

# Профилактика и ликвидация горения породных отвалов

В последнее время все большую проблему создает значительное количество отвалов горных пород. Несвоевременная и недостаточная рекультивация, нехватка средств на ведение мониторинга и охраны зачастую приводят к возникновению пожаров, что не только отрицательно влияет на экологию, но и создает угрозу жизнедеятельности близлежащих регионов. Многие институты и организации занимаются вопросом своевременного решения данных проблем, но их актуальность неизбежно повышается. В настоящей статье объединен опыт российских и международных компаний, что позволит наиболее эффективно бороться с проблемой возгорания породных отвалов, и, возможно, получать дополнительную прибыль в результате вторичного использования пород.

**Ключевые слова:** добыча полезных ископаемых, уголь, отвалы горных пород, тушение и профилактика пожаров, переработка отвалов, улучшение экологии, проблемы угледобывающих регионов, повышение эффективности борьбы с возгоранием отвалов.

**Контактная информация** — e-mail: niks@imcgroup.ru; www.imcmontan.ru

Вопросы предупреждения и тушения пожаров породных отвалов в условиях повышенного внимания к экологии и безопасности производства приобретают высокую значимость. Следует указать, что согласно действующим правилам безопасности проекты, а также планы развития горных работ, должны составляться с учетом организационных и технологических мероприятий по профилактике и тушению пожаров на породных отвалах.

Несмотря на актуальность вопроса и давнюю историю его исследования, многие теоретические стороны не были проработаны в полном объеме.

Еще более сложная ситуация складывается с практическим внедрением противопожарных мероприятий. В идеале порядок формирования отвалов и профилактические мероприятия должны предупреждать возгорание. Однако желание сэкономить на превентивных мероприятиях приводит к отсутствию должного внимания к данной проблеме со стороны производственников. Более того, даже возникшие пожары в ряде случаев пускают на самотек, и их тушение начинается только под давлением природоохранных органов и органов, контролирующих производственную безопасность.

Сложившееся положение дел недопустимо и должно быть исправлено, чему может способствовать ужесточение действующих природоохранных норм и контроля за их исполнением. В новых условиях игнорирование указанной проблемы станет экономически и тактически невыгодным. Убытки горных компаний будут выражаться не только в виде прямых санкций со стороны контролирующих органов, но и в потере имиджа и репутации. Последнее немаловажно при подготовке компании к публичности, получению кредитов и прохождению конкурсов на получение лицензий на недропользование.

Мы рассмотрели некоторые примеры предупреждения и борьбы с возгоранием отвалов, основанные на опыте работы IMC Montan в России и за рубежом.

Говоря о пожаре породных отвалов, следует кратко рассмотреть природу возникновения и процессы протекания горения в массиве отвала, что напрямую влияет на меры по предупреждению и борьбе с данным явлением.

Прежде всего отметим, что горение отвальных пород является процессом окисления их воздухом, протекающим с выделением большого количества тепловой энергии. В процессе окисления отвальных пород можно выделить следующие основные стадии:

— газообмен на контакте поверхности отвальной породы с адсорбцией и десорбцией кислорода;

— окисление пород с эндогенным нагревом;

— термическое разложение пород;

— теплообмен внутри массива отвала и с внешней средой.

Причины возгорания породных отвалов можно разделить на две основные группы: эндогенные и экзогенные. Последние главным образом обусловлены наличием открытых источников огня в непосредственной близости от отвала, хотя в определенной степени к экзогенным можно отнести и ряд факторов, способствующих самовозгоранию пород. Среди факторов, напрямую влияющих на опасность возгорания породных отвалов, выделим:

— доступ посторонних лиц на породные отвалы;

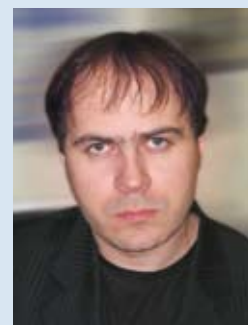
— петрографический и химический состав отвальных пород (наличие углистых пород низкой стадии метаморфизма при зольности менее 95 %, сульфидные породы с содержанием серы



