

© А.Н. Феофанов¹

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, Украина

ВСПЛЫВАЮЩИЕ ПУСТОТЫ

© А. Feofanov¹

¹ M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

POP-UP CAVITIES

Целью работы является исследование малоизученного в настоящее время процесса перемещения сохранившихся в приповерхностном угледобывающем массиве Донбасса пустот от мест их первоначального расположения к земной поверхности.

Методика исследования. Проанализированы фактические случаи так называемого всплывания пустот в угледобывающей практике. Выполнен абстрактный расчёт поэтапного всплывания условно сохранившейся выработки (пустоты) в породном массиве различной прочности.

Результаты исследования. Определены условия и факторы, способствующие всплыванию сохранившихся пустот на вышележащие горизонты. Установлена связь между высотой всплывания пустоты и её первоначальными размерами, глубиной расположения от земной поверхности, прочностью породных слоёв и возможными провоцирующими факторами. С увеличением доли малопрочных пород в массиве высота всплывания пустоты увеличивается и наоборот – наличие крепких пород минимизирует высоту всплывания пустоты вплоть до её консервации. Любая последующая пустота всплывает на меньшую высоту и с меньшими размерами. Количество и высота всплываний в каждом конкретном случае индивидуальны.

Научная новизна. Всплывание пустот – это возобновление процесса сдвижения после казалось бы полной ликвидации пустоты за счёт обрушения её вышележащими породами. Оценка сохранившейся выработки (пустоты) на возможность образования провала на поверхности не должна ограничиваться только лишь этапом её самоподбучивания. Необходим учёт процесса всплывания, следующего за этим.

Практическое значение. Обоснована необходимость учёта данного процесса при оценке степени опасности участков земной поверхности, подработанных заброшенными горными выработками на малых глубинах, в связи с их потенциальной способностью к провалообразованию, что повышает точность прогноза.

Ключевые слова: малая глубина подработки, сохранившиеся пустоты и выработки, свод обрушения, коэффициент разрыхления, воронка провала, трещиноватость, гидрогеология массива, влияющие факторы, зона уплотнения, высота всплывания, однородный массив, провалообразующая глубина.

Вступление. Процесс образования провалов на подработанных угленосных территориях заключается в обрушении горных пород приповерхностной, частично выветрелой и разуплотнённой толщи в сохранившиеся на верхних горизонтах горные выработки или пустоты. Сохранению пустот в так называемых старых (отработанных) выработках способствуют небольшая глубина их залега-

ния и, как следствие, малое горное давление вышележащих пород, применявшаяся система отработки угля (в основном камерная), используемые для охраны горных выработок ленточные целики и оставленная в них крепь.

Образующийся при обрушении первых породных слоёв свод постепенно перемещается к земной поверхности. Если обрушающиеся породы за счёт собственного разрыхления успеют подбуть свод ещё в массиве до его выхода на поверхность (так называемое самоподбучивание пустоты), то провал не образуется (рис. 1 а). Если же этого не произойдёт, то свод обрушения выйдет на земную поверхность с образованием воронки провала (рис. 1 б). Данный механизм провалообразования положен в основу оценки опасности участков земной поверхности [1], подработанных на выходах угольных пластов.

