

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.482-497

УДК 528.4:622

д.т.н., професор **Куліковська О.Є.**,
kulikovskaja13@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2168-1445,
д.е.н., професор **Ступень Р.М.**,
romomas@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4951-2838
к.е.н., доцент **Колодій П.П.**,
pavlokolodiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9847-9520
Львівський національний університет природокористування

КАРТОГРАФО-АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ПРОВАЛЬНОГО РЕЛЬЄФУ У КРУПНОМУ ГІРНИЧОДОБУВНОМУ РЕГІОНІ

Акцентована увага на території Криворізького басейна, котрий являє собою потенційну зону, в межах якої активізовано всіма чинниками виникнення надзвичайних ситуацій техногенно-природного характеру, пов'язаних із суттєвими змінами природного стану геологічного середовища. На основі аналізу геологічної та маркшейдерсько-геодезичної документації проведено вивчення тектонічних умов формування провальних процесів, створено картографо-аналітичну модель, встановлено їх приуроченість до зон тектонічної активності.

Ключові слова: гірничодобувний регіон; Криворізький басейн; техногенний ландшафт; геологічне середовище; надзвичайна ситуація; картографо-аналітична модель.

Проблема і її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Утворення техногенного ландшафту в результаті розміщення кар'єрів, відвалів пустих порід, ставків-накопичувачів, шламосховищ, порушення гідродинамічного режиму підземних вод, забруднення поверхневих вод, атмосферного повітря, ґрунтів разом із особливостями геологічної будови Криворіжжя сприяють активізації розвитку провалів, зсувів, техногенного карсту, підтопленню територій, зниженню ступеня сейсмостійкості регіону, формуванню техногенних геохімічних аномалій у ґрунтах тощо. Сьогодні територія Криворізького басейну являє собою потенційну зону, в межах якої активізовано всіма чинниками виникнення надзвичайних ситуацій техногенно-природного характеру, пов'язаних з суттєвими змінами природного стану геологічного середовища. Отже, вивчення неотектонічних рухів має велике значення при експлуатації існуючих і проектуванні нових гідроспоруд (дамб,

гребель, шламосховищ, ставків-накопичувачів), великих промислових об'єктів (атомних і гідроелектростанцій, заводів, збагачувальних фабрик тощо), житлових масивів, автодоріг, залізниць, трубопроводів тощо, так як зони тектонічних порушень, які розділяють блоки гірських порід, з позиції екологічної геології, належать до потенційних зон екологічного ризику та зон виникнення надзвичайних ситуацій.

Мета дослідження полягає в розробці картографо-аналітичної моделі формування провального рельєфу у крупному гірничодобувному регіоні для попередження надзвичайних ситуацій в умовах техногенного ураження геологічного середовища.

Аналіз останніх публікацій. Вагомий внесок у розв'язання поставлених проблем вивчення природних, техногенних і технологічних процесів внесли провідні українські вчені: О.М. Адаменко [1], Ю.Г. Вілкул [3], І.Д. Андрієвський [8, 17], І.С. Паранько [13], Г.І. Рудько [15] та інші. Треба окремо виділити роботи, які присвячено проблемі зміщення гірських порід і земної поверхні науковців: Ю.М. Гавриленка [4-7], С.Б. Кулібаби [9], С.Г. Могильного [6], В.О. Назаренка [7], М.С. Четверика [19]. Значний внесок у науку про зміщення на рудних родовищах і, зокрема, безпосередньо в умовах Криворізького басейна внесли дослідники І.М. Багрій [2], О.Є. Куліковська [10], Несмашний [11], Ю.М. Ніколашин [12], А.В. Плотников [14], В.Д. Сидоренко [10], А.Ф. Смирнов [16], П.Й. Федоренко [18] та ін.

Виклад матеріалу і результати. Розробка залізрудних родовищ із залученням вибухових і вібро-відбійних технологій призводить до поновлення природної тріщинуватості й формування техногенної. Сьогодні масиви гірських порід регіону, на яких споруджені промислові та житлові комплекси – це у високій ступені розущільнені в фізико-механічному відношенні ділянки верхньої частини земної кори. Внаслідок розломної тектоніки докембрійські породи, які є своєрідним «фундаментом» для регіону розбиті на низку різновеликих (від 5-7 до 10-20 км²) блоків, відокремлених один від одного зонами відкритої тріщинуватості, що позбавляє їх жорсткого зчеплення та суттєво знижує ступінь сейсмостійкості в регіоні. Виникають потенційні передумови вертикальних і горизонтальних переміщень. Згідно з результатами сучасних геолого-геодезичних досліджень район Криворізького залізрудного басейну характеризується підвищеною сучасною тектонічною активністю.

