

УДК 504.054:622(574)

**О ВЛИЯНИИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОКИСЛЯЮЩИХСЯ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Доктор техн. наук Т.К. Ахмеджанов
Ш.К. Альмухамбетова
И.М. Байрамов

Проведенные исследования показали зависимость степени загрязнения окружающей среды при эксплуатации месторождений окисляющихся полезных ископаемых от сезонного изменения ряда метеорологических величин. Оценены зоны распространения в атмосфере газов от источника загрязнения в зависимости от микроклиматических условий. Результаты можно использовать при проектировании мероприятий по профилактике загрязнений окружающей среды в районах месторождений.

При эксплуатации месторождений окисляющихся полезных ископаемых (полиметаллические, угольные, сланцевые) происходит интенсивное загрязнение атмосферы выделяющимися газами, а также почвы, грунтовых вод и открытых водоемов кислотными растворами. Многолетние натурные наблюдения за состоянием окружающей среды в местах добычи, хранения и переработки полезных ископаемых показали, что степень ее загрязнения находится в зависимости от сезона года, а следовательно от микроклиматических параметров.

К микроклиматическим параметрам, влияющим на интенсивность окислительных процессов и загрязнение окружающей среды, относятся следующие метеорологические величины: уровень солнечной радиации, осадки, температура, влажность и скорость движения воздушных потоков, а также атмосферное давление. Для учета влияния микроклиматических параметров на интенсивность загрязнения окружающей среды для каждого района добычи и переработки месторождений окисляющихся полезных ископаемых проанализированы по данным близлежащих метеостанций вышеупомянутые метеовеличины за 15-летний (1980-1995 гг.) период. Обработка этих данных методом математической статистики позволила оценить закономерности их изменения. При этом были установлены среднемесячные значения (Y_i) температуры воздуха и почвы, относительной влажности воздуха,

атмосферного давления, суммы осадков и скорости ветра за пятнадцатилетний период, а также среднеарифметическое значение рассматриваемых метеорологических величин ($\pm \Delta Y_i$) и среднеквадратичных (S_i) отклонений коэффициентов Стьюдента (t_α) и доверительной вероятности (α_i).

Обработка данных по основным параметрам микроклимата позволила все анализируемые метеовеличины по месяцам представить в виде

$$Y_i = Y_{icp} \pm \Delta Y_i. \quad (1)$$

При исследовании динамики явлений периодического характера, типа хода микроклиматических параметров, в качестве аналитической формы развития во времени принимается уравнение следующего вида:

$$Y_t = a_0 + \sum_{r=1}^m (a_k \cos kt + b_k \sin kt), \quad (2)$$

в котором a_k и b_k находятся по способу наименьших квадратов, т.е. при условии, что

$$\sum (Y_k - \bar{Y}_t)^2 \quad (3)$$

будут иметь наименьшее значение.

Уравнение (2) выражает ряд Фурье, в котором величина "k" определяет гармонику ряда и может быть взята с различной степенью точности. Для отыскания параметров (2) дифференцируем уравнение (3) по a_k и b_k и приравниваем производную нулю. Благодаря свойству ортогональности получаем

$$\sum_{n=0}^{n-1} \cos \frac{2hkt}{n} \cos \frac{2hlt}{n} = \begin{cases} 0, & \text{если } k \neq l \\ \frac{n}{2}, & \text{если } k = l \neq 0 \neq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

Решение полученных нормальных уравнений дает приводимые ниже формулы для вычисления параметров

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum Y_i; \quad a_k = \frac{2}{n} \sum Y_k \cos kt; \quad b_k = \frac{2}{n} \sum Y_k \sin kt. \quad (4)$$

Формулы (4) показывают, что параметры уравнения (2) зависят от значений Y и связанных с ним последовательных значений $\cos kt$ и $\sin kt$.

