екологічних та супровідних досліджень для виявлення факторів порушення природного стану верхньої частини земної кори, гідросфери, ландшафтосфери;
- встановлення природних факторів поширення та активності прояву техногенних змін надр і доквілля – залежність їх розташування від положення глибинних розломів і опіряючих їх розривних порушень; локалізації відпрацьованих і залишених у надрах покладів багатих залізних руд; складу, фізичних, технічних характеристик та будови масивів гірських порід; складу та динаміки потоків підземних вод; розташування, розмірів та складу нагромаджених на поверхні відходів гірничого, збагачувального, металургійного виробництва;
- виявлення некомпенсованих, частково і повністю компенсованих техногенних підземних порожнин, карстових утворень, ділянок прояву осувів, змін динаміки підземних водних потоків, зон геодинамічної активізації гірничих масивів тощо;
- розробка класифікації ділянок техногенно порушеного природного стану геосфер та ранжування їх за ступенем вивченості й рівнем небезпечності; складання їх комплексних геологічних, гідрогеологічних, гірничо-технічних характеристик;
- складання карт розташування ділянок існуючої й потенційної природно-техногенної небезпеки у межах промислових і селітебних територій міста, зон підвищеного ризику для проживання населення та виробничої діяльності;
- виконання для потенційно небезпечних ділянок комплексних досліджень з метою уточнення існуючих даних про стан гірничих масивів і гідросфери;
- створення системи комплексного геолого-екологічного моніторингу території Криворізького басейну, яка б використовувалась для отримання оперативних даних про можливість виникнення та визначення шляхів реагування на небезпечні природно-техногенні процеси;
- розробка комплексу заходів, спрямованих на запобігання посиленню негативних природних і техногенних процесів та виникнення катастрофічних явищ.

Список літератури

1. Белевцев Я. Н., Тохтуев Г. В., Стрыгин А. И. и др. Геология криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1962.– Т. 1 – 484 с., т. 2 – 567 с.
2. Белевцев Я. Н., Вайло А. В., Ветренников В. В. и др. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Структуры месторождений и рудных районов // Киев: Наукова думка, 1989.– 156 с.
3. Вілкул Ю. Г. Ступнік М. І. Дослідження механізмів проривів обводнених глинистих порід у підземні гірничі виробки і розробка технологічних заходів щодо їх запобігання // Вісник Криворізького національного університету.– 2011.– №28.– С. 3-11.
4. Каляев Г. И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции // Киев: Наукова думка, 1965.– 190 с.
5. Куліковська О. Є. Дослідження процесу зсуву поверхні і стану об'єктів при підземній розробці родовища ПАТ «Євраз Суха Балка» // Вісник Криворізького національного університету.– 2012.– №30.– С. 50-54.
6. Романенко А. В., Романенко А. А., Болотников А. В. Разработка методики прогнозирования устойчивости открытых горных выработок с учетом их деформации // Разработка рудных месторождений.– 2011.– №94.– С. 64-67.
7. Семененко Н. П., Половко Н. И., Грицков Я. М. и др. Геология железисто-кремнистых формаций Украины // Киев: Изд. АН УССР, 1959.– 688 с.
8. Сидоренко В. Д., Куліковська О. Є., Паранько І. С. Концепція створенні і розвитку інфраструктури геоінформаційного простору гірничодобувних регіонів // Вісник Криворізького національного університету.– 2010.– №25.– С. 3-9.
9. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Пасічна Д. Ю. та ін. Процес управління територіальним розвитком міста // Вісник Криворізького національного університету.– 2012.– №30.– С. 50-54.
10. Четверик М. С., Бубнова Е. А. Формирование техногенной геологической среды и ее взаимосвязь с природой // Вісник Криворізького національного університету.– 2010.– №25.– С. 83-87.