

FLOODING AND INUNDATION: ESTIMATION AND FORECASTING (MINE «ZOLOTE»)

Diachenko N.O.^{1}, Ulitskiy O.A.², Dyatel O.O.²*

¹SI SC MGGID of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²State Ecological Academy of Postgraduate Education and management, Kyiv, Ukraine,

**Corresponding author: natalidyachenko1969@gmail.com*

Abstract. In order to prevent the occurrence of a man-made emergency in connection with the possible flooding of the mine "Zolote" in case of decommissioning of the drainage complex, in this work it was carried out: the analysis of possible areas of water migration due to failures, pillars, tectonic faults, areas of plumbing cracks that emerged due to coal mining - from the mine "Rodyna" to the pit mining of the mine "Zolote"; research on the forecasting of waterlogging zones (overhumidification) of the territory for both natural reasons and reasons created artificially (geomechanical processes), with the help of morphometric and morphostructural analyzes of the earth's surface relief. According to the results of geometrization and visualization of disparate mining-geological and mining-technical factual data, 24 zones of planned overlapping of mining areas of adjacent mines "Zolote" and "Rodyna" and "tectonic bands" were identified, which potentially contribute to the flow of mine water from the above located horizons (that are flooded), there were defined the zones of "tectonic bands", which promote emergence of tension and compression zones and influence filtration abilities of technogenic massif. There were developed the forecast maps of the mine "Zolote" territory inundation under the influence of exogenous and endogenous factors.

Key words: Morphometry, waterlogging, pillar, tectonic band, hydrodynamics.

ЗАТОПЛЕННЯ ТА ПІДТОПЛЕННЯ: ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ (ШАХТА «ЗОЛОТЕ»)

Д'яченко Н.О.^{1}, Улицький О.А.², Дятел О.О.²*

¹ДУ НЦ ГТГРІ НАН України, м. Київ, Україна

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, Україна

** Відповідальний автор: natalidyachenko1969@gmail.com*

Анотація. З метою запобігання виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру у зв'язку із можливим затопленням шахти «Золоте» у роботі проведено: аналіз можливих зон водної міграції через збійки, цілики, тектонічні порушення, зони водопровідних тріщин, що виникли внаслідок видобутку вугілля, з шахти «Родина» до виробок шахти «Золоте»; дослідження щодо прогнозування зон підтоплення (перезволоження) території як з природних причин, так і в результаті причин, що створені штучно (геомеханічних процесів) за допомогою морфометричного та морфоструктурного аналізів рельєфу земної поверхні. За результатами геометризації та візуалізації розрізнених гірничо-геологічних та гірничо-технічних фактичних даних виявлено 24 зони планового перекриття ділянок видобувних робіт суміжних шахт «Золоте» та «Родина» та «тектоносмуги», які потенційно сприяють перетіканню шахтної води з вище залягаючих горизонтів, що затоплені, визначено зони «тектоносмуг», що сприяють виникненню зон розтягу та стиску та впливають на фільтраційні здібності техногенного гірничого масиву. Розроблено прогнозні картограми підтоплення території шахти «Золоте» під впливом екзогенних та ендегенних чинників.

Ключові слова: Морфометрія, підтоплення, цілик, тектоносмуга, гідродинаміка.

Актуальність. Ефективність та безпека (з точки зору впливу на навколишнє середовище) освоєння вугільних родовищ безпосередньо залежить від правильних своєчасних технічних рішень щодо запобігання катастрофічним наслідкам виникнення та розвитку небезпечних гідрологічних явищ та процесів під впливом підземної розробки та екзогенної складової.

В останні роки, у зв'язку з ліквідацією вугледобувних підприємств (затоплення гірничих виробок), фактор додаткових водоприпливів в підземні гірничі виробки діючих шахт з сусідніх ліквідованих гірничих вхідводів, набуває загрозливих значень. Прикладом такої ситуації є шахта «Золоте» Первомайської групи шахт (ПГШ) Луганської області (ЛО). На сьогодні в регіоні склалася критична ситуація, яка пов'язана з подальшим затопленням шахт «Первомайська» та «Голубовська», які розташовані на тимчасово окупованій території ЛО і гідравлічно пов'язані через шахту «Родина» з діючими шахтами ДП «Первомайськвугілля»: «Золоте», «Карбоніт», «Гірська». Суміжна шахта «Родина», що знаходиться на лінії розмежування та затоплюється без належних заходів контролю завдяки прийому води з суміжних шахт на неконтрольованих територіях, безпосередньо впливає на функціонування та виробничу діяльність не тільки шахти «Золоте», але усієї ПГШ.

Гірничі роботи шахти «Золоте» розташовані в безпосередній близькості від технічної межі шахти «Родина», наприклад по вугільному пласту k_8^6 через цілик шириною 130.3 м за простяганням та 57 м по падінню. Досвід експлуатації бар'єрних ціликів у затоплених виробок і між шахтами показав: бар'єрні цілики розрахункових розмірів запобігають проривам води, але не виключають її перетікання в діючі виробки. Перетікання води відбувається не через цілик, а по вміщуючих породах або по контакту пласта з цими породами. Геологічною особливістю вугільних родовищ Донбасу є наявність в товщі осадових покладів потужних шарів пісковика і піщаних сланців, що мають різні ступені водопоглинення. Після досягнення рівня затоплення цих шарів вода перетікає в вільні порожнини, тобто, усі дренажні води з шахти «Родина» через зони водопровідних тріщин та вивалень надходять до шахти «Золоте».

Поширеність випадків перетікання шахтної води (ШВ) через раніше непроникні цілики при затопленні пустотного простору свідчить про необхідність врахування потенційної можливості та фактичного припливу значних обсягів ШВ в гірничі виробки діючих шахт при плануванні експлуатації або ліквідації гірничодобувного підприємства. В той же час, виникає необхідність у прогнозуванні ділянок або зон підтоплення земної поверхні (у місцях розташування населених пунктів, лісових масивів, річки Комишуваха) у разі неконтрольованого затоплення гірничих виробок шахти «Золоте».

Мета. Саме тому, метою роботи є проведення аналізу наявності можливих зон водної міграції через збійки, зону водопровідних тріщин, тектонічні порушення з шахти «Родина» до виробок шахти «Золоте» та досліджень щодо прогнозування зон підтоплення (перезволоження) території як з природних причин, так і в результаті причин, що створені штучно (геомеханічних процесів) з метою запобігання виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру у зв'язку із можливим затопленням шахти «Золоте» у разі виведення з експлуатації водовідливного комплексу.

Об'єкт дослідження – гідродинамічні події з уточненням ділянок можливого перетікання і фільтрації ШВ через зони підвищеної проникності в ціликах або тектонічні розриви та прояви екзогенних геологічних процесів на території техногенного навантаження гірничими роботами, які, як правило, відрізняються високою активністю, а їх стрімкий розвиток надає їм небезпечний характер з точки зору зміни не тільки геофільтраційних умов в межах порушеного гірського масиву при затопленні гірничих робіт, але створюються передумови для появи зони підтоплення на поверхні.

