УДК 622.51: 628.33

Гулько С. Е. директор (Государственное учреждение «Донгипрошахт»)
г. Донецк

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЗАКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация. Технологические риски при эксплуатации и закрытии угольных шахт включают неблагоприятное воздействие на окружающую среду, обусловленное: загрязнение атмосферы парниковым газом-метаном и продуктами горения породных отвалов, загрязнение поверхностных и подземных водных источников высокоминерализованными шахтными водами, опасность разрушения зданий, сооружения и коммуникаций при их размещении над территориями подрабатываемых шахтных полей. Обосновано использование методов дегазации угольных пластов и применение микробиологической деструкции метана с использованием бактерий. Для снижения неблагоприятного воздействия терриконов обосновано сооружение плоских отвалов и использование «глиняных» экранов. Приведена характеристика влияния подработок на состояние земной поверхности, которые вызывают опасности разрушения зданий, сооружений и подземных коммуникаций.

Ключевые слова: угольные шахты, воздействие, метан, дегазация, терриконы, подработка.

В настоящее время основная часть угольных месторождений уже открыта. Мировые запасы всех видов углей оцениваются в 8620 млрд. т. При этом извлекаемыми считаются запасы каменного угля в пластах мощностью 0,3 м, залегающих на глубине не более 2000 м. Угли, не соответствующие этим требованиям, относятся к потенциальным запасам. Запасы угля на Земле расположены весьма неравномерно. Однако странам СНГ повезло, примерно 6000 млрд. тонн – это запасы угля на территории бывшего СССР. На втором месте по запасам, примерно 4150 млрд. т. – Северная Америка, а на третьем с 1600 млрд. т. – Азия (без стран СНГ).

По уровню жизни для населения, обеспечивающего примерно 30 % всех твердотопливных энергоносителей и почти 60 % всех видов энергоносителей в мире нельзя утверждать, что нам очень повезло. А если сюда добавить ещё и экологическую составляющую, то оказывается, что население таких регионов, к которым относится и Донбасс, оказалось в неблагоприятной ситуации.

Эксплуатация шахт оказывает целый ряд неблагоприятных воздействий на окружающую среду. Причём неблагоприятное воздействие не прекращается даже после закрытия шахт. Прослеживается подобная

ситуация и с другими энергетическими монстрами АЭС. Их неблагоприятное воздействие на окружающую среду продолжается и после вывода их из эксплуатации. В связи с необходимостью финансирования природоохранных мероприятий, объем которого бывает столь значителен, что это сказывается на экономике целых стран. Требуется оценка неблагоприятных воздействий при эксплуатации и закрытии шахт и обоснование применения мероприятий по их минимизации.

Целью настоящей работы является по возможности полная оценка неблагоприятного воздействия шахт на окружающую среду и методов устранения или минимизации указанных воздействий.

Неблагоприятное воздействие шахт на окружающую среду включает:

- загрязнение атмосферы парниковым газом – метаном, который в 21 раз интенсивнее действия диоксида углерода, при расчете на единицу массы компонента;
- загрязнение атмосферы соединениями серы: сероводородом и диоксидом серы в результате горения породных отвалов;
- загрязнение атмосферы пылью в результате уноса высокодисперсных частиц пыли из терриконов;
- загрязнение поверхностных водных источников высокоминерализованными шахтными водами;
- отчуждение больших территорий под золоотвалы;
- загрязнение подземных вод в результате выщелачивания токсичных компонентов (в основном соединений тяжелых металлов) под воздействием осадков;
- разрушение зданий, сооружений и подземных коммуникаций при их размещении над территориями подрабатываемых шахтных полей.

Некоторые из приведенных факторов относятся к событиям непреодолимой силы и в настоящее время их действие не может быть исключено. Так, по первому фактору несмотря на то, что существуют теоретические и лабораторные проработки по мембранным методам концентрирования таких газов, как метан, практическая реализация технологии не может быть осуществлена вследствие относительно низких удельных потоков газов через мембраны и высоких удельных затрат электроэнергии на компримирование вентиляционных выбросов. Существуют направления использования шахтного метана реализация которых уже начата [1].

