

## **ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОСТАВА ГАЗОВ НА ГОРЯЩИХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ ШАХТЫ ИМ. СТАЛИНА В КУЗБАССЕ**

И. А. ЛЕОНОВ и Б. А. СУРНАЧЕВ

Представлено научным семинаром кафедры разработки пластовых месторождений,  
разработки рудных месторождений, шахтного строительства, техники безопасности  
и рудничной вентиляции)

### **Цель, объекты и методика исследований**

При выполнении работы «Разработка безопасных способов эксплуатации породных террикоников шахт комбината «Кузбассуголь» в 1954—1955 гг. сотрудниками кафедры «Техника безопасности и рудничная вентиляция» Томского политехнического института совместно с рядом организаций Кузбасса были произведены измерения температуры и исследовано значительное количество проб воздуха на горящих породных отвалах.

До настоящего времени исследование этих отвалов производилось почти исключительно с поверхности. Температура внутри отвалов измерялась только один раз при проведении опытных работ по тушению<sup>1)</sup>.

Исследование в 1954—1955 гг. температуры и состава газов на горящих породных отвалах имело своими задачами: 1) изучение характера горения породных отвалов (распределение очагов горения на поверхности и внутри отвала); 2) установление состава газов на поверхности и внутри отвала.

Объектами наблюдений были взяты два сближенных породных отвала шахты им. Сталина Прокопьевского рудника (рис. 1). Оба отвала имеют высоту более 70 м, объем у каждого свыше 1 млн. м<sup>3</sup>, горят с 1945 года.

В зависимости от степени нагрева пород и ряда других причин (глубина замера, точность, быстрота) применялись различные способы температурных наблюдений. Наиболее удобным оказался замер температуры на поверхности отвала и в скважинах до 5 м при помощи пирометров, которыми было произведено более 80% всех измерений. Основные достоинства этого способа — простота и быстрота (одно измерение длится 5—10 мин). Точность показаний была у пирометров 5° и 10°.

<sup>1)</sup> Скопинский А. А., Макаров С. З. Исследования о применении антипирогенов при борьбе с рудничными пожарами, изд. АН СССР, 1947.

Попытки применять термопары для скважин глубиной 10—12 м и температуре по всей их длине порядка 800—900° оказались безуспешны.

Для контроля за правильностью показаний пирометров и для самостоятельных измерений температуры ниже 100° применялись инертные („ленивые“) термометры на 70° и 500° с точностью замера 0,5—1,0°.

Определение температуры термометрами выполнялось в выборочном порядке главным образом для контроля результатов замера пирометрами. Причины ограниченного использования термометров, несмотря на их большую точность, были следующие: 1) производительность замера термометрами в 5—10 раз ниже, чем пирометрами; 2) на горящих террикониках воздух отравлен продуктами горения и не позволяет наблюдателям длительное время находиться у точек замера; 3) термометры имели максимальную температуру замера только 500°, тогда как во многих точках отвала температура пород доходила до 600—800°.

Замер температуры в глубоких скважинах (10—12 м), в силу указанных выше причин и обстоятельств, производился пироскопами. По предложению доцента П. Г. Усова применялись пироскопы из чистых химических солей с примесью связующего вещества—раствора канифоли в ксилоле или толуоле.

В таблице указаны соли и температура плавления пироскопов, сделанных из этих солей.

| Соль                 | $\text{NaNO}_3$ | $\text{K}_2\text{CrO}_7$ | $\text{PbCl}_2$ | Фабричн. | Фабричн. | $\text{NaCl}$ |
|----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|----------|---------------|
| t плавления, градусы | 308             | 398                      | 501             | 630      | 750      | 800           |

Разница температуры между двумя соседними пироскопами составляла 90°, 103°, 129°, 120°, 50°. Точность замеров равна половине каждой разнице температур в соответствующем интервале и в среднем равна 50°. Для замера температуры пироскопами был изготовлен специальный снаряд. Он состоял из шести металлических стаканчиков, прикрепленных через каждые 2 м к двум параллельным железным проволокам диаметром 2 мм. Стаканчики изготавливались из отрезков газовых труб высотой 70 мм и внутренним диаметром 32 мм. Снаряд после зарядки пироскопами опускался в скважину и находился там от 5 до 12 часов. При дальнейших исследованиях можно рекомендовать снизить это время до двух часов. Этот метод обладает серьезными недостатками, главные из которых: малая точность, большое время выдержки, значительная трудоемкость работы по монтажу пироскопов.

