

**Четверик М.С.**, д-р техн. наук, профессор  
**Бубнова Е.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**Сорока Ю.Н.**, канд. техн. наук  
(ООО «Центр радиоэкологического мониторинга»)

## **ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИИ ПРОВАЛОВ ОТ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

**Четверик М.С.**, д-р техн. наук, професор  
**Бубнова О.А.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ИГТМ НАН України)

**Сорока Ю.М.**, канд. техн. наук  
(ТОВ «Центр радіоекологічного моніторингу»)

## **ПРИЧИНИ УТВОРЕННЯ І НАПРЯМКИ ЛІКВІДАЦІЇ ПРОВАЛІВ ВІД ГІРНИЧИХ ВИРОБОК**

**Chetverik M.S.**, D.Sc. (Tech.), Professor  
**Bubnova Ye.A.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**Soroka Yu.N.**, канд. техн. наук  
(LLC "Center of radio-environmental monitoring")

## **REASONS FOR MINING-INDUCED CAVE FORMATION AND WAYS OF THE CAVE LIQUIDATION**

**Аннотация.** Ежегодно из недр земли на территории Украины извлекается более миллиарда кубических метров горной массы в виде добываемых полезных ископаемых и попутно извлекаемых вскрышных и вмещающих пород, что приводит к образованию пустот соответствующих размеров. Через десятки, а иногда и сотни лет, в районе расположения старых шахт и подземных выработок образуются провалы.

В работе рассмотрены основные факторы, влияющие на образование провалов. Приведены основные типы вторичных нарушений в массиве горных пород с последующим формированием провалов.

На примере провальной воронки в г. Желтые Воды показаны причины активизации природно-техногенных процессов в подработанном массиве и смоделировано их дальнейшее развитие. Показано, что после закрытия шахты «Новая», которая прилегает к провальной воронке, произойдет подтопление части городской территории с образованием открытого водоема, просадка грунтов под зданиями и сооружениями. С целью избежания указанных последствий отработки запасов Желтореченского месторождения предлагается в три этапа произвести рекультивацию провальной воронки с рациональным использованием ее пространства.

Предлагаемый вариант восстановления геологической среды в районе сформированной провальной воронки в г. Желтые Воды позволит воссоздать геологическую среду до состояния, близкого к природному, снизить экологическую нагрузку на регион и безопасно эксплуатировать ш. «Новая» ООО «Восток-Руда».

**Ключевые слова:** добыча полезных ископаемых, пустоты, деформации, карст, провалы, рекультивация

**Актуальность проблемы.** Украина – страна, богатая природными ресурсами, в том числе различными полезными ископаемыми, которые на протяжении нескольких столетий успешно добываются, обеспечивая экономическое благосостояние государства.

По данным управления статистики ежегодно из недр земли извлекается порядка 80-90 млн. т. угля различных марок, 130 млн. т. сырой железной руды; 20 млн. т. известняков; марганцевых руд – около 1 млн. т.; солей - 6 млн. т.; около 1 млн. т. ртуты и столько же руд редких и цветных металлов; 4,5 млн. т гипса, мела и глин; 70 млн. м<sup>3</sup> песка, гранита и др.; 2,5 млн. т нефти и около 20 млрд. м<sup>3</sup> газа и газового конденсата.

Одновременно с добычей полезных ископаемых извлекаются вскрышные или вмещающие породы. В целом при существующем уровне добычи полезных ископаемых и строительных материалов, в недрах образуется 1,2 – 1,4 млрд. м<sup>3</sup> / год пустот. Эта величина не учитывает одновременное извлечение воды и газа из горного массива, которые неизменно сопровождают добычу полезных ископаемых.

Если принять, что пустоты распределены равномерно на всей площади Украины и они ничем не заполняются, то ежегодно на каждый 1 м<sup>2</sup> площади страны образуется 2 дм<sup>3</sup> пустот. Величина сама по себе незначительная, однако если учесть что разработки ведутся около 100 лет, то можно принять, что на сегодняшний день уже образовано 200 дм<sup>3</sup> пустот на каждый 1 м<sup>2</sup> площади поверхности. При такой же интенсивности добычи еще через 100 лет эта величина уже будет равняться 400 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> и т.д. С учетом того, что пустоты от выемки из недр горной массы размещены непропорционально по всей поверхности страны, то в масштабе регионов, таких как Донецкая, Луганская, Днепропетровская, Житомирская и Запорожская области, объемы выработанных пространств катастрофичны. Наличие в массиве пустот, в конечном счете, приводит к вторичным нарушениям массива, таким как формирование воронок обрушения, дополнительные оседания и сдвиги, обезвоживание и подтопление.