Задачі дослідження. У роботі поставлені наступні задачі: 1) виявлення та аналіз зон просторового перекриття гірничих виробок суміжних шахт (гірничі виробки перекривають одна одну, але не перетинаються в тривимірному просторі); 2) аналіз тектонічних неоднорідностей з точки зору перетворення останніх у фільтраційні канали; 3) виявлення зон проявів екзогенних геологічних процесів (ерозія в ослаблених тріщинуватих зонах, сучасні тектонічні рухи розривів) та прогнозування ділянок підтоплення земної поверхні за природними геологічними та геомеханічними факторами на території шахти «Золоте».

Методика. У роботі використані методи проектування, геометрізації, візуалізації розрізнених топографічних, гірничо-геологічних та гірничо-технічних фактичних даних з метою забезпечення графічного моделювання зон «перекриття» гірничих виробок в

тривимірному просторі. Для виявлення структурних елементів у вуглепородному масиві використовувався комплексний аналіз, що включає морфометричні та морфоструктурні дослідження рельєфу земної поверхні, прийоми цифрової гірничо-геологічної картографії та статистичного аналізу структурно-геологічної інформації, використані прийоми інтерполяції, трен-аналізу, оцінена швидкість ерозійно-деформаційного процесу на локальних ділянках з використанням градієнтного аналізу поверхні залишку шляхом виключення регіонального фону.

Аналіз раніше виконаних досліджень. Вивченню реальних процесів, що перебігають у вугільно-породної товщі при затопленні суміжних шахт, присвячено багато досліджень [1-5]. Останні базуються як на теоретичних передумовах, так й на натурних спостереженнях. Головний висновок - затоплення шахт зумовлює залучення до процесу зміни фільтраційних властивостей великі області породного середовища з формуванням наскрізних тріщин розущільнення, при цьому має місце приріст фільтраційних властивостей порід міжпласта за рахунок формування свіжих тріщин під впливом різкого вивільнення пружної механічної енергії стиснення при ослабленні ефективного тиску. Типологія гідродинамічних подій на ділянках між шахтних ціликів вказує на їх зв'язок із зміною напруженого стану гірничо-породного середовища. За даними [3] максимальна інтенсивність потоків ПВ при затопленні лав пласта k^8 шахти «Курахівська» спостерігалася у крайовій частині виробленого простору з південної сторони цілика, залишеного під пластом k_8 . При підвищенні рівня затоплення потоки виробленого простору пласта l_2 і крила пласта k_8 об'єднуються і їх максимум співпадає із зонами розвантаження. За рахунок наповнення зони розвантаження формується гідравлічний підпір. Це призводить до просочування води через зону підвищеного гірського тиску. Таким чином, виділення області фільтрації визначається особливостями тривалих зрушень товщі поблизу бар'єрних ціликів та наявністю вироблених просторів.

Саме тому, з огляду на результати раніше виконаних досліджень, у першу чергу у роботі проведено просторове суміщення планів гірничих робіт поблизу бар'єрних ціликів по вугільних пластах, що розроблялися шахтами «Золоте» та «Родина» з метою виявлення зон перекриття гірничих робіт (підробітку чи надробітку) для оцінки можливості «смикання» зон поза межних деформацій поблизу між шахтного цілика при затопленні.

Оскільки затоплення гірничого простору призводить до незворотних наслідків гідрогеологічного впливу на навколишнє середовище (підтоплення ділянок земної поверхні, зволоження гірничого масиву, додатковий приплив ШВ до іншої гідравлічне пов'язаної шахти), у роботі також враховані сучасні дослідження з саме цього питання.

За даними багатьох досліджень та нормативних документів [6-8] причини підтоплення територій діляться на природні та техногенні. До природних відносяться геологічні, топографічні та гідрогеологічні причини перезволоження. Геологічні причини перезволоження пов'язані з особливостями геологічної будови території, а саме: - кількість шарів осадових порід у верхній частині масиву, їх фізичні та петрографічні властивості (здатність до швидкого руйнування, вивітрювання, карстоутворення, суфозії); - водно-фізичні характеристики кожного шару; - тектонічні особливості масиву гірських порід (геодинамічні) з якими пов'язані екзогенні процеси: вивітрювання, денудація, ерозія в ослаблених тріщинуватих зонах. Топографічні причини пов'язані з особливостями рельєфу території: наявність пагорбів або підвищень, розділених долинами і тальвегами, природні тераси, замкнуті зниження і річкові долини апріорі впливають на концентрацію стоку поверхневих або ґрунтових вод. Останній, концентрується в знижених частинах рельєфу. Гідрологічні причини обумовлені впливом природної гідрографічної мережі (річок, струмків, озер) на водний режим прилеглої території. В першу чергу - підпір ґрунтових вод території водами водоприймача. Техногенні причини підтоплення територій – це перетворення рельєфу в результаті видобувних робіт з руйнацією денної поверхні (геомеханічні процеси), що передбачає значне зниження відміток по відношенню до вихідного рельєфу, тобто рівень ґрунтових вод може виявитися на глибині меншій, ніж глибина що відповідна «фоновому» режиму. Слід зауважити, що в процесі затоплення гірничих виробок властивості міцності

гірських порід знижуються, що призводить до втрати встановленої рівноваги і до активізації процесу зрушення в результаті чого виникають додаткові деформації земної поверхні. Основною передумовою активізації геомеханічних процесів є збережені залишкові порожнечі і тріщинуватість (природна і вторинна) гірського масиву. Самоліквідація цих пустот часто призводить до повторного зрушення товщі гірських порід і прояву цих процесів на земній поверхні, у вигляді деформацій, зрушень і провалів.

В останні роки виконані дослідження процесу зрушення земної поверхні над закритими і частково або повністю затопленими вугільними шахтами дозволили встановити ефект активізації процесу деформування підробленого гірничого масиву [9-11]. За даними [10] активізація зрушення гірських порід при затопленні не повинна викликати розширення мульди зрушення на земній поверхні, тобто всі процеси на поверхні відбуваються в межах існуючих кордонів. За даними [11] після затоплення виробок активізація деформацій виражається у величині максимальних осідань до 0,4-0,6 м від кожного відпрацьованого горизонту, а активізація геомеханічних процесів при зволоженні гірських порід призводить до додаткових осідань земної поверхні, величина яких може складати до 20 % загальної потужності відпрацьованих пластів.