#### Лабораторные исследования и порядок производства замеров

Полевым температурным наблюдениям на породных отвалах предшествовали значительные лабораторные исследования инертных („ленивых“) термометров. Для них было определено время, в течение которого они принимают температуру среды.

В каждой точке замеры температуры, как правило, производились два раза. От больших промежутков времени между двумя определениями температуры пришлось отказаться по следующим причинам: на действующем отвале некоторые скважины засыпались свежей породой; часть скважин, пройденных в сильно нагретых породах, деформиро-

валась. Температурные наблюдения производились на поверхности отвала, в скважинах и щупах. Измерения температуры на поверхности выполнялись пирометрами и термометрами. При замере термометр и термopара заглублялись в поверхностный слой отвала на 5—10 см.

Для измерения температуры внутри породных отвалов было пройдено 25 скважин. Схема расположения их представлена на рис. 1. На Южном отвале шахты им Сталина скважины № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 19 были пройдены по линии I—I (по гребню), скважины № 10, 11, 15, 16, 17 и 20—по линии II—II, проходящей через вершины отвалов № 1 (Северный) и № 2 (Южный), скважины № 12, 13, 14—по линии III—III, параллельной линии II—II и находящейся от нее в 50 м. На Северном отвале скважины № 21, 22, 26 пройдены по линии IV—IV (по гребню), скважины № 23, 24 и 25—по линии II—II. Глубина скважин колеблется от 1 до 5 м. Это вызвано тем, что проходка скважин велась до линии раскаленных пород, если последняя не достигалась, то ограничивалась глубиной в 5 м. Расстояние между соседними скважинами на поперечных линиях бралось в 17 м, что давало разницу вертикальных отметок в 10 м (наклон боковых и лобового склонов составляет обычно 35—40°). На продольных линиях скважины проходились на расстоянии 20—25 м друг от друга. Скважины № 19, 20, 25 и скважина № 18, пройденная вне линий для характеристики северо-восточного склона Южного отвала, расположены в 17 м от основания отвалов. Скважины проходились путем забивания вручную става стальных цельнотянутых труб с наружным диаметром 56, 65, 108 мм в породу отвала. Для удобства работы трубы имели длину 1 м и винтовую нарезку на концах. Конец нижней трубы был откован в виде копы; на верхнюю трубу, возвышающуюся над поверхностью отвала на 0,5 м, навинчивалась заглушка. Для набора проб воздуха из скважины у нижней обсадной трубы высверливалось по спирали 5 отверстий диаметром 5 мм. За смену (6—7 часов) двое рабочих проходили 12—15 м (в зависимости от диаметра) скважин глубиной 3—5 м. Для ускорения измерения температуры на глубине 1 м производилось в щупах. Щуп представляет собой трубу  $d=35$  мм длиной 1,2 м. Один конец ее откован в виде копы, на другой приварены рукоятки длиной по 30 см из круглого железа  $d=19$  мм. После окончания замеров температуры щуп при помощи ручек вынимался.

Измерение температуры в неглубоких скважинах производилось пирометром на 1350° через каждый метр по мере продвижения скважины. После того, как скважина углублялась на следующий метр, проходка её останавливалась на период 30 мин. (установлено опытами) для принятия трубой температуры окружающих пород. Производительность измерений определялась следующими факторами: 1) скоростью проходки скважин (от 0,05 до 0,2 м/мин, в зависимости от глубины проходки и диаметра скважины); 2) выдержкой скважины для принятия температуры окружающей среды (30 мин); 3) количеством щупов (время на забивку их не учитывается, так как оно не превышало 1—2 мин); 4) временем одного замера температуры в скважине (не более 10 мин), учитывая переход от скважины к скважине; 5) отравленностью атмосферы продуктами горения. После тщательного анализа всех факторов был принят следующий порядок проходки скважин и замера температуры: одновременно проходила и углублялась 4 скважины и использовалось 2 щупа. Пока одна скважина проходила и углублялась, другая выдерживалась, в третьей производился замер температуры, одна скважина находилась в резерве на случай задержки

проходки какой-либо скважины, одновременно замерялась температура в шупах.