В настоящее время, когда естественная среда уже значительно нарушена, проблема образования новых нарушенных массивов является чрезвычайно актуальной, так как в дальнейшем грозит техногенными катастрофами в виде массовых провалов, затоплением территорий подземными водами, места разгрузки которых ликвидированы.

**Теоретическая часть.** Известным является тот факт, что в результате подземной добычи полезных ископаемых происходит сдвиг, деформации и оседание массива горных пород. В результате заполнения вышележащими породами образовавшихся от выемки полезного ископаемого пустот на земной поверхности образуются мульды сдвига. Это является первичным нарушением горного массива и его закономерности хорошо изучены.

В настоящее время все параметры сдвига подработанной толщи пород и земной поверхности определяются по нормативным документам, разработанным в 70-80-е годы прошлого столетия специалистами ВНИМИ на основе мно-

голетних данных о наблюдениях в разных регионах. Однако с тех пор существенно изменились условия отработки полезных ископаемых с увеличением глубин подземных горных работ до 1300 м; применяются современные технические средства, позволяющие достичь значительных скоростей подвигания лавы. В новых условиях отработки полезных ископаемых эмпирические зависимости ВНИМИ, приведены в «Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях», показывают плохую сходимость результатов с фактически установленными параметрами сдвижения.

Процесс сдвижения протекает в три стадии – начальную, активных сдвижений и затухания деформаций. Общепринятым является утверждение об окончании процесса сдвижения при достижении осадок земной поверхности значений, не превышающих 10% от их максимальных величин, которое не соответствует действительности и наглядно проявляется в виде деформаций объектов, формировании провалов через большой промежуток времени, иногда измеряемого десятками лет.

В районе расположения старых шахт и подземных выработок, оставленных пустот от камерной системы разработки полезных ископаемых, целиков, обеспечивающих поддержание капитальных выработок, спустя десятки, иногда и сотни лет образуются внезапные провалы.

На территории Украины провалы проявлялись в Кривом Роге и Желтых Водах, где подземным способом по камерной системе разработки добываются железные руды, в Донецкой области, где добывают угли подземным способом и др. Интересным является случай образования провала в деревне Верх-Талица Пермской области Российской Федерации. Провал 20 метровой глубины практически через 300 лет после разработок образовался на месте старых подземных выработок, где еще в 1733 г. добывали медистый песчаник.

Известны случаи образования воронок обрушения на бортах карьеров, ранее подработанных подземными работами.

Наиболее часто провалы образуются в месте расположения вертикальных стволов законсервированных шахт.

Поскольку провалы образуются в местах, ранее подверженных сдвижению, то процесс их образования будем называть вторичным нарушением.

Образование провалов происходит внезапно, не прогнозируемо в связи с тем, что никто не контролирует состояние горного массива в местах расположения старых шахт и выработок.

Для прогнозирования вторичных нарушений горного массива над старыми горными выработками необходимо знать причины проявления (активизации) процессов сдвижения.

Пустоты, оставленные в недрах в результате непосредственно добычи полезных ископаемых и работ по вскрытию и подготовке запасов к выемке, сохраняются за счет:

- крепи горных выработок;

- целиков, оставленных для охраны, как подземных выработок, так и объектов на земной поверхности;

- прочности пород подработанной толщи.

После завершения горных работ шахтные пустоты либо заполняются водой и газом, либо остаются свободными.

В результате длительной нагрузки на слой породы, поддерживающий вышележащую толщу, развиваются деформации, которые завершаются резким обрушением пород с заполнением ими пустот. В случае камерных систем отработки (когда в массиве остаются пустоты значительных размеров), отработки свиты пластов на разных горизонтах (этажах), обрушение пород на одном из горизонтов может спровоцировать обрушение как выше, так и ниже лежащей толщи. Например, при обрушении толщи пород на верхнем горизонте, происходит резкий удар, который может служить толчком для активизации сдвижения ниже лежащих слоев. К тому же в этом случае увеличивается нагрузка на породы кровли, поддерживающие от обрушения ниже расположенные пустоты.

Обрушение пород может начаться также с самого нижнего горизонта, который испытывает максимальную нагрузку. После обрушения ниже лежащих пластов пород, для верхних ликвидируются места, служащие опорой для надвигающегося над пустотой слоев породы. В результате такой «цепной» реакции на земной поверхности образуются провалы значительных размеров. Обрушения такого рода можно назвать механическими, то есть такими, которые происходят только от действия внешней нагрузки вышележащей толщи пород.