**ТВЕРДОВ**  
**Андрей Александрович**  
Горный инженер  
IMC Montan,  
канд. техн. наук



**ЯНОВСКИЙ**  
**Анатолий Борисович**  
Заместитель  
министра энергетики  
Российской Федерации,  
доктор экон. наук



**НИКИШИЧЕВ**  
**Сергей Борисович**  
Директор по развитию  
IMC Montan,  
канд. экон. наук



**Гюнтер АПЕЛЬ**  
Доктор, руководитель  
управления горных услуг  
DMT (Германия)

более 12 %, пиритные и маркизитные примеси в породах и т.д.);

- высокая рыхлость отвальных пород, наличие трещин в отвалах;
- климатические особенности местности, включая температурный режим, количество солнечных дней и интенсивность солнечной радиации;
- расположение отвалов на подветренной стороне местности;
- увлажнение отвалов атмосферными осадками и водотоками местности;
- длительное стояние отвалов без обновления и рекультивации;
- площадь участков массива отвала, сложенного породами, склонными к самовозгоранию, находящимися в контакте с атмосферой.

Например, для индуцирования окислительных процессов большое влияние имеет доступ кислорода к поверхности окисляемого материала, что определяется как порядком формирования отвалов, так и консистенцией пород и их плотностью. Так, рыхлые породы, имея большую площадь контакта с кислородом, характеризуются повышенной интенсивностью процессов окисления.

Таким образом, оптимальный комплекс мер по предупреждению и ликвидации пожаров определяется стадией развития процесса окисления отвальных пород и совокупностью внешних условий. Основные мероприятия по борьбе с возгоранием породных отвалов отражены в табл. 1.

Хронологически мероприятия по борьбе с пожарами породных отвалов разделяются на превентивные и синхронные меры. При этом некоторые мероприятия результативны как в качестве средств предупреждения пожара, так и в качестве мер по его тушению, к таковым, например, относится нанесение инертного слоя.

Учитывая, что с развитием пожара расход средств на его тушение растет в геометрической прогрессии, важным является своевременно выявить, локализовать и ликвидировать пожар.

В наиболее общем виде последовательность выявления и тушения скрытого пожара приведена на рис 1.

Большие возможности по выявлению пожаров отвалов на ранних стадиях дает контроль их теплового состояния и газового режима. Зачастую простым визуальным наблюдением невозможно выявить ранние признаки самонагрева и своевременно принять меры по недопущению самовозгорания. Такие возможности дает применение тепловизоров и газоанализаторов. Применение данных технологий позволяет не только выявить процессы горения, но и помогает локализовать очаги самонагрева и горения, сконцентрировав усилия на данных зонах при разработке мер по ликвидации пожаров (рис. 2).

Точная локализация очагов самонагрева и горения позволяет оценить масштабы проблемы и выбрать оптимальное направление ликвидации пожара.