В той же час, у роботі [12] в результаті досліджень особливостей динаміки затоплення групи шахт Донецької агломерації (2004-2011 р.) за даними режимних спостережень на гідроспостережних свердловинах, що розташовані на гірничих відводах шахт, які ліквідувалися, продемонстровано вплив структурно-тектонічних факторів на формування гідрогеологічного режиму затоплення внаслідок різкої мінливості водопроникності та пористості порід на невеликих відстанях і різноспрямованим рухом блоків уздовж зміщувачів. Зроблено висновок: якщо тектонічні розриви займають положення нормальне до напрямку поширення фільтраційного потоку, вони грають роль природних екранів, розосереджуючи, пом'якшуючи або навіть гасячи його силу. При розташуванні тектонічних розривів паралельно фільтраційному потоку, створюються умови, що сприяють збільшенню його швидкості і напору. При цьому, з плином часу характеристика водопроникності уздовж площин тектонічних порушень істотно змінюється. Водонасичення тріщинуватих зон перетворює їх в шлях зосередженої фільтрації, збільшуючи швидкість затоплення в тектонічному блоці і особливо в місцях сполучення або перетинання розривних зон. При цьому, зона максимального підвищення рівня підземних вод при затопленні відпрацьованих шахт, відповідає підвищенню рельєфу земної поверхні і обумовлена постійним підпором води внаслідок підйому дна, що імовірно сприятиме підтопленню, якщо не працює водовідлив.

На жаль, відсутність фактичних даних не дозволяє з певним ступенем вірогідності відповісти на питання: по досягненню якої глибини затоплення гірничих виробок почнеться активізація деформаційних процесів і процесів підтоплення на земній поверхні. Більш того, оцінка динаміки підтоплення та геомеханічних процесів в залежності від особливостей гідродинаміки і геодинаміки в тимчасовому аспекті можлива лише в результаті проведення комплексного моніторингу стану земної поверхні на базі реальних даних геодезичних та п'єзометричних спостережень за змінами абсолютних відміток денної поверхні та рівнем ґрунтових вод на різних етапах затоплення гірничих виробок. Така можливість, на жаль, на цієї території поблизу лінії зіткнення відсутня. Тому, прогнозування підтоплення на ділянці населених пунктів Золоте 1-3 у роботі проводилось експериментально з використанням цифрових моделей рельєфу земної поверхні, фактичних цифрових гірничо-геометричних моделей просторового розташування тектонічних порушень по різних відпрацьованих пластах та планах гірничих робіт.

Характеристика території досліджень. Територія гірничого відводу шахтим «Золоте» в орографічному відношенні приурочена до північного крила Головного Донецького вододілу, на півночі представлена рівнинною частиною (абсолютні відмітки коливаються від 135 до 180 м), зі зниженими в рельєфі ділянками (абсолютні відмітки коливаються від 105 до 135 м) з водотоками (р. Комишуваха, водойми) в центральній частині і невеликими підвищеннями (абсолютні відмітки коливаються від 180 до 205 м) на південному заході (рис. 1), розчленована

крутобережними балками та ярами. В геологічній будові площі беруть участь теригенні відклади середнього карбону свит $C_2^3-C_2^7$ потужністю близько 1600м, що представлені чергуванням пісковиків, алевролітів, аргілітів, вапняків і вугілля.

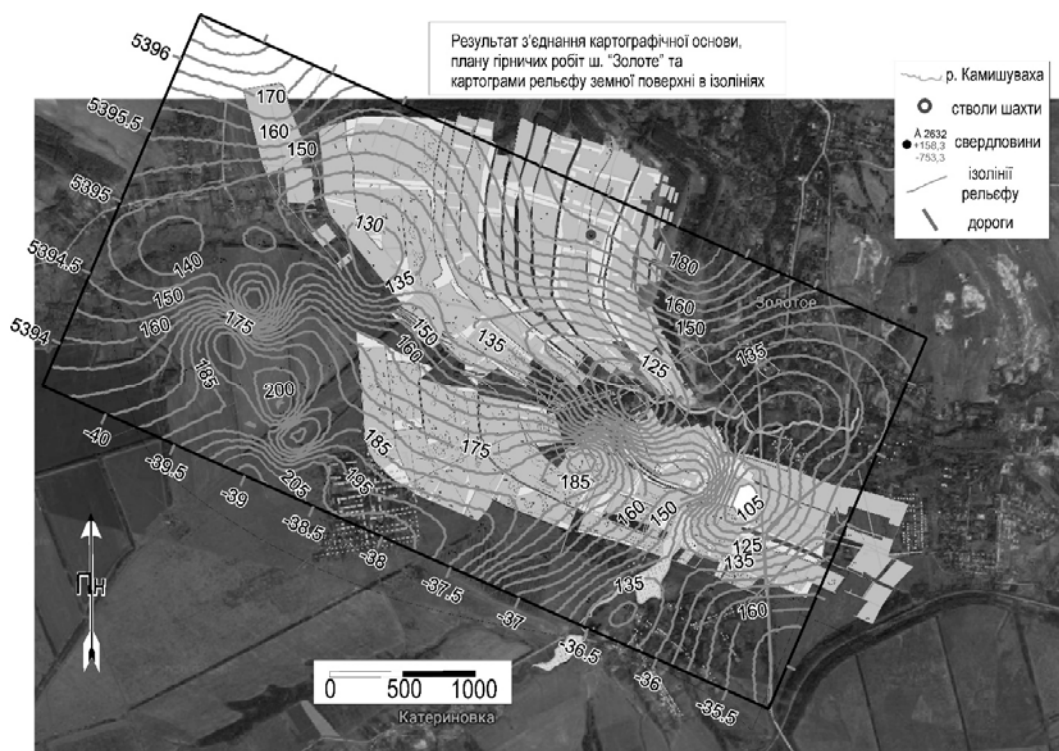


Рис. 1. Результат поєднання картографічної основи, цифрового плану гірничих робіт пласта m_3 ш. «Золоте» та картограми рельєфу земної поверхні (в ізолініях)

Відклади палеогену, що залягають на розмитій поверхні карбону, поширені на вододільних ділянках і презентовані київськими мергелями та харківськими пісковиками потужністю 2 - 25,0 м. Четвертинні відклади представлені суглинками і глинами потужністю від 0,1 до 25,0 м і перекриті ґрунтовим шаром.

Фільтраційні властивості окремих водоносних горизонтів тріщино-пластових вод кам'яновугільного водоносного комплексу в непорушених умовах сильно різняться (коефіцієнт фільтрації змінюється від 0,005 до 6,0 м/добу).

Запаси підземних вод корінного карбону поповнюються через вивітрено зону карбону. Природне розвантаження їх в гідрографічну мережу порушується зворотним рухом в напрямку виробленого простору шахт з діючими водовідливами. У зв'язку з цим 70-72% загального водоприпливу шахти «Родина» надходило з західного крила, в основному з вапняків M_4 , L_1 , K_7 , K_8 і пісковиків m_3Sm_4 , а в шахту «Золоте» 60-70% з південного крила по вапняку M_4 і пісковіку m_3Sm_4 за рахунок гідравлічного зв'язку з р. Комишуваха.