Существует и другой тип обрушения, развитию вторичных нарушений в котором способствуют природно-техногенные процессы.

Например, при заполнении открытых пустот водой (известно, что шахтные воды очень агрессивны), стенки полостей постепенно размываются. Если пустоты окружены легко вымываемыми известково-доломитовыми или гипсово-ангидритовыми породами, то спустя определенное время развивается техногенный карст закрытой формы. Карстовая полость увеличивается до тех пор, пока ее кровля не выдержит собственного веса и рухнет. В результате образуется провал (воронка обрушения).

Провалы могут формироваться и в абсолютно «сухих» условиях в подземных выработках заполненных закладочным материалом. В этом случае в нарушенном массиве протекают физические и химические процессы взаимодействия пород между собой и с шахтной атмосферой, в результате которых породы могут разлагаться, окисляться, дробиться под действием внешней нагрузки (вышележащий слой пород), уплотняться и цементироваться. В зависимости от типа закладочного материала отмечалось уменьшение его мощности после уплотнения до 50%. В случае залегания в вышележащей толще слабых пород происходит их прогиб и/или обрушение с образованием на поверхности провальной воронки.

Таким образом, существуют различные причины образования провалов.

К основным факторам, влияющим на условия образования провалов, можно отнести:

- геологическое строение массива;
- физико-механические свойства покрывающей толщи горных пород;
- размеры и форма выработанного пространства (пустот);
- глубина отработки;
- наличие в выработанном пространстве целиков, их размеры, физико-механические свойства слагающих их пород;
- наличие закладки выработанного пространства и ее состав;
- обводненность выработанного пространства и устойчивость пород к вымыванию;
- природно-техногенные процессы в нарушенном массиве.

Наличие множества влияющих факторов, не возможность контролировать процессы, протекающие в нарушенном массиве после закрытия шахты, отсутствие моделей образования и развития провалов приводит к тому, что периодически в регионах значительно перегруженных горнодобывающими предприятиями образуются провалы. С учетом того, что на территории Украины ежегодно образуется более 1 млрд. м<sup>3</sup> пустот, практически нет данных о расположении старых шахт и горных выработок, не ведутся наблюдения за состоянием отработанного массива, проблема образования воронок может значительно усугубиться.

**Практическая часть.** Интересным примером активизации природно-техногенных процессов является образованная в результате отработки Желтореченского месторождения открытым и подземным способом провальная воронка на территории г. Желтые Воды. Далее на примере этого объекта рассмотрены условия его образования и приведены предлагаемые технические решения по восстановлению нарушенного массива до состояния, близкого к природному.

Желтореченское месторождение находится в северной части Криворожского железорудного бассейна. Добыча руд Желтореченского месторождения производилась открытым и подземным способами. Подземная разработка осуществлялась без закладки выработанного пространства.

В результате сдвижения массива, обусловленного подземной разработкой, произошло обрушение горных пород. На поверхности образовалась воронка обрушения, которая захватила часть погашенного карьера и часть земной поверхности.

Воронка обрушения расположена в пределах городской черты г. Желтые Воды Днепропетровской области на расстоянии 0,5 км от русла р. Желтая. До обрушения рассматриваемая территория являлась областью питания реки. Глубина воронки составляет 120 метров (минимальная абсолютная отметка дна - минус 10,0 м., а поверхности - плюс 110 м), площадь поверхности воронки по максимальному контуру обрушения - 25,7 га.

Повсеместно на прилегающей к воронке территории имеются отвалы раздробленных скальных и песчано-глинистых грунтов. В северо-западной части борта воронки находится действующий участок складирования пустой породы.

На земной поверхности отмечены зоны оседания и деформаций, имеются зоны трещин и террас.

Особенности образования провальной воронки. Геологическое строение пород криворожской серии в пределах Желтореченского месторождения имеет некоторые особенности. Они заключаются в том, что на обоих крыльях Желтореченской синклинали распространены кварцито-карбонатные породы верхней свиты криворожской серии. Общая протяжённость пластов кварцито-карбонатных пород составляет около 5 км, при средней мощности – 320-400 м.

Контуры и параметры провальной воронки имеют некоторые отличия от тех воронок, которые образуются только в результате подземной выемки руды.

