

УДК 622.838

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КРУТОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТОВ

Е.И. Питаленко, А.Н. Феофанов
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

В.Н. Ермаков
(Министерство охраны окружающей среды, г. Киев)

Розглянуто механізм утворення провалів и осідань на виходах вугільних пластів при їх крутому заляганні, приведені характерні приклади.

Collapse and subsidence mechanism at steeply pitching coal bed outcroppings is considered and case studies are given.

Известно, что старые горные выработки, сохранившиеся на выходах угольных пластов, представляют опасность для земной поверхности [1, 2, 3]. Эта опасность заключается в возможности активизации процесса сдвижения породной толщи, зависшей над сохранившейся выработкой (пустотой) с образованием на земной поверхности повреждений различных форм и размеров. Наиболее опасным видом повреждений являются провалы, негативно отражающиеся на поверхностном ландшафте и приводящие к разрушению поверхностных объектов.

Механизм развития повреждений земной поверхности при пологом залегании пластов в определённой степени изучен и по этому вопросу проведен ряд существенных исследований [4, 5]. Однако, при крутом залегании пластов (Центральный район Донбасса) процессы провалообразования в местах сосредоточения старых выработок имеют свои особенности, которые до настоящего времени малоизученны.

Существенное влияние на механизм сдвижения пород и, в конечном итоге, на сам процесс развития провалов оказывает угол падения пластов. При пологом падении $\alpha < 25^\circ$ сдвижение пород происходит в форме прогиба слоёв подобно прогибу балок, защемлённых по двум концам.

При наклонном и крутом падении $25^\circ < \alpha < 65^\circ$ сдвижение слоёв горных пород происходит подобно прогибу наклонных консольных балок, защемлённых в основании. Вследствие этого при крутом залегании пластов горизонтальные сдвижения и деформации земной поверхности резко возрастают и становятся больше вертикальных сдвижений и деформаций в отличие от пологого залегания, где наблюдается обратная картина.

При углах падения $\alpha > 65^\circ$ сдвижение пород качественно изменяется. Вместо прогиба слоёв происходит сдвиг пород висячего и лежащего боков в сторону выработки.

Проведенными исследованиями [4, 6] установлено, что нормативно установленная опасная глубина для оценки степени опасности старых выработок является не вполне корректной. Эта глубина колеблется от 60 м в районах залегания углей марок А, Т до 160 м в районах углей марок Д, Г.

При этом ширина опасной зоны l на земной поверхности, в пределах которой возможны появления провалов, будет определяться (см. рис. 1):

$$l = H \operatorname{ctg} \alpha + d, \quad (1)$$

где H – предельная глубина развития провала, м;

α – угол падения пласта, град.;

d – диаметр провала на поверхности за счёт обрушений наносных отложений, м.

Очевидно, что с увеличением угла падения пласта ширина опасной зоны на земной поверхности будет уменьшаться. Так, при $\alpha = 70^\circ$ ширина опасной зоны будет от 22 м в районах залегания углей марок А, Т до 60 м при углях марок Д, Г.

Практически эта зона будет сосредоточена в виде полосы, вытянутой вдоль выхода пласта под наносы. В висячем крыле процесс накопления обрушенного материала на почве выработки (пустоты) невозможен, т. к. при таких углах залегания

происходит перепуск обрушенной массы вниз по падению на нижележащие горизонты.