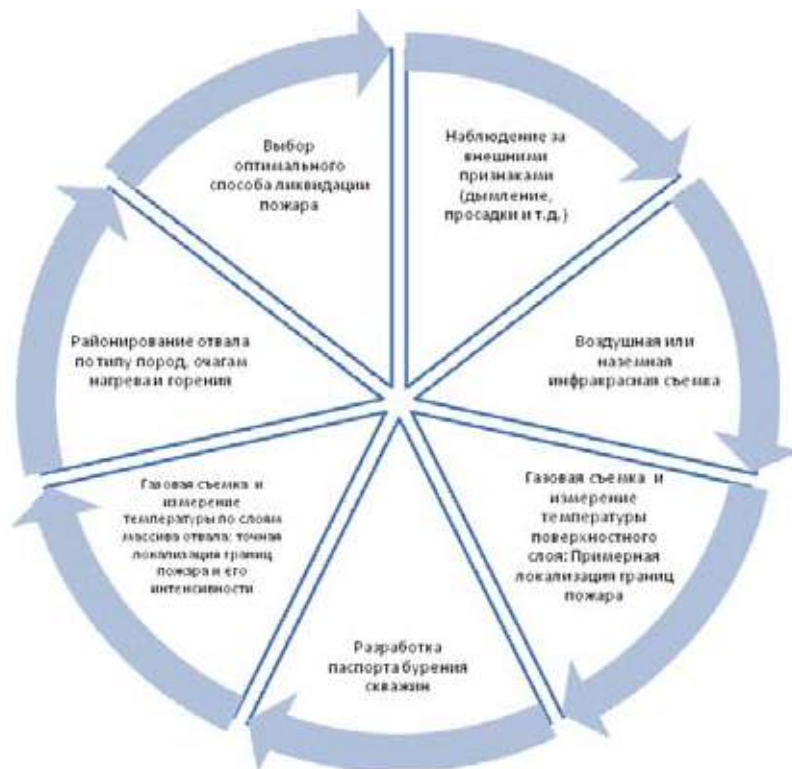


Рис. 1. Последовательность выявления и тушения скрытого пожара

Более детальную информацию по очагам горения в массиве породного отвала дает опробование бурением скважин с последующим изучением температурно-газового режима. В России бурение скважин ограничивается первыми метрами, что не всегда позволяет получить надежную информацию по масштабам и локализации пожара. В западной практике бурение скважин не ограничено какими-либо нормативами и целиком определяется горизонтом локализации пожара. Повышенные издержки на буровые работы оправданы с точки зрения увеличения эффективности последующих мероприятий по ликвидации горения.

Следует отметить, что каждый из известных методов борьбы с пожаром характеризуется своими достоинствами и недостатками. Поэтому часто оптимальным является использование комбинации различных методов, выбранных в зависимости от типа пород, условий протекания процессов горения и масштабов пожара.

Достоинства и недостатки некоторых методов борьбы и профилактики пожаров приведены в табл. 2.

Следует более подробно рассмотреть аспекты наиболее перспективных методов предупреждения и тушения пожаров породных отвалов.

Нагнетание воды в массив отвальных пород хотя и дает эффект охлаждения и на этапе горения является средством тушения, однако также является одним из факторов индуцирующих пожар,

Таблица 1

**Основные мероприятия по борьбе с возгоранием породных отвалов**

Направления предупреждения и борьбы с возгоранием породных отвалов		
Организационные	Технологические	Технические
Разработка мероприятий по предупреждению пожаров и их тушению. Выбор расположения отвалов на местности. Мониторинг состояния отвалов. Ограничение доступа посторонних лиц к отвалам.	Минимизация потерь угля и руд при ведении горных работ. Повышение извлечения полезного компонента при обогащении. Минимизация деформационных процессов. Отвод или подвод водотоков местности к отвалам. Перевалка отвалов	Бурение скважин для мониторинга и борьбы с пожарами. Нанесение инертного материала для ограничения доступа воздуха. Нагнетание ингибиторов (газов и жидкостей) в массив. Уплотнение пород отвалов. Нагнетание воды на участки горения и самонагрева для охлаждения пород. Своевременная рекультивация отвалов. Переработка отвальных пород