Они заключаются в том, что обычно при обрушении пород на большой площади образуется над выработанным пространством плита из крепких пород. В данном случае обрушенные породы отсутствуют или присутствуют в незначительном количестве. Следовательно, образование провала земной поверхности произошло при воздействии на нарушенный подземными горными работами массив активизировавшихся при этих же разработках природно-техногенных процессов.

Значительная часть карбонатсодержащих кварцитов, доломитов, тальково-карбонатных пород и карбонатизированных кварцево-сланцев подверглась процессам выщелачивания. В результате выщелачивания карбонатной составляющей указанных пород происходит карстообразование. При выщелачивании, кварцито-карбонатная толща превратилась в пористые («губчатые») породы, а местами в песчанистую обломочную и песчано-глинистую породу. Пористость таких пород составляет в среднем 13-15 % и достигает иногда 50 %, при размере пор 1-3 мм. Особенно благоприятными для карстообразования являются ослабленные зоны на контакте кварцево-сланцев с карбонатизированными кварцитами, доломитами и тальково-карбонатными породами. Карсты имеют форму линз, вытянутых по простиранию пластов пород и погружающихся к северу, согласно с погружением шарнира складки. С глубиной выщелачиваемость пород и закарстованность постепенно затухают. Образованию карстовых процессов способствуют минерализованные подземные воды с высокой концентрацией ионов  $SO_4$ ,  $Cl$  и  $Na$ .

Следовательно, произошло сдвижение карбонатсодержащих пород, которые подверглись выщелачиванию и в дальнейшем к их смыву в подземные горные выработки.

Изложенное также подтверждается тем, что в провальной воронке не накапливаются воды атмосферных осадков. Вода перемещается по стенкам провальной воронки, постепенно разрушая их, особенно на нижних горизонтах в связи с увеличением мощности водотока. В дальнейшем это может привести к очередному обрушению пород. Кроме того, возможно и в настоящее время продолжается выщелачивание карбонатсодержащих пород на обширной площади.

Отсутствие воды в воронке свидетельствует о ее гидравлической связи с подземными выработками. Открытая гидравлическая связь между поверхностными водами, которые поступают в воронку, и подземными шахтными водами

окажет существенные негативные экологические последствия в будущем. Они заключаются в следующем.

После выемки балансовых запасов руды и закрытия шахты, не будет работать шахтный водоотлив, что приведет к ее затоплению. Существующая депрессионная воронка, которая сдренировала верхние водоносные горизонты на значительной площади, будет ликвидирована, что приведет к поднятию уровня подземных и образованию поверхностных вод. То есть емкость провальной воронки будет заполнена водой, которые согласно естественному разрезу будут двигаться в сторону р. Желтая. Это приведет к подтоплению большой близлежащей к городу территории, а насыщение водой суглинков, которые распространены повсеместно под застройками, приведет к просадкам грунта под сооружениями. Такое экологическое бедствие происходит при закрытии некоторых шахт в Донбассе.

К тому же наличие такого большого водоема (при заполнении провальной воронки водой) приведет к повышенным испарениям и изменению микроклимата района. Воронка представляет большую опасность, поскольку зона сдвижения массива горных пород охватила часть городских улиц.

Во избежание этих экологических бедствий необходимо:

а) ликвидировать гидравлическую связь поверхностных вод с подземными водами, которая происходит через провальную воронку;