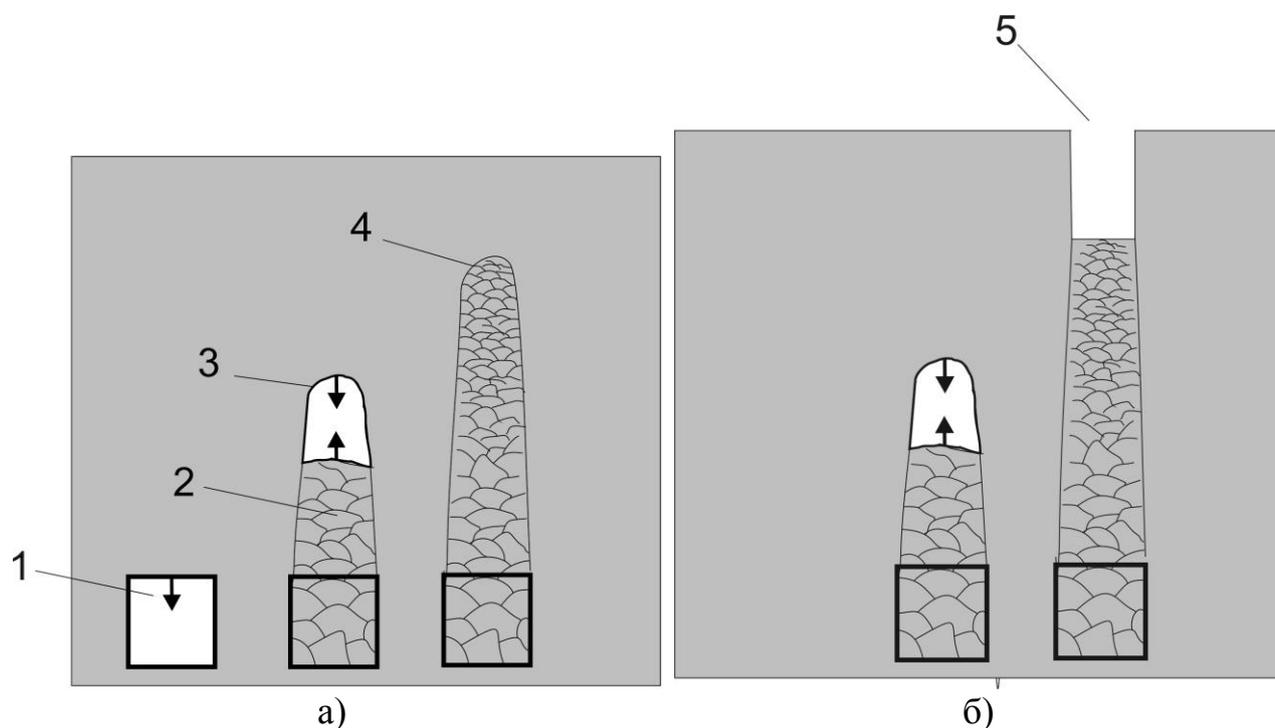


Рис. 1. Схема развития обрушения в массиве и провала на поверхности
 а) при самоподбучивании свода обрушения в массиве; б) при выходе свода обрушения на поверхность: 1 – заброшенная горная выработка; 2 – обрушенные породы; 3 – свод обрушения; 4 – подбученный свод обрушения; 5 – провал на земной поверхности

Постановка проблемы. При подбучивании свода обрушившимися породами ликвидируется причина провалообразования – пустота. Поэтому априори подразумевают, что процесс обрушения прекратился, а участок земной поверхности переходит в разряд неопасных по провалам. Следовательно, возможна его последующая безопасная эксплуатация. Тем не менее, подобное утверждение нельзя считать окончательным и безапелляционным, потому что целый ряд случаев из горной практики свидетельствует, что процесс обрушений несколько позже возобновляется в виде так называемых всплывающих пустот, но уже на верхних горизонтах от места первоначального обрушения.

Цель работы. Исследование закономерностей процесса всплывания пустот для его учёта при оценке степени опасности подработанных на выходах угольных пластов участков земной поверхности.