Зона Криворізько-Кременчуцького розлому, яка розділяє мегаблоки, достатньо чітко відокремлюється градієнтом горизонтальної розчленованості та швидкостей вертикальних рухів земної поверхні. Характер розподілу швидкостей рухів земної поверхні в межах Криворізької структури свідчить про підвищену мобільність ділянок у зонах розривів, де відбуваються

накопичення і розрядка напруженого стану масиву, яка призводить до горизонтальних переміщень і підняття або опускання блоків.

Зазначене вище знайшло своє відображення в сучасному рельєфі Криворіжжя, де переважають техногенні форми, походження яких пов'язано як зі зміною фізико-механічних властивостей масивів гірських порід і формуванням зон підвищеної тріщинуватості, так і з активізацією вертикальних коливних рухів земної кори. До таких форм рельєфу, які несуть безпосередню загрозу виникнення надзвичайних ситуацій належать, перш за все, зони обрушення земної поверхні з формуванням провальних воронок, тріщини відриву в масивах гірських порід і, як наслідок, утворення зсувів.

Під час підземної розробки рудного покладу утворюється вироблений простір, який змінює напружений стан масиву вміщуючих порід. При досягненні виробленим простором критичних розмірів порушується стійкість цих порід, і вони приходять в рух, при цьому утворюючи нові тектонічні порушення. Процес зсуву гірських порід і земної поверхні приводить до появи руйнівних деформацій в гірничих виробках, будівлях і спорудах, а також до проникнення води в гірничі виробки з водних об'єктів, що підробляються.

Як видно з рис. 1, а під час проведення буро-вибухових робіт утворюються розривні порушення які мають субмеридіональне простягання та азимут падіння 90° . Таке розташування розривних порушень та порожнин призводить до переміщення окремих блоків породи по вертикалі, причому, у першу чергу, переміщуються блоки, в нижній частині яких спостерігається досить великі об'єми порожнин. Завдяки цьому на поверхні утворюються провалля, які характеризуються ізометричною формою та досить великими амплітудами переміщення до 100 м, ширина тріщин, які утворюються в наслідок переміщення, складає від 1 м до 2 м (рис. 1, б) Така ширина тріщин зберігається до нижніх горизонтів шахт, свідоцтвом цього є наявність червонобурих глин на горизонтах 1200 м -1500 м. Потрапляння глин на таку глибину можливе тільки при наявності потужних зон тріщинуватості.

На основі аналізу геологічної документації проведено вивчення тектонічних умов формування провальних процесів, створено картографо-аналітичну модель. В результаті обстеження провалів встановлено їх приуроченість до зон тектонічної активності. В межах гірничих відводів шахт спостерігається дві основні системи тріщин. Перша найбільш активна представлена зоною насувів субмеридіанального простягання. Друга зона простягається з північного заходу на південний схід та ускладнена дрібними розломами. Тектонічну ситуацію в межах Криворізького району ускладнює наявність у розрізі різних за фізико-механічними властивостями порід (сланці, залістисті кварцити, тальки).