Діюча шахта «Золоте» розташована на північному крилі Голубовсько-Мар'ївської синкліналі. Остання ускладнює північно-східний борт Бахмутської улоговини північної зони дрібної складчастості Донбасу, і являє собою складчастість субширотного простягання з кутами падіння 20 - 40°, ускладнену тектонічними порушеннями. Тектонічні розриви шахти «Родина» - насуви К-С; шахти «Золоте» - Михайлівський насув. Перераховані тектонічні порушення супроводжуються зонами дроблення і розкриті гірничими роботами.

Площа гірничих робіт 2100 га, глибина ведення гірничих робіт 687 м. Загальний водоприплив – 1200 м³/год. Геологічна потужність пластів, що відпрацьовуються: l_2^1 – 1,08-1,2 м, l_3 -0,83-0,9 м, l_6 – 1,15-1,32 м; m_3 – 1.25-1.48 м, k_8^6 – 0,87-0,96 м. Статичний рівень підземних вод знижений на 30–40 м, розвантаження останніх в місцеву гідрографічну мережу практично не відбувається. На більшій частині шахтного поля водні ресурси дренуються гірничими виробками. При затопленні шахти «Родина» (гор. 550 м) в 2001 році, додатковий приплив води до південного крила шахти «Золоте» (гор. 775 м) склав 40 м³/ год. Найбільш

імовірним місцем перетікання був дренаж по вапняку L1 і пісковика L1s11 над пластом k_8^6 з роздільного масиву, над міжшахтним ціликом шириною 45 - 55 м на протязі 200 м. Абсолютна відмітка дренажу - мінус 308 м. Відбувалася стійка міграція води до гірничих виробок шх. «Золоте». Режим припливу води, що спостерігається на південному гор. 775 м шахти «Золоте» дуже схожий на режим перетікання ШВ гірничими виробками між шахтами з різкими наростаннями і падіннями величин води, що поступає. На даний момент шахта «Родина» затоплена. 16.11.2020 р. стався прорив води на ш. «Золоте» по старому розрізу пласта k_8 - до $200\text{ м}^3/\text{год}$. У грудні 2020 р. загальний приплив води в ш. «Золоте» склав $1250\text{ м}^3/\text{год}$.

При нормальній відстані між пластами l_2^1 - l_3 близько 12 м та легкообвалювальній основній покрівлі (аргіліт, алевроліт $\sigma_{сж} = 44-67$ МПа) тріщини обвалення досягали ґрунту пласта l_3 .

Одержані результати. З метою вивчення шляхів перетікання ШВ, просторового визначення взаємовідносин технічної межі та положення бар'єрних ціликів між шахтами, проєкцій гірничих виробок за допомогою числового масштабу, в дослідженні запропоновано використовувати вертикальні розрізи (вхрест простягання) по сукупності вугільних пластів (рис. 2). Планова візуалізація зон «перекриття» очисних виробок вугільних пластів проводилася за допомогою програмних засобів AutoCAD у вигляді суміщення планів гірничих виробок на горизонтальну площину у двомірній системі координат (рис.3, а).



Рис. 2. Розріз вхрест простягання по сукупності вугільних пластів l_2^1 , k_8^6 з деталізацією розташування експлуатаційних виробок та років видобування вугілля.

Аналіз візуалізованих даних показав, що ШВ, напевно надходила з шахти «Родина» в шахту «Золоте», в інтервалі мінус 230,1 м - мінус 190 м, з 7 західної лави пласта l_3 шахти «Родина» у вентиляційну збірку пласта l_2^1 шахти «Золоте» з гор. 310 м на гор. 436 м по тріщинах і, можливо, обваленням куполів у 12 метровому міжпласті l_2^1 - l_3 . Єдина польова гірничя виробка шахти «Родина» - 8-й західний польовий штрек пласта l_2^1 гор. 450 м підійшов до 4-й південній лаві пласта l_3 шахти «Золоте» і може імовірно вважатися шляхом перетікання. В той же час, зона вертикального перекриття відпрацьованих ділянок суміжних шахт по пластах l_2^1 - l_3 (рис.3, б) має площу $451,5\text{ м}^2$ та її також треба вважати небезпечною з точки зору водної міграції через зону водопровідних тріщин.

Видобувні роботи на шахті «Родина» по вугільному пласту k_8^6 на ділянці наближення до технічної межі шахти «Золоте» (південне поле) проводилися на нижній позначці - 412,8 м (9

зворотна лава) в 1987 році. Вище по повстанню запаси відпрацьовані в 1967-1968 роках (8 західний штрек, абсолютна відмітка -330 м) та в 1950-1960 роках із залишеними ціликами під південний вентиляційний стовбур, між лавами в зв'язку зі складними гірничо-геологічними умовами та через обвалення «ложної» покрівлі. Гірничі роботи шахти «Золоте» по вугільному пласту k_8^6 розташовані в безпосередній близькості від технічної межі шахти «Родина» через цілик шириною 130.3 м по простяганню та 57 м по падінню.

