Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVI, вып. 1, 1962 г.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГАЗОВ В КАРЬЕРАХ

Н. Г. Фатуев, Н. З. Битколов

Изучение характера распространения газов в карьере при устойчивом и неустойчивом состояниях атмосферы [1] позволяет установить фактическое количество воздуха, проветривающего карьер, с учетом определенных атмосферных условий.

О характере распространения газов в карьерах в литературе сведений нет. Основным фактором естественного проветривания карьеров В. С. Никитин считает энергию ветра [1]. Это расходится с нашими опытными данными.

Исследования проводились на Сибайском и Блявинском карьерах (глубиной 118—124 *м*) в 1960 и 1961 гг. Источники газовыделения — автосамосвалы МАЗ-525, ЯАЗ-210-Е, паровозы, очаги горения руды и выбросы из трубы медно-серного завода. Работу выполняла бригада из четырех-пяти человек.

Пробы отбирались с разных уровней: с кузовов и кабин машин (во время отбора проб двигатели выключались), с подъемной площадки автомашины, предназначенной для монтажа и ремонта воздушных электролиний, с буровых станков и других высоких предметов, оказавшихся в зоне действия газового факела. Распространение газов от стоящих под погрузкой или в ожидании погрузки автосамосвалов изучалось как по высоте, так и длине факела, от других источников (паровозов, очагов горения руды) — только по длине газового факела со взятием проб воздуха на одном уровне от почвы (2 *м*).

Отбор проб начинался с дальнего пункта наблюдений и производился последовательно по направлению к источнику газовыделений. Дальний пункт принимался за контрольный, где отбирались пробы воздуха одновременно с отбором проб в других пунктах.

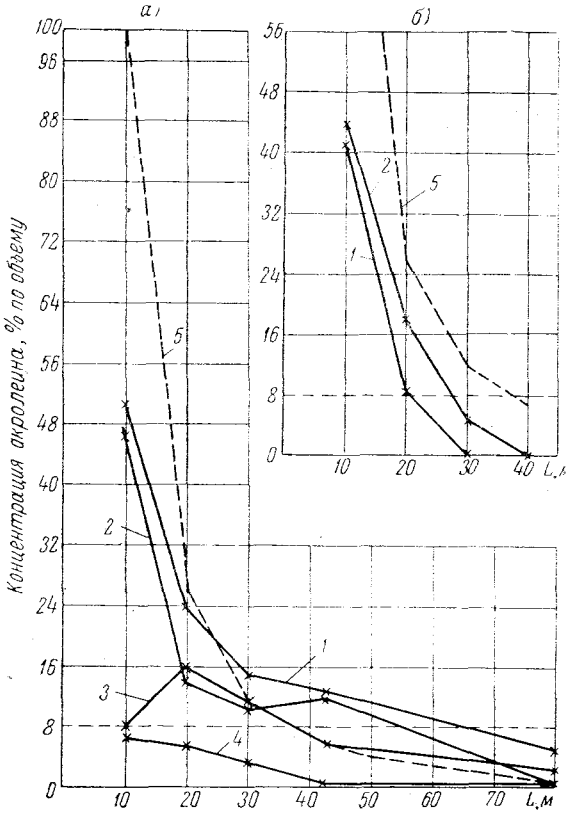
Визуальные наблюдения и данные анализов показали, что общий газовый факел двух-трех стоящих под погрузкой и в ожидании погрузки автосамосвалов образуется не менее чем в 10 *м* от них по направлению ветра. Поэтому ближайший от самосвалов пункт наблюдений был установлен на расстоянии 10 *м*.

Загрязненность воздуха оценивалась по содержанию акролеина в пробах. Одновременно со взятием проб измерялись температура и скорость движения воздуха в карьере и на поверхности (с помощью упомянутых средств или шестов-штанг). По измеренным температурам подсчитывались градиенты. В характерных местах карьера температура воздуха измерялась кроме того двумя психрометрами, укрепленными на шесте, на уровнях выше 3 *м* — «опрокидывающимся психрометром» Ассмана. При снятии показаний термометры этого психрометра с помо-

[1] Состояние атмосферы характеризуется величиной температурного градиента [2, 3].