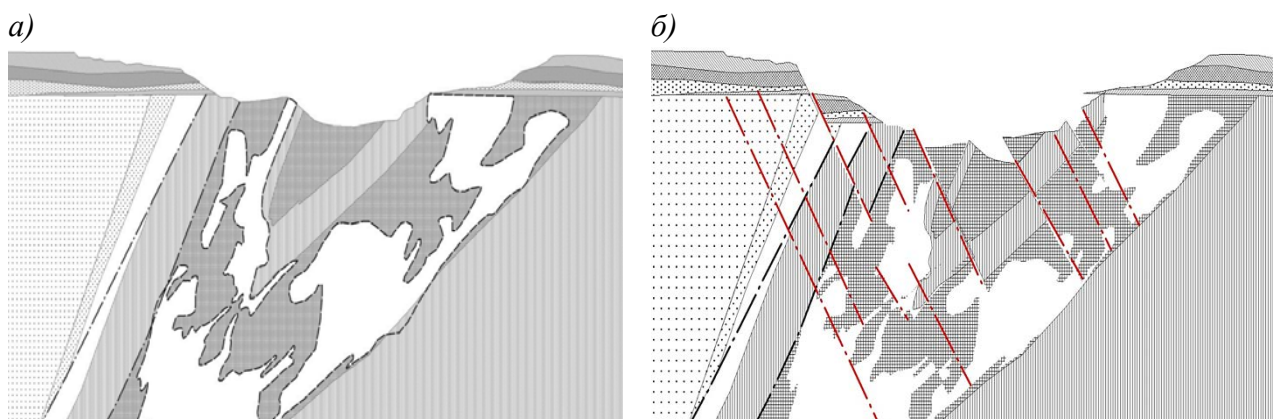


Рис. 1. Загальна геологічна модель формування провального рельєфу на території гірничого відводу шахти ArcelorMittal Кривий Ріг (раніше ш. ім. Кірова): а) – схематичний геологічний розріз гірничого відводу; б) гірничий відвід шахти з тектонічними порушеннями

Підземна розробка горизонтів залізистих руд у межах гірничих відводів шахт здійснюється на глибинах до 1200 - 1500 м. У результаті утворення підземних порожнин значних сумарних об'ємів відбувається активізація процесів зсунення гірських порід над відпрацьованим простором й утворення зон провальних форм техногенного рельєфу (рис. 2 - 4). На ділянці підвищеного ризику неконтрольоване самопровалення виникає за рахунок проведення буровибухових робіт.

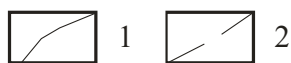
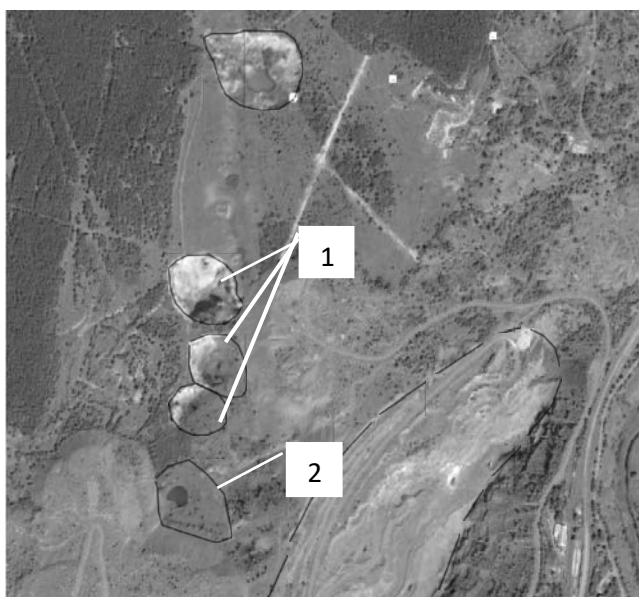


Рис. 2. Поширення провалів в межах гірничого відводу шахти: 1 – зони утворення провалів; 2 – діючий кар'єр



Рис. 3. Провалля у північній частині гірничого відводу шахти ім. С. М. Кірова

За даними Криворізької ГРЕ, загальна площа зон зрушення гірських порід над відпрацьованим простором становить понад 42% від загальної площі гірничого відводу діючих шахт.

