

УДК 556.3:622.831.6

ПЕРЕОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС АКТИВИЗАЦИИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЙ

Феофанов А. Н.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

На підставі детального аналізу останніх даних по пошкодженнях земної поверхні над старими гірничими виробками проведено переоцінку впливу факторів на процес активізації. Доведено переважне значення гідрогеологічного фактору, як такого, що найбільше впливає на міцнісні властивості породного масиву і на процес активізації утворення провалів.

Based on the detailed analysis of recent data of surface damage above abandoned mine workings reevaluation of factors that effect activation process was made. A primary importance of hydro-geologic factor as such that has the major effect on strength properties of rock mass and caving activation process is proved.

Известно, что развитие повреждений земной поверхности при активизации процесса сдвижения породной толщи над старыми выработками во многом зависит от влияющих факторов. В работах [1-3] на основании предварительных исследований все факторы, способные в той или иной степени повлиять и спровоцировать процесс обрушения породных слоев, разделены на следующие основные группы: факторы, способствующие сохранению пустот, провоцирующие и сопутствующие. На сегодняшний день в результате анализа уже зафиксированных случаев повреждений земной поверхности установлены три крупных группы провоцирующих факторов: изменение прочности горных пород, изменение напряженного состояния вокруг старой выработки и

сейсмическое воздействие. Каждая из этих групп представляет собой совокупность факторов одинаковой направленности. Так, например, изменение прочности породного массива может происходить как за счет снижения длительной прочности, так и в связи с изменением гидрогеологических условий. На основании предыдущих исследований, значительная часть провоцирующих факторов имеет техногенное происхождение (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1
Распределение повреждений земной поверхности по провоцирующим факторам

Фактор	Количество повреждений	В процентном соотношении
Техногенный	44	33
Гидрогеологический	22	16
Тектонический	7	5
Плывуны	6	5
Комплексные воздействия	18	13
Неопределённый	37	28
ВСЕГО	134	100

К техногенным были отнесены те факторы, которые непосредственным образом связаны с деятельностью человека в природе: осушение и затопление выработок, подработка приповерхностного массива горными работами по нижележащим пластам, сотрясения поверхности вследствие забивания свай, вибраций турбин и других механизмов, движения ж/д и автотранспорта, порывы водопроводных и канализационных сетей, ирригационные, взрывные и буровзрывные мероприятия и т.п. Доля этих

факторов в общей совокупности велика, так как очень часто, при фиксации очередного повреждения земной поверхности, именно эти факторы считают первопричиной происшедшего.