Изложение основного материала. Карбоновая толща Донбасса имеет многослойную структуру, состоящую из осадочных пород различной мощности и прочности. Эта особенность определяет долгосрочность процесса обрушения на десятки, а то и сотни лет. Как уже отмечалось [2], любой породный слой при обрушении разрыхляется (увеличивается в объёме) с определённым коэффициентом разрыхления, зависящем от ряда факторов, основные из которых – прочностные свойства слоя на момент оценки и глубина его залегания в интервале обрушения. Со временем скопившиеся на почве выработки породы начинают уплотняться (слёживаться) как за счёт давления от вышеобрушенных слоёв, так и за счёт изменяющейся гидрогеологии породного массива. Причём уплотнение происходит одновременно с разрыхлением – обрушающиеся верхние слои разрыхляются, в это же время ранее обрушенные нижележащие слои уплотняются под их весом. Одновременность этих двух процессов проявляется вплоть до образования провала на поверхности или до ликвидации свода обрушения в массиве (самоподбучивания). И если после образования провала разрыхляться уже нечему, так как все слои обрушены, а после самоподбучивания свода разрыхляться некуда, так как уже нет пустоты, то процесс уплотнения обрушенного материала ещё продолжается неопределённое время. Свидетельство тому регулярные проседания земной поверхности на устьях старых вертикальных стволов и в местах бывших провалов, ликвидированных засыпочным материалом.

Что касается самоподбученных в массиве сводов обрушений, то, благодаря продолжающемуся процессу уплотнения, в куполе свода со временем образуется новая пустота (рис. 2).

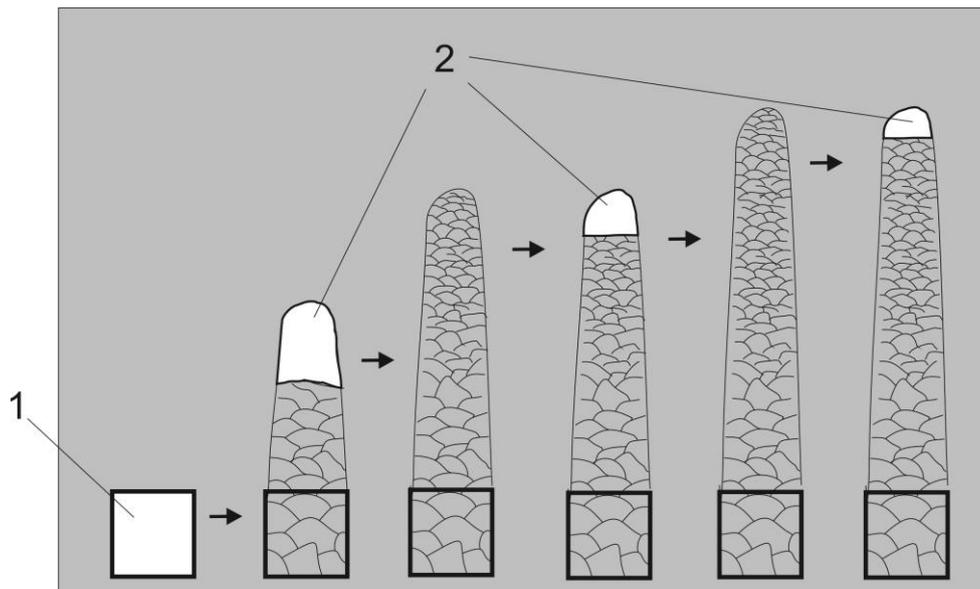


Рис. 2. Схема образования всплывающей пустоты:

1 – первоначальная «материнская» пустота (выработка); 2 – «дочерние» всплывшие пустоты

Очевидно, что по размерам «дочерняя» пустота будет меньше первоначальной «материнской» пустоты (разрыхленная порода не слёживается до состояния монолитного слоя). Однако её потенциальная опасность может оказаться большей, так как она будет располагаться ближе к земной поверхности, увеличивая при этом вероятность образования провала. Получается что пустота, ликвидированная в массиве обрушенными породами, образуется вновь, но только уже на верхних горизонтах и в меньших размерах. То есть она как бы всплывает в массиве, приблизившись к поверхности и создав новую угрозу образования провала.

При определённых условиях даже незначительных размеров всплывшей пустоты может оказаться достаточно для появления на земной поверхности провала, ранее не прогнозируемого от залегающей глубже первоначальной пустоты.