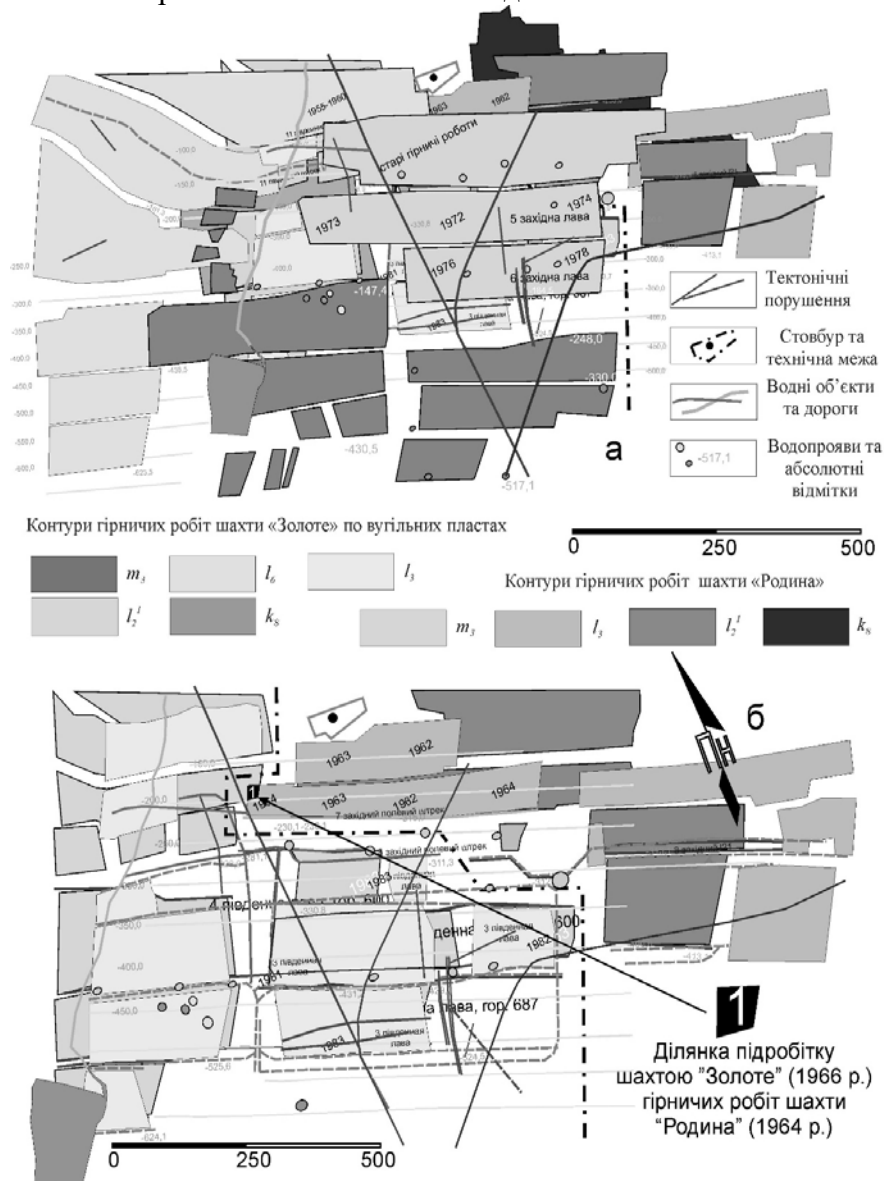


Рис. 3. Результат поєднання цифрової гірничо-технічної інформації шахт «Золоте» та «Родина» по всім вугільним пластам (а) з деталізацією зон «перекриття» (б) по пластах $l_2^l - l_3$

Тобто очисні виробки шахти «Родина» в розрізі розташовані над очисними виробками шахти «Золоте». Зокрема, 2 південна лава гор. 887 м, відмітки відкатувального штреку -523.7 -531.1 м, -432 -425 м від мітки південного штреку 2 південної лави (роки відпрацювання 1985-1988). При цьому, позначки вентиляційного штреку відпрацьованої 2 південної лави -350 -348 м. Прямого гідравлічного зв'язку виробки не мають, присутній цілик довжиною 57 м за падінням. Але, нами зафіксована ділянка підробітку вугільного пласта l_3 (7 західна лава) шахти «Родина» гірничими роботами шахти «Золоте» (4 південна лава, пласт k_8^6) площею 890 м². Аналогічна ситуація склалася по вугільних пластах $l_3 - m_3$ (7 ділянок планового перекриття). Загалом, нами зафіксовані зони підробітку або надробітку очисних робіт суміжних шахт у кількості 24 ділянок.

Більш того, ці ділянки розташовані в зонах наближених або до тектонічних порушень північного простягання, або в зонах заміщення вугілля сланцями, що теж свідчить про наявність тектонічних подій, або в зонах водопритливів, що зафіксовані в процесі експлуатаційних робіт. Саме тому, особливе значення у дослідженні мають тектонічні порушення (рис. 4), які були зафіксовані під час видобутку вугілля на різних вугільних пластах. З'ясовано, що найбільш яскраво простежується дві, найбільш виразні системи розривів, які утворюють «тектоносмуги» сколів Ріделя $R1$ та $R2$ (східного та північного простягання), що сполучені під кутом $50-70^\circ$ (рис.4, а). В роботі тектонічні розриви візуалізовані в результаті поєднання цифрових планів гірничих робіт. Хоча геодинамічні особливості формування тектонічних розривів не входили в коло досліджень цієї роботи, слід звернути увагу, що така система сполучених тектоносмуг, по-перше характерна для зсувних деформацій, по-друге, як правило, впливає на різноманітні процеси в масиві гірських порід за рахунок формування зон стиснення (трансгресії) та зон розтягу (екстензії) які впливають на підземний водний потік, та формують умови водопроникності уздовж площини тектонічних порушень [12]. Така система сполучених під кутом $60\pm 10^\circ$ сколів Ріделя на теренах ЛО була зафіксована у сучасних дослідженнях [13, 14]. Розриви трасуються по кожному вугільному пласту та складають практично вертикальні «тектоносмуги» у вигляді shear zone - зон роздроблення внаслідок тектонічних процесів.

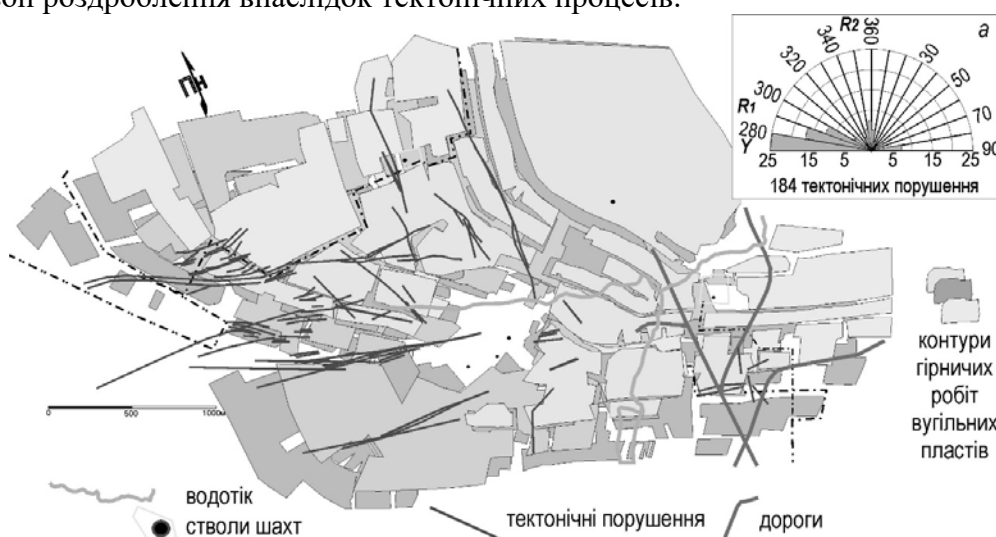


Рис. 4. Результат поєднання цифрової гірничо-геологічної та гірничо-технічної інформації шахт «Золоте» та «Родина» з деталізацією тектонічних порушень та розвою-діаграмою (а)

Морфологічно - це порівняно вузькі (ширина десятки метрів) крутопадаючі або вертикальні плитоподібні об'єми гірського масиву, насичені тріщино-розривними структурами різного структурного рівня і переважно зсувної кінематики [15]. Саме тому, ці об'єми тріщинних структур можуть служити безпосередньо транзитними коридорами при затопленні не тільки гірничих виробок шахт «Родина» та «Золоте», але і інших, наприклад «Карбоніт».