щью шнура отключали от вентилятора (путем выведения в горизонтальное положение). Прибор опускался вниз и брался отсчет. Инерция термометров позволяет, таким образом, без искажения замерять температуру до высоты 10—12 *м*.

Исследование **распространения газов от автосамосвалов, находящихся на рабочей площадке экскаватора,** проводилось на подошве карьеров. Два автосамосвала МАЗ-525 находились на рабочей площадке постоянно, третий — периодически. Двигатели непрерывно работали на холостом режиме.



Изменение концентрации акролеина при действии:

а — ветра (изотермическое состояние атмосферы); Δt°_{100} от 0 до 0,8°; $u_к$ от 0,8 до 1,4 *м/сек* (в карьере); $u_п$ от 1,8 до 3 *м/сек* (на поверхности); *б* — ветра и температурного градиента, Δt°_{100} от 1,5 до 1,8°; $u_к$ от 0,5 до 0,9 *м/сек*; $u_п$ от 1 до 1,8 *м/сек*. Уровень: *1* — 2 *м*; *2* — 4 *м*; *3* — 6 *м*; *4* — 8 *м*; *5* — по расчету. Погода утром безоблачная, дымка, днем редкая облачность

В условиях устойчивого (безветренного) состояния атмосферы распространение выхлопных газов достигает 70—80 *м* и более, причем наибольшая концентрация обнаружена на уровне 2 *м* от почвы. С высотой она, как правило, уменьшается (рис. *а*). В 30—40 *м* от источника концентрация газа в 1,5—2 раза выше допустимой [1]. Следовательно, при устойчивом и равновесном состоянии атмосферы карьера газ в концентрациях, превышающих санитарные нормы, не поднимается выше уровня 8 *м*.

Несколько иной характер распространения газов зарегистрирован при наличии сверхадиабатического градиента температур (рис. *б*). В этом случае распространение газов в горизонтальной плоскости не превышает 30 *м* и концентрация газа с высотой несколько повышается. Это указывает на интенсивный перенос газов в верхние слои воздуха конвективными токами.

При устойчивом состоянии атмосферы газы движутся под действием ветра в горизонтальной плоскости с относительно небольшой степенью турбулентности. При неустойчивом состоянии атмосферы газы распространяются как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Таким образом, влияние термического фактора на распространение газов от источника отражается на уменьшении длины факела в горизонтальной плоскости и, следовательно, сокращении времени удаления газов из нижнего слоя атмосферы карьера.

Изменение концентрации движущихся газов от приземных источников на поверхности Г. В. Шелейховский описывает упрощенной

[1] Допустимая санитарная норма акролеина 0,00008% по объему.

формулой [4]

$$C \approx 10 \frac{P}{r^2},$$

где C — концентрация дыма на расстоянии r от источника, *мг/м³*;
P — фактическое весовое количество дыма, выделяемое в единицу времени источником задымления, *мг/сек*.

Расчетные и фактические (см. рисунок) данные одинаково показывают резкое падение содержания газа на первых 20 *м* от источника и затем более плавное уменьшение его концентрации. На расстоянии 10—15 *м* от автосамосвалов расчетные и фактические величины концентраций имеют большое расхождение.

При неустойчивом состоянии атмосферы формула Г. В. Шелейховского дает завышенные результаты. Следовательно, ее можно рекомендовать для определения концентраций газов от источников, расположенных на поверхности, при устойчивом состоянии атмосферы.

В табл. 1 показано **распространение акролеина от узла автодорог** в карьере близ выездных траншей. При достаточной для развития восходящих воздушных потоков величине $\Delta t°_{100}$ распространение газа по горизонтали не превышает 30 *м* от узла дорог. При устойчивом состоянии атмосферы протяженность газового факела значительно увеличивается и концентрация акролеина превышает санитарные нормы на значительно бо́льших расстояниях.