Особенно велика вероятность такого проявления при наличии на пути всплывания зон водонасыщенных песков, характерных для мощных наносных отложений Западного Донбасса, раздробленных и размывных породных слоёв, зон повышенной трещиноватости. И, наоборот, наличие в приповерхностном массиве одиночных крепких пластов песчаников или известняков, наблюдаемых в антрацитовых районах Восточного Донбасса, препятствует процессу всплывания, создавая на длительное время (до разрушения препятствующего слоя) барьер на пути перемещения пустоты (рис. 3).

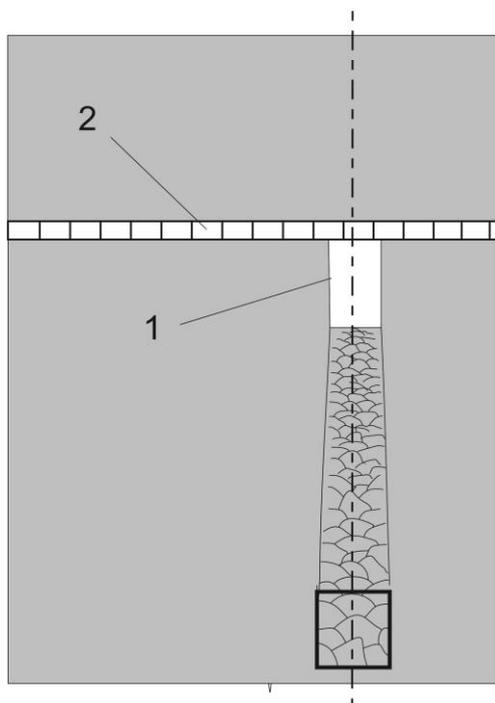


Рис. 3. «Консервация» всплывшей пустоты в крепких породных слоях:
1 – всплывшая пустота; 2 – пласт известняка

В подобных случаях из-за остановки процесса обрушения, но продолжающегося уплотнения и вымывания обрушенных пород размеры всплывшей пустоты будут увеличиваться. Благодаря такой долгосрочной «консервации» потенциальная опасность всплывшей пустоты будет лишь возрастать.

Так называемый эффект всплывающих пустот можно наблюдать в ходе проведения разведывательных буровых работ с поверхности на горизонты залегания заброшенных горных выработок для оценки их состояния и получения данных о прочностных свойствах залегающих над ними породных слоёв. К сожалению, на сегодняшний день это пока что единственный достоверный способ получения подобной информации. Нередки случаи, когда разведывательная скважина пересекает как «всплывшую» по оси перемещения свода обрушения пустоту, так и уже заполненную обрушенными породами первоначальную пустоту, хотя, согласно имеющимся планам, никаких отработанных угольных пластов и горных выработок выше первоначальной пустоты нет.

Характерные примеры.

1. Шахтой "Ударник" (Торезско-Снежнянский угледобывающий район Донбасса) разрабатывались два угольных пласта h_6 и h_6' при расстоянии между ними 18 м. На глубине 139 м в 1956-58 гг. был отработан восьмой горизонт по пласту h_6 , а в 1982 г, через 25 лет после отработки пласта h_6 , при ведении очистных работ по вышележащему пласту h_6' в коренной западной лаве комбайном была подсечен свод обрушения, возникший на нижележащем угольном пласте h_6 над завалом в старом погашенном штреке и заполненный газоздушной смесью, имеющей всего 8 % кислорода, что привело к тяжёлым последствиям. Свод имел размеры $2,5 \times 4,5$ м на 19-ом метре от места первоначального обрушения. Толща между пластами была представлена алевролитами (район углей марки А). Выхода на поверхность воронки обрушения не было.

2. На поле погашенной шахты № 8 ПО "Дзержинскуголь" (Центральный угледобывающий район Донбасса) при угле падения толщи 8° буровой скважиной, пройденной с поверхности, на глубине 36 м был обнаружен свод обрушения. Анализ имеющейся горно-графической документации и результатов бурения показал, что первоначально обрушение произошло на глубине 73 м над вентиляционным штреком пласта k_7 . Новый свод обрушения образовался на 37-ом метре от места первоначального обрушения и пока приостановил своё дальнейшее развитие.