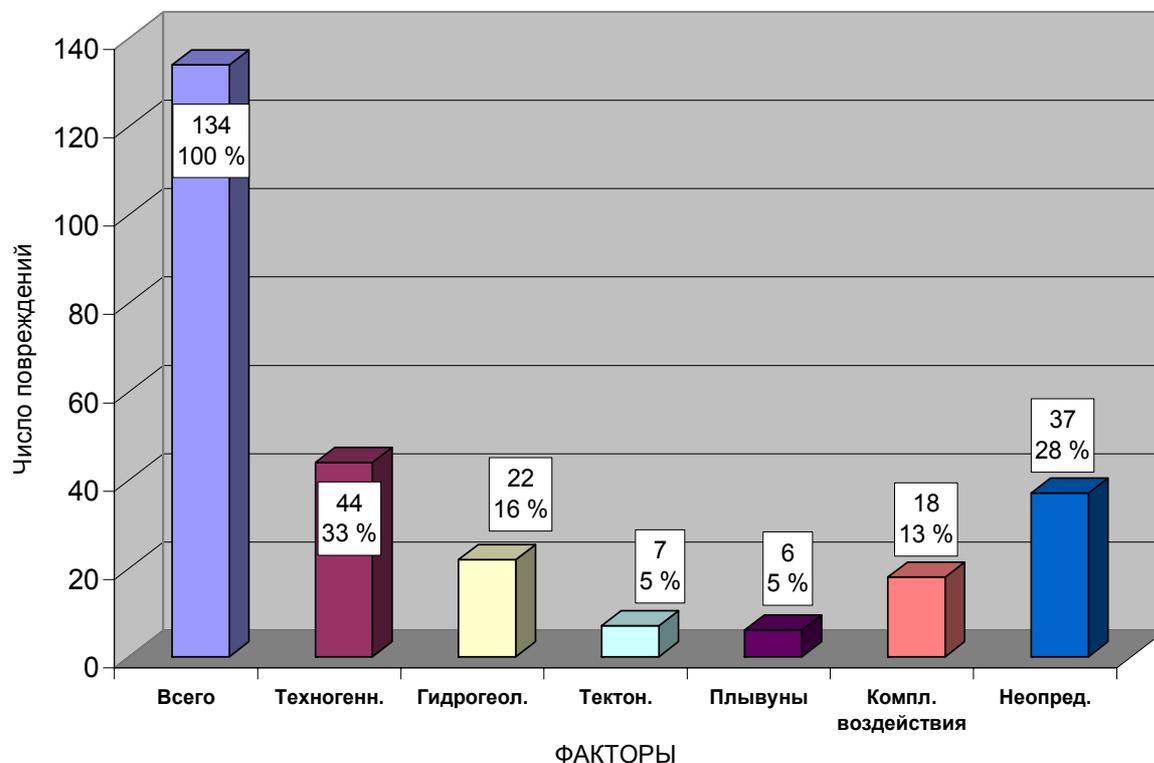


Рис. 1. Диаграмма распределения повреждений земной поверхности по провоцирующим факторам

Проведенный более детальный анализ имеющихся последних данных о повреждениях земной поверхности и факторах, способствующих этому, позволил перераспределить доли воздействия в пользу гидрогеологического фактора.

Гидрогеологический фактор – это изменение гидрогеологии породного массива на малых глубинах за счет естественного водопритока подземных, поверхностных вод и атмосферных осадков, а так же осушение или затопление горных выработок. Уже является неоспоримым фактом, что существенная часть провалов образовалась и продолжает образовываться после обильных осенних дождей или весенних паводков, когда происходит интенсивное замачивание выветрелого приповерхностного массива. Особенно ярко это проявляется в Центральном Донбассе при

крутонаклонном и крутом залегании пластов, что способствует лучшей фильтрации поверхностных паводковых вод в породные слои. Такая предрасположенность отдельных участков поверхности обрушаться после обильных дождей была использована, например, в США (штат Вайоминг) при реализации Национальной программы по борьбе с вредным влиянием старых горных выработок [4]. Обильное и длительное орошение таких участков водой из местной реки привело к ликвидации (обрушению) сохранившихся пустот. Последующая их засыпка и укрепление способствовали повышению эксплуатационной пригодности этих участков.

Существенное влияние на гидрогеологические условия участка оказывают плывуны, то есть тонко- и мелкозернистые, пылеватые и водоносные пески или водонасыщенные глины, которые при вскрытии выработок плывут. При этом провалы поверхности достигают наибольших размеров.

Так, на поле шахты “Кременная-Восточная” и “Кременная-Западная” ПО “Лисичанскуголь” при наличии 15-ти метрового слоя песков, размер провала на поверхности составил 15×5 м при глубине 6 м. На шахте “Селидовская” ПО “Селидовуголь” при 15-ти метровом слое обводненных песков и плывунов размеры провала поверхности достигли $10 \times 9,5$ м и глубины 10 м. Известен целый ряд подобных случаев, когда подработка зоны обводнённых песков и водонасыщенных глин вызвали существенные нарушения породной толщи и земной поверхности. Поэтому логично такие воздействия также отнести к гидрогеологическому фактору.

Часто повреждения земной поверхности развиваются на устьях уже ликвидированных вертикальных или наклонных горных выработок. Как правило, такие случаи относят к проявлению техногенного фактора, а именно, неудовлетворительное погашение выработок (неполная засыпка, некачественная пробка на устье и т. д.). Однако независимо от времени и качества выполненных ликвидационных работ, повреждения на выходах таких выработок проявлялись и продолжают проявляться. Обследования ранее погашенных стволов [3] показывают, что породная засыпка испытывает длительную усадку, которая за 40-50 лет дос-

тигает 40 % её первоначальной высоты. В результате в погашенном стволе образуются весьма протяжённые пустоты, состояние которых неуправляемо [5]. Известен ряд случаев, когда проведенная полная засыпка стволов и шурфов не даёт положительного эффекта, и устья ликвидированных выработок в результате уплотнения заполняющего материала и сохранившихся в выработке пустот со временем оседают и обрушаются.