Для получения специфического периодического явления - сезонности - необходимо взять $n = 12$, по числу месяцев в году. Тогда

ряд динамики годового хода изучаемой метеовеличины можно записать в виде

$$0; \frac{\pi}{6}; \frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{2}; \frac{2\pi}{3}; \frac{5\pi}{6}; \pi; \frac{7\pi}{6}; \frac{4\pi}{3}; \frac{3\pi}{2}; \frac{5\pi}{3}; \frac{11\pi}{6}$$

$$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}.$$

Ввиду того, что t в годовой динамике означает номер соответствующего месяца, то есть $t = 0$ соответствует январю, $t = \pi/6$ соответствует февралю и так далее, то для нахождения параметров a_k и b_k надо иметь произведение значений метеорологических величин данного месяца на синусы и косинусы соответствующих гармоник. Когда периодичность изменения изучаемых метеовеличин имеется, при составлении уравнений можно ограничиться рассмотрением первой гармоники, т.е. значением $k = 1$.

Для $k = 1$ уравнение (1) принимает вид

$$\bar{Y}_t = a_n + b_n \cos \tau_i + c_n \sin \tau_i,$$

в котором параметры a_n, b_n, c_n, τ_i найдутся из соотношений

$$a_n = \sum Y / 12; \quad b_n = \sum Y \cos t_i / 6; \quad c_n = \sum Y \sin t_i / 6; \quad \tau_i = 2(i-1)\pi / 12;$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ - соответствует рассматриваемому месяцу года.

На основании расчетов получены уравнения сезонности для среднемесячных значений температуры почвы (T_n) и воздуха (T_b), относительной влажности воздуха (W_b), атмосферного давления (P) и скорости ветра (V) для района расположения пожароопасных Жайремского полиметаллического и Шубаркольского угольных месторождений

$$\begin{aligned} T_n &= 6,13 - 23,03 \cos \tau_i + 0,48 \sin \tau_i, \\ T_b &= 4,3 - 20,81 \cos \tau_i - 0,39 \sin \tau_i, \\ W_b &= 63,17 + 21,80 \cos \tau_i - 0,26 \sin \tau_i, \\ P &= 976,4 + 7,16 \cos \tau_i - 0,8 \sin \tau_i, \\ V &= 3,43 + 0,115 \cos \tau_i + 0,31 \sin \tau_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Вычисленные по формулам (5) теоретические значения метеорологических величин хорошо согласуются с фактическими данными.

Полученные аналитические модели сезонности можно использовать при определении скорости сорбции кислорода рудой и углем, прогнозировании начальной температуры самонагревающегося объема, а также при аналитическом обосновании максимально возможной температуры самонагревания полезных ископаемых в качестве граничных условий.

Наиболее целесообразным при планировании горных работ представляется учет годового изменения температуры воздуха и почвы, а также количества выпадающих осадков. Однако аналитическое

описание количества выпадающих осадков дает большую погрешность, поэтому следует использовать фактические данные. С точки зрения тепло-, влагообеспеченности благоприятные для развития и активизации химических процессов климатические условия охватывают период порядка 7 месяцев, начиная с апреля по октябрь, так как в это время наблюдаются круглосуточные положительные температуры воздуха и почвы и максимальное выпадение осадков. Однако отмеченное не исключает течение процесса самовозгорания в холодный период года, о чем свидетельствуют эндогенные пожары в зимних условиях при открытой разработке Николаевского, Жайремского и Шубаркольского месторождений полезных ископаемых. Одновременно с изучением параметров микроклимата были проведены температурно-газовые наблюдения в очагах эндогенного пожара. Было установлено, что с ростом скорости воздушного потока увеличиваются объемы загрязнения атмосферного воздуха, хотя концентрация выделяющихся газов несколько падает.

Для оценки степени загрязнения атмосферы в зависимости от скорости воздушного потока и температуры воздуха требуется рассмотреть механизм выделения газов из кускового объема окисляющейся горной массы. Известно, что кусковой объем окисляющейся горной массы выделяет газ в результате химических реакций. При этом температура окисляющейся горной массы T_n обычно возрастает и она, как правило, больше температуры воздуха T_b . В результате этого возникают конвективные токи воздуха, и образующийся внутри окисляющегося объема газ выделяется по поверхность.