Высота всплывания пустоты в массиве и её параметры определяются целым рядом факторов. Это и размеры первоначальной (материнской) пустоты, и глубина залегания от поверхности, и наличие вокруг неё дополнительного примыкающего пространства, и угол падения угленосной толщи, и прочностные свойства обрушаемых породных слоёв, и провоцирующие факторы (пльвуны, тектоника, гидрогеология, сейсмика и др.). Поэтому расчёт высоты всплывания пустоты индивидуален в каждом конкретном случае в зависимости от сложившейся на момент оценки горно-геологической и горнотехнической ситуации.

Чтобы проследить общую закономерность данного процесса, был произведен расчёт высоты всплывания пустоты над заброшенной выработкой высотой 2,0 м, сохранившейся в однослойном массиве (рис. 4 и табл. 1).

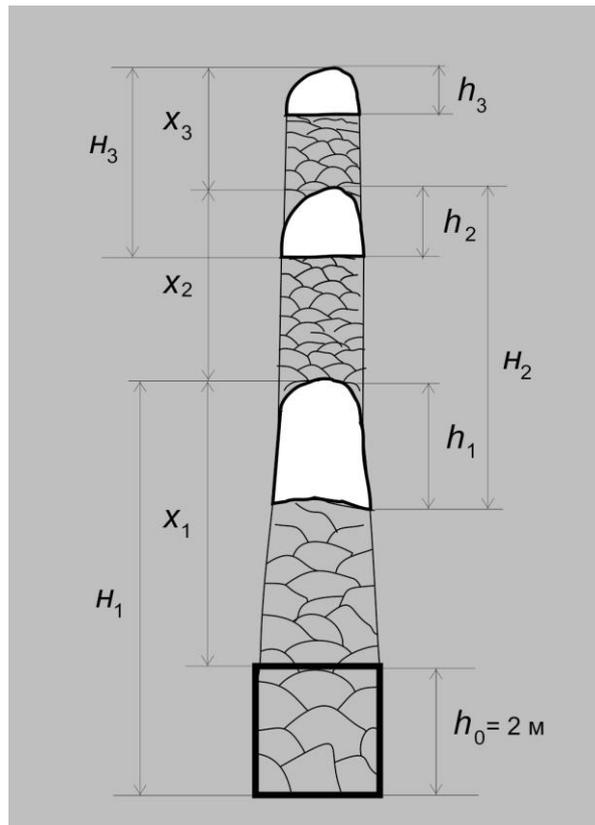


Рис. 4. Схема к расчёту всплытия пустоты над заброшенной выработкой в однослойном массиве

Таблица 1

Параметры механизма всплытия пустоты над заброшенной выработкой высотой $h_0 = 2$ м в однородном массиве с коэффициентом разрыхления $k_p = 1,80$ (песчаник)

№ п/п	Высота пустоты h_0 , м	Высота свода обрушения над пустотой x_i , м	Высота зоны уплотнения H_i , м	Высота всплывшей пустоты h_i , м	Высота всплытия пустоты над выработкой, м
	1	2	3 = 1+2	4 = 3 x 0,3	5
1	2,00	2,50	4,50	1,35	2,50
2	1,35	1,70	3,05	0,92	4,20
3	0,92	1,15	2,07	0,62	5,35
4	0,62	0,77	1,39	0,42	6,12
5	0,42	0,52	0,94	0,28	6,64
6	0,28	0,35	0,63	0,19	6,99
7	0,19	0,24	0,43	0,13	7,23
8	0,13	0,16	0,29	0,09	7,39
		$\Sigma = 7,39$			