Шахтный метан является малоиспользуемым энергетическим ресурсом. Вместе с тем, он является попутным полезным ископаемым, извлечение которого диктуется не только необходимостью обеспечения газобезопасности ведения горных работ, но и его востребованностью и рентабельностью как самостоятельного топлива, добыча которого может осуществляться независимо от разработки угля. Рентабельность газодобычи достигается использованием эффективной углегазопромысловой

технологии с учетом сокращения атмосферных выбросов метана, которая уже более 10 лет успешно применяется в США, Канаде и Китае, а в последние годы в России, Германии, Австралии и других странах [2-3].

Шахтный метан достаточно полно используется индустриально развитыми странами как вспомогательный источник энергии для электроэнергетики и в качестве топлива для автотранспорта угледобывающих регионов. Особое внимание уделяется разработкам новых технологий извлечения метана из угольных пластов, позволяющих разрабатывать месторождения в качестве газоугольных и отвечающих требованиям ресурсосбережения и экологической безопасности [4]. Опыт дегазации шахт, извлечения метана из неразгруженных угольных пластов, подрабатываемой углевмещающей толщи и выработанного пространства отработанных участков закрытых шахт говорит о тесной взаимосвязи геологических, геомеханических и технологических аспектов функционирования предприятий по совместной добыче угля и метана [5].

Проведенные на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» работы по применению дегазации на пласте l_1 подтвердили его эффективность для интенсификации дегазации отрабатываемых угольных пластов. На всех обработанных участках была достигнута заданная эффективность дегазации 30%. Кроме того, при некоторых режимах воздействия был достигнут коэффициент дегазации 0,68. Сравнение применяемых для оценки интенсивности дегазации показателей среднего удельного газовыделения из скважин, через которые было произведено воздействие ($v_г/l_{скв.}$=603 м^3/м), с контрольным (203 м^3/м) показывает увеличение средней интенсивности газовыделения в 2,6 раза.

При использовании пневмогидродинамической дегазации, что при создании перепада давления величиной 2,6-7,0 МПа при сбросе в скважине происходят интенсивная промывка закольматированного горного массива и изменения в напряженно-деформированном состоянии прискважинной зоны, приводящие к увеличению проницаемости массива и повышению выхода метана в скважину [6].

Следующим направлением снижения эмиссии метана является применение микробиологического окисления метана с использованием бактерий. На шахте «Ясиновская-Глубокая» объединения «Советскуголь» было подвержено обработке 60 м^2 площади выработанного пространства. В зоне микробиологического воздействия на сопряжении лавы с вентиляционным штреком в результате биохимической реакции местные скопления метана были снижены на 58%. Совместно с Институтом микробиологии и вирусологии НАН Украины, Институтом биохимии и физиологии микроорганизмов РАН и ВНИИсинтезбелок способ был применен для дегазации выработанных пространств двух лав шахты «Ясиновская-Глубокая» и 7 лав шахты «Западно-Донбасская» ГХК «Павлоградуголь», где была использована биомасса метанокисляющих

бактерий Нарткалинского химкомбината. Площадь микробиологической обработки была доведена до 4600 м^2.

Подготовленная суспензия насосом по трубопроводу подавалась в призабойное пространство лавы и оросительными форсунками, установленными на секциях крепи, или с помощью разбрызгивающей насадки наносилась на обрушаемые породы. При этом на участке выработанного пространства лавы длиной 25-30 м формировался микробиологический фильтр, проходя через который метан выработанного пространства окислялся бактериями. В результате обработки в лаве длиной 150 м при способе управления кровлей полным обрушением и исходном газовыделении из выработанного пространства 70% в течение 22 суток обработки был создан биологический фильтр размером по простиранию 25 м, что привело к существенным изменениям структуры газового баланса добычного участка. В период воздействия относительная газообильность участка снизилась с 8,75 до 6,61 м^3/т, а средняя концентрация метана в исходящей струе воздуха – с 0,9-1,0% до 0,66%. При этом среднесуточная нагрузка на лаву повысилась с 768 до 922 т. Таким образом, даже при возросшей на 20% суточной нагрузке на лаву, средняя концентрация метана в исходящей струе участка была меньше, чем до применения бактерий, что обеспечило возможность дальнейшего увеличения нагрузки на очистной забой до 1200 т/сут.