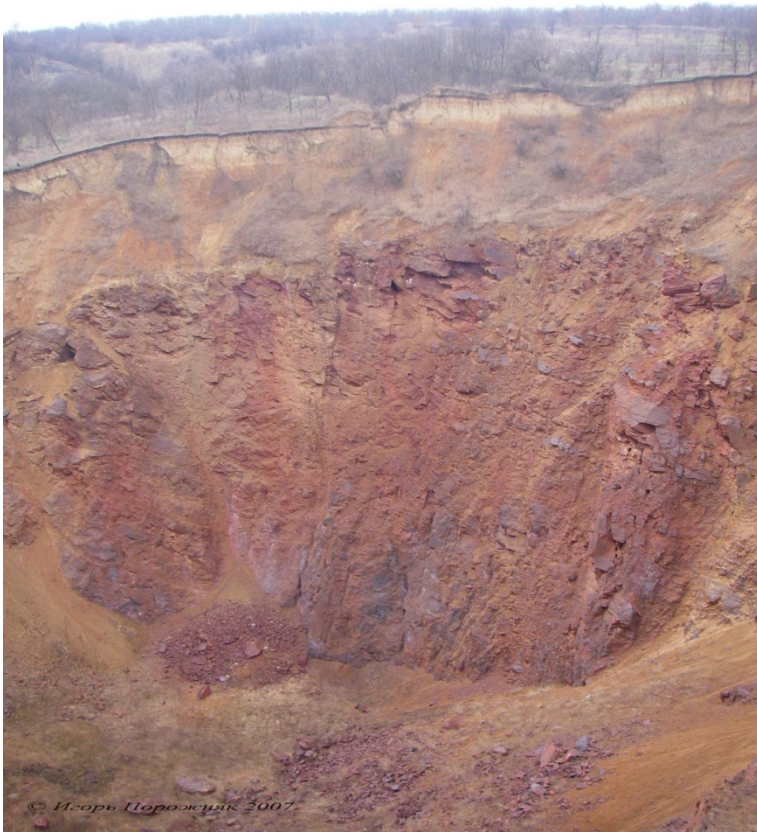


Рис. 4. Провалля у центральній частині гірничого відводу шахти

Провальні зони тяжіють до ділянок розвитку тектонічних зон (рис. 4). Породи, якими складені ці зони, за своїми структурно-текстурними особливостями, механічними параметрами і гідрогеологічними ознаками, також впливають на активізацію провальних і зсувних процесів.

Підвищенню ступеня активізації цих явищ сприяє інженерно-геологічна діяльність людини. На півдні відводу частина провалів засипана відходами, що збільшує тиск на гірські породи та активізує процес їх руйнування.

На території гірничого відводу постійно проводяться вибухові роботи як на поверхні, так і під землею, що приводить до підвищення сейсмічної активності, розкриття древніх тектонічних зон, формування нових і, ймовірно, виникнення технотектонічних рухів.

Форма прояву, характер розвитку і параметри процесу зсуву гірничих порід і земної поверхні залежать від наступних чинників: форми і розмірів виробленого простору; розвитку розривних порушень; глибини залягання верхнього контуру виробленого простору; кута падіння покладу і вміщуючих порід; структурних особливостей масиву; обводнення гірських порід. Залежно від поєднання чинників, які впливають на процес зсуву гірських порід, може локалізуватися в масиві або досягти земної поверхні і виявитися у формі воронки, провалу, терас, тріщин, плавних зсувів і їх різних поєднань. Частина масиву, що піддається зсуву, під впливом підземної розробки покладу, і де деформації перевищують критичні значення, називається областю зсуву гірських порід.

Ділянка земної поверхні, що піддається зсуву, під впливом підземної розробки покладу і де деформації перевищують критичні значення, називається зоною зсуву земної поверхні. За областю зсуву гірських порід і зоною зсуву

земної поверхні можуть мати місце плавні зсуви (мікрозсуви з осіданнями до 100 мм), але деформації не можуть досягати критичних значень. Критичними називаються гранично допустимі, безпечні деформації гірських порід і земної поверхні, встановлені для найвідповідальніших споруд: розтягування 2 мм/м; нахил 4 мм/м; кривизна 0,2 мм/м. Ці ж значення деформації прийняті для визначення кутів зсуву і положення ліній зсуву в масиві за наслідками інструментальних спостережень.

Інструментальні спостереження за розвитком процесу зрушення гірських порід земної поверхні в гірничих відводах шахт виконуються на існуючій станції спостереження, що складається з профільних ліній, закладених у висячому боці покладів. В лежачому боці покладів профільні лінії відсутні, тому що границя зони зрушення збігається із границею зони обвалення, що чітко простежується на земній поверхні. Станція спостережень складається із ґрунтових реперів, які являють собою металеві стрижні діаметром 25 – 30 мм і довжиною 1500 - 1800 мм. Репери повністю розташовані в землі на відстані один від одного 10 – 55 м. Натурні інструментальні спостереження виконувалися електронним тахеометром ELTA R55. Аналіз результатів інструментальних спостережень показав, що положення границь зони зрушення в лежачому боці покладу не змінився в порівнянні з минулим роком. У висячому боці покладу по профільних лініях швидкість зміни границі зони зрушення знаходиться в інтервалі $\vartheta = 0,0 - 1,2$ мм/міс. Продовження проведення видобувних робіт сприяє подальшому розвитку процесу утворення розривних порушень; зрушення земної поверхні, що потребує постійного моніторингу земної поверхні. Такі спостереження повинні проводитися щорічно.

Результати спостереження за процесом зрушення гірських порід і земної поверхні на шахтах дозволяють виділити три зони: зону мульди, зону зрушення та провальні зони.