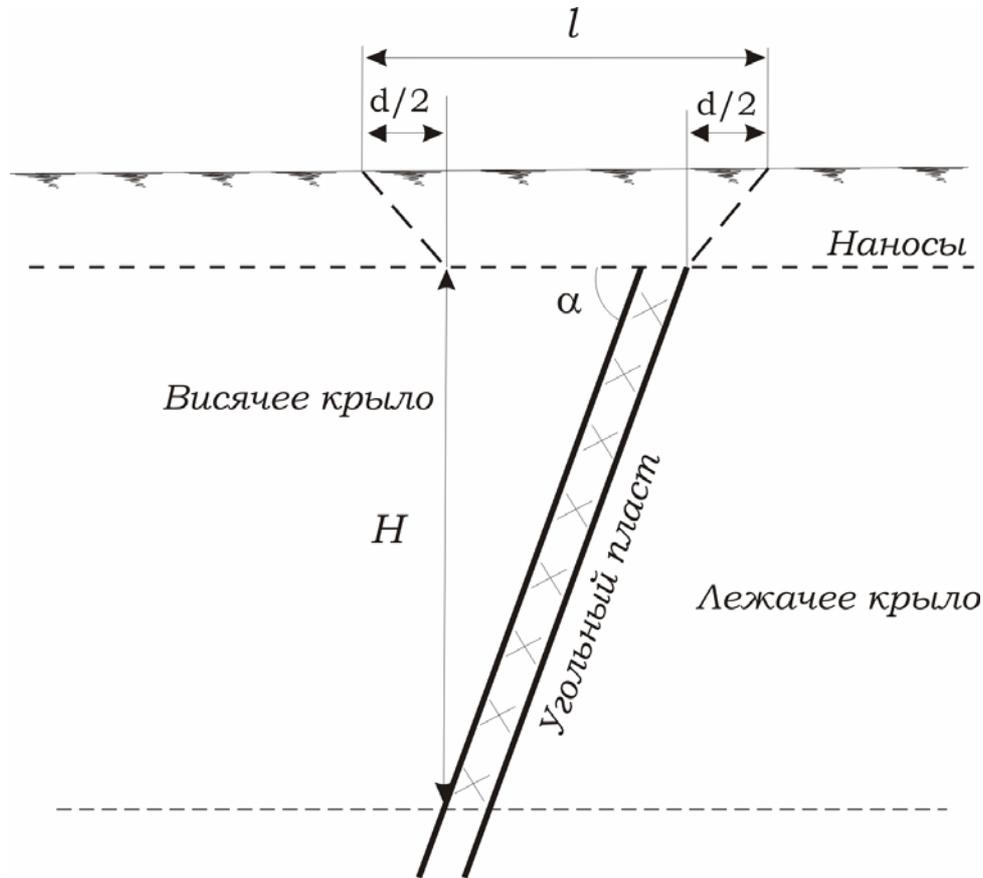


Рис. 1. Схема к определению на земной поверхности ширины зоны, опасной по провалам

При этом механизм «самоподбучивания», когда разуплотнённые обрушенные породы заполняют пустоту до самого купола, не реализуется, и свод обрушения беспрепятственно перемещается в породной толще и образует провал на земной поверхности (рис. 2).

При этом, в отличие от пологого падения, не важно над какой выработкой начался процесс активизации породной толщи. Наличие условий для перепуска обрушенных пород обуславливает образование повреждений земной поверхности в виде провала, как над протяжёнными, так и над очистными выработками. Такая схема развития провала характерна для условий круто-наклонного залегания пластов.

При крутом залегании пластов, когда горизонтальные составляющие процесса сдвижения намного превышают вертикальные, зона образования провалов будет сосредоточена на выходах пластов. Это, как правило, провалы на устьях наклонных стволов и шурфов и провалы при разрушении или сползании целиков угля, оставляемых по технологии выполнения очистных работ на крутых пластах для охраны подготовительных выработок.