Поэтапное всплывание пустоты происходит следующим образом. В сохранившуюся заброшенную выработку высотой $h_0 = 2$ м обрушаются залегающие в кровле породы с образованием свода обрушения. Процесс продолжается до тех пор, пока обрушенные породы за счёт своего разрыхления не подбуют свод на высоте X_1 от кровли выработки. Обрушенные породы заполняют как саму выработку, так и свод обрушения, что в совокупности составляет зону уплотнения $H_1 = h_0 + X_1$. Через некоторое время подбутившие свод породы осядут (уплотнятся), образовав в вершине свода новую пустоту высотой h_1 . Обрушенной породы должно быть столько, чтобы при разрыхлении она смогла заполнить как саму выработку (пустоту), так и образовавшийся свод, то есть $k_p \cdot X_i = X_i + h_i$. Исходя из имеющихся на сегодняшний день данных по уплотнению разрыхленных пород [2] максимальная усадка основных породных слоёв Донбасса может достигать до 30 %. Таким образом, $h_i = 0,3 \cdot H_i$. Расчёт проведен до тех пор, пока высота вновь образованной пустоты будет соизмерима с возможными размерами обрушенных породных кусков (0,1 м).

Подобные расчёты были выполнены для пород с коэффициентом разрыхления $k_p = 1,65$ (алевролит) и $k_p = 1,50$ (аргиллит). Графическое представление процесса всплывания пустот для рассмотренных условий отражено на рисунке 5.

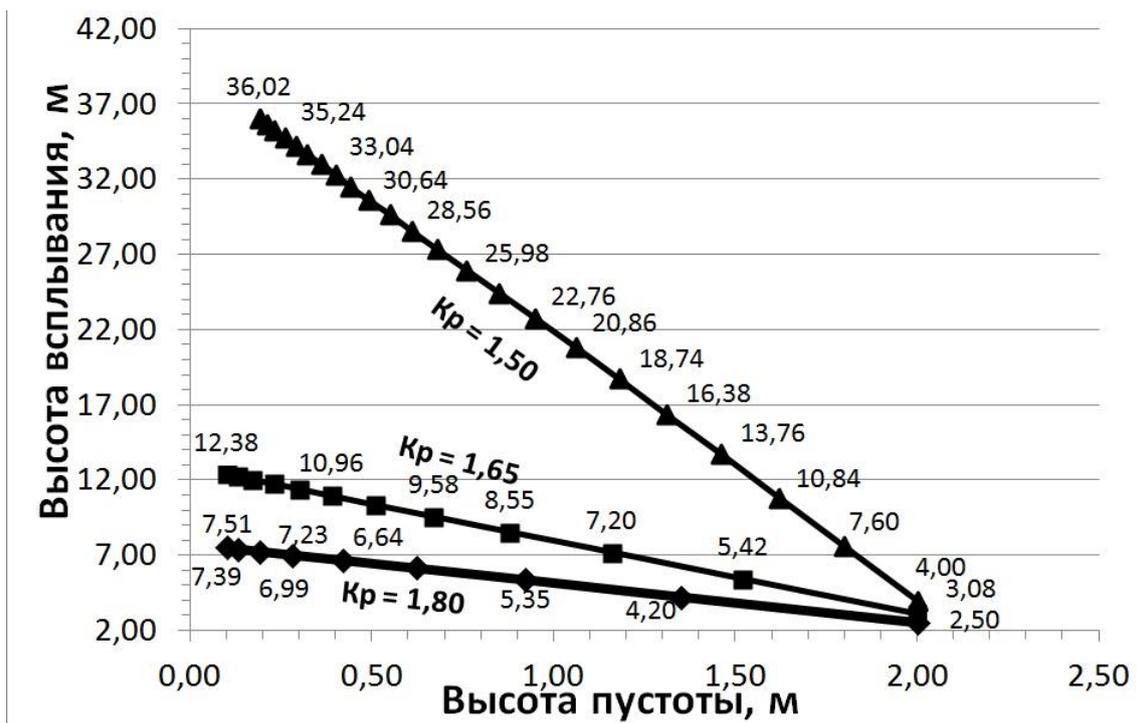


Рис. 5. Всплывание пустот в однородном массиве с различным коэффициентом разрыхления

Не стоит забывать, что результаты расчётов получены для условий некой локально сохранившейся в однородном массиве пустоты высотой 2,0 м, что на практике является скорее исключением из правил.