Зона мульди – це незначні зміни рельєфу з розривом суцільності до 1 - 3 м. Ця площа знаходиться на стадії підготовки деформації, під час якої утворення провалів не відбувається, але ряд чинників (або один чинник) приводять територію в нестійкий стан. Головним чинником є утворення нових тектонічних порушень в кристалічних породах, які мають простягання з півдня на північ. Для цієї зони характерно утворення в осадовому чохлі плавних зсувів (рис. 5), які контролюють розривні порушення кристалічних порід і мають однакове простягання. Причиною активації процесу є порушення стійкості окремих блоків у кристалічному фундаменті (рис. 6).



Рис. 5. Плавні зсуви зони мульди

При порушенні зчеплення порід в одному місті утворюється центр деформації і виникають фактори її самостійного розвитку. Поступово виникають тераси у поєднанні з плавними зсувами, які мають штовхаючий (детрузивний) вид зрушення. Такі прояви характерні для зони зрушення.

У такий спосіб тераси переходять у провали (рис. 7).

Швидкість розвитку деформації виростає із збільшенням інтенсивності впливу гірничо-видобувних робіт на геологічне середовище.



Рис. 6. Тераси у поєднанні з плавними зсувами у верхній частині зсуву



Рис. 7. Тераси зони зрушення

Провальні зони характеризуються деплясивними (сковзаючими) зрушеннями з утворенням воронки, провалів у поєднанні з терасами, тріщинами, плавними зсувами (рис. 8 - рис. 12). Причиною даних явищ є порушення стійкості у нижній частині схилу. Сила, що викликає зрушення штучна й природна. Штучна – це поштовхи, струси при веденні вибухових робіт на глибині. Природна, котра допомагає формувати контури зони зрушення – це зона розвитку тектонічних порушень. По цих ослаблених зонах і

відбувається скосування порід у лійках обвалення. Таким чином формується будова схилів і всієї зони обвалення порід.



Рис. 8. Перехід терас у провали



Рис. 9. Провали ізометричної форми

Цей процес проходить досить швидко та на досить великі глибини. Воронки, які формуються, сягають у діаметрі 300 - 500 м та за глибиною – від десятків метрів до кількох сотень метрів. При цьому, маси породи, які зміщуються, утворюють землетруси до 4 - 5 балів.

Воронки мають ізометричну або клиноподібну форму. Ізометричні характеризуються майже вертикальними стінками, достатньо великою глибиною та відсутністю терас і плавних зсувів (рис. 10). Основним чинником утворення провалів такої форми, є порожнини, які утворилися внаслідок розробки родовищ.



Рис. 10. Провали ізометричної форми

Клиноподібні воронки утворюються за рахунок розривних порушень, які мають простягання північно-західне з азимутом $16 - 28^{\circ}$ і південно-західне з азимутом $112 - 120^{\circ}$, що співпадає з поперечно-діагональними розломами.

Прикладом таких провалів може слугувати центральна частина зони провалів поверхні ш. «Козацька» (раніше ш. Гвардійська), які характеризуються воронками ізометричної форми (рис. 11).

Її південно-східна частина має рівний контур, котрий проходить паралельно простяганню порід. Північно-західна частина представлена чотирма воронками клиноподібної форми. У північному напрямку мають інтенсивний розвиток воронки клиноподібної форми, що характеризує процес утворення розривних порушень у кристалічних породах.



Рис. 11. Провалля клиноподібної форми на території гірничого відводу ш. «Козацька»

Утворення провалів поділяється на закономірне та випадкове. Закономірні провали, це провали на появлення і активізація яких йдуть заплановано, так як їхня поява та розвиток є невід'ємною частиною гірничо-видобувного процесу. Випадкові провали утворюються внаслідок виникнення непередбачених факторів, які активують процес зрушення.

На території гірничого відводу ш. «Козацька» знаходяться, головним чином, закономірні зрушення. Однак аналізуючи поверхню землі гірничого відводу, а особливо зону утворення провалів, можна стверджувати, що клиноподібні провали мають випадковий характер.

Вивчення тектонічних умов формування провальних зон дозволили створити картографо-аналітичну модель формування сучасних тектонічних рухів (рис. 12).

Як видно з моделі, інтенсивний розвиток розривних порушень у північному напрямку, приводить до утворення і інтенсивного розвитку провалів клиновидного типу. Процес зміщує у цьому напрямку границю зони зрушення та активує хід утворення терас і плавних зсувів.

Враховуючи випадковий характер утворення провалів і напрямок під загрозою руйнації знаходиться селище Роза.