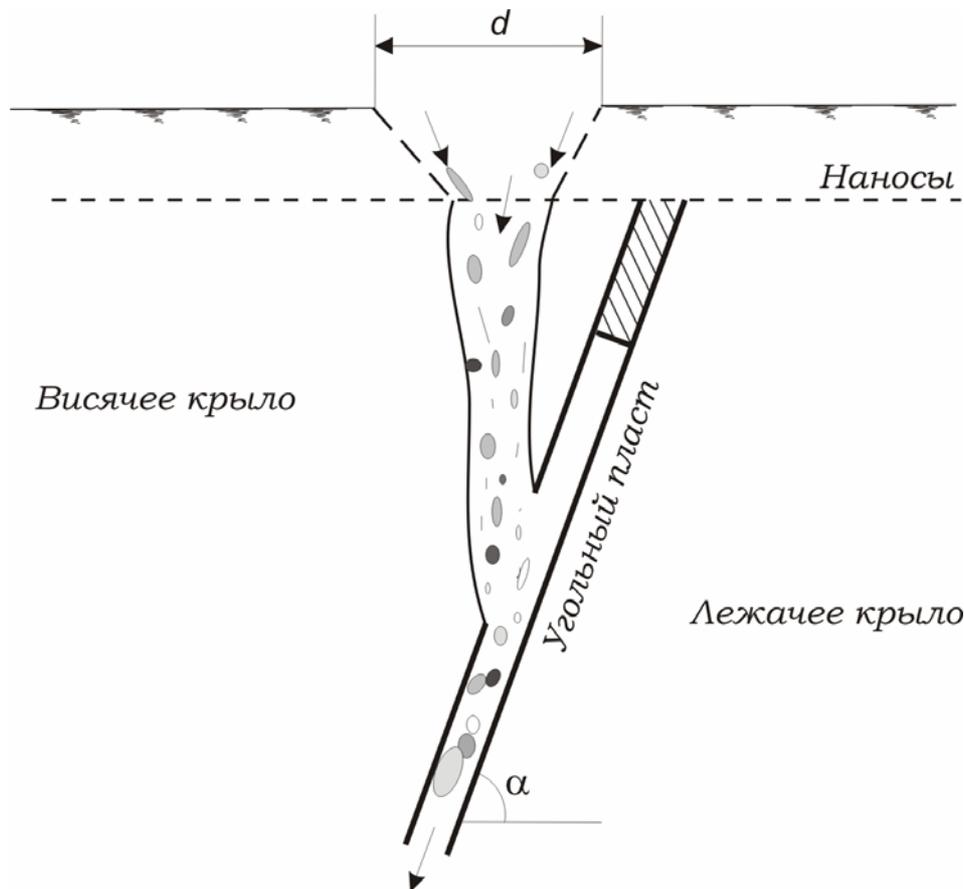


Рис. 2. Образование провалов в висячем крыле при крутонаклонном залегании угольных пластов

Учитывая вышеупомянутый механизм сдвижения при крутом залегании пластов, можно утверждать, что кроме образования провала на выходе пласта, подвижки лежащего и висячего крыльев в сторону выработанного пространства, с учётом выветрелых, разуплотнённых пород приповерхностной

зони, приведут к заметным оседаниям земной поверхности в этой зоне (рис. 3).