Таблица 1

Распространение газов от узла автодорог

Карьер	Скорость ветра u, *м/сек*	Направление ветра $\frac{\text{—}}{u}$	Температурный градиент	Средняя концентрация акролеина на расстоянии (*м*), % по объему					
				10	20	30	35	40	50
Блявинский	0,9	ЮЗ	0,0—0,2	0,00015	0,00008	—	0,00004	—	0,00004
	1,5	ЮЗ	1,5—1,6	0,00020	0,00009	—	Нет	Нет	—
Сибайский	0,7	ЮЗ	0,0—0,3	0,00047	0,00022	0,00024	—	0,00024	0,00014
	1,2	З	1,4—1,5	0,00040	0,00033	0,00010	—	Нет	Нет

Отбор проб воздуха для анализов на **окислы азота, окись углерода и сернистый газ** производили на уровне 2 *м* от почвы (табл. 2). Окислы азота и окись углерода не были обнаружены на расстоянии более 10 *м* от самосвалов и концентрация их редко превышала допустимую по санитарным нормам.

Особый интерес представляет появление сернистого газа в Блявинском карьере. В юго-восточной части карьера интенсивно горела руда в целике. Фактическая концентрация на расстоянии 5 *м* от очага горения была в 24 раза выше санитарной нормы (0,00035%). Под действием термического фактора ($\Delta t_{100} = 1{,}5°$; u = от 1 до 1,1 *м/сек*) на расстоянии 10 *м* от очага горения концентрация газа была в 2,5 раза ниже нормы. В условиях изотермического и инверсионного состояния атмосферы сернистый газ в подобных случаях представляет большую опасность, так как направление его распространения по карьеру неизвестно. Борьба с очагами горения руды в связи с этим заслуживает серьезного внимания.

Другим источником возможного загрязнения Блявинского карьера сернистым газом является медно-серный завод, который находится на юго-западе — примерно в 6 *км* от карьера. При скорости юго-западного ветра 1 *м/сек* в карьере ощущался легкий запах сернистого газа, но анализы проб не показали наличия его в карьере. При скорости ветра 2,5—2,8 *м/сек* на наветренном борту карьера концентрации SO_2 соста-

Таблица 2

Концентрация окислов азота, окиси углерода и сернистого газа на различных расстояниях от источника

u, м/сек	Δt°_{100}	Газ	Число автосамосвалов	Средняя концентрация на расстоянии ($м$), % по объему			Погода
				5	10	20	
0,4—0,7	0,1—0,3	N_2O_5	1—3	0,00008	Нет	Нет	Утром ясно, с 12 $ч$ — редкая облачность
0,0—0,5	1,4—1,8	N_2O_5	1—2	0,00015	0,00015	Нет	То же
0,9—1,8	1,2—1,4	N_2O_5	2	Нет	Нет	Нет	„ „
0,4—0,7	0,0—0,2	CO	1—3	0,0019	0,0007	Следы	„ „
0,9—1,8	1,2—1,4	CO	2	0,0008	Нет	Нет	Средняя облачность
0,5—1,6	0,5—0,8	CO	1—2	0,0006	Следы	Следы	Утром ясно, с 12 $ч$ — редкая облачность
1,2	0,0—0,2	CO	1—2	Нет	0,0018	Нет	То же
1,0—1,1	1,5	SO_2	Очаг горения	0,00845	0,00014	Нет	„ „

Примечание. На расстоянии 40 $м$ газы не обнаружены.

вила 0,00079%, что более чем в два раза превышает допустимую норму. На дне карьера в это время концентрация SO_2 составляла 0,00015%, т. е. почти в два раза ниже нормы. Таким образом, Блявинский карьер при юго-западном ветре на поверхности попадает в зону приземления нижней границы дымовых струй, источником которых является медно-серный завод. Возможность переноса дымовых газов и оседания их на больших расстояниях от источника согласуется с данными Г. В. Шелейховского [4].