Для исследования температуры на значительной глубине от поверхности породного отвала были пройдены глубокие забивные скважины А, Б, В глубиной от 10 до 11,5 м (рис. 1). Следует отметить, что глубина 10—12 м для забивных скважин на породных отвалах, проходимых вручную, является предельной.

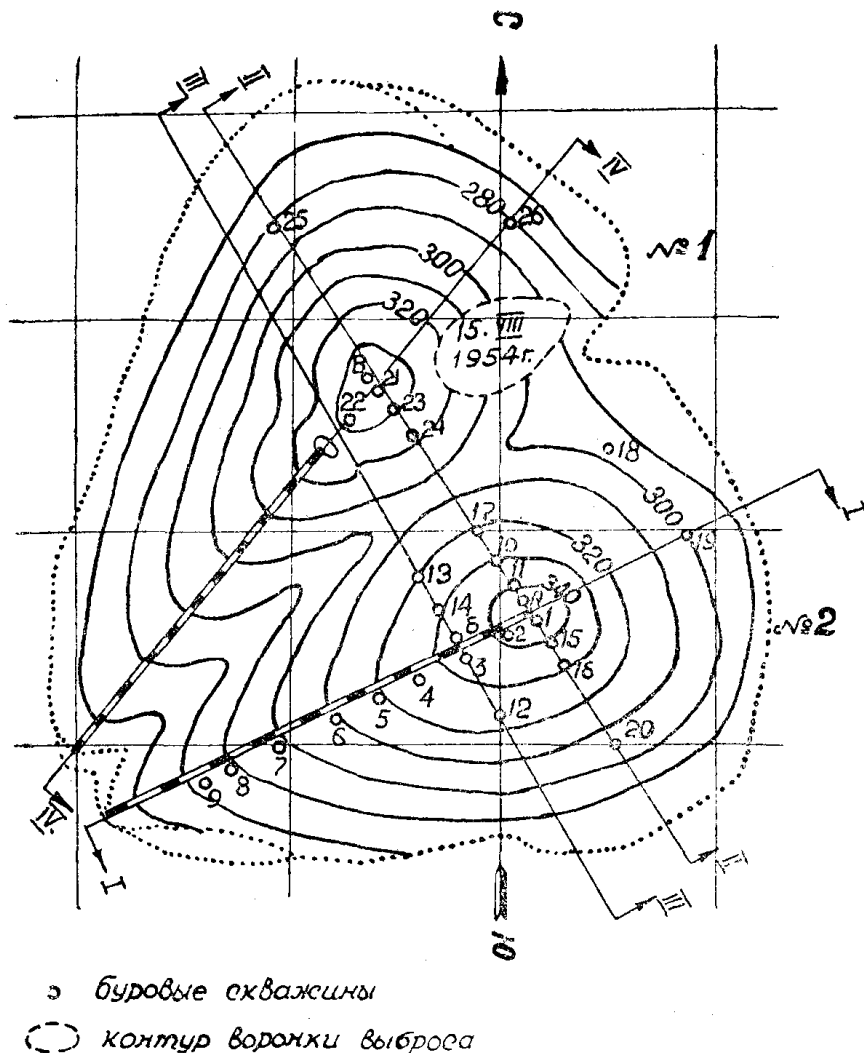


Рис. 1. Схема расположения скважин на породных отвалах шахты им. Сталина

Работы по проходке скважин и измерению температуры на породных отвалах велись в тяжелых условиях. В некоторых местах в атмосфере породного отвала содержалось значительное количество  $\text{CO}$  и  $\text{SO}_2$ , что приводило к отравлению работающих. Поэтому рабочая смена была сокращена до 6—7 часов.