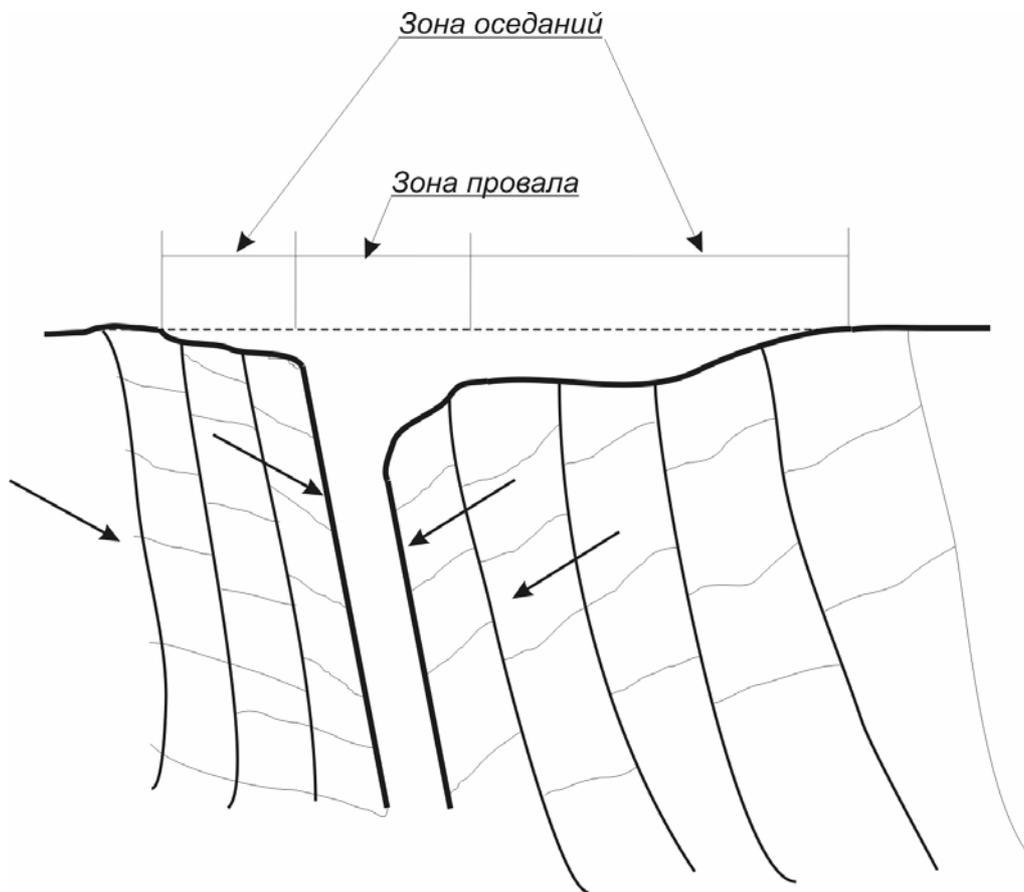


Рис. 3. Возможные повреждения земной поверхности при крутом залегании пластов

Рассмотрим случай, когда под выходом пласта оставлен угольный целик некоторых фиксированных размеров. Расчётная схема представлена на рис. 4. Для расчётной схемы примем случай, когда угольный целик при мощности пласта 1 м удерживается в равновесии за счет сил его распора между боковыми породами. В расчетах принимаем следующее допущение: силы трения между боковыми породами и угольным целиком со стороны кровли и почвы равны. Поэтому сила противодействия сползанию целика угля будет равна:

$$F = 2fG \cos \alpha, \quad (2)$$

где: G – вес угольного целика, т;

f – коефіцієнт трення между породными слоями и углем.



Рис. 4. Расчётная схема к определению условий образования провала на земной поверхности

Уравнение предельного равновесия угольного целика над старыми горными работами можно представить в следующем виде:

$$2fG \cos \alpha = G \sin \alpha \quad (3)$$

Путем несложных преобразований получим выражение для предельного угла падения, при котором будет соблюдаться условия равновесия:

$$\alpha = \arctg 2f \quad (4)$$

Из экспериментальных данных [7, 8] известно, что коэффициент трения породы о породу составляет 0,5 – 0,6. Таким образом, при указанных коэффициентах трения критическими по

провалам (сползаниям угольних целиков над старими горними роботами) являються углы падения 45-50°.

При увлажнении уголь и породы изменяют свои свойства. Это происходит вследствие того, что при проникновении воды в структуру породы или угля изменяются связи между мицеллами и отдельными микрозёрнами. Поскольку вода является хорошим растворителем с большей, чем у пород и угля, диэлектрической постоянной, то это приводит ослаблению связей между частицами породы и угля и уменьшению механической прочности.

В табл. 1 представлены результаты исследований физико-механических свойств различных пород и угля с естественной влажностью и при искусственном увлажнении. Пробы были отобраны на шх. им. Дзержинского ПО «Дзержинскуголь» на горизонте 1026 м (не выветренная часть карбона).

Таблица 1

Изменение прочностных свойств угля и горных пород при их увлажнении

№ п/п	Породы, уголь	До увлажнения		После увлажнения		
		$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	Прирост влажности, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа
1	Песчаник карбонатизированный, зернистый (кровля пл. l_4^H)	84,7	6,5	2,0	64,8 (76,5 %)	5,1 (78,5 %)
2	Песчаник мелкозернистый, (почва пл. k_5)	73,0	10,3	2,0	38,0 (52 %)	5,6 (54 %)
3	Алевролит (непосредственная кровля пл. l_4^H)	38,4	3,8	3,6	17,2 (45 %)	2,3 (60 %)
4	Аргиллит (кровля пл. k_5)	48,0	3,7	2,0	25,6 (53 %)	2,4 (65 %)
5	Уголь пл. k_5	15,2	1,2	3,6	6,4 (42 %)	0,6 (50 %)
6	Уголь пл. l_4^H	14,5	1,1	2,6	8,6 (59 %)	0,9 (82 %)

Как видно из полученных результатов, при увеличении влажности на 2,0 – 3,6 % уменьшаются как предел прочности на одноосное сжатие, так и предел прочности на растяжение. Так, прочность песчаников уменьшается на 24 – 48 %, алевролитов - на 40 – 54 %, аргиллита - на 35 – 47 %, а угля - на 18 – 58 %, т.е. уголь и порода снижают прочность практически в 2 раза. При этом уменьшается и коэффициент сцепления угольного целика с боковыми породами, что приведёт к обрушению (сползанию) целика и образованию провалов на земной поверхности.

Подобные исследования [7], выполненные для пород не выветренной части при пологом залегании, показали, что потеря прочности у аргиллитов и алевролитов составляет 18 – 35 %, у песчаников – 12 – 22 %, а у известняков - 5 – 15 %.

Исследования изменений прочностных свойств горных пород в зоне выветривания карбона при пологом залегании [9] свидетельствуют, что при водонасыщении наибольшая потеря прочности наблюдается у глинистых пород и составляет от 40 до 70 %. У песчаников – от 15 до 38 %. Прочность известняков во влажном состоянии практически не уменьшается. В табл. 2 сведены результаты указанных исследований изменения прочностных свойств основных породных слоёв карбона.