По анализам одновременно взятых проб воздуха в карьере и на поверхности, концентрация SO_2 на поверхности, как правило, на 15—50% выше, чем в карьере. Поэтому в специальных мероприятиях по борьбе с сернистым газом, поступившим в карьер от завода, нет необходимости. Повышение степени очистки промышленных дымов вместе с улучшением условий на поверхности приведет к такому же улучшению в карьере.

В процессе производственных опытов изучено распространение окиси углерода от стоящего паровоза. Все пробы брались на высоте 2 $м$ от почвы. За первый пункт взятия проб принималось начало видимого приземления дыма. Погода утром была безоблачная с дымкой, туманом, днем — редкая облачность.

Таблица 3

Распространение окиси углерода от стоящего паровоза

u, м/сек	$\overline{u}$	Δt°_{100}	Концентрация окиси углерода на расстоянии ($м$), % по объему				
			30	40	50	60	65
1,0	ЗСЗ	0,0—0,7	0,0001	0,0022	0,0020	—	0,0006
3,1	ЮЮВ	1,0	0,0009	0,0019	0,0012	—	0,0002
1,2	ЮЮЗ	1,7	—	0,0002	Нет	Нет	—

Примечание. На расстоянии 80 $м$ газы не обнаружены.

В первом из трех рассмотренных в табл. 3 случаев паровоз стоял в северо-западной части Сибайского карьера, во втором и третьем случаях — у восточного борта карьера. Если в условиях изотермии воздуха и особенно инверсии рабочее место окажется в зоне опустившихся дымовых газов, то возможно загрязнение рабочего места окисью углерода

выше допустимой санитарной нормы. Характер распространения газов зависит и от высоты расположения источника от почвы. При действии температурного градиента загрязнение воздуха в карьере окисью углерода не вызывает опасений. В то же время при усилении ветра возможны концентрации окиси углерода в карьере выше нормы. При сильных ветрах место приземления нижней границы дымовой струи приближается к источнику дыма и концентрации газа в приземном слое могут быть высокими [4].

Как показали производственные наблюдения, паровозы в Сибайском карьере являются второстепенным источником загрязнения воздуха газами при любом состоянии атмосферы карьера.

Выводы

1. Главным условием рассеяния и удаления газов при устойчивом и равновесном состояниях атмосферы является ветер.

2. Высота слоя активного перемешивания газов при устойчивом и равновесном состояниях атмосферы не превышает 8—10 *м*. Следовательно, при определении количества воздуха, участвующего в проветривании карьера только под действием энергии ветра, можно исходить из указанной высоты активного перемещения.

3. Под действием температурного градиента длина газового факела в горизонтальной плоскости сокращается примерно в два-три раза. При этом рассеяние газов происходит в слое воздуха значительно большей толщины.

4. Основным условием, определяющим рассеяние газов при неустойчивом состоянии атмосферы, является сверхадиабатический температурный градиент, под действием которого газы интенсивно выносятся в верхние слои воздуха, благодаря чему увеличивается мощность активного слоя перемешивания.

5. Так как при действии сверхадиабатического температурного градиента увеличивается количество воздуха (мощность слоя перемешивания), участвующего в проветривании, главным фактором естественной вентиляции карьеров следует считать термический, а не ветер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В. С. Атмосфера карьеров и проветривание их ветром. Науч. сообщ. ИГД АН СССР, 1959, № 1.

2. Аверкиев М. Е. Метеорология. Гидрометеоиздат, 1951.

3. Битколов Н. З. Микроклиматические особенности атмосферы в карьерах. Изв. вузов. «Цветная металлургия», 1960, № 6.

4. Шелейховский Г. В. Задымление городов. Изд-во Мин. коммун. хоз-ва, 1949.