З метою прогнозування підтоплення у разі виведення з експлуатації водовідливного комплексу виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру у зв'язку із можливим затопленням шахти «Золоте» у роботі проаналізовані схеми утворення зон підтоплення.

З теоретичної точки зору, найбільш поширені схеми утворення зон підтоплення під впливом природних гідрогеологічних причин на ділянці гірничого відводу шахти «Золоте» (див. рис. 1) виражені таким чином: 1. На ділянках рівнинної території (північна частина), тобто при малих ухилах поверхні відсутній поверхневий стік, як наслідок, збільшується інфільтрація в ґрунт і рух ґрунтових вод практично відсутній. В результаті впливу двох цих чинників, навіть при добре водопроникних ґрунтах, при додатковому техногенному впливі у вигляді осідань земної поверхні від підземного видобутку вугілля, можливе утворення зон підтоплення. 2. При наявності поблизу від поверхні ґрунту лінз з слабо водопроникних ґрунтів (глинистих

відкладів) утворюється «верховодка» - перший від поверхні горизонт ґрунтових вод, який характеризується локальним поширенням (над лінзою) і мінливістю в часі (приурочено до багатководних періодів). В результаті періодично (після сніготанення або зatoryжних дощів) утворюються локальні зони підтоплення з розмірами по поверхні від десятків до сотень метрів. 3. На аналізованій території перепад висотних відміток становить майже 100 м, і в південній частині присутні піднесення і їх схили. Тому, на території біля підніжжя схилу відбувається уповільнення поверхневого стоку, що рухається по схилу з великою швидкістю з вище розміщеної тераси, як наслідок - більша кількість води всмоктується в ґрунт, глибина потоку ґрунтових вод зростає, РГВ наближається до поверхні землі. Одночасно відбувається підпір потоку ґрунтових вод, що рухається з вищезалігаючих територій. В результаті створюються умови утворення зони підтоплення біля підніжжя схилу. 4. Присутність на досліджуваній території природних водотоків (центральна і південно-східна частина), дозволяє припустити, що на територіях, прилеглих до природних водотоків, режим РГВ безпосередньо залежить від режиму рівнів води в водотоку. Підвищення цих рівнів, особливо тривалий за часом, є причиною підвищення РГВ і утворення зони підтоплення на прибережній території (р. Комишуваха). Одночасно відбувається підпір потоку ґрунтових вод, що рухається з вище залігаючих територій. В результаті створюються умови утворення зони підтоплення біля підніжжя схилу. 5. Присутність на досліджуваній території природних водотоків (центральна і південно-східна частина), дозволяє припустити, що на територіях, прилеглих до природних водотоків, режим РГВ безпосередньо залежить від режиму рівнів води в водотоці. Підвищення цих рівнів, особливо тривалих за часом, є причиною підвищення РГВ і утворення зони підтоплення на прибережній території (р. Комишуваха).

З точки зору деформаційного геомеханічного навантаження внаслідок розроблення п'яти вугільних пластів (рис.2, а) загальною потужністю від 5,18 м до 5,86 м, опираючись на дослідження [9] максимальні просідання денної поверхні за умови відпрацювання усіх перелічених пластів можуть скласти від 2,2-2,6 м до 4,0 м (внаслідок неконтрольованого затоплення гірничих виробок). Середнє просідання поверхні за багаторічними оцінками становить 0,5 - 1,2 м при відпрацюванні до 3 пластів при потужності до 1 м. При багаторазовій підробці більше 3 пластів поведінка гірського масиву дуже індивідуальна. Часто відбувається утворення провалів і великих тріщин на поверхні землі. Це створить умови додаткового ризику підтоплення денної поверхні. Подібний підхід відображений у роботах зарубіжних дослідників [16, 17], але практично не знайшов відображення в сучасних вітчизняних наукових розробках. За даними [18] деформації земної поверхні далеко неоднорідні. Максимального значення вони досягають на ділянках, ослаблених тектонічними порушеннями, в місцях проведення гірничих робіт та ін.

Для виявлення зон підтоплення по екзогенному фактору (тектонічні ослаблені зони, механічне вивітрювання, ерозія) і прогнозування території підтоплення, слід застосувати математичний апарат «поділу» денної поверхні. Рельєф розглядається як сукупність складних геометричних математичних площин, що складають земну поверхню. Оскільки математична поверхня гладка, а геологічна хвиляста, особливо в «слабких зонах» тектонічного та неотектонічного факторів, в місцях ослаблення спостерігається найбільша розбіжність між математичною і геологічною поверхнями. При цьому, форма будь-якої не розмитої стратиграфічної поверхні відображає історію її утворення. По суті, це поле розподілу параметра висоти, що містить цілий спектр елементів різного порядку і генезису. З метою виявлення геолого-геоморфологічних індикаторів «слабких зон» на досліджуваній території проведена оцінка природних процесів, що відбуваються на земній поверхні із застосуванням морфометричного і морфоструктурного аналізів рельєфу земної поверхні. Подання рельєфу земної поверхні (див. рис.1) у вигляді скалярного поля висот (правомірність підходу для вирішення картографо-технічних завдань обґрунтована І. Крхо [19]), заданого масивами планових і висотних координат точок $z(x, y)$, дозволяє застосувати процедуру тренд-аналізу та розділити скалярне поле висот на апроксимовану поверхню - тренд $R(x, y)$ і поверхню

залишку $L(x, y)$, тобто розкласти модельне явище на закономірну (тренд) або випадкову складові (рис. 5, а, б). Отримана поверхня $R(x, y)$ відображає морфоструктурний план формування рельєфу під впливом основних тектонічних сил (формування антиклінальної складки північного простягання за умови широтного стиску та меридіонального розтягу). Таке поле тектонічних напруг надало змогу формуванню русла річки Комишуваха, як улоговини тектонічного походження. Поверхня $L(x, y)$ відображає неотектонічні і ерозійні процеси.