Таблица 2

Максимальное уменьшение прочности при водонасыщении

Основные породные слои	Не выветренная часть карбона		Зона выветривания
	Пологое залегание, %	Крутое залегание, %	Пологое залегание, %
Песчаники	22	48	38
Алевролиты	35	55	60
Аргиллиты	35	47	67
Известняки	11	-	11

Видно, что в не выветренной части карбона при водонасыщении пород наибольшая потеря прочностных свойств (в 2 раза) наблюдается при крутом залегании. При этом

критический угол провала может уменьшиться, и при коэффициенте трения 0,25 угол составит 26-28°.

Породы зоны выветривания отличаются повышенной пористостью и трещиноватостью (как естественной, так и за счёт неоднократной подработки по нижележащим горизонтам), более низкими физико-механическими свойствами. Любое дополнительное обводнение таких пород приводит к существенному уменьшению их прочностных свойств (до 70 % у глинистых пород). Логично предположить, что обводнение крутозалегающих пород зоны выветривания приведёт к ещё большей потере их прочностных свойств.

В качестве характерных примеров повреждений земной поверхности при крутом залегании пород можно привести следующие случаи, произошедшие на шахтах Центрального района Донбасса.

В конце марта 2004 г. на промплощадке шах. № 4 «Александровская» ГП «Орджоникидзеуголь» в 7 м южнее здания насосной станции произошёл провал (рис. 5).

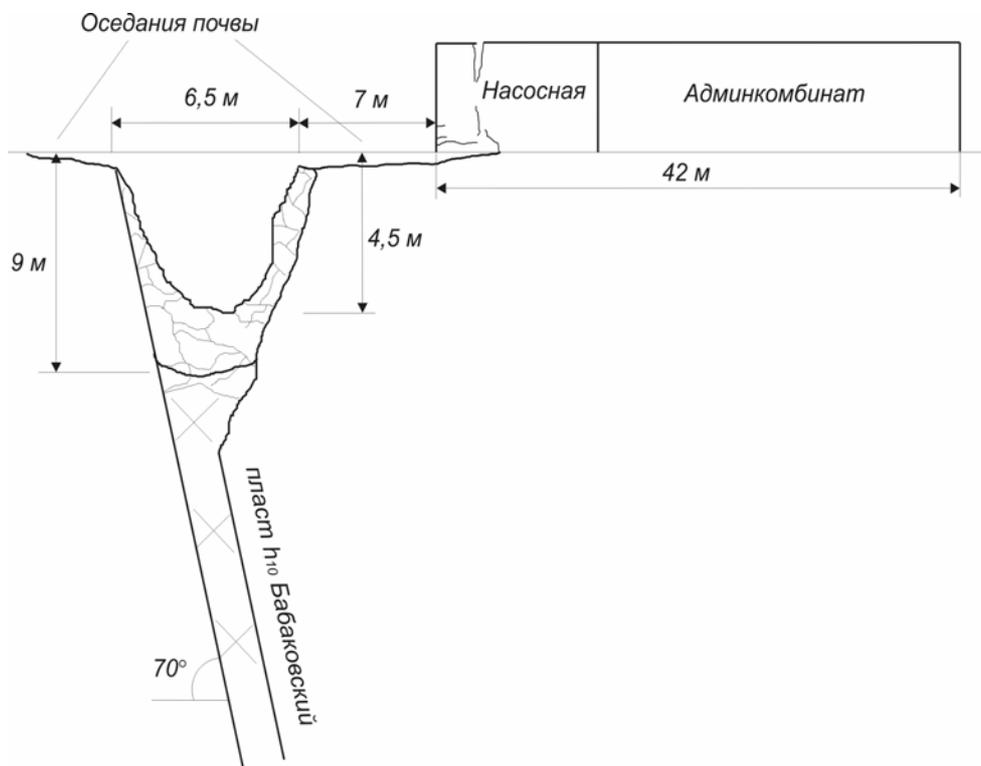


Рис. 5. Эскиз провала на промплощадке шахты № 4 «Александровская» по состоянию на 04.04.2004 г

Провал образовался на выходе пласта h_{10} «Бабаковский», залегающего под углом 70° и мощностью 1,5 м. Размеры провала составили в плане 26 x 6,5 м. Первоначальная глубина провала была 4,5 м, в последующем – 9...10 м. Обследованием установлено, что после обильного таяния снега и проникновения паводковых вод произошло обводнение группы целиков, оставленных в лаве в 1939 г., и последующее их частичное разрушение и сползание по почве пласта. Непосредственная почва представлена алевролитом комковатой текстуры, склонным к сползанию и аргиллитом, неустойчивым, также склонным к сползанию. Сам пласт h_{10} осложнён раздувами до 2,0 м и пережимами до 0,5 м.