Технология дегазации тупиков погашаемых штреков состоит в периодическом нанесении суспензии на породы, обрушаемые при их погашении. Применение микробиологического воздействия обеспечило снижение газообильности выработанных пространств участков на 36-57% и концентрации метана в зонах его скопления в 10-19 раз.

Применение интенсификации предварительной дегазации через поверхностные дегазационные скважины с применением пневмогидродинамического воздействия, интенсификации дегазации через дегазационные скважины, пробуренные из подготовительных выработок при подготовке и отработке выемочных участков с помощью гидродинамического воздействия и снижения газовыделения из выработанного пространства и тупиков погашаемых штреков микробиологическим воздействием позволяет не только повысить безопасность ведения горных работ, но и существенно увеличить количество используемого метана угольных месторождений (за счет повышения концентрации метано-воздушной струи) и снизить его выбросы в атмосферу.

Одним из существенных источников загрязнения окружающей среды является поступление загрязнения из огромного количества породных отвалов - терриконов. Их отрицательное действие проявляется в загрязнении атмосферы пылью и соединениями серы и гидросферы – соединениями тяжелых металлов.

Самовозгорание происходит на 60-75 % конических и 20-35 % плоских отвалов. С поверхности отвалов в атмосферу ежегодно поступает более 500 тыс. т газообразных загрязнителей. Суточная эмиссия загрязнений с отвалов шахт и обогатительных фабрик Донбасса составляет около 10 т оксида углерода, 155 т диоксида углерода, 1,5 т диоксида серы, 340 кг сероводорода и 75 т оксидов азота.

Для предотвращения пыления породных отвалов наиболее эффективным методом является их озеленение [7]. Такой метод применим к «старым отвалам». Для отвалов, находящихся в эксплуатации и относительно «молодых», возможно использование химического связывания пылящей породы. Например, с использованием полимерных растворов ММ-1 (гидролизованный априлонитрил), технических лигносульфатов, спиртовой барды, нефтяных шламов, а также латекса. Как известно, такое решение было использовано в 30-ти километровой зоне после аварии на Чернобыльской АЭС. Возможно также использование измельченного известняка, который при реакции с образующейся в терриконах серной кислотой создает защитную пленку гипса [8]. Учитывая относительно высокую стоимость такого решения с точки зрения затрат на его выполнение, очевидно, что такой метод целесообразно осуществлять для терриконов, находящихся в городской черте мегаполисов. Для распыления растворов могут быть использованы дроны.

Химическими источниками загрязнений атмосферы и гидросферы являются сульфиды различных металлов (пирит, марказит, пиротин, халькопирит и др.), которые в значительных количествах содержатся в породных отвалах. Сульфиды металлов в присутствии влаги и кислорода окисляются с образованием сернистой и серной кислот. При взаимодействии этих кислот с неокисленными сульфидами образуется токсичное соединение – сероводород, загрязняющий атмосферный воздух и происходит выщелачивание соединений тяжелых металлов, загрязняющих подземные и поверхностные воды.

Кроме указанных загрязнителей отвальная порода угольных шахт Донбасса содержит уран. Концентрация урана изменяется в пределах от 2 до $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ %. Несмотря на относительно малое содержание урана продукт его распада – радий воздействует по интенсивности излучения в 2 млн. раз больше по сравнению с ураном. «Потомком» распада радия является радон ^{222}Rn, который имеет малый период полураспада (3,825 суток). В цепи распада радона образуется торий-232, который распадается с образованием радона-220 с периодом полураспада всего 54,5 с. Продукты полураспада радона имеют электрический заряд и способны присоединяться к аэрозольным частицам, абсорбироваться на пористых частицах пыли и, таким образом, относительно инертные частицы пыли являются «снарядами», бомбардирующими легкие населения Донбасса. Отрицательное действие излучения от продуктов распада может быть

снижено именно за счет уменьшения их переноса с частицами пыли.

Основной причиной вредного воздействия на окружающую среду терриконов угольных шахт, находящихся в эксплуатации, является поступление в атмосферу продуктов горения: диоксида серы и оксида углерода [9]. Для горящих отвалов предусматривается их тушение и формирование плоских отвалов.

Формирование плоских отвалов осуществляется послойно. Толщина каждого слоя не должна превышать пожароопасных величин. Отсыпка каждого последующего слоя осуществляется только после снижения воздухопроницаемости заложенного слоя до приемлемых значений. В некоторых случаях допускается возможность формирования пожароопасных отвалов с повышенной толщиной слоя, однако высота слоя не должна превышать 10 м.