Процес вивчення розвитку у цьому напрямку маркшейдерськими службами ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» не проводиться. Реперні профілі, як показано на рис. 12, встановлені у центральній та південній частині гірничого відводу. Контроль вертикальних рухів проводиться паралельно розривним порушенням, а не на окремих блоках.



Рис. 12. Картографо-аналітична модель формування провального рельєфу

Виходячи з вищеприведеного, можна зробити висновок про те, що детальне вивчення зон розвитку тектонічних порушень допоможе надалі більш точно прогнозувати площі зсуву й контури зрушення порід у зоні обвалення, встановлювати маркшейдерські знаки в потрібних місцях та контролювати закономірні та випадкові утворення провальних зон.

Припускаємо, що за аналогічною схемою відбулося протягом 2010 р. формування провалів у районі шахти ім. Орджонікідзе (рис. 13), а також центрального ринку м. Кривого Рогу. Разом із утворенням провальної воронки площею до 18 га і глибиною понад 80 м поза межами провалля сформувались тріщини відриву в породах осадового чохла (рис. 14), що вже є потенційною загрозою виникнення зсувів.



Рис. 13. Загальний вигляд обрушення земної поверхні в районі шахти ім. Орджонікідзе



Рис. 14. Тріщини відриву в породах осадового чохла

Суттєвих змін зазнали і схили балок у районі обрушення, на яких активно почали розвиватись терасоподібні форми (рис. 15а, б, в та г), що також є передумовою розвитку зсувних явищ.



Рис. 15а.



Рис. 15б.



Рис. 15в та 15г. Терасоподібні форми рельєфу

Висновки. Наведені фотоматеріали навіть без коментаря свідчать про суттєвий вплив зміни фізико-механічних і тектонічних властивостей геологічного середовища на формування техногенних елементів рельєфу земної поверхні, а також про потенційну небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій, зумовлених техногенними змінами геоморфологічних компонентів геологічного середовища. Для попередження надзвичайних ситуацій та визначення територій потенційного ризику їх виникнення рекомендується вирішення наступних задач: продовження дослідження стану розломно-блокової тектоніки Кривбасу та створення відповідної карти; встановлення просторового зв'язку гірничих споруд (кар'єрів, шахт, відвалів, хвостосховищ) та інфраструктури промислових комплексів і населених пунктів з розломно-блоковою тектонікою; аналіз впливу гідроспоруд на гідрологічний і гідрогеологічний режим поверхневих і підземних вод регіону; встановлення характеру вертикальних і горизонтальних зміщень масивів гірських порід внаслідок проведення гірничодобувних робіт; виявлення техногенних водоносних горизонтів і встановлення причин їх формування та наслідків функціонування. Досягнення результативності вищезазначених задач дозволить розробити критерії попередження надзвичайних ситуацій через встановлення ступеня ураженості геологічного середовища та розробити заходи, спрямовані на мінімізацію негативного впливу гірничодобувної промисловості на геологічне середовище, будуть мати соціальний ефект.

Список літератури

1. Адаменко О., Рудько Г. Екологічна геологія. Київ: Манускрипт, 1998. 340 с.

2. Багрій І., Білоус А., Вілкул Ю. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська. Київ: Фенікс, 2000. 145 с.
3. Вілкул Ю. Проблемы и перспективы развития железорудного Кривбасса. *Разработка рудных месторождений*. 2002. № 80. С. 18–22.
4. Гавриленко Ю. Изучение сдвижений и деформаций земной поверхности в сложных горно-геологических условиях Донбасса. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2003. № 62. С. 34–47.
5. Гавриленко Ю. Исследования факторов, влияющих на деформацию земной поверхности при подработке разрывных нарушений пологими пластами. *Горно-металлургические проблемы Донбасса*. 1995. № 76. С. 91–100.
6. Гавриленко Ю., Могільний С., Креніда Ю. Проблеми сучасної маркшейдерії і тенденції її розвитку. *Вісник геодезії та картографії*. 2001. № 3(22). С. 29–34.
7. Гавриленко Ю., Назаренко Н. Геометрические параметры динамической мульды сдвижения в западном Донбассе. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2002. № 54. С. 126–131.
8. Державне регулювання користування надрами / І. Андрієвський та ін. Київ: УкрДГРІ, 2010. 504 с.
9. Кулібаба С., Рожко М. Розподіл осідань земної поверхні у мульді зрушення. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2008. № 3. С. 141–152.
10. Куліковська О., Сидоренко В., Паранько І. До методики виявлення потенційних зон екологічного ризику в геологічному середовищі зі складною розломно-блоковою тектонікою. *Наукові праці ДонНТУ*. 2010. № 12(173). С. 244–253.
11. Несмашный Е., Ткаченко Г., Болотников А. Обзор технологий и технических средств для геомеханического мониторинга состояния бортов карьеров и отвалов. *Разработка рудных месторождений*. 2010. № 93. С. 89–94.
12. Николашин Ю., Корчагин Н., Палий Д. Применение имитационного моделирования поверхностей скольжения в откосах для интерпретации инструментальных наблюдений за оползневymi деформациями отвалов. *Вісник Криворізького технічного університету*. 2009. № 23. С. 21–24.
13. Паранько І., Смирнова Г., Іванова О. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій. *Геолого-мінералогічний вісник*. 2005. № 1. С. 5–9.
14. Плотников А. Тектоническое строение и развитие Криворожского рудного района как зоны глубинного разлома. *Геотектоника*. 1994. № 2. С. 33–48.
15. Рудько Г.І. Ресурси геологічного середовища і екологічна безпека техноприродних геосистем. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2006. 480 с.
16. Смирнов А., Зорин В. К вопросу о воронках в Кривбассе. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1989. № 1. С. 46–48.