Кроме самого провала на земной поверхности со стороны лежащего крыла параллельно линии выхода пласта образовалась трещина с небольшими оседаниями и провалами в местах близлежащих ликвидированных стволов. Повреждён туалет, попадающий в эту зону. Оседания почвы со стороны висячего крыла привели к образованию трещин вдоль фундамента здания насосной и трещин по откалыванию самой стены от здания.

01.03.2004 г. на промплощадке шахты «Ольховатская» ГП «Орджоникидзеуголь» в 2-х метрах от северного фасада котельной образовался провал на устье наклонного шурфа ($\alpha = 70^\circ$) по пл. k_7 «Александровский». Повреждена вертикальная колонна поверхностного водовода. В самой котельной, расположенной на лежащем крыле, произошло оседание пола до 100 мм с образованием трещин по стенам. Установлено, что предполагаемой причиной образовавшихся повреждений явилось комплексное воздействие техногенного (влияние подработки по нижележащему пласту k_3 «Дерезовка» на глубине 380 м) и гидрогеологического (обильное таяние снега порывы воды и канализации) факторов. Не исключено развитие провала в 5 м западнее над ещё одним шурфом по этому же пласту.

ВЫВОДЫ

Особенности активизации процесса сдвижения над старыми горными выработками при крутом залегании пластов

заключаються в наступному. Основними видами пошкоджень земної поверхності являються провали на виході вугільного пласта, утворюючись в основному за рахунок сползання захисних целиків по ґрунті пласта, і осідання з боку лежачого і висячого крильєв, зона яких сконцентрована вздовж лінії виходу пласта під наноси. Ширина небезпечної зони прямопропорційна куту залегання пласта. Основною причиною руйнування (сползання) целиків на виходах пластів є втрата міцнісних властивостей вугля і порід зони вивітрювання при обводненні (як за рахунок затоплення при ліквідації підприємств, так і за рахунок проникнення паводкових вод з поверхності).

СПИСОК ССЫЛОК

1. Медянець С.А. Оцінка впливу на земну поверхню старих виробок вугільних шахт // Вугіль України.-1981.- № 12.- С.15-16.
2. Рішення геоекологічних і соціальних проблем при розробці і закритті вугільних шахт / В.Ф. Янукович, Н.Я. Азаров, А.Д. Алексєєв, А.В. Анциферов, Е.І. Питаленко - Донецьк: ООО «Алан», 2002. – 480 с.
3. Гавриленко Ю.Н., Феофанов А.Н. Оцінка сучасного стану старих гірських виробок на малих глибинах // Вісник Донецького гірського інституту, № 2.- 2001. – С. 87-91.
4. Феофанов А.Н. Обґрунтування параметрів урахування старих гірських виробок на малій глибині для захисту поверхневих об'єктів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.01. – Донецьк, 2003. – 19 с.
5. Гавриленко Ю.Н., Ермаков В.Н., Феофанов А.Н. Максимальні деформації земної поверхності над очисними виробками на малих глибинах // Проблеми гірського тиску: Зб. наук. пр. № 7. - Донецьк.-2001. - С.137-150.

6. Гавриленко Ю.Н., Улицкий О.А., Шиптенко А.В. Об условиях образования провалов на земной поверхности над горизонтальными и наклонными выработками // Проявление горного давления: Сб. науч. тр. № 3. – Донецк. – 1999. – С. 110 – 115.
7. Малинин С.И. Геологические основы прогноза поведения пород в горных выработках. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
8. Мэркс И., Юнгвиц Г. Горная механика. - Углетехиздат, 1957. – 356 с.
9. Гавриленко Ю.Н., Ермаков В.Н., Феофанов А.Н. Прочность горных пород в зоне выветривания карбона // Наукові праці Донецького державного технічного університету, Серія гірничо-геологічна, вип. 45, Донецьк, ДонНТУ. – 2002. – С. 152 – 155.