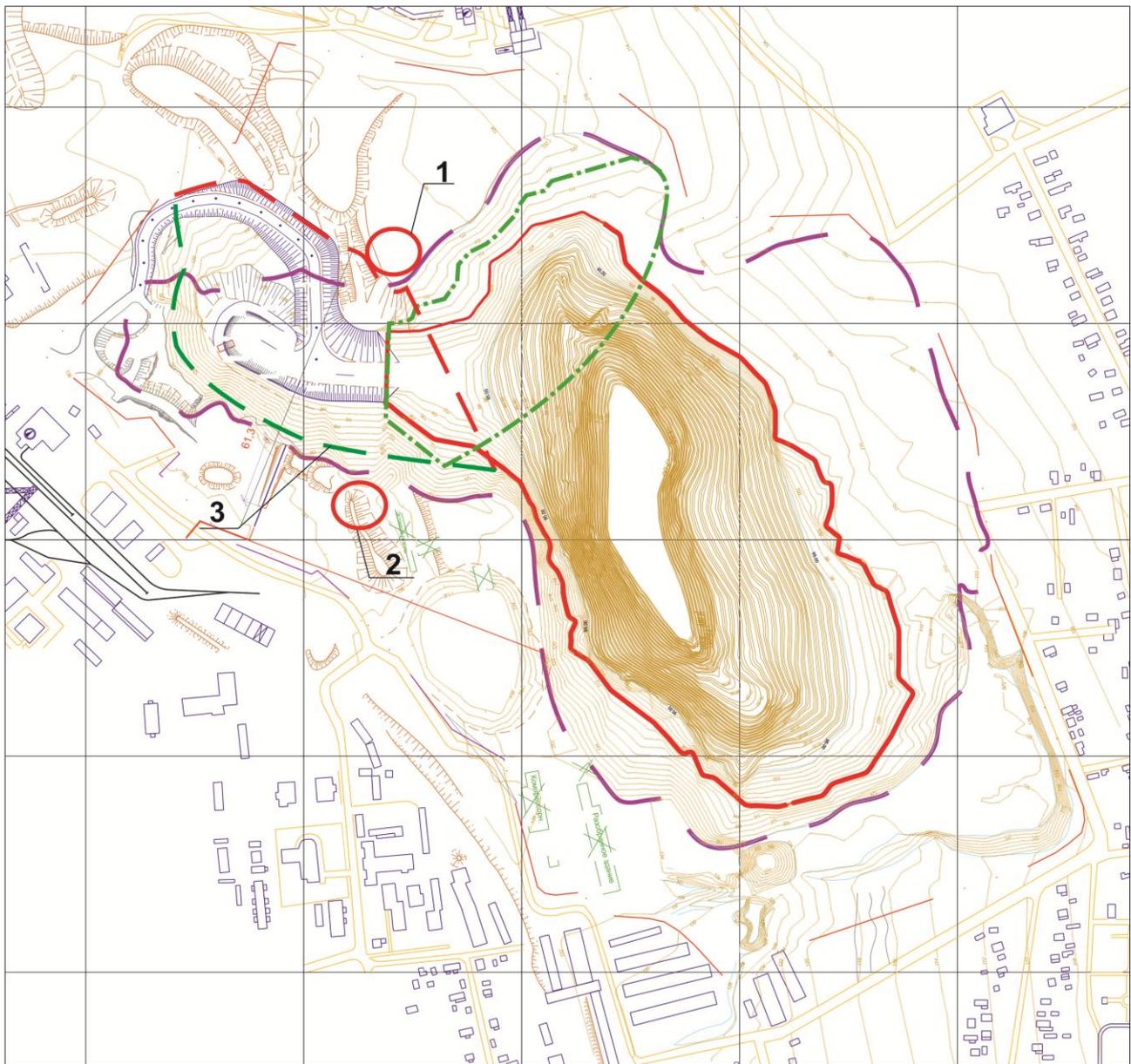
б) произвести засыпку провальной воронки (пока существует такая возможность);

в) осуществить рекультивацию путем создания техногенной геологической среды со свойствами близкими естественной.

В настоящее время Желтореченское месторождение обрабатывается ш. «Новая» ООО «Восток-Руда». С целью ликвидации нарушенного участка поверхности руководством ООО «Восток-Руда» принято решение засыпать провальную воронку пустыми породами, извлекаемыми из шахты, и отходами обогащения руды.

Предлагаемые этапы рекультивации . По данным топографической съемки в настоящее время рельеф поверхности имеет вид, представленный на рис. 1.

Как видно, борта контура провальной воронки имеют различные высотные отметки. Минимальную отметку имеет восточный борт (+110,0 м). В связи с этим наиболее рациональным является заполнение емкости провальной воронки пустыми породами и хвостами обогащения до этой отметки, что будет являться первым этапом технической рекультивации провальной воронки (см. рис. 1). Для засыпки провальной воронки горной породой на поверхности предлагается обустроить площадки для разгрузки автосамосвалов.



- контур первого этапа рекультивации
- - - контур второго этапа рекультивации
- - - контур третьего этапа рекультивации

1, 2 – площадка для разгрузки автосамосвалов в пространство провальной воронки при засыпки тоннеля; 3 – сформированный контур земной поверхности до отм. +123,0 м

Рис. 1 - Контур проведения этапов технической рекультивации провальной воронки и план формирования поверхности с учетом строительства тоннеля для выезда автотранспорта из ш. «Новая»

На втором этапе рекультивации планируется сформировать дополнительную емкость путем строительства дамбы на отметку +116,0 м в северной части провальной воронки, что позволит увеличить полезную емкость для складирования отходов добычи и обогащения руд ОАО «Восток-руда» (см. рис. 1).