### Результаты замеров температуры

Исследования температуры на поверхности горящих отвалов, произведенные по гребню (линия 1—1), дали следующие результаты. Вершина отвала имеет невысокую температуру—всего  $20^\circ$ , ниже ее на 25 м нагрев пород у поверхности увеличивается до  $70^\circ$ , еще ниже до  $180^\circ$  и в 110 м от скважины № 1 доходит до  $240^\circ$ . Высокая тем-

пература на поверхности продолжает держаться у скважин № 6 и 7 (240 и 140°), а затем у скважины № 8 резко снижается до 20°. В местах, где на поверхности имеются очаги горения, замерена температура 810°. Представляет некоторый интерес температура под шпалами рельсового пути на отвале. На Южном породном отвале полотно пути сделано из мелкой щебенки пустой породы толщиной 0,5—0,8 м. Температура под шпалами пути от скважины № 3 до № 6 (на протяжении 75 м) колеблется в пределах 40—70°. В трещине усадки между скважинами № 15 и 16 отмечен нагрев породы до 150—250°.

Температурные наблюдения по скважинам (180 замеров) дают возможность выяснить характер горения на породных отвалах. Скважина № 1, пробуренная на вершине Южного отвала, показывает до глубины 3,5 м температуру не более 160°, только на глубине 5 м она возросла до 510°. Скважина № 2 в 20 м от первой имеет на глубине 2 м температуру 410°. Скважина № 11 на глубине 3 м дала температуру 540°. С южной стороны отвала, около вершины в скважине № 15 на глубине 3 м зафиксирован нагрев породы 270°, а на 4 м—540°, на поверхности у отмеченных скважин температура оказалась следующая: 30°, 50°, 120°, 45°. Указанные замеры дают основание считать, что верхняя часть отвала („шапка“) диаметром 40—50 м и мощностью около 5 м не горит, а только нагрета до 200—300°. Скважины №№ 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 18, 19, 20, расположенные в средней части отвала и на свежей насыпке в 10 м выше основания, показывают, что в этом месте происходит интенсивное горение и породы сильно нагреты. Нижние концы труб в перечисленных скважинах раскалены на глубине 1—4 м; температура, определенная ориентировочно по цветам каления, равна 700—800°. Скважины № 8 и 9, расположенные в хвостовой части отвала, показывают на глубине 3 м температуру соответственно 370°, 310°, что говорит о ее остывании. Скважины № 18, 19, 20, пройденные в свежей насыпке, позволяют утверждать, что свежие породы сразу же начинают гореть и, как показывают визуальные наблюдения на поверхности в этой части отвала, горят очень интенсивно и часто открытым огнем. Скважина А, пройденная на вершине Южного отвала, ввиду ее деформации на глубине 2 м, ничего нового не добавляет к выводам, сделанным выше. Обсадная труба скважины Б, глубиной 11,5 м имеет темно-красное каление (700°), начиная с 3 м и до нижнего конца. Такая же температура замерена и пироскопами. Анализ данных исследований температуры в скважинах Южного отвала дает основание сказать, что верхняя граница раскаленных пород в отвале в средней части его находится на глубине 1 м, местами выходя на поверхность.

В районе вершины указанная граница отстоит от поверхности на 4—5 метров, то же наблюдается в хвостовой части отвала (рис. 2 и 3).

*Масштаб по скважинам 1:1000*

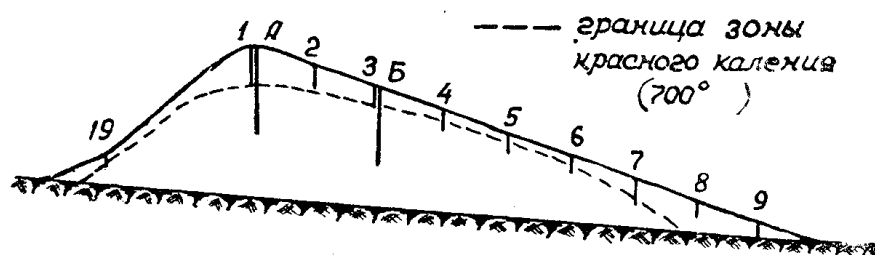


Рис. 2. Разрез Южного отвала по линии I—I

На Северном отвале скважина № 21, пройденная на вершине, показала температуру у поверхности 25—40°, на глубине 1 м—240—320°, 4 м—160—220°. Скважина Б, тоже находящаяся на вершине, на глубине 3,5 м показала температуру 398°, а на 5,5 м—более 500°. На основании этого можно сказать, что и на Северном отвале верхняя часть („шапка“) не горит, а только нагрета. Более высокая температура пород „шапки“ этого отвала может быть объяснена тем, что на это место с мая по сентябрь не подавалась порода, так как велись работы по выравниванию гребневой части отвала.