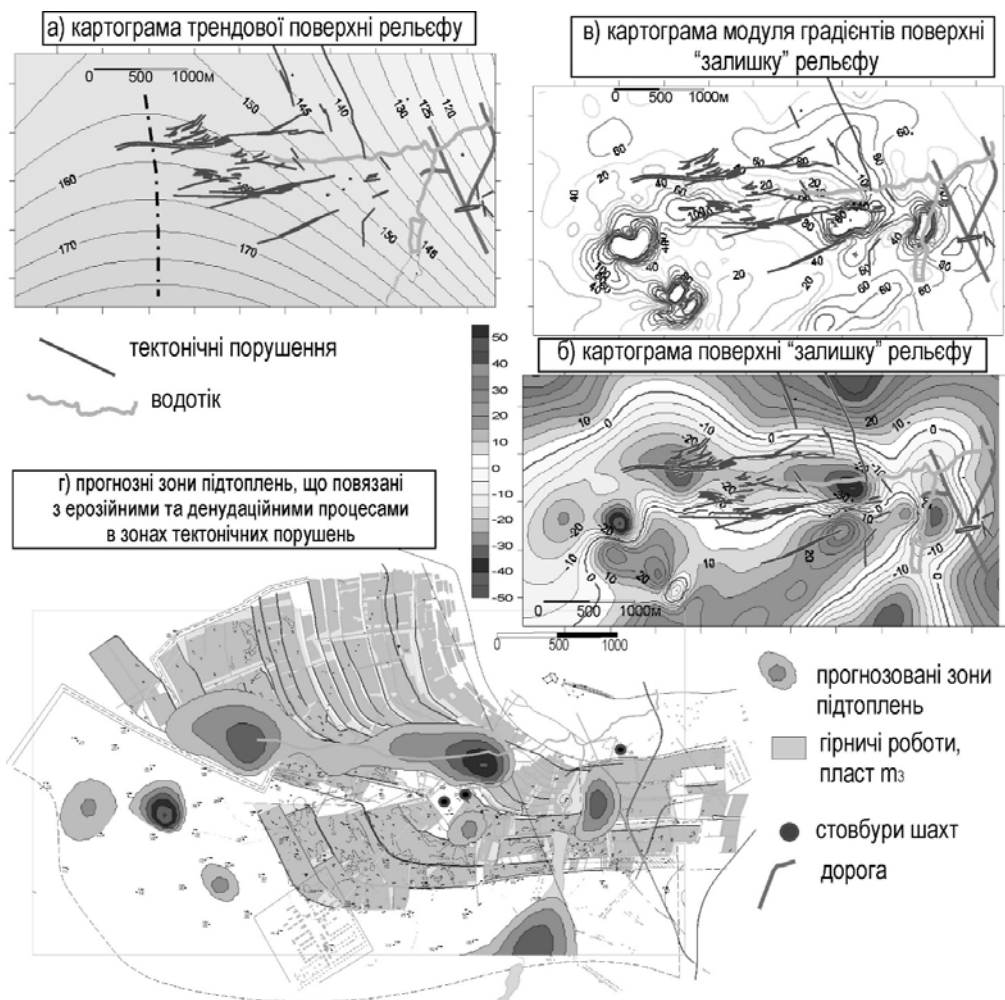


Рис. 5. Результат прогнозування ділянок підтоплення земної поверхні, що пов'язані з ерозійними та денудаційними процесами в зонах тектонічних порушень та картограми математичних поверхонь тренду (а), «залишку – остатку» (б), та модуля градієнтів (в).

Останні на території гірничого відводу шахти «Золоте» яскраво виражені в зонах водотоків. Для виявлення дискретних зон можливого підтоплення зроблено диференціювання поверхні залишку в результаті побудови поверхні модуля градієнту $grad L(x, y)$ в ізолініях, де градієнт вказує напрямом найшвидшого зростання функції (рис. 5, в).

Використання такого диференціювання дозволило виділити однорідні ділянки поверхні за напрямками векторів градієнтів, відповідних тангенсу кута скату в даній точці і при побудові картограми оконтурити зони з рівномірними похилими ділянок, які схильні до максимально швидкої реакції на будь-які природні або штучні зміни геологічного середовища (особливо в умовах підробітку та затоплення гірничих робіт), в тому числі підтоплення земної поверхні (рис. 5, г). Комплексування ділянок розрахункових осідань денної поверхні в ізолініях, що виникають при підробітці та небезпечних ділянок екзогенного походження дозволяє приймати найбільш ефективні захисні рішення з охорони навколишнього природного і техногенного середовища від негативного впливу ліквідації шахт. Слід пам'ятати, що у Стаханівському районі ЛО ліквідація шахт викликала підтоплення понад 600 га забудованих територій і сільськогосподарських земель.

Висновки. У техногенному середовищі процес підтоплення активізується при розбалансуванні природних водних систем, додаткових осіданнях денної поверхні внаслідок видобутку корисних копалин та під дією тектонічних зон, які впливають на проникливість гірничого масиву. В результаті досліджень виявлено 24 зони планового перекриття ділянок експлуатаційних робіт суміжних шахт «Золоте» та «Родина» та «тектоносмуги», які потенційно сприяють перетіканню шахтної води з вищезалегалих горизонтів, що затоплені, визначено зони «тектоносмуг», що сприяють виникненню зон розтягу та стиску та впливають на фільтраційні здібності техногенного гірничого масиву. Для прогнозування зон підтоплення по екзогенному факторові (тектонічні ослаблені зони, механічне вивітрювання, ерозія) у роботі запропоновані та застосовані прийоми морфоструктурного та морфометричного аналізів рельєфу території дослідження, результати яких за умови поєднання з розрахунками осідань денної поверхні внаслідок видобутку вугілля можуть бути використані при вирішенні науково-практичних задач, що пов'язані з небезпекою розвитку негативних техногенних процесів підтоплення при неконтрольованому затопленні гірничих виробок шахти «Золоте».