Для снижения воздухопроницаемости и, соответственно, предотвращения загрязнения атмосферы диоксидом серы и пылью, а гидросферы – соединениями тяжелых металлов используется уплотнение породы и укладка слоев с учетом углов откоса и состава породы. Институт УкрНИИпроект выполнил комплекс исследований по влиянию степени уплотнения различных материалов на коэффициент воздухопроницаемости.

Выполненная нами обработка указанных экспериментальных данных показала, что коэффициент воздухопроницаемости является экспоненциальной функцией степени уплотнения (рис. 1).

Для обеспечения одинакового коэффициента воздухопроницаемости для отвальной породы, требуется значительно меньшая степень уплотнения по сравнению с песком и глиной. Кроме этого увеличение влажности породы, например, в 4 раза при одинаковом значении степени уплотнения 0,725 уменьшает коэффициент воздухопроницаемости в 3 раза.

Аналитическая зависимость коэффициентов воздухопроницаемости от степени уплотнения для влажности породы 2,8 % и 11 % описываются следующими уравнениями:

$$к = 1{,}35 \cdot 10^{-5} \exp(-17{,}9\ P); \quad h = 2{,}8\ \%$$
$$к = 1{,}70 \cdot 10^{-5} \exp(-25{,}87\ P); \quad h = 11\ \%,$$

где P – давление, МН/м^2;
h – относительная влажность, %.

Приведенные данные показывают, что при сооружении плоских отвалов необходимым условием снижения воздухопроницаемости кроме уплотнения является увлажнение породы.

Самую низкую воздухопроницаемость имеет глина, она же поддается самой высокой степени уплотнения даже при относительно небольшой влажности. Слои глины целесообразно использовать для создания как водо-