Так, в ш/у им. О. Кошевого ПО «Краснодонуголь» ежегодно производится повторная засыпка устьев десятков выработок, но после некоторого промежутка времени усадка возникает снова. Не спасает положение даже перекрытие ж/б плитой полностью засыпанных стволов.

Ликвидированный несколько десятков лет назад путём засыпки породой до поверхности и перекрытый ж/б плитой ствол № 2 шх. им. Горького, при обследовании в 2008 г. дал усадку закладочного материала на глубину до 8 м. Ствол был повторно досыпан до поверхности и перекрыт плитой. Дополнительный объём породы составил 90 м³.

В 2002-03 гг. на шх. № 3 «Александровская» ГП «Орджоникидзеуголь» был ликвидирован наклонный шурф, проведенный в 1943 – 44 гг., путём засыпки и бетонирования устья на глубину 4 м. В апреле 2005 г. на устье шурфа образовался провал (рис. 2). Причиной явились паводковые воды, которые проникли под плиту перекрытия и бетонную пробку, размывли закладочный материал, образовали воронку провала за пределами ограждения и вызвали повреждение поверхностной конструкции на устье.

Такие случаи характерны для всех горнопромышленных районов. В Германии на шх. «Фридрих» в 1954 г. произошло повторное понижение уровня закладки в стволе, тщательно засыпанном ещё в 1935 г. В 1954 г. на шх. «Йоганн» после подтопления территории произошло понижение уровня закладки в стволе, засыпанном в 1927 г.

Практически все подобные случаи происходят благодаря воздействию гидрогеологического фактора. Причина заключается в воде и её разрушающем воздействии на породный массив. Сюда относятся как изменения гидрогеологического режима (затопление или осушение) породного массива, так и проникновение

поверхностных вод рек, водоёмов, регулярные порывы водопроводов, коллекторов, а так же периодические фильтрации в массив паводковых вод и осадков.



Рис. 2. Провал на устье ликвидированного наклонного шурфа

Детальное изучение комплексных повреждений, когда совместное воздействие на массив группы факторов приводило к развитию повреждений земной поверхности, так же позволяет выделить решающую роль гидрогеологического фактора. Практически всегда завершающее воздействие на активизацию процесса провалообразования оказывает изменение гидрогеологии массива. Например, на шх. Черкасская ПО «Луганскуголь» в 1964 – 65 гг. на глубине 140 м велась отработка угольного пласта k_3^B мощностью 0,85 м и углом падения 44° . После обильных весенних паводков и осенних дождей в 1967 г. на поверхности образовалась трещина шириной 0,7 м и серия небольших провалов.

Несколько десятилетий без проблем проработала котельная шх. Ольховатская ГП «Орджоникидзеуголь» ошибочно запроектированная и «посаженная» на выход пласта и устья двух ликвидированных шурфов. Всё это время участок неоднократно попа-

дал в зону влияния очистных работ по нижележащим пластам без каких-либо последствий. Ситуация кардинально изменилась, когда в марте 2004 г. после обильного таяния снега, очередного порыва водовода и канализации произошло оседание пола котельной до 10 см, раскрытие трещин по стенам здания, опускание подпорной колонны поверхностного водовода, образование двух провалов около фасада здания. Безусловно, своё влияние на развитие повреждений оказывала и подработка по пласту k_3 «Дерезовка» на глубине 380 м, как техногенный фактор. Но несомненно, что водный фактор явился самым существенным.

В ходе исследования ряд повреждений были отнесены к группе с неопределёнными факторами. Есть данные о самом повреждении, месте его проявления, но в силу субъективных причин отсутствует информация о возможных факторах, приведших к развитию этих повреждений. С определённой уверенностью можно утверждать, что большая часть этих повреждений также произошла при непосредственном участии гидрогеологического фактора и тогда его доля в распределении повреждений, отображённом в табл. 2 и на рис. 3, будет ещё больше.