На основании теоретических положений относительно конвективных токов [1] количество воздуха, протекающего через некоторую поверхность самонагревающегося объема горной массы, (Q_d) можно определить по формуле

$$Q_d = 2,5vd_y(G_r \cdot \sin \alpha)^{1/2}, \quad (6)$$

где v - кинематическая вязкость воздуха, m^2/c ; d_y - эффективный диаметр поверхности в самонагревающемся объеме, участвующий в образовании конвективных токов воздуха, м; α - угол наклона поверхности самонагревающегося объема к горизонту, град; G_r - критерий Грасгофа.

Критерий Грасгофа определяется по формуле

$$G = g\beta(T_n - T_b)h_0^3 / \nu^2, \quad (7)$$

где g - ускорение свободного падения, m/c^2 ; β - коэффициент расширения воздуха, $1/K$; T_n, T_b - температура соответственно поверхности самонагревающегося объема и окружающего воздуха, K ; h_0 - определяющий размер самонагревающегося объема, м.

Критерий Грасгофа будет изменяться вследствие динамичности температуры воздуха, полезного ископаемого и размеров очагов газыделения.

Представим формулу (6) с учетом (7) в виде

$$Q_b = 2,5v \cdot l \left[\frac{g(1 - T_b / T_n) h_0^3}{v^2} \right]^{1/4} \quad (8)$$

Анализ формулы (8) показывает, что величина Q_b помимо прочего зависит от соотношения $T_b / T_n = \sigma$. Так, например, при $\sigma = 1$ конвективные токи воздуха будут отсутствовать, а следовательно не будет происходить вынос газов из пор окисляющихся объемов в атмосферу. Для обоснования критического значения σ , при котором в атмосферу будет выделяться газ, рассмотрим аэродинамические условия его выноса из самонагревающегося объема конвективными потоками воздуха.

Пусть ABCD представляет собой сечения объема самонагревающегося полезного ископаемого (рис. 1а). Конвективные потоки воздуха, выходящие в атмосферу из окисляющегося объема, проходят вертикально вверх, т.е. через поверхность, которая непосредственно расположена над прямой АВ. Площадь этой поверхности обозначим через S_{AB} . Тогда скорость конвективного потока воздуха у поверхности S_{AB} можно представить как

$$v_k = Q_b / S_{AB}, \text{ м/с.}$$

Скорость движения конвективного потока воздуха в самонагревающемся объеме, например, в сечении $S_{A'B'}$ можно определить из соотношения

$$\frac{v_{1K}}{v_{2K}} = \frac{S_{A'B'}}{S_{AB}}.$$

Отметим, что сечение $S_{A'B'}$ представляет собой площадь поверхности в межкусковых пространствах и поэтому она на много меньше S_{AB} . Следовательно будет справедливо неравенство

$$v_{2K} > v_{1K},$$

т.е. скорость v_{1K} будет минимальной по сравнению со скоростью воздуха конвективного потока внутри окисляющегося объема.

Если выделяющийся газ обладает большим удельным весом, чем воздух, то его молекулы после выделения из кусков полезного ископаемого будут стремиться вниз при отсутствии движения воздуха. При наличии конвективных токов воздуха, направленных обычно вертикально вверх, на молекулы газа M_{SO_2} , например, сернистого, будут действовать силы F_1 и силы лобового сопротивления F_2 , направленные в противоположные стороны (рис. 1б). Молекулы газа будут

подхватываться конвективным потоком и выноситься в атмосферу из окисляющегося объема при условии, что $F_2 > F_1$. Согласно законам аэродинамики [2,3] это условие можно записать в виде

$$CS \frac{\gamma_b v^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_i - \gamma_b) g, \quad (9)$$

где d - диаметр молекулы газа, м; γ_i, γ_b - удельный вес соответственно газа и воздуха, Н/м³; C - коэффициент лобового сопротивления молекулы газа; S - площадь поперечного сечения молекулы газа, м²; v - скорость воздуха в объеме полезного ископаемого, м/с.