References

1. Садовенко І.А., Рудаков Д.В. Динамика фильтрационного массопереноса при ведении и свертывании горных работ: монографія. Дніпро: Нац. гірничий університет, 2010. 216 с.
Sadovenko I.A., Rudakov D.V. (2010). *Dinamika fil'tracionnogo massoperenosa pri vedenii i svertuvanii gornyh rabot* [Монографія]. Dnipro: Natsionalnyi hirnychiy universytet [in Russian].
2. Ермаков В.И., Улицкий О.А., Питаленко Е.И., інш. Изменение гидрогеологического режима и геомеханических условий при закрытии шахт. Зб. наук. праць ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Донецьк: РИК ДонНТУ. 2001. Вип. 80. С. 69-73.
Ermakov, V.I., Ulickij, O.A., Pitalenko, E.I., Gavrilenko, Ju.N., Taranec, V.I. (2001). *Izmenenie gidrogeologicheskogo rezhima i geomechanicheskikh uslovij pri zakrytii shaht. Zb. nauk. prats DonNTU: seriia hirnycho-geolohichna*, 80. [in Russian].
3. Педченко С.В. Обгрунтуванням гідрогіомеханічних параметрів стійкості бар'єрних ціликів при затопленні вугільних шахт Донбасу. Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. Вип. 1(78). 2013. С. 80-84.
Pedchenko S.V. (2013). *Obgruntuvanniam hidroheomekhanichnykh parametriv stiikosti bariernykh tsilykiv pry zatoplenni vuhilnykh shakht Donbasu. Visnyk KrNU im. Mykhaila Ostrohradskoho*, 1(78). [in Ukrainian].
4. Мохов А.В. О водопроницаемости барьерных целиков затопленных угольных шахт. Естественные науки. Приложение. 2006. № 5. С. 77- 81.
Mohov A.V. (2006) *O vodopronicaemosti bar'ernih celikov zatoplennykh ugol'nykh shaht. Estestvennye nauki. Prilozhenie*. 5. [in Russian].
5. Мохов А.В. О трансформации напряженнодеформированного состояния горного массива под влиянием затопления угольных шахт. Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 13 (Ч. I), 2013. С. 238-248.
Mohov A.V. (2013) *O transformacii naprjzhenodeformirovannogo sostojanija gornogo masssiva pod vlijaniem zatoplennija ugol'nykh shaht. Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 13 (I) [in Russian].
6. Екологічний аспект реінтеграції окупованих районів Донецької та Луганської областей. Київ : ДНС України. 2018.
DNS Ukrainy. (2018). *Ekolohichniy aspekt reintehratsii okupovanykh raioniv Donetskoi ta Luhanskoi oblastei*. Kyiv : DNS Ukrainy. [in Ukrainian].
7. Іванов Є.А., Ковальчук І.П. Сучасний стан розвитку процесів підтоплення і заболочення в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності : наук.-тех. журнал. 2003. № 6. С. 79–84.
Ivanov, Ye.A., Kovalchuk, I.P. (2003). *Suchasnyi stan rozvytku protsesiv pidtoplennia i zabolochennia v mezhakh Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinuro. Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiediialnosti : nauk.-tekh. jurnal*, 6. [in Ukrainian].
8. Постанова Про затвердження Комплексної програми ліквідації наслідків підтоплення територій в містах і селищах України. КМУ. 2003. № 717 (717-2003-п)

КМУ. (2003). *Postanova Pro zatverdzhennia Kompleksnoi prohramy likvidatsii naslidkiv pidtoplennia terytorii v mistakh i selyshchakh Ukrainy*. 717 [in Ukrainian]

9. Анциферов А.В., Гавриленко Ю.Н., Шиптенко А.В. Прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности, вызванных активизацией процесса сдвижения земной поверхности горных пород при обводнении массива. http://gis.dgtu.donetsk.ua/newsiteversion/ru/staff/gavrilenko/034_paper.pdf (дата звернення 02.09.2019).

Anciferov, A.V., Gavrilenko, Ju.N., Shiptenko, A.V. (2012). Prognoz sdvizhenij i deformacij zemnoj poverhnosti, vyzvannyh aktivizaciej processa sdvizhenija zemnoj poverhnosti gornyh porod pri obvodnenii massiva. http://gis.dgtu.donetsk.ua/newsiteversion/ru/staff/gavrilenko/034_paper.pdf [in Russian]

10. О необходимости переликвидации горных выработок старых и закрытых шахт. *ТОВ "SNT Украина"* <https://http://www.snt.com.ru/o-neobhodimosti-pere-likvidacii-gornyh-vyrabotok-staryh-i-zakrytyh-shaht> (дата звернення 20.07.2021).

O neobhodimosti perelikvidacii gornyh vyrabotok staryh i zakrytyh shaht. *TOV "SNT Ukrainya"* <https://http://www.snt.com.ru/o-neobhodimosti-pere-likvidacii-gornyh-vyrabotok-staryh-i-zakrytyh-shaht> [in Russian]

11. Ягунова О.А. Исследование гидро-, газо-, геомеханических процессов в техногенном массиве и выработанном пространстве ликвидируемых шахт Кузбасса: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». Кемерово, 2010. 20 с.

Jagunova O.A. (2010). *Issledovanie gidro-, gazo-, geomehanicheskih processov v tehnogennom massive i vyrabotannom prostranstve likvidiruemyh shaht Kuzbassa* [Geomehnika, razrushenie gornyh porod, rudnichnaja ajerogazodinamika i gornaja teplofizika]. (Extended abstract of kandidat teh. nauk). Kemerovo [in Russian]

12. Дьяченко Н.А., Шевченко Е.Н., Дьяченко А.С. Особенности активизации деформационных процессов в условиях «мокрой консервации» под влиянием структурно-тектонических факторов. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2012. № 11. С. 187-203.

Diachenko, N.A. Shevchenko, E.N., Diachenko A.S. (2012). Osobennosti aktivizacii deformacionnyh processov v uslovijah «mokroj konservacii» pod vlijaniem strukturno-tektonicheskikh. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 11. [in Russian]

13. Diachenko N. & Diachenko A. (2019). Pop-up structures of Petrodonetska anticline and adjacent territories. Web of Conferences EDPSciences «Essays of mining science and practice» 109 (France). 00017.

14. Дьяченко Н.А., Привалов В.А. Малоамплитудная тектоника Петро-Донецкой антиклинали (на примере ш. Луганская). Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2011. №8. С. 163 – 175.

Diachenko, N.A., Privalov, V.A. (2011). Maloamplitudnaja tektonika Petro-Doneckoj antiklinali (na primere sh. Luganskaja). *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 8. [in Russian]

15. Попов В. С. Мелкоамплитудные разрывные нарушения в угольных пластах Донецко-Макеевского геолого-промышленного района Донбасса. Геологический журнал. 1979. № 6. С. 19 – 31.

Popov V.S. (1979). Melkoamplitudnye razryvnye narushenija v ugol'nyh plastah Donecko-Makeevskogo geologo-promyshlennogo rajona Donbassa. *Geologicheskij zhurnal*, 6. [in Russian]

16. Taylor, R.G., Howard, K.W.F. (1999). The influence of tectonic setting on the hydrological characteristics of deeply weathered terrains: evidence from Uganda. *Journal of Hydrology*, 218.

17. Tadolini, T., Bruno, G. (1993). The influence of geostructural setting upon water thermomineralization in certain areas of Apulia (southern Italy). *Hydrogeological Processes in Karst Terranes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar)*. *IAHS Publ.*, 207.

18. Дьяченко Н.А., Панова Е.А., Привалов В.А., Киселев Н.Н. Особенности выявления зон деформационных аномалий земной поверхности и расшифровка их геологической природы в условиях подработки массива горных пород. Зб. наук. праць ДонНТУ: серія гірничо-геологічна, 2006. Вип. 111. С. 119-128.

Diachenko, N.A., Panova, E.A., Privalov, V.A., Kiselev, N.N. (2006). Osobennosti vyjavlenija zon deformacionnyh anomalij zemnoj poverhnosti i rasshifrovka ih geologicheskoi prirody v uslovijah podrabotki massiva gornyh porod. *Zb. nauk. prats DonNTU: seriia hirnycho-heolohichna*, 111. [in Russian]

19. Krcho J. (1990). *Morphometric analysis and digital elevation models*. Bratislava: VEDA (in Slovak). 427 p.