Таблица 2

Уточнённое распределение повреждений земной поверхности по провоцирующим факторам

Фактор	Количество повреждений	В процентном соотношении
Техногенный	40	30
Гидрогеологический	64	48
Тектонический	7	5
Неопределённый	23	17
ВСЕГО	134	100

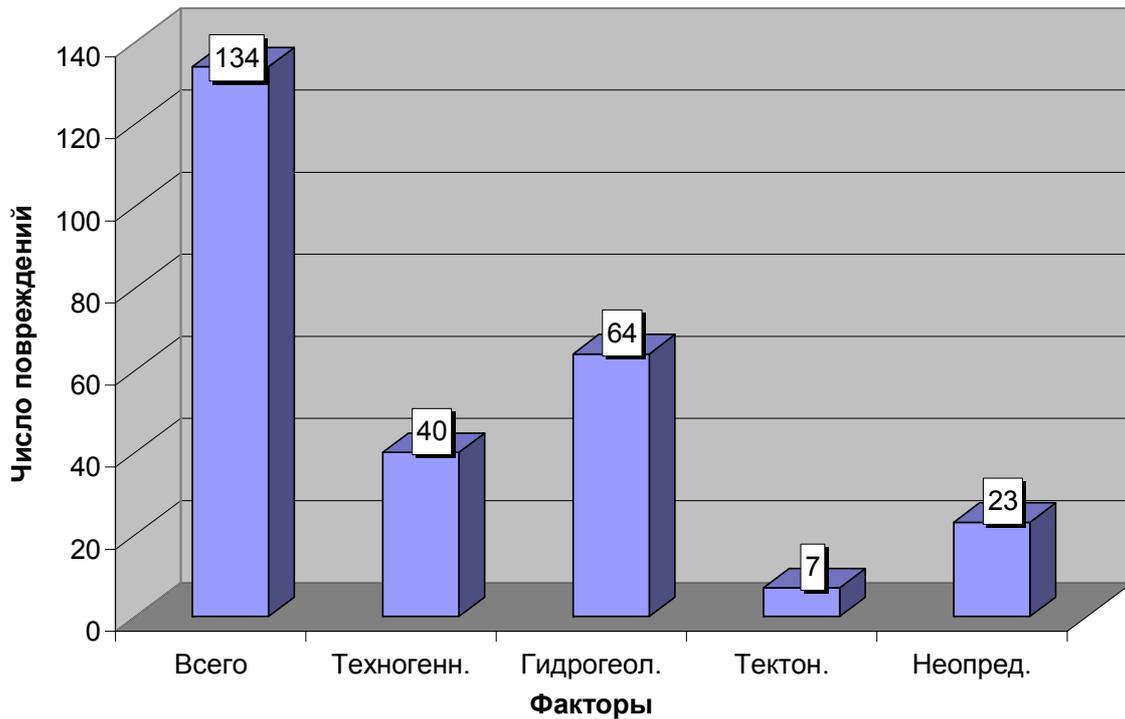


Рис. 3. Уточнённая диаграмма распределения повреждений земной поверхности по провоцирующим факторам

Таким образом, проведенный детальный анализ собранных данных позволяет несколько по иному взглянуть на природу процесса обрушения породного массива, залегающего над старыми горными выработками (пустотами), сохранившимися на малых глубинах, отдавая первостепенную роль гидрогеологическому фактору в этом процессе.

На малых глубинах по карбону (20 - 50 м) вся подработанная толща находится в зоне обрушения, повышенной трещиноватости и выветривания, что создает условия для интенсивной фильтрации в горные выработки как поверхностных, так и вод из деформированных водоносных горизонтов, находящихся в этой толще. Поступающие в подработанную толщу воды смачивают и размывают имеющиеся в ней трещины, способствуют развитию процесса обрушения горных пород в выработки, что приводит к образованию значительных по размерам воронок обрушения на поверхности. Закладочный материал, как бы хорошо он не располагался в ликвидируемой выработке, рано или поздно под воздействием подземных и поверхностных вод размывается по тре-

щинам и перераспределяется в свободное пространство примыкающих пустот и выработок, растворяется и уплотняется, что приводит к периодическим оседаниям устьев ликвидированных стволов, шурфов, скважин. И качество ликвидационных работ отражается лишь на длительности временного промежутка между очередными засыпками.