Скважина № 22 в 25 м от скважины № 21 на глубине 1 м показала температуру 150—220°, 2 м—320° и 3 м—240°. Скважины № 23 и 24 (в ложине) дают высокую температуру на поверхности (90—100°), на глубине 1 м—700—760°, 2 м—760—840° и 3 м—700°. Скважина № 25 находится на северном склоне в средней части. На этот склон в течение нескольких месяцев свежая порода не поступала.

*Масштаб по скважинам 1:1000*

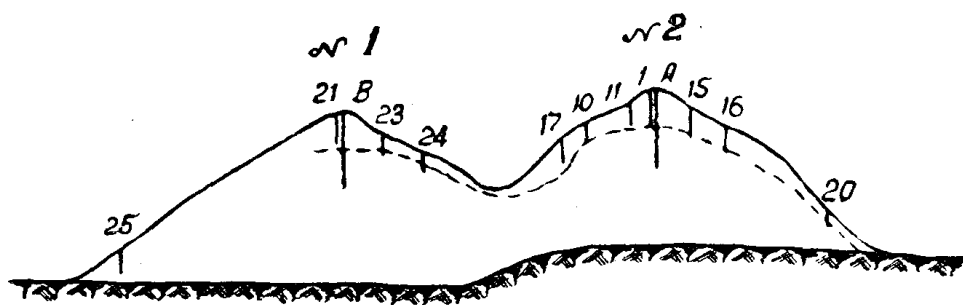


Рис. 3. Разрез породных отвалов по линии II—II

### Исследования состава газов на поверхности и внутри породных отвалов

Исследование отравления воздуха продуктами горения в районе породных отвалов производилось на шахте им. Сталина в сентябре 1954 года. Пробы воздуха набирались на поверхности отвалов и на расстоянии до 300 м от их основания по направлению господствующих ветров в тихую и ветреную погоду. Анализ производился на CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, горючие, SO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S, причем пробы для анализа только на первые четыре определения набирались мокрым способом, для анализа на все шесть определений или только на два последних—в резиновые мешки при помощи насоса.

Из большинства скважин, пробуренных на породных отвалах, были взяты пробы воздуха и проанализированы на содержание CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, горючих и у некоторых проб на сумму H<sub>2</sub>S и SO<sub>2</sub>. Детальный анализ горючих газов провести было нельзя, так как в химических лабораториях ВГСЧ, проводивших анализы, отсутствовала необходимая аппаратура.

Все скважины, пробуренные на горящих отвалах, выдавали, а не принимали воздух. Это обстоятельство значительно облегчило операции по набору проб воздуха, так как требовалась только незначительная откачка воздуха из скважин.

Исследования состава газа на поверхности породных отвалов дали следующие результаты. На вершине и склоне отвала воздух содержит окись углерода в пределах 0,003—0,008%. У основания отвала и на расстоянии от него окись углерода отсутствует. Углекислота заметной концентрации (0,1—0,2%) наблюдается на середине лобового склона и в 25 м от основания. Смесь сероводорода и сернистого газа на вершине отвала определена в количестве 0,00570 и 0,01220%. Эти газы были обнаружены в воздухе у склонов и основания отвала, а также в точках на поверхности земли на расстоянии 300 м (0,00417%).

Анализы проб воздуха, набранных из скважин на горящих породных отвалах шахты, показали, что газы, находящиеся внутри горящих отвалов, состоят из углекислоты, окиси углерода, углеводородов (метана), сернистого газа, сероводорода, кислорода и азота. Количество углекислоты колеблется в широких пределах от 0,1 до 17%. В местах интенсивного горения (скважины №№ 2, 3, 4, 11, 14, 21, 22) содержание углекислоты определено в 4—12%. Анализ газов из глубоких скважин А, Б, В показывает количество углекислоты в 10—15,5%, только две пробы из этих скважин дали 3,5 и 5% указанного газа.