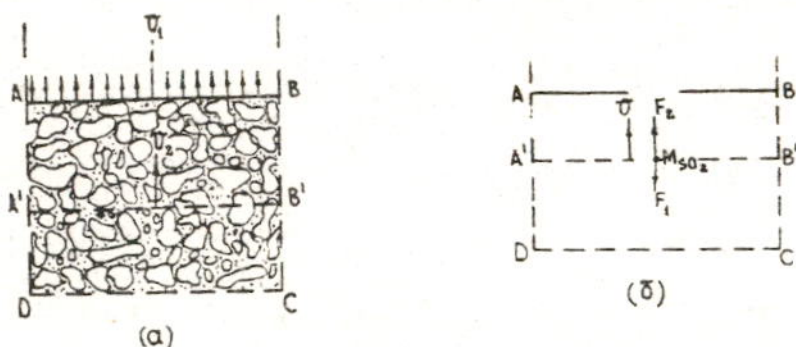


Рис. 1. Схема к рассмотрению аэродинамических условий выноса сернистого газа конвективными потоками воздуха из самонагревающегося объема руды в атмосферу

Коэффициент C является функцией критерия Рейнольдса (Re) и определяется формулой Стокса при $Re < 1$

$$C = 24 / Re$$

и при $Re \geq 2$ формулой Озина

$$C = 24 \left(1 + \frac{3}{16} Re \right) Re.$$

Критерий Рейнольдса в общем виде определяется как

$$Re = vd / \nu.$$

Представив площадь поперечного сечения молекулы газа как $S = 4\pi d^2 / 4$ и ее диаметр $d = (V_\mu / N_0)^{1/3}$ из формулы (9) можно определить скорость конвективного потока воздуха в объеме полезного ископаемого, при которой будет происходить вынос газа в атмосферу, т.е.

$$v \geq 3,62 \left[(V_{\mu} / N_0)^{1/3} (\gamma_i - \gamma_b) / C\gamma_b \right]^{1/2}, \quad (10)$$

где V_{μ} - молярный объем газа, м³/моль; N_0 - число Авагадро, 1/моль.

При значениях $Re < 1$ формула (10) будет иметь вид

$$v \geq \frac{(\gamma_i - \gamma_b)g}{18\nu\gamma_b} (V_{\mu} / N_0)^{2/3}, \text{ м/с.}$$

Если значение v меньше v_1 , а следовательно и v_2 , то из окисляющегося объема будет выделяться газ. А так как v_1 и v_2 зависят от σ , то можно установить при каком его значении будет выделяться газ в атмосферу из окисляющегося объема. Это позволяет обосновать температуру самонагрева полезного ископаемого по фактору газовой выделенности. Для обоснования же предельно допустимой температуры необходимо так же установить, при какой температуре самонагрева полезного ископаемого концентрация выделяющегося газа в атмосферу превысит предельно допустимую норму.

При известном значении Q_b концентрация газа будет равна

$$C_{\Gamma} = V_p q_V / Q_b,$$

где V_p - объем полезного ископаемого, в котором выделяется газ, м³; q_V - интенсивность выделения газа в объеме полезного ископаемого, мг/(м³·с).

Величина q_V определяется как

$$q_V = q_{\Gamma} \cdot S_{\Gamma}, \text{ мг/(м}^3 \cdot \text{с),}$$

где q_{Γ} - удельное количество газа, выделившегося с единицы поверхности окисляющегося полезного ископаемого в объеме, мг/(м²·с); S_{Γ} - площадь поверхности выделения газа в объеме.

Загазованные конвективные потоки, выделившиеся из окисляющегося объема, перемешиваются с массами атмосферного воздуха и загрязняют значительные объемы атмосферы в районе расположения источника газовой выделенности. При этом зона распространения газа, а так же его концентрация зависят от скорости и направления ветра и массы выделившегося газа. В период штиля или инверсии можно принять, что объем зоны загазования в районе источника газовой выделенности будет равен расходу загазованного воздуха в конвективном потоке, т.е.

$$V_{\Gamma} = Q_b \cdot \tau,$$

где τ - продолжительность штиля или инверсионного распределения температур воздуха.