так и воздухоплотных экранов под и над слоями

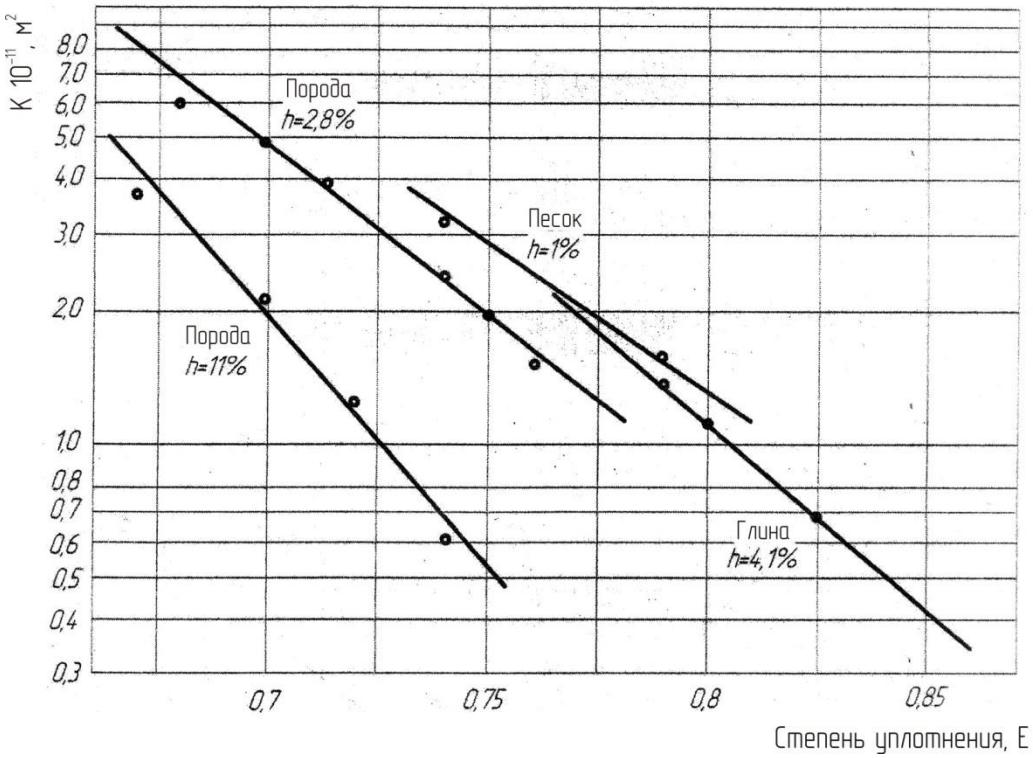

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости от степени уплотнения

В последние годы во многих крупных городах Украины отмечается значительное повышение уровня грунтовых вод из-за техногенных подтоплений. В угольных бассейнах это в значительной степени обусловлено закрытием нерентабельных шахт. Более распространены обводнения территорий городов через утечки воды из водонесущих коммуникаций – водопроводов, канализации и тепловых сетей. На большей части территории Донбасса залегают макропористые лессовые грунты (65% площади) – ими сложены Волынская и Подольская возвышенности, междуречье Днепра и Днестра, Причерноморская впадина и Приазовье. Толщина лессовых грунтов составляет от 3 до 35 м, а просадочность при давлении 0,3 МПа составляет от 0,01 до 0,15.

В пределах Украины макропористые лессовидные грунты подстилаются глинистыми практически водонепроницаемыми грунтами, поэтому образование водоносного горизонта из местных скоплений грунтовых вод практически неизбежно. Питание таких горизонтов в последнее время обеспечивается утечками из водонесущих коммуникаций, изношенность которых в ряде городов дошла до 80%. При малой естественной влажности лесс достаточно прочен, но с увеличением влажности, особенно при обводнении, лессовидные грунты склонны к значительным просадкам в результате возникновения тиксотропного эффекта. Просадки обуславливают возникновение уступов на земной

поверхности, которые вызывают деформации трубопроводов и, в свою очередь, еще большее обводнение. Просадочные деформации зданий и промышленных сооружений отмечаются в городах: Донецке, Горловке, Енакиево, Запорожье, Днепропетровске, Херсоне, Краматорске и многих других городах.

Уступ на земной поверхности представляет террасообразную локальную сдвижку соседних блоков горных пород с выпукло-вогнутым профилем (рис. 2) из-за наличия на коренных скальных породах чехла четвертичных отложений, чаще всего, суглинков. Высота уступов достигает 50-60 см, они разрушают любые сооружения, под которыми образовались. На 1 км створа вкрест простирания на подработанной территории в среднем приходится около 60 уступов, 78 % из них – малые, меньше 10 см [10], практически безопасные для сооружений и коммуникаций. Но 22 % уступов – большие, на километр створа вкрест простирания это около 13 уступов. Строительство любых сооружений не допускается без особых мероприятий, если ожидаемая высота уступов 25 и более сантиметров.

В г. Горловка теряется 40-60 % очищенной питьевой воды. Причиной является изношенность водопроводных сетей и подработанность территорий их размещения.

Согласно информации из официальных источников, в городах Донбасса огромные потери очищенной воды вызваны износом сетей. Так, в г. Горловке теряется около двух третьих воды, подаваемой из фильтровальных станций в разводящую сеть.

Рисунок 2 – Уступ высотой 52 см на улице Матросова (г. Горловка)

Для устранения потерь необходимы огромные масштабы работ по реконструкции сетей. На западе разработаны передовые технологии реконструкции сетей водоснабжения без разрытия улиц. Их применение очень перспективно, но требует больших капиталовложений. Для

повышения надёжности эксплуатации водных коммуникаций необходима замена разводящих сетей малого диаметра, среди которых еще много чугунных водопроводов с раструбным соединением, на полиэтиленовые трубопроводы. Сравнивая стоимости трубопроводов полиэтиленовых и стальных, можно отметить, что для диаметров до 400 мм и давления 0,6 МПа (6 атм) они примерно одинаковы.

Оценка неблагоприятного воздействия сброса шахтных вод на состояние поверхностных водных объектов приведена авторами в [11].