17. Стратегічні напрямки розвитку системи державного управління в сфері вивчення і використання надр / І. Андрієвський та ін. *Стратегічна панорама*. 2004. № 2. С. 189–197.
18. Федоренко П. Маркшейдерська справа. Кривий Ріг: Мінерал, 2009. 325 с.
19. Четверик М. Сдвигение земной поверхности и подработанного массива и их взаимосвязь с фильтрационными процессами. *Геотехническая механика*. 1998. № 10. С. 183–187.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Kulikovska O.Ye.**,
Doctor of Economics, Professor **Stupen R.M.**,
PhD in Economics, Associate Professor **Kolodiy P.P.**,
Lviv National Environmental University

CARTOGRAPHIC AND ANALYTICAL MODEL OF THE FORMATION OF THE FAILED RELIEF IN A LARGE MINING REGION

The article focuses on the territory of the Kryvyi Rih basin, which is a potential zone where all factors of anthropogenic and natural emergencies associated with significant changes in the natural state of the geological environment are activated. It is proved that the formation of anthropogenic landscape as a result of the creation of quarries, waste dumps, reservoirs, sludge pits, violation of the hydrodynamic regime of groundwater, pollution of surface water, air and soil, together with the peculiarities of the geological structure of Kryvyi Rih, contribute to the intensification of the development of sinkholes, landslides and anthropogenic karst.

The study of the tectonic conditions for the formation of sinkholes allowed us to create a cartographic and analytical model of the formation of modern tectonic movements in a large mining region to prevent emergencies. It is concluded that the intensive development of discontinuous faults in the northern direction leads to the formation and intensive development of wedge-shaped sinkholes. The process shifts the boundary of the fault zone in this direction and activates the formation of terraces and smooth landslides.

A detailed study of tectonic fault development zones will help to better predict landslide areas and rock displacement contours in the collapse zone, to install survey signs in the necessary towns, and to control the natural and accidental formation of sinkholes.

The above photographs, even without commentary, indicate a significant impact of changes in the physical, mechanical and tectonic properties of the geological environment on the formation of anthropogenic elements of the earth's surface relief, as well as the potential danger of emergencies caused by anthropogenic changes in the geomorphological components of the geological environment. In order

to prevent emergencies and identify areas with a potential risk of their occurrence, it is recommended to solve the following tasks to continue the research on the state of the fault block tectonics in the Kryvbas and to prepare the corresponding map; to determine the spatial relationship of the mining facilities (quarries, mines, dumps, tailings) and the infrastructure of industrial complexes and settlements with the fault block tectonics; to analyse the impact of the hydraulic structures on the hydrological and hydrogeological regime of the surface and ground water in the region; To determine the nature of the geological environment. The achievement of the above tasks will allow the development of criteria for the prevention of emergencies by determining the degree of damage to the geological environment and the development of measures aimed at minimizing the negative impact of mining on the geological environment.

Keywords: mining region; Kryvyi Rih basin; anthropogenic landscape; geological environment; emergency; cartographic and analytical model.