Аналогичные процессы происходят в старых протяжённых горных выработках с сохранившимися пустотами, которые заполняются обрушающимися породами вышележащей толщи при активизации процесса сдвижения. При определённых условиях накопление на почве выработки обрушенных пород, по мнению некоторых исследователей [6, 7] может привести к т.н. «самоподбучиванию» пустоты. Интенсивность самоподбучивания определяет высоту распространения обрушения в массиве над первоначальным контуром полости. Эта высота зависит от объёма пустоты, её конфигурации и степени изменения в объёме обрушающихся пород при переходе от естественного состояния в рыхлое. Изменение в объёме обрушающихся пород определяется коэффициентом их разрыхления k_p , который входит в формулу по определению высоты распространения возможного свода обрушения H над старой выработкой (пустотой) и соответственно степени опасности старых подготовительных выработок:

$$H = 2,5 \frac{h}{(k_p - 1)}, \quad (1)$$

где h – высота сохранившейся старой выработки (пустоты);
 k_p – коэффициент разрыхления обрушенных пород.

В литературе приведены различные данные о величине коэффициента разрыхления свежесобрушенных пород, например 1,25 – 1,5 [8], 1,5 – 2,5 [9]. Однако он отличен от коэффициента первоначального разрыхления, поскольку процесс формирования провала в массиве происходит в течение длительного времени. В этих условиях обрушенный материал уплотняется под давлением вышележащих пород и разрушается под влиянием выветривания. Поэтому используемый для расчётов коэффициент разрыхления принято называть коэффициентом остаточного разрыхления (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициентов разрыхления осадочных пород по [10]

Порода	Коэффициент разрыхления обрушенной породы	Остаточный коэффициент разрыхления
Песок	1,05 – 1,15	1,01 – 1,03
Глинистый сланец	1,40	1,10 – 1,15
Песчаный сланец	1,60 – 1,80	1,10 – 1,15
Алевролит	1,20 – 1,70	1,15 – 1,20
Аргиллит	1,15 – 1,55	1,20 – 1,25
Песчаник крепкий	1,50 – 1,80	1,25 – 1,30

Следует напомнить, что приближённое значение этого коэффициента 1,2 было получено для условий образования провала на поле шх. «Червона Зирка» ПО «Торезантрацит», где в 1980 г. образовался провал поверхности над устьем гезенка, расположенного на глубине 50 м. Полученное значение k_p не противоречило данным, приведенным, например в [11], где крепкий мергель и трещиноватый скальный грунт имеют остаточное увеличение объёма 10 - 20 %, а скальные породы различной крепости 20-30 %. Таким образом, для основных породных слоёв были приняты соответствующие коэффициенты остаточного разрыхления, которые применяются в настоящее время для оценки степени опасности старых подготовительных выработок (табл. 4).

Оценим это с позиций влияющей роли гидрогеологического фактора в процессе провалообразования, приведенной выше. Как уже отмечалось, старые горные выработки (пустоты), сохранившиеся на малых глубинах и представляющие опасность для земной поверхности, располагаются в приповерхностной выветренной части карбона, которая обязательно подвержена воздействию гидрогеологического фактора. Это близкое расположение к поверхности создаёт все необходимые предпосылки для всестороннего воздействия этого фактора. Это и сезонные изменения паводковых вод, проникающих с поверхности, и естественные изменения гидрогеологического состояния самого породного массива, и техногенное воздействие человека.

Таблица 4

Общепринятые исходные расчётные данные

Основные породные слои	Коэффициент остаточного разрыхления k_p	Высота развития свода обрушения H по формуле (1)
Аргиллит (глинистый сланец)	1,15	16,5 h
Алевролит (песчаный сланец)	1,20	12,5 h
Песчаник	1,25	10,0 h

Практически всегда процесс провалообразования происходит под воздействием в той или иной степени гидрогеологического фактора. Поскольку процесс формирования провала в массиве происходит в течение длительного времени, то соответственно и длительное меняющееся воздействие гидрогеологического фактора вносит свои существенные корректировки в этот процесс.