Выводы:

1. Основные виды неблагоприятных воздействий шахт, на окружающую среду включают эмиссию метана с вентиляционными выбросами, подработку территорий в селитебных зонах, поступление в поверхностные водоемы высокоминерализованных шахтных вод и загрязнение атмосферы обусловленных горением и пылением терриконов.
2. Для снижения воздействия на климат парникового газа – метана предпочтительно применение дегазации породы с использованием гидродинамического воздействия.
3. Неблагоприятное воздействие терриконов на состояние атмосферы , обусловленное пылением и самовоспламенением породы достигается путем создания защитных экранов из полимерных композиций, организации плоских отвалов и создания экранов из глины.
4. Полученные аналитические зависимости коэффициентов фильтрации различных пористых сред показывают, что наибольшими экранизирующими свойствами обладают увлажненные слои глины. Их использование позволяет предотвратить или значительно снизить загрязнение атмосферы диоксидом серы как продуктам окисления и сульфида железа, пирита и образующегося сернистого водорода при воздействии среды с низким уровнем pH. Учитывая наличие кислотных дождей в регионе, воздействие осадков с низким уровнем pH является основной причиной загрязнения атмосферы токсичным сероводородом.
5. Приведена характеристика уступов поверхности Земли над территориями выработанных шахтных полей, которые вызывают повреждение зданий, сооружений и коммуникаций в городах Донбасса. Закрытие шахты и их затопление также вызывают необратимые воздействия на территорию в результате возникновения тиксотропного эффекта и заболачивания поверхности.

Список литературы

1. Добыча метана в Кузнецком угольном бассейне и напряженно-деформированное состояние пород / В.П. Ластовецкий // Изв. ВУЗ Горн. журнал.- 2003. - №1.- С. 44-52.
2. Извлечение экологически чистой энергии из угольных пластов на месте залегания // Coal Trans. Int. - 2002. - 17, №4. - С. 8.

3. Утилизация рудничного газа в немецкой каменноугольной промышленности / В. Ренер // Глюкауф.- 2003 .- №1, март. - С. 30-34.

4. Геомеханическое обоснование и разработка технологии извлечения метана из угольных пластов в режиме кавитации с использованием энергии массива / Пучков Л.А., Сластунов С.В., Фейт Г.Н. // ФТПРПИ. - 2002. - №4. - С. 11-15.

5. Повышение эффективности подземной разработки высокогазоносных угольных месторождений на основе организации совместной добычи угля и метана / Трубецкой К.Н. // Уголь, 2003.- №9.- С. 3-6.

6. Софийский К.К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / К.К. Софийский, А.П. Калфакчиян, Е.А. Воробьев // М.: Недра, 1994. – 192 с.

7. Агурова И.В. К вопросу изучения условий произрастания растений на отвалах угольных шахт Донбасса / И.В. Агурова, О.Н. Горохова // Мировые инновационные технологии восстановления нарушенных и загрязненных земель техногенных регионов: Сборник материалов международной научно-практической конференции / Кемеровский ЧСХИ,- Кемерово: ПГ КО «Кемеровский полиграфкомбинат», 2008. – С. 16-18.

8. Лычагин Е.В. Совершенствование методов закрепления пылящих поверхностей / Е.В. Лычагин, И.В. Синица // www.giab-online.ru. С. 136-140.

9. Саранчук В.И. Борьба с горением породных отвалов.- К.: Наукова думка, 1978. – С. 167.

10. Сірик О.Г. Вдосконалення моделі утворення уступу / О.Г. Сірик, В.О. Пеньков, О.В. Грабар, М.В. Васечкін // Містобудування та територіальне планування, вип. 18. – К.: КНУБА, 2004. – С.149-157.

11. Высоцкий С.П. Снижение вредного воздействия горных предприятий на окружающую среду / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько // Научный вестник НИИГД Респиратор, № 1 (54), 2017. Донецк, 2017. – С. 65-74.

Sergey Gulko, State institution «Dongiproshakht»

Technological risks in the operation and closure of coal mines

Abstract. The technological risks associated with the operation and closure of coal mines include the adverse environmental impact caused by: atmospheric pollution by greenhouse gas methane and combustion products of rock dumps, contamination of surface and underground water sources by highly mineralized mine waters, the risk of destruction of buildings, structures and communications when placed above the territories of worked-out mine fields. The use of methods for degassing coal seams and the application of microbiological destruction of methane using bacteria are substantiated. To reduce the adverse impact of waste

heaps, the construction of flat dumps and the use of "clay" screens are justified. The characteristics of the impact of sub-projects on the state of the earth's surface are given, which cause the danger of destruction of buildings, structures and underground communications.

Keywords: coal mines, impact, methane, degassing, waste tanks, worked-out mine fields.