

А.А. Андреев, А.В. Зорин

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА СТРАТИФИКАЦИИ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

A.A. Andreev, A.V. Zorin

APPROACH OF PREDICTION OF ATMOSPHERE STRATIFICATION IN OPEN-PIT SPACE

Предложена методика прогноза температуры воздуха по высоте карьерного пространства и определение размеров и форм внутрикарьерной циркуляции воздуха.

Ключевые слова: синоптическая ситуация, инверсия, адвекция, трансформация, кривая стратификации, кривая состояния, замкнутый контур карьера, 3D- модель карьера.

The approach of air temperature forecast along the vertical extent of the pit space and determination of dimensions and shapes of in-pit air circulation is presented.

Key words: meteorological situation, inversion, advection, transformation, stratification curve, condition curve, closed contour of an open-pit, 3D model of an open-pit.

Основной причиной сверхнормативного загрязнения атмосферы карьеров с увеличением их глубины является нарушение условий естественного воздухообмена при штилях и температурных инверсиях, когда турбулентный воздухообмен выработанного пространства с окружающей природной средой затруднен. Для своевременного принятия мер, обеспечивающих безопасность работы персонала, актуальна задача разработки методики прогноза метеоусловий, формирующих состояния атмосферы в карьере. Необходимым условием для разработки корректной методики такого прогноза является получение метеорологической информации, характеризующей состояние атмосферы внутрикарьерного пространства. Для этого необходимо развернуть в карьерном пространстве сеть автоматических метеостанций на различных высотах, регулярно передающих метеоинформацию (температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление) [1].

Первым этапом при составлении прогноза является определение синоптической ситуации над регионом: какие воздушные массы находятся над регионом в настоящее время и поступление каких ожидается в ближайшее время. Оценивается возможность возникновения синоптических ситуаций, способствующих развитию инверсий в приземном слое атмосферы. Рост давления и слабые ветры способствуют выхолаживанию земной поверхности и возникновению инверсии, такие ситуации характерны для зимнего периода года с ноября по март.

На втором этапе прогнозируется температура воздуха в районе расположения карьера. Прогноз рассчитывается в 7 и 19 ч, как время, характеризующее окончание ночного и дневного периодов суток.

Адвективная поправка определяется как разность температур в начале и конце траектории движения воздушных масс T_a , полученная по синоптическим картам:

$$T_a = T_n - T_k.$$

Расчёт трансформационных изменений температуры воздуха на 24 ч производится по формулам:

$$T_{тр} = -0,2T_a + 0,4N \quad (\text{на ночь}),$$

$$T_{тр} = -0,2T_a - AN - B\alpha \quad (\text{на день}),$$

где T_a — адвективная поправка; N — разность (в баллах) между ожидаемым количеством облачности в районе расположения карьера и фактическим количеством облачности в начале траектории, откуда должна поступить воздушная масса в исходный срок, определяется по табл. 1; α — разность между значениями альбедо в пункте, для которого составляется прогноз и в районе, откуда придет воздушная масса (табл. 2); A и B — коэффициенты, учитывающие влияние скорости ветра, увлажненности почвы, суммарной радиации и эффективного излучения на трансформационные изменения температуры воздуха (табл. 3).

Таблица 1

Количество облачности в баллах

Количество облачности	Ясно, нет облачности 0 %	Небо покрыто облаками на 25 %	Небо покрыто облаками на 50 %	Небо покрыто облаками на 75 %	Небо полностью покрыто облаками 100 %
Количество баллов N	0	3	5	8	10

Таблица 2

Альбедо подстилающих поверхностей

Подстилающая поверхность	Альбедо	Подстилающая поверхность	Альбедо
Почва сухая	0,17	Снег талый	0,60
Почва влажная	0,11	Снег свежий	0,85
Песок	0,35	Снег загрязнённый	0,45
Растительный покров	0,18	Вода	0,22

Таблица 3

Коэффициенты A и B при скорости ветра ≤ 6 м/с

Коэффициент	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	-0,4	0,0	0,0	0,4	1,0	1,2	1,1	0,9	0,6	0,2	0,1	-0,4
B	4	7	12	16	18	20	19	17	13	9	5	3

Учет коэффициентов A и B при скоростях ветра более 6 м/с не имеет смысла, так как при таких скоростях ветра объем карьера проветривается за счет естественной аэрации.

На третьем этапе в 19 ч рассчитываются прогнозируемые температуры воздуха в точках мониторинга состояния атмосферы карьера по формуле М.Е. Берлянда [2]:

$$T = 0,2(2T_{19} + T_{07} + T_{01} + T_{19\text{пр.сут.}}),$$

где T — температура воздуха за предшествующие сроки.

По этим данным строится прогностическая кривая стратификации.

Для повышения надежности прогноза после 21 ч рассчитывается температура воздуха по всем точкам по формуле Михельсона:

$$T = T_{d_{21}} - 2,$$

где $T_{d_{21}}$ — температура точки росы за срок 21 ч.

Температура точки росы определяется по психрометрическим таблицам по данным температуры и влажности воздуха за срок 21 ч.

По полученным данным также строится прогностическая кривая стратификации. По взаимному расположению прогностической кривой стратификации и кривой состояния атмосферы определяется возможность образования инверсионных слоев в атмосфере карьера. Прогностическая информация постоянно сравнивается с фактическим положением кривых. Прогноз составляется на сутки. По характеристикам ветра на замкнутом контуре карьера определяются размеры зон циркуляции в объеме карьера.