Достоинства и недостатки методов борьбы и профилактики пожаров

Метод предупреждения и борьбы с горением отвалов	Достоинства	Недостатки
Нанесение изолирующего материала	Предотвращение доступа кислорода при снижении интенсивности горения. Высокий уровень безопасности. Минимизация выделения вредных веществ при тушении пожара	Требуется достаточно большое количество бульдозерной и экскаваторной техники. Требуется большое количество инертного материала. Изолированный участок отвала находится временно в нерабочем состоянии. Отсутствие гарантий быстрой ликвидации пожара
Частичная или полная перевалка отвалов	Наиболее эффективный метод тушения пожаров. Минимальное количество специализированного оборудования и техники	Дополнительная нагрузка на окружающую среду: выбросы, пыль, задымление. Требуется достаточно большое количество бульдозерной и экскаваторной техники. Отчуждение дополнительных земельных площадей. Усложнение условий труда и повышенная травмоопасность (выбросы газов, угроза взрывов и т.д.). На период работ отвал находится в нерабочем состоянии
Нагнетание жидких ингибиторов в массив отвала	Уменьшение доступа кислорода. Снижения температуры пород и интенсивности горения. Заполнение пустот в массиве отвала	Эффективен только при известном расположении очага нагрева и горения пород. Требуется бурение большого количества скважин. Требуется спецтехника и оборудование. Высокие затраты при отсутствии гарантии ликвидации пожара. На участке работ отвал находится временно в нерабочем состоянии
Нагнетание инертных газов в массив отвала	Снижает риски взрывов газовых скоплений в массиве отвала. Незначительное снижение интенсивности горения	Невысокая эффективность снижения интенсивности горения. Требуется большой объем инертного газа. Требуется спецоборудование. На участке работ отвал находится временно в нерабочем состоянии
Нагнетание воды в массив отвала	Высокоэффективен на небольших по объему отвалах. Относительно небольшие затраты	Требуется большое количество воды. Вымывание полостей, трещин и деформации отвалов. Вымывание вредных веществ. Опасность образования и выбросов пара (1700 кратный объем). Требуется дополнительные мероприятия для ограничения доступа кислорода. При недостаточном объеме вода может выступать в качестве одного из факторов усиливающих горение. На участке работ отвал находится во временно нерабочем состоянии
Переработка отвальных пород	Полная или частичная гарантия отсутствия пожаров (в зависимости от полноты переработки). Получение прибыли от реализации продуктов переработки. Уменьшение площади отчуждаемых земель. Уменьшение затрат на отвалообразование. Уменьшение экологических платежей. Повышение безопасности производства. Уменьшение затрат на рекультивацию. Улучшение имиджа недропользователя	Требуется достаточно большие капитальные затраты на строительство перерабатывающего производства. Не во всех случаях обеспечивается рентабельность от реализации продукции

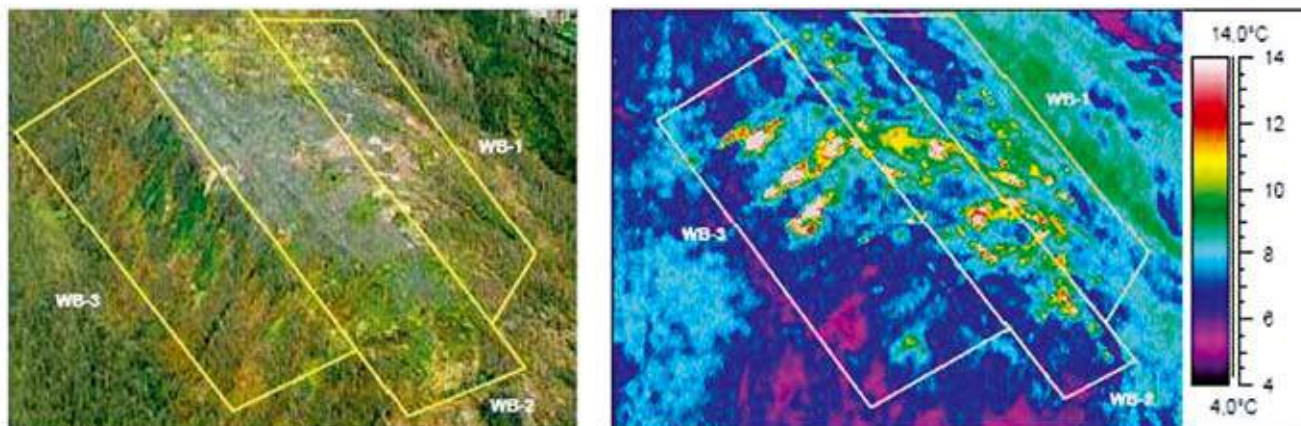


Рис. 2. Состояние отвала по данным визуального наблюдения и материалам теплосъемки



смывая оксидную пленку, увеличивая рыхлость и трещиноватость отвального массива, а также вступая в химическую реакцию окисления с сульфидными рудами. Вымывание вредных веществ, сопровождающее процесс нагнетания воды в массив отвала, негативным образом сказывается на окружающей среде. Более того, имеются риски травмирования персонала выбросами пара. Несмотря на эффективность данного метода, он не дает полной гарантии тушения пожара.