Планировка поверхности осуществляется на последнем этапе технической рекультивации провальной воронки (см. рис. 1) и является чрезвычайно важ-

ной, поскольку модель ее организации влияет на конечный контур техногенного рельефа, гидрогеологические условия региона и безопасность дальнейшего использования рекультивированной площади.

Еще одной особенностью рекультивации рассматриваемого объекта является то, что часть пространства провальной воронки предусматривается использовать для вывоза горной массы из ш. «Новая» через строящийся подземный тоннель с выходом его в пространство Михайловского карьера на отм. +100,0, которую дальше планируется транспортировать по автомобильной дороге до отм. +132,7 м.

Поскольку отметка естественного рельефа в точке выхода автодороги на поверхность составляет 132,7 м, а средняя отметка земной поверхности на границе провальной воронки в западной части составляет 123,0 м, то формируемый участок автодороги не позволит произвести полное заполнение провальной воронки до уровня ненарушенной земной поверхности (отм. +123,0 м), что приведет к следующему:

1) на земной поверхности после проведения рекультивационных работ останется техногенная выемка глубиной от 14,0 м в восточной части до 23,0 м в северо-западной части участка;

2) сократится полезная емкость заполняемого пространства за счет его недоиспользования, что повлечет необходимость складирования хвостов обогащения и пустой породы в другие емкости с неизбежным изъятием земель под их обустройство;

3) сформированная таким образом площадка будет местом разгрузки поверхностного стока атмосферных осадков, что может привести к повторному карстообразованию, размыву и оседанию поверхности.

Для рационализации использования пространства провальной воронки, с учетом максимального приведения земной поверхности к естественному состоянию и рельефу, вывоз горной массы из ш. «Новая» после выхода штольни в пространство отработанного Михайловского карьера на отметку +100 м предлагается осуществлять по закрытому тоннелю. В связи с этим, предлагается обустроить закрытый тоннель от места выезда автотранспорта из шахты до отметки +123,0 м. что позволит полностью заполнить провальную воронку. Формирование тоннеля можно производить из железобетонных тубингов или железобетонных лотков по следующей технологической схеме.

С отметки +100,0 м по направлению формирования автодороги (выезда из шахты) с помощью автокрана устанавливаются элементы сборной железобетонной крепи, например из блоков тоннелей. Наружная часть стыковых соединений крепи заполняется гидроизоляционными материалами.

При достижении уровня заполнения провальной воронки отметки +100,0 м осуществляется засыпка сформированного тоннеля пустой породой с двух площадок на земной поверхности (отм. +123,5 м и отм. +134,0 м) и разравнивание ее бульдозером. Таким образом, формируется тоннель и контур земной поверхности до отметки +123,0 м (см. рис. 1).

В виду разницы абсолютных отметок сформированной таким образом поверхности рекультивируемой провальной воронки и естественного рельефа, по западному и юго-западному бортам необходимо предусмотреть формирование уступов (террас) с укреплением их путем посадки деревьев.

#### Использование пространства провальной воронки.

Рекомендуемые этапы рекультивации позволяют не только более полно использовать пространство провальной воронки и близлежащей территории, но и обезопасить город от распространения пыли и других экологических опасностей.

Поскольку провальная воронка располагается непосредственно в черте города, то после завершения ее засыпки на поверхности предлагается обустроить парк отдыха (см. рис. 2). В пределах сформированных на третьем этапе технической рекультивации провальной воронки террас, предусматривается проведение биологической рекультивации. Для этого укладывается потенциально плодородный слой мощностью 0,6-0,8 м, после которого наносится слой плодородного слоя (чернозема) мощностью 0,2-0,3 м. На сформированные террасы после нанесения плодородного слоя производится высадка растений.



Рис.2 - Расположение зон различного назначения на территории рекультивированной провальной воронки

### Восстановление гидрорежима грунтов и питания р. Желтая при рекультивации провальной воронки.

Естественный разрез геологической толщи в пределах г. Желтые Воды представлен водоносными горизонтами четвертичных и осадочных отложений (Полтавский ярус) и зоны кристаллических пород (Криворожская серия).

Поскольку Желтореченское месторождение разрабатывают в течение более полувека, то водоносные горизонты четвертичных и осадочных отложений сдренированы до гор. -502 м. В результате образовался ряд депрессионных воронок. В соответствии с методикой определения параметров депрессионной воронки, изложенной в [1], установлены радиусы депрессионной воронки в районе расположения горных выработок закрытой шахты, погашенного карьера и образовавшейся в этом месте на поверхности провальной воронки: радиус депрессионной воронки по направлению с юго-запада на северо-восток составляет 1655 м; радиус депрессионной воронки по направлению с северо-запада на юго-восток составляет 2977 м.