Количество энергии, поступающей от ветрового потока, прямо пропорционально скорости ветра и площади карьера по замкнутому контуру. Поэтому при углублении карьера и сохранении площади контакта с ветровым потоком поступление механической энергии, ее удельный расход на единицу массы воздуха по высоте воздушного столба внутри карьера быстро убывает, что приводит к ослаблению вторичных течений воздуха на дне карьера. При входе в карьерное пространство естественного ветрового потока он расширяется в среднем под углом в 15° [3]. В результате этого в атмосфере карьера формируются две циркуляционные зоны: прямоочная в верхней части карьера и рециркуляционная во всем остальном объеме карьера. Если первая зона с течением времени остается практически постоянной, то вторая значительно увеличивается с увеличением глубины карьера.

Для определения этих зон используется актуальная 3D-модель карьера, в частности, карьера «Железного» рудника ОАО «Ковдорский ГОК». Данная модель создана в системе автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ MineFrame, разработанной в Горном институте КНЦ РАН. По ней моделируются направления ветра на замкнутом контуре в виде четырех пересекающихся плоскостей.

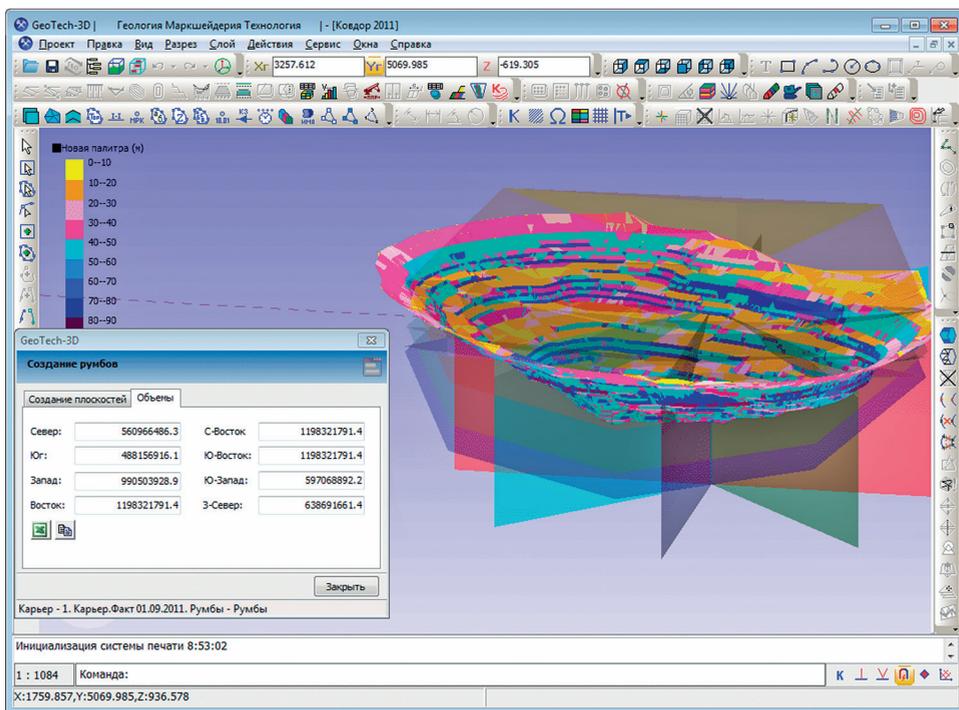


Рис. 1. 3D-модель карьера «Железный»

По плоскостям румбов создаются автоматические разрезы, которые позволяют наглядно установить граничные точки карьера. Всего получается 8 точек, они соединяются в единую плоскость. В каждой точке расположение плоскости меняется на 15° и в результате пересечения плоскостей с карьером вычисляются объемы зон циркуляции по всем направлениям ветра. В результате наглядно видно, при каком направлении ветра на замкнутом контуре, в какой части карьера расположены прямоочная зона циркуляции и рециркуляционная и автоматически считается их объем.

В Горном институте КНЦ РАН разработана система мониторинга состояния атмосферы внутрикарьерного пространства. В карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» смонтирована данная система, состоящая из четырех метеостанций WXT520, расположенных на гор. +465, +295, +202, -35 (рис. 2).

Метеостанции в постоянном режиме передают информацию о состоянии атмосферы карьера: температуру воздуха, атмосферное давление, относительную влажность, скорость и направление ветра. По этим данным строятся ежечасные фактические кривые стратификации (распределение температуры воздуха с высотой в атмосфере карьера) [4]. Данная система является основой для прогноза стратификации атмосферы карьерного пространства. В настоящее время система мониторинга атмосферы карьерного пространства и методика прогноза его стратификации функционируют в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» в тестовом режиме.



Рис. 2. Система мониторинга атмосферы карьера

Предложенные способы прогноза температурной стратификации по глубине карьера и ветрового режима на замкнутом контуре позволяют наглядно видеть:

- изменения стратификации температуры по глубине карьера и возникновение инверсионных слоев;
- расположение циркуляционных зон в объеме карьера.

Применение данной методики прогноза дает возможность принимать обоснованные управленческие решения по обеспечению промышленной безопасности при ведении открытых горных работ на предприятиях горнопромышленного комплекса.

Литература

1. Воробьев В.И., Расторгуева А.А. О некоторых возможностях повышения успешности краткосрочных прогнозов температуры воздуха. // Ученые записки РГГМУ, 2009, № 10, с. 32–36.
2. Зорин А.В., Петров А.А. Система мониторинга состояния атмосферы внутрикарьерного пространства. // Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 18–22 июня 2012 г. — Апатиты–Санкт-Петербург, 2012, с. 466–470.
3. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 751 с.
4. Филатов С.С. Вентиляция карьеров. — М.: Изд. «Недра», 1981. — 206 с.