Прежде всего, это отразится на величине коэффициента остаточного разрыхления, отражающего увеличение объёма обрушенных пород по сравнению с нетронутым массивом. Возникает вопрос, а каким он будет для обрушенной горной массы, которая неоднократно в течение всего процесса обрушения будет то намокать, то подсыхать в соответствии с изменяющимися гидрогеологическими условиями. В то же время - это послойное обрушение разнообразных как по морфологии, так и по мощности литологических разностей, залегающих над пустотой и по-своему индивидуально взаимодействующих с водой. Для аналогии можно привести изменения угла естественного откоса различных обрушенных пород в зависимости от их состояния (табл. 5).

Таким образом, высота обрушенной на почву выработки породной массы при увлажнении будет уменьшаться пропорционально уменьшению угла естественного откоса и чем сильнее это увлажнение, тем меньше вероятность срабатывания принципа

«самоподбучивания», а, следовательно, сохраняется опасность такой выработки (пустоты) для земной поверхности.

Таблица 5

Изменение угла естественного откоса при изменении влажности

Материал	Угол естественного откоса, градус			Максимальное уменьшение, %
	сухой	влажный	мокрый	
Растительный грунт	40	35	25	37,5
Торф без корней	40	25	15	63
Суглинок	40 - 50	35 - 40	25 - 30	50
Глина жирная	40 - 45	35	12 - 20	73
Гравий	35 - 40	35	30	25
Скальные породы	32 - 35	30 - 35	-	14
Уголь (разрыхленный)	50	40	30	40
Песчано-глинистые породы	32 - 37	30 - 33	20 - 25	46
Глинистые породы	35 - 40	30 - 40	15 - 25	50

Применяемый в настоящее время расчётный метод оценки степени опасности был разработан для условий одиночных выработок (пустот) и коэффициенты остаточных разрыхлений были получены для условий естественной влажности породных слоёв. Но такие идеальные условия вряд ли можно встретить в природе. Во-первых, выработки (пустоты) не бывают локальными, обособленными и практически всегда связаны друг с другом. Это их непосредственное практическое предназначение, как транспортных артерий. Поэтому всегда существуют условия для перепуска обрушенной горной породы в свободные примыкающие пространства и по падению пласта на нижележащие горизонты, особенно при помощи водопритока.

Во-вторых, если величины коэффициентов остаточного разрыхления определены путем наблюдений, то крайне важно установить момент такого наблюдения, - при какой влажности они

были получены. Время играет решающую роль в данном вопросе, и невозможно установить, какой именно коэффициент следует признать правильным для характеристики разуплотнённости данной породы, - тот, который был определён в первые минуты, или тот, который определён спустя час, день, неделю и т. д., когда уже изменилась гидрогеологическая ситуация.

В-третьих, если гипотетически предположить, что при удачном совпадении идеальных условий сработал принцип «самоподбучивания» локальной пустоты, то нет гарантий, что с постоянно меняющимися гидрогеологическими условиями эта забутившаяся пустота не будет представлять опасности в последующем (рис. 4).