Во-первых, горный массив Донбасса представляет собой многослойный «пирог» из переслаивающихся породных слоёв различной прочности, и, как отмечалось выше, преобладание в общей массе тех или иных слоёв специфично для отдельных горнопромышленных районов региона.

Во-вторых, сохранившиеся выработки могут весьма отличаться как по размерам, так и по конфигурации, в зависимости от функционального назначения.

В-третьих, так называемый «принцип самоподбучивания» [3], благодаря которому происходит ликвидация сводов обрушений в массиве, а значит и возможных провалов, идеально работает с первых обрушенных слоёв только в условиях локально сохранившейся горной выработки (пустоты). Любая выработка имеет определенное функциональное назначение и является частью шахтной сети горных выработок. К ней обязательно примыкают (пересекаются) другие выработки (см. рис. 2 [3]). Даже если обрушение первых слоёв кровли по каким-либо причинам произойдёт целым массивом, а не послойно, и свод обрушения подбучится, то последующее уплотнение и перераспределение накопившейся горной массы в примыкающее свободное пространство особенно под воздействием гидрогеологического фактора приведёт к образованию новой пустоты у подбученного свода обрушения.

Таким образом, представленные выше результаты отражают общую закономерность процесса всплывания. Тем не менее, они хорошо коррелируют с результатами ранее проведенного исследования [4], в котором обозначены глубинные границы сохранения провалообразующих пустот для различных районов Донбасса. А именно: в районах залегания низкометаморфизированных углей (марки Д, Г) менее прочный породный массив склонен к образованию провалов с глубин до 160 м, а в районах залегания высокометаморфизированных (антрацитовых) углей крепкие породы не позволяют развиваться провалам с глубин свыше 60 м.

Выводы.

1. Самоликвидация заброшенных выработок путём обрушений в них вышележащих пород не гарантирует окончательного исключения их из провалообразующего процесса. Всплывание пустот является следствием уплотнения и перераспределения ранее обрушенных в сохранившуюся выработку (пустоту) пород, увеличивая тем самым вероятность образования провала на земной поверхности.

2. Высота всплывания пустоты зависит в первую очередь от её первоначальных размеров, глубины расположения от земной поверхности, прочности породных слоёв и возможных провоцирующих факторов. С увеличением доли малопрочных пород в массиве высота всплывания пустоты увеличивается и наоборот – наличие крепких пород минимизирует высоту всплывания пустоты вплоть до её консервации.

3. Любая последующая пустота всплывает на меньшую высоту и с меньшими размерами. Количество и высота всплываний в каждом конкретном случае индивидуальны.

4. Всплывание пустот – это возобновление процесса сдвижения после казалось бы полной ликвидации пустоты за счёт обрушения вышележащими породами. С этих позиций использование при оценке некоего общепринятого провалообразующего глубинного интервала в 80-100 м не корректно. Оценка сохранившейся выработки (пустоты) на возможность образования провала на поверхности не должна ограничиваться только лишь этапом её самоподбучивания. Необходим учёт последующего процесса всплывания.

5. Данный процесс характерен не только для приповерхностного массива, но и для больших глубин. Однако в таких условиях (высокая прочность пород и относительное постоянство гидрогеологии массива) он менее вариативен и проявляется в меньшей степени.

Перечень ссылок

1. Феофанов, А.Н., & Скопич Т.И. (2015) Оценка возможности провала земной поверхности. *Уголь Украины*, (11), 7-12.
2. Феофанов, А.Н. (2017) О коэффициенте остаточного разрыхления. *Уголь Украины*, (5-6), 64-68.
3. Феофанов, А.Н. (2016) Принцип самоподбучивания при оценке провалообразований. *Уголь Украины*, (1), 3-6.
4. Феофанов, А.М. (2003) *Обґрунтування параметрів урахування старих гірничих виробок на малій глибині для охорони поверхневих об'єктів* (Автореферат кандидатської дисертації). Донецьк.