Таким образом, в пределах границ провальной воронки и далеко за ее пределами участок значительно осушен и осложнений при его рекультивации за счет влияния подземных вод не будет.

Кроме того, осушение значительного по размерам участка и формирование техногенного рельефа привело к нарушению питания р. Желтая, расположенной восточнее провальной воронки в 0,5-2 км. В результате русло р. Желтая осушено, река заилена и обмельчала.

Поскольку участок провальной воронки располагается в пониженной части рельефа, то с севера и северо-запада рекультивированная площадка будет наполняться потоком ливневых и дождевых вод. В связи с этим необходимо определить характеристики дождевого стока и предусмотреть его регулирование.

Установлено, что для данных условий необходимо обеспечить сбор и отведение  $74699,8 \text{ м}^3/\text{год}$  вод атмосферных осадков, стекающих на территорию провальной воронки.

Для этих целей в пределах контура второго этапа технической рекультивации поверхности провальной воронки (см. рис. 1) рекомендуется воссоздать водоносный горизонт и построить пруд-накопитель атмосферных сточных вод.

Параметры пруда – накопителя определяются количеством сезонных атмосферных осадков, которые будут поступать в него с прилегающей территории, глубиной залегания грунтовых вод и принимаемых технических решений по созданию искусственного водоносного горизонта на рассматриваемом участке.

Естественный разрез верхней толщи пород на рассматриваемом участке представлен суглинками мощностью 8-12 м. Водоносный горизонт четвертичных отложений приурочен к пескам, подстилающим суглинки и собственно самим суглинкам. Глубина залегания водоносного горизонта четвертичных отложений с северо-восточной стороны провальной воронки до осушения территории составляла 10-20 м. В результате осушения месторождения произошло пе-

реуплотнение водосодержащих пород и их оседание. Таким образом, расчетное положение естественного разреза ранее водоносных пород вод четвертичных отложений находится на глубине 8 м в северо-восточной части участка.

Высотные отметки современного рельефа за пределами контура рекультивации провальной воронки на рассматриваемом участке составляют 110-118 м.

Для восстановления верхнего водоносного горизонта предусматривается следующее. После заполнения емкости провальной воронки пустыми породами и хвостами обогащения до отметки +110 м (первый этап технической рекультивации) в пределах контура второго этапа технической рекультивации предусматривается укладка слоя тяжелых глинистых пород с их укаткой и утрамбовкой. Мощность укладываемого слоя глинистых пород – 0,4-0,5 м.

Контур второго этапа технической рекультивации по южной и юго-западной стороне ограничивается обустраиваемой дамбой с обязательным ее экранированием. Отметка гребня дамбы +116,0 м.

Площадь участка в пределах контура второго этапа рекультивации заполняется суглинками мощностью 1-1,5 м, поверх которых укладывается песчано-гравийный слой мощностью 0,5 м, который перекрывается легкими суглинками до отм. +115,5 м. Укладка пород производится с учетом существующего уклона. В северной части участка формируется емкость пруда-накопителя объемом 30,0 тыс. м<sup>3</sup> глубиной 2-4 м (см. рис.5.14). Дно пруда, его западный и южный борт экранируются. С северной и западной стороны пруд не экранируется, что обеспечивает поступление и отток поверхностных вод по уложенным вышеуказанным образом породам.

Существующий техногенный рельеф участка обеспечивает естественный уклон пород и их отток.

Таким образом, предлагаемый проект восстановления геологической среды в районе сформированной провальной воронки в г. Желтые Воды позволит восстановить геологическую среду до состояния, близкого к природному, снизить экологическую нагрузку на регион и безопасно эксплуатировать ш. «Новая» ООО «Восток-Руда».

**Выводы.** Установлено, что процесс образования провальных воронок многогранен и зависит от многих факторов. При этом протекание процесса образования провалов возможно по четырем разным типам. Заблаговременное предотвращение образования провалов возможно только путем проведения наблюдений за состоянием массива после закрытия шахт на протяжении длительного периода. На примере провала в г. Желтые Воды показаны процессы сдвижения и карстообразования, приводящие к обрушению значительных масс горных пород и земной поверхности. Предложено направление рекультивации провала в г. Желтые Воды с засыпкой его нижних горизонтов пустыми породами ш. «Новая» и отходами обогащения, созданием искусственного гидрогеологического и гидравлического режима спланированного массива и рельефа, что позволит снизить техногенную нагрузку в регионе, предотвратить развитие негативных гидрогеологических процессов после закрытия ш. «Новая».