Зона загазованности при этом будет находиться в районе источника выделения газа, а изменение его концентрации с удалением от очага можно принять в соответствии с законом диффузии.

В случае ветровой активности для определения изменения концентрации выделяющегося газа с удалением от источника его образования рассмотрим схему факела распространения вредности (рис. 2). Как видно из этой схемы, здесь следует рассматривать источник не точечный или линейный, а в виде поверхности с площадью S_{ABCD} . Интенсивность поступления газа в атмосферу через поверхность площадью S_{ABCD} определяется по формуле

$$q'_Г = \sum_{i=1}^k C_{Гi} \cdot Q_{bi} / k,$$

где k - число параллельных измерений по определению Q_{bi} и концентрации газа $C_{Гi}$ над поверхностью S_{ABCD} .

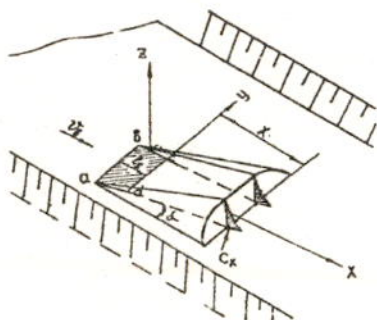


Рис. 2. Схема зоны распространения сернистого газа, выделяющегося в атмосферу из самонагревающегося объема

При известном значении $q'_Г$ уровень максимально возможного загрязнения воздуха в факеле распространения газа от площадки S_{ABCD} можно рассчитать по формуле

$$C_x = \frac{K' q'_Г \cdot l_s}{X \psi_{\varphi} \cdot \vartheta_b \cdot S_{ABCD}}$$

Здесь K' - коэффициент, зависящий от направления движения воздушных потоков и расположения источника выделения газа относительно земной поверхности района расположения источника; l_s - средний размер поверхности выделения газа по направлению воздушного потока, м; X - расстояние от площадки газовыделения до поперечного сечения факела, в котором определяется концентрация газа, м; ψ_{φ} - безразмерный параметр, характеризующий турбулентность ветрового потока у источника газовой выделения; ϑ_b - средняя скорость воздушного потока над поверхностью газовой выделения, м/с.

Зоны распространения газа в атмосфере от источника, а так же параметры K' , $\psi_{\text{ф}}$, \mathcal{Q}_b являются функциями микроклиматических условий, а именно температуры воздуха, скорости и направления движения воздушных потоков.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании комплекса мероприятий по профилактике загрязнения атмосферы в районах разработки окисляющихся месторождений, а так же при установлении размеров санитарно-защитных зон от мест складирования полезных ископаемых, выделяющих газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. - 450 с.
2. Галиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. - М.: Гос. изд-во лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. - 339 с.
3. Эккэрт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. М.: Госэнергоиздат, 1961. - 531 с.

Казахский национальный технический университет

ҚЫШҚЫЛДАНҒАН ПАЙДАЛЫ КЕНДЕРДІ ТАБАТЫН ОРИНДАРЫН ПАЙДАЛАНҒАН ЖАҒДАЙДА МИКРОКЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙДЫҢ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ЛАСТАНУЫНА ӘСЕР ЕТУІ ТУРАЛЫ

Техн. ғ. докторы Т.К. Ахметжанов
Ш.К. Альмұхамбетова
И.М. Байрамов

Өткізілген зерттеу қышқылданған пайдалы кендерді табатын орындарын пайдаланған жағдайда қоршаған ортаның ластану деңгейінің бірқатар метеорологиялық мәндерінің маусымдық өзгеруіне байланыстылығын көрсетті. Микроклиматтық жағдайға байланысты ластану көзінен газдардың атмосфераға таратылу аймақтары бағаланды. Кен орындарының маңындағы қоршаған ортаны ластанудан қорғау шараларын жобалауға осы қорытындыларды қолдануға болады.