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є дослідження маловивченого на теперішній час процесу переміщення збережених у приповерхневому вуглепородному масиві Донбасу пустот від місця їхнього первинного розташування до земної поверхні.

Методика дослідження. Проаналізовано фактичні випадки так званого спливання пустот у вугледобувній практиці. Виконано абстрактний розрахунок поетапного спливання умовно збереженої виробки (пустоти) в породному масиві різної міцності.

Результати дослідження. Встановлено умови і фактори, що сприяють спливанню збережених пустот на вищезалягаючі горизонти. Встановлено зв'язок між висотою спливання пустоти та її первинними розмірами, глибиною розташування від земної поверхні, міцністю породних шарів і вірогідними провокуючими факторами. Із збільшенням частини маломіцних порід у масиві висота сплива пустоти збільшується, і навпаки – наявність міцних порід мінімізує висоту спливання пустоти, аж до її консервації. Будь-яка наступна пустота спливає на меншу висоту і з меншими розмірами. Кількість і висота спливань у кожному конкретному випадку індивідуальні.

Наукова новизна. Спливання пустот – це відновлення процесу зрушення після здавалось би повної ліквідації пустоти за рахунок обвалення її вищезалягаючими породами. Оцінювання збереженої виробки (пустоти) на вірогідність утворення провалу на поверхні не повинне обмежуватися тільки етапом її самопідбучування. Є необхідність враховувати процес спливання, що йде за цим.

Практичне значення. Обґрунтована необхідність урахування даного процесу при оцінюванні ступеня небезпеки ділянок земної поверхні, підроблених покинутими гірничими виробками

на малих глибинах, у зв'язку з їх потенційною здатністю до провалоутворення, що підвищує точність прогнозу.

Ключові слова: мала глибина підробки, збережені порожнечі та виробки, склепіння обвалення, коефіцієнт розпушення, воронка провалу, тріщинуватість, гідрогеологія масиву, впливаючі фактори, зона ущільнення, висота спливання, однорідний масив, провалоутворювальна глибина.

ABSTRACT

The object of this paper is research into the understudied for now process of cavities, preserved in the sub-surface coal-bearing strata in the Donets Basin, moving from the places of their original location towards the surface.

Case study approach. The recorded cases became known as pop-up cavities that occur in coal mining practice are analyzed. Prediction computation of stage-by-stage popping-up of relatively undestroyed mine opening (cavity) in coal-bearing strata of different strength is made.

Research results. The conditions and factors contributing to the popping-up of the remaining cavities towards the overlying levels are determined. Relations of the popping-up cavity height, its initial size and depth of location from the surface, the strength of rock layers and the potential triggers are determined. With increase in proportion of low-strength rocks within the solid the height of cavity increases and presence of strong rocks minimizes the height of cavity popping-up to and including its preservation. Any subsequent cavity pops-up to lower height and with smaller dimensions. The number and height of popping-up in each particular case are individual.

The scientific novelty. Popping-up of cavities implies continuation of the process of ground movement after seemingly complete elimination of the cavity due to caving of it by overlying rocks. Evaluation of the remained mine working (cavity) possible caving should not be limited to a stage of its self-cleavage and its popping-up should be taken into account.

Practical importance. The necessity of this process to be taken into account in evaluating the danger level of the surface areas, damaged by abandoned mine workings at shallow depths due to their potential caving capability is justified that improves prediction accuracy.

Key words: shallow depth of undermining, remained cavities and mine openings, cave roof, degree of fragmentation, pitcrater, rock jointing, rock hydrogeology, affecting factors, compression zone, pop-up height, homogeneous rock mass, caving depth.