Применение инертных газов и ингибиторов существенно снижает риски взрыва, снижает интенсивность горения, но требует большого количества специального оборудования при достаточно высоких расходах на работы.

Применение изолирующих материалов эффективно как в качестве средства предупреждения пожаров, так и в качестве борьбы с ними, но требует достаточно больших затрат на технику, а также изолирующий материал (обычная мощность 10-25 см).

Перевалка отвала характеризуется наиболее высокими показателями эффективности тушения пожаров, но и требует наиболее высоких затрат на выполнение работ, при значительной дополнительной нагрузке на окружающую среду.

Общим недостатком всех вышеуказанных способов является частичная или полная консервация отвала на период проведения работ по тушению пожара.

Этого недостатка лишен малораспространенный, хотя и достаточно перспективный, метод предупреждения пожаров на отвалах путем переработки «пустых» пород. Малая распространенность указанного метода является следствием достаточно высоких первоначальных капитальных затрат на строительство перерабатывающего комплекса, при не всегда высокой прибыли от реализации товарной продукции. Однако сам по себе зачастую нерентабельный процесс переработки отвальных пород может получить положительную оценку, если его рассматривать с учетом экономии средств на рекультивацию, формирование отвалов и борьбу с последствиями эндогенных пожаров.

Обобщенно суммарный экономический эффект при рассмотрении переработки отвальных пород в качестве средства борьбы с пожарами формируется:

$$\begin{aligned} \Xi = & \sum \frac{\Pi_i V_i}{(1+d)^i} + \sum \frac{C_3 S_i}{(1+d)^i} + \sum \frac{C_{отв.i} V_i}{(1+d)^i} + \sum \frac{C_{рек.i} V_i}{(1+d)^i} + \\ & + \sum \frac{C_{перв.i} V_i}{(1+d)^i} + \sum \frac{C_{пож.i} V_i}{(1+d)^i} \cdot R - \sum \frac{K_i}{(1+d)^i} \end{aligned}$$

где:  $\Pi$  — прибыль от реализации продуктов переработки «пустых» пород, руб/м<sup>3</sup>;  $V$  — объем перерабатываемых пород, м<sup>3</sup>;  $C_3$  — платежи за пользование землями, отведенными под отвалы, руб/м<sup>2</sup>;  $S$  — площадь отчуждаемых земель, м<sup>2</sup>;  $C_{отв}$  — себестоимость складирования и отвалообразования, руб/м<sup>3</sup>;  $C_{рек}$  — себестоимость рекультивации отвала, руб/м<sup>3</sup>;  $C_{перв}$  — стоимость затрат на мониторинг, превентивные мероприятия по обеспечению пожаробезопасности отвалов, руб;  $C_{пож}$  — затраты на ликвидацию пожара, руб;  $R$  — риск возникновения пожара, доли ед.;  $K$  — капитальные затраты на перерабатывающий комплекс, руб;  $d$  — ставка дисконтирования, доли ед.;  $i$  — период проведения работ.

Породные отвалы в ряде случаев являются концентрацией сложных химических соединений, имеющих в своем составе ценные компоненты, охватывающие практически всю таблицу Менделеева, включая: золото, серебро, уран, алюминий, германий и т.д. При этом достаточно часто разделение массива горных пород на руду и пустую породу осуществляется на кондициях, установленных еще в советское время. В современных экономических условиях, при растущем спросе на минеральные ресурсы и истощении богатых месторождений, зачастую критерии к минерализации руды изменяются, этому способствует и развитие новых технологий переработки руд. Таким образом, часть отвалов фактически переходит в категорию техногенных месторождений. Разработка таких месторождений

характеризуется минимальными затратами на геологоразведку (обычно бурение ограниченного количества скважин с целью уточнения изменения качественных характеристик пород массива в объеме отвала) и добычу полезного ископаемого.