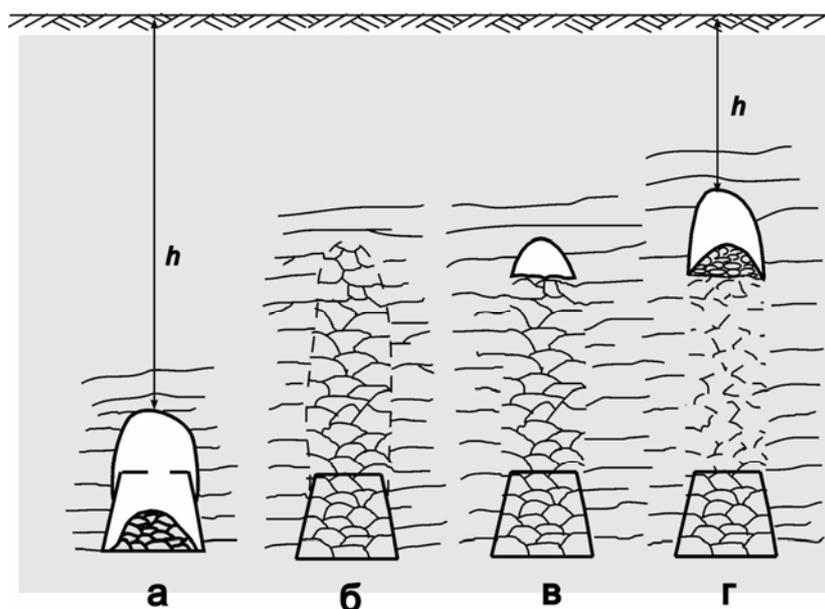


Рис. 4. Постепенное перемещение свода обрушения над выработкой (пустотой) в массиве к земной поверхности
а) первоначальное развитие свода обрушения; б) «самоподбучивание» образовавшейся пустоты; в) уплотнение обрушенных пород с образованием нового свода обрушения; г) дальнейшее развитие свода обрушения в массиве к поверхности

Со временем, благодаря воздействию воды, часть материала забутовки вымоется по трещинам, микротрещинам и порам массива, оставшаяся часть уменьшится в объёме, обнажив новый купол обрушения в массиве. При этом образованная пустота будет расположена уже ближе к поверхности карбона, вновь представляя опасность для земной поверхности. С этих позиций все рас-

чёты по оценке степени опасности старых выработок, выполненные по выше приведенной методике, являются не вполне корректными, т.к. не дают полной гарантии безопасности в последствии «самоподбутившихся» пустот. Причина одна – неучтены такие факторы, как время и состояние породного массива, которое в первую очередь определяется воздействием гидрогеологического фактора.

Выводы.

1. Детальное исследование факторов, провоцирующих процесс активизации старых горных выработок, позволяет утверждать, что гидрогеологический фактор является важным и наиболее влияющим в процессе провалообразования.

2. Применяемая в настоящее время методика расчёта развития высоты свода обрушения над старыми горными выработками на малых глубинах, включающая высоту сохранившейся выработки и полученный экспериментальным путём коэффициент остаточного разрыхления массива, являются первым шагом в решении вопросов, связанных с оценкой степени опасности старых горных выработок для земной поверхности. Однако, расчёты, выполненные по этой методике, не вполне корректны.

3. Назрела необходимость в разработке новых расчётных методов, которые будут исходить из изменений прочностных свойств конкретного породного массива во времени с учётом влияния именно гидрогеологического фактора, как наиболее влияющего на эти изменения.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Феофанов А. Н. Влияние гидрогеологических условий на процесс активизации заброшенных горных выработок // Уголь Украины. - 1995. - № 7.- С. 39-40.
2. Феофанов А. Н. Обоснование параметров учёта старых горных выработок на малой глубине для охраны поверхностных объектов: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Донецк, 2003.
3. Дослідження стійкості структурно-неоднорідних масивів гірських порід: Звіт про НДР (пром.ж.)/ УкрНДМІ; Керівник Дрібан В. О. – 14/08; № ДР 0107U010339. – Донецьк, 2008. – 185 с.

4. Mario G. Karfakis and Ertugrul Topuz. Post mining subsidence abatements in Wyoming abandoned coal mines // Mining Science and Technology. – 1991. – № 12. – P. 215 – 231.
5. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт / Звягильский Е. Л., Минаев А. А., Назимко В. В. и др. – Донецк: ООО «НОРД Компьютер», 2001.– 334 с.
6. Медянецев С. А. Сдвигение земной поверхности над выработками старых шахт в Донбассе // Уголь Украины. - 1983. - № 7. - С. 20 - 22.
7. Пальчик В. Д. О высоте зоны обрушения пород над старыми выработками под Донецком // Уголь Украины. - 1993. - № 6. - С. 53.
8. Ардашев И. А., Куксов Н. И., Шальгин А. С. и др. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых угольных пластов. М., «Недра», 1975.
9. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. - М.: Недра, 1978.- 560 с.
10. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
11. Горное дело. Терминологический словарь. «Недра», М., 1974.