REFERENCES

1. Adamenko O., Rudko H. *Ekolohichna heolohiia*. Kyiv: Manuskrypt, 1998. 340 s. {In Ukrainian}
2. Bahrii I., Bilous A., Vilkul Yu. *Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartohrafuvannia faktoriv tekhnogenoho vplyvu na pryrodne seredovyshe mist Kryvoho Rohu ta Dniprodzerzhynska*. Kyiv: Feniks, 2000. 145 s. {In Ukrainian}
3. Vylkul Yu. *Problemy u perspektyvy razvytyia zhelezorudnoho Kryvbassa. Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy*. 2002. № 80. S. 18–22. {In Russian}
4. Havrylenko Yu. *Yzuchenye sdvyzheniy u deformatsiyi zemnoi poverkhnosti v slozhnykh hornno-heolohicheskikh usloviakh Donbassa. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. 2003. № 62. S. 34–47. {In Russian}
5. Havrylenko Yu. *Yssledovaniya faktorov, vliyaiushchikh na deformatsiyu zemnoi poverkhnosti pry podrobotke razryvnykh narusheniy polohymy plastamy. Hornno-metallurhicheskiye problemy Donbassa*. 1995. № 76. S. 91–100. {In Russian}
6. Havrylenko Yu., Mohilnyi S., Krenida Yu. *Problemy suchasnoi marksheiderii i tendentsii yiy rozvytku. Visnyk heodezii ta kartohrafii*. 2001. № 3(22). S. 29–34. {In Russian}
7. Havrylenko Yu., Nazarenko N. *Heometrycheskiye parametry dynamicheskoi muldy sdvyzheniya v zapadnom Donbasse. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. 2002. № 54. S. 126–131. {In Russian}
8. *Derzhavne rehuliuвання korystuvannya nadramy / I. Andriievskiyi ta in.* Kyiv: UkrDHRI, 2010. 504 s. {In Ukrainian}

9. Kulibaba S., Rozhko M. Rozpodil osidan zemnoi poverkhni u muldi zrushennia. Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy. 2008. № 3. S. 141–152. {In Ukrainian}

10. Kulikovska O., Sydorenko V., Paranko I. Do metodyky vyivlennia potentsiinykh zon ekolohichnoho ryzyku v heolohichnomu seredovyschi zi skladnoiu rozlomno-blokovoiu tektonikoiu. Naukovi pratsi DonNTU. 2010. № 12(173). S. 244–253. {In Ukrainian}

11. Nesmashnyi E., Tkachenko H., Bolotnykov A. Obzor tekhnolohiy y tekhnicheskyykh sredstv dlia heomekhanicheskoho monytorynha sostoianiya bortov karerov y otvalov. Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. 2010. № 93. S. 89–94. {In Russian}

12. Nykolashyn Yu., Korchahyn N., Palyi D. Prymenenye ymmytatsyonnoho modelyrovanyia poverkhnosti skolzheniya v otkosakh dlia ynterpretatsyy ynstrumentalnykh nabliudenyi za opolznevymy deformatsiyamy otvalov. Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu. 2009. № 23. S. 21–24. {In Ukrainian}

13. Paranko I., Smyrnova H., Ivanova O. Kryvyi Rih – potentsiina zona vynyknennia tekhnohenno-pryrodnykh i tekhnohennykh nadzvychainykh sytuatsii. Heoloho-mineralohichniy visnyk. 2005. № 1. S. 5–9. {In Ukrainian}

14. Plotnykov A. Tektonicheskoe stroenye y razvytye Kryvorozhskoho rudnoho raiona kak zony hlubynnoho razloma. Heotektonyka. 1994. № 2. S. 33–48. {In Russian}

15. Rudko H.I. Resursy heolohichnoho seredovyscha i ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem. Kyiv: ZAT «Nichlava», 2006. 480 s. {In Ukrainian}

16. Smyrnov A., Zoryn V. K voprosu o voronkakh v Kryvbasse. Metallurhicheskaya y hornorudnaya promyshlennost. 1989. № 1. S. 46–48. {In Russian}

17. Stratehichni napriamky rozvytku systemy derzhavnoho upravlinnia v sferi vyvchennia i vykorystannia nadr / I. Andriievskyi ta in. Stratehichna panorama. 2004. № 2. S. 189–197. {In Ukrainian}

18. Fedorenko P. Marksheidierska sprava. Kryvyi Rih: Mineral, 2009. 325 s. {In Ukrainian}

19. Chetveryk M. Sdvyzhenye zemnoi poverkhnosti y podrobotannoho massyva y ykh vzaymosviaz s fyltratsyonnymy protsessamy. Heotekhnicheskaya mekhanika. 1998. № 10. S. 183–187. {In Russian}