Примером могут служить отвалы окисленных руд криворожского бассейна с содержанием железа более 30 %. Новые технологии обогащения позволяют рентабельно извлекать железо из данных руд. Интересен и опыт СП «Эрдэнэт» на практике внедрившего переработку отвальных пород для извлечения цветных металлов.

Зольные отходы обогащения и угольные отвалы являются источником сырья для производства различного рода строительных материалов, включая: цемент, кирпич, легкие пористые наполнители и др. Зольные отходы также могут быть использованы в качестве сырья для металлургической промышленности, добавок к утяжелителям при обогащении в тяжелых суспензиях, в качестве наполнителя для железобетонных изделий при производстве глинозема и являются одним из нетрадиционных источников высококачественных удобрений, гуминовых кислот и биостимуляторов.

Переработка и дальнейшее использование зольных отходов является обычной практикой для западных стран, где в переработку вовлекается до 60-80% отходов обогащения. В России имеется положительный опыт использования углеотходов в производстве строительных материалов, но реализованный в рамках небольших проектов. Технико-экономические оценки показывают, что транспортировка угольных отходов, используемых в качестве основного сырья для производства строительных материалов, рентабельна при дальности транспортирования не более 100 км, а при использовании в качестве добавки — на расстояние до 500 км.

В настоящее время ИМС Montan провело исследование возможности использования отходов обогащения одной из российских обогатительных фабрик, перерабатывающих антрациты. Исследования (содержание горючих компонентов, содержание вредных примесей, однородность состава, фракционный состав и прочее) подтвердили перспективность использования отходов обогащения в качестве добавки в шихту для производства литейного чугуна, а также сжигания в кипящем слое. По проведенным оценкам, использование отходов углеобогащения в качестве источника топлива ТЭС, спроектированной по технологии кипящего слоя, позволит практически полностью удовлетворить внутренние потребности в электроэнергии крупного горнодобывающего предприятия.

Подобные позитивные примеры переработки отвальных пород не единичны, хотя и не внедрены на достаточном уровне, чему способствует скепсис менеджмента компаний, недостаточно осознающих эффективность проекта по переработке «пустых» пород.

Таким образом, перспективным следует признать использование синергетического эффекта от получения товарной продукции при переработке отвальных пород и экономии средств на отвалообразование и связанные с ним процессы, включая борьбу с пожарами на отвалах.

#### Список литературы

1. *Правила безопасности при обогащении и брикетировании углей (сланцев)*. ПБ 05-580-03. — М.: 2003.
2. *Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом*. ПБ 05-619-03. — М.: 2004.
3. *Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом*. ПБ-06-07-92. — М.: 1992.
4. *WP 2400: Laboratory investigations on coal samples*. U. Krause, Federal Institute for Materials Researches and Testing (BAM).
5. *Understanding self-ignition of coal*. A literature study established in cooperation of Deutsche Montan Technology GmbH (DMT) and Federal Institute for Materials Researches and Testing (BAM), 2000.
6. *A Review of Spontaneous Combustions Problems and Controls with Applications to US Coal Mines*. U.S. Department of Energy. J. P.L. Bacharach, E. A. C. Chamberlain, D. A. Hall, etc. Assistant Secretary for Energy Technology Division of Fossil Fuel Extraction Mining Researches and Development, 1978.

**Консультационные услуги  
для горнодобывающей и перерабатывающей  
промышленности**

**Горно-геологический аудит  
Отчет компетентного лица (CPR/MER),  
оценка запасов, Due Diligence**

**Технический консалтинг  
технико-экономические обоснования (Feasibility Studies),  
развитие горных компаний, оптимизация горных работ.**

[www.imcmontan.ru](http://www.imcmontan.ru)

**Мы будем рады встретить вас  
в нашем Московском офисе:  
125047, Москва, ул. Чайнова, д.22, стр.4,  
Тел. +7(495)250-67-17,  
факс: +7(495)251-59-62  
E-mail: [consulting@imcgroup.ru](mailto:consulting@imcgroup.ru)**