Содержание окиси углерода внутри породных отвалов очень небольшое. Оно колеблется в пределах 0—1%. Малая концентрация СО дает основание утверждать, что внутри отвала происходит довольно интенсивное горение.

Удельный вес горючих (главным образом метана) в газах внутри горящих отвалов составляет 0—20%. В скважинах по линии 1—1 (№ 1, 2, 3, 4, 5) горючих обнаружено от 2 до 20%. Пробы газов из скважин № 2, 3, 4 имели 5—20% горючих. На границе верхней части отвала („шапки“) и средней его части в скважинах № 2, 11 и 15 анализ горючих показывает высокое содержание их в пробах воздуха: № 2—12 и 20%; № 11—8, 11 и 15%; № 15—4, 11 и 18%. Очевидно, указанные скважины выдают газы от сухой перегонки пород, слагающих вершину. В глубоких скважинах (А, Б, В) количество горючих в газах определено в пределах 6,3—19%.

Наличие сернистого газа и сероводорода обнаружено во всех пробах из скважин, которые анализировались на содержание этих газов. Внутри отвала концентрация их составляет от 0,00048 до 0,00966%.

Содержание кислорода в газах внутри отвала колеблется в пределах от 3 до 20,9%.

### Выводы

1. Скважины, пройденные забивным способом, являются наиболее пригодными для исследования температуры и состава газов у горящих породных отвалов на глубинах до 10—12 м. Оптимальная глубина таких скважин по данным опыта определяется в 5—6 м.

2. Замеры температуры в скважинах глубиной до 5 м на горящих отвалах удобно производить пирометрами с точностью до 10°. Метод замера температуры в глубоких скважинах необходимо еще разработать.

3. Визуальное исследование поверхности горящих отвалов и замер температуры на них установили, что интенсивное горение на поверхности наблюдается на лобовом склоне, куда поступает свежая порода, и вокруг вершин в радиусе 20—30 м полосой шириной 5—10 м. Породы вершины на поверхности не горят, а породы хвостовой части и боковых склонов перегорели.

4. Исследование температуры по скважинам показало, что верхняя часть отвала (вершина) мощностью до 6 м не горит, но нагрета. В средней части внутри отвала происходит интенсивное горение. Все скважины, пробуренные в этой зоне на различных глубинах, показывают высокую (600—800°) температуру пород. Нижняя часть боковых склонов и хвостовая часть отвала перегорели и остывают. Особо следует отметить лобовой склон, на котором, исключая вершину, происходит интенсивное горение пород.

5. Температурные наблюдения по скважинам, в том числе и глубоким, дают возможность предполагать, что внутри горящего отвала находится масса раскаленных пород. Верхняя ее граница определена короткими скважинами и находится от поверхности в средней части отвала на глубине 1 м. Нижнюю границу предстоит определить при дальнейших исследованиях.

6. Анализы проб газов, взятых через скважины на отвалах, показали, что внутри их имеются следующие газы: кислород, азот, углекислота, окись углерода, сернистый газ, сероводород и горючие (углеводороды). Содержание окиси углерода установлено в пределах 0—1 %, углекислоты от 0,1 до 17 %, в глубоких скважинах 10—15,5 %. Углеводороды (горючие) имеются в газах в количестве 0—20 %, чаще 5—20 %, а в глубоких скважинах 15—19 %. Содержание сернистого газа и сероводорода (в сумме) обнаружено в пределах 0,00048—0,00966 %. Количество кислорода в газах внутри отвалов установлено в 3,0—20,9 %, а в глубоких скважинах 8,5—11,3 %.

7. Продукты горения пород в отвале находятся у его поверхности и в ближайшей зоне. На вершине и склонах наблюдается постоянное присутствие в воздухе окиси углерода. Анализы обнаружили сернистый газ и сероводород не только на горящем отвале, но и в местах, расположенных от основания его в 200—300 м.

---