---

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Четверик, М.С. Влияние нарушения геологической среды на подтопление территорий и образование депрессионной воронки при выемке полезных ископаемых [Текст] / М.С. Четверик, Е.А. Бубнова, В.П.Кулак / Матеріали міжнародної конференції Форум гірників – 2008 (Дніпропетровськ, 13-15 жовтня 2008 р.) Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С.226-233.

### REFERENCES

1. Chetverik, M.S., Bubnova, Ye.A. and Kulak, V.P. "Effect of violation of the geological environment at elevated groundwater levels and the formation of cone of depression during excavation of minerals", Materialy mizhnarodnoi konferentsii Forum girnykiv-2008 [Proceedings of the International Conference of Forum miners – 2008], Dnepropetrovsk, Ukraine, 13-15 October 2008, pp. 226-233.

---

### Об авторах

**Четверик Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, chetverik.mihail@inbox.ru.

**Бубнова Елена Анатольевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, bubnova@nas.gov.ua.

**Сорока Юрий Николаевич**, кандидат технических наук, директор Общества с ограниченной ответственностью «ЦЕНТР РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА» (ООО «ЦЕНТР РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА»), Желтые Воды, Украина, yuriy\_sor@ukr.net.

### About the authors

**Chetverik Mikhail Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, chetverik.mihail@inbox.ru.

**Bubnova Yelena Anatolevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bubnova@nas.gov.ua.

**Soroka Yuriy Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Director of Limited Liability Company "Center of radio-environmental monitoring" (LLC "Center of radio-environmental monitoring"), Zheltye Vody, Ukraine, yuriy\_sor@ukr.net.

---

**Анотація.** Щорічно з надр землі на території України витягується більше мільярда кубічних метрів гірничої маси у вигляді добутих корисних копалин і попутно видобутих розкритих і вміщуючих порід, що призводить до утворення пустот відповідних розмірів. Через десятки, а іноді і сотні років, в районі розташування старих шахт і підземних виробок утворюються провали.

В роботі розглянуті основні фактори, що впливають на утворення провалів. Наведені основні типи вторинних порушень в масиві гірських порід з подальшим формуванням провалів. На прикладі провальної воронки в м. Жовті Води показані причини активізації природно-техногенних процесів в підробленому масиві і змодельоване їх подальший розвиток. Показано, що після закриття шахти «Нова», яка прилягає до провальної воронки, відбудеться підтоплення частини міської території з утворенням відкритого водоймища, просадка ґрунтів під будівлями і спорудами. З метою уникнення зазначених наслідків відпрацювання запасів Жовторіченського родовища пропонується в три етапи призвести рекультивацию провальної воронки з раціональним використанням її простору.

Пропонований варіант відновлення геологічного середовища в районі сформованої провальної воронки в м. Жовті Води дозволить відтворити геологічне середовище до стану, близького до природного, знизити екологічне навантаження на регіон і безпечно експлуатувати ш. «Нова» ТОВ «Схід-Руда».

**Ключові слова:** видобуток корисних копалин, порожнечі, деформації, карст, провали, рекультивація.

**Abstract.** Every year in Ukraine more than billion cubic meters of rocks is recovered from the bowels of the earth in the form of extracted minerals and associated overburden and host rocks causing formation of underground pockets of various sizes. In tens and even hundreds years the caves will be formed in the area of the old mines and underground tunnels.

The paper describes main factors conducing to cave formation and main types of secondary rock dislocations with postforming of the caves.

On example of a sinkhole in the city of Zhyoltye Vody, causes for intensified natural and man-caused processes in the undermined space are shown with a model of their further development. It is demonstrated that when the Novaya Mine, which is adjacent to the sinkhole, becomes closed a part of the city territory would be flooded, an open water body would be formed, and soil under the buildings and structures would subside. In order to avoid such consequences of the field mining reclaiming of the sinkhole is proposed to be performed in three stages.

The proposed method for recovering geological environment in the sinkhole allow to recreate geological environment close to the original natural state, reduce negative ecological load on the region and provide safely operation of the Novaya Mine of the company East- Ore LLC.

**Keywords:** mining, voids, deformations, karst, dips, recovery.

*Статья поступила в редакцию 15.09.2013  
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. Л.М. Васильевым*