

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

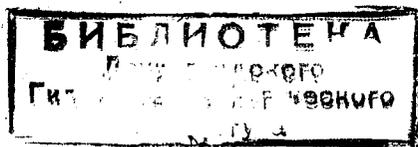
06  
Т78

ТРУДЫ  
ВЫПУСК 270

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
РЕЖИМ  
КАРЬЕРОВ

243551

Под редакцией  
д-ра геогр. наук И. А. ГОЛЬЦБЕРГ  
и д-ра геогр. наук П. А. ВОРОНЦОВА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1970

Сборник содержит материалы по изучению метеорологического режима карьеров, главным образом особенностей циркуляции воздуха, экспериментальные данные по термическому режиму склонов карьеров, а также разработку прогностических схем с целью предупреждения условий, опасных для работы в карьерах.

Сборник предназначен для научных работников-метеорологов, а также для специалистов по проектированию добычи полезных ископаемых карьерным способом.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое развитие открытого способа добычи полезных ископаемых определяет все большее влияние на технологические процессы метеорологических условий, что получает свое выражение в производительности труда, безопасности работ, здоровье горнорабочих и многом другом.

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых является основным в целом ряде отраслей народного хозяйства, связанных с горными работами. Так, уже в настоящее время открытым способом добывается угля 40—45%, железной руды 60—65%, цветных металлов 70%, минеральных удобрений 75%, строительных материалов 100%.

Открытая разработка месторождений предусматривает прежде всего искусственное изменение ландшафта и рельефа, что связано, с одной стороны, со значительным углублением поверхности, с другой — с вскрытием значительных площадей.

Глубина современных карьеров достигает 200—300 м, проектируются до 500—700 м и более. Площадь, занимаемая карьерами, исчисляется от единиц до десятков квадратных километров.

Обнажение больших площадей в сочетании со значительным углублением земной поверхности ведет к созданию в этих местах, т. е. карьерах, микроклимата, часто существенно отличного от местного климата окружающего района. Эти различия обусловлены рядом факторов, основными из которых являются: ослабление с глубиной поверхностного воздушного потока, большие различия условий притока, поглощения и отражения солнечной энергии различно ориентированными бортами и уступами карьера на разных его уровнях, повышенной запыленностью и загазованностью воздуха от различных технологических процессов.

Исследования закономерностей изменения метеорологических элементов на открытых горных работах, направленные на удовлетворение запросов производства вызвали к жизни новую отрасль прикладной метеорологии — микроклимат карьеров.

Неблагоприятные метеорологические условия, затрудняющие, а иногда и останавливающие работы в карьерах, многообразны

(туманы, гололеды, снеготаносы, грозы и др.), но в основном это процессы, вызывающие нарушения естественного воздухообмена. Поэтому все статьи данного сборника так или иначе связаны с вопросами естественного проветривания карьеров.

В данном сборнике приведены работы четырех организаций, проводящих изучение микроклимата карьеров: Главной геофизической обсерватории, Института биофизики Министерства здравоохранения СССР, Ленинградского гидрометеорологического института и БРИС Уральского УГМС.

Редактирование статей Института биофизики выполнено Н. З. Битколовым, а Ленинградского гидрометеорологического института — В. М. Шапаевым.

Н. З. БИТКОЛОВ, П. А. ВОРОНЦОВ

## КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРАХ

В настоящее время в горной промышленности широко используется открытый способ добычи полезных ископаемых — более половины всех полезных ископаемых добывается этим способом; к 1980 г. их удельный вес возрастет до 75%. Этому способствует рост механизации, высокая производительность и большая безопасность работ в карьерах по сравнению с подземными способами.

Вместе с тем работа под открытым небом находится в зависимости от метеорологических условий, которые не только оказывают влияние на качество и количество труда, но в ряде случаев вызывают необходимость прекращения производственного процесса.

Открытые горные разработки в СССР практически ведутся во всех климатических зонах:

- а) на севере и северо-востоке Норильский комбинат, комбинат Апатит, комбинат Якуталмаз;
- б) на юге карьеры: по добыче серы Гаурдак, полиметаллические Алмалык, золоторудные Мурунтау;
- в) Средний и Южный Урал — Коркино, Учалы, Сибай, Асбест;
- г) Центральный и Восточный Казахстан комбинаты: Зырянский свинцовый, Коунрадский медный, Каратауский горнохимический;

д) Центральные районы ЕТС — Курская магнитная аномалия;

е) Украина — карьеры Южного Буга и Кривого Рога.

Имеются карьеры в Закавказье, в горах Средней Азии, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Действие метеорологических факторов в карьерах неоднозначно и находится в зависимости от горногеологических, организационных условий и многого другого.

В целом метеорологические процессы, оказывающие влияние на работу и рабочих в карьерах, по масштабам воздействия можно подразделить на две группы:

- а) обусловленные микроклиматом самого карьера,

б) связанные с общесиноптическими условиями.

Следует отметить, что четкого различия между этими двумя группами не имеется, они, как правило, взаимосвязаны. Необходимо помнить, что микроклимат карьера обычно отличается от местного климата окружающего района, причем с увеличением глубины карьера при прочих равных условиях эти различия выражены более резко. Целый ряд действующих карьеров в настоящее время достиг глубины 200—300 м и более. В мировой практике известны карьеры, глубина которых превысила 700 м (карьер Бингхем, штат Юта, США).

К неблагоприятным метеорологическим факторам, связанным в основном с микроклиматом карьера, можно отнести:

- 1) комплекс метеоусловий, ведущих к ослаблению или прекращению естественного воздухообмена;
- 2) низкие температуры, снижающие производительность труда, повышающие заболеваемость рабочих;
- 3) туманы, затрудняющие работу транспорта и погрузку горных масс;
- 4) гололеды, останавливающие движение транспорта, особенно большегрузных автосамосвалов.

К неблагоприятным метеорологическим условиям, обусловленным в основном общим синоптическим фоном, относятся:

- 1) снежные заносы, останавливающие в ряде случаев горные работы вообще;
- 2) промерзание почвы, затрудняющее разрушение пород и увеличивающее запыленность воздуха;
- 3) высокие температуры, снижающие производительность труда, повышающие запыленность воздуха;
- 4) ветровые нагрузки, затрудняющие монтажные работы, снижающие производительность труда, увеличивающие заболеваемость и повышающие запыленность воздуха.
- 5) пыльные бури, ведущие в ряде случаев к прекращению работ;
- 6) грозы, делающие опасным производство взрывных работ.

Таков далеко не полный ряд метеорологических элементов, которые прямо или косвенно оказывают влияние на экономические, технические и социальные показатели различных отраслей народного хозяйства, в системе которых ведется разработка полезных ископаемых открытым способом. К числу таких отраслей прежде всего относятся горнодобывающие предприятия министерств угольной промышленности, цветной и черной металлургии, строительных материалов, энергетики, химической промышленности и некоторые другие.

Рост открытых горных разработок и большая зависимость условий труда в них от метеорологических факторов и определили постановку и проведение специальных научных работ.

Первые исследования в этом направлении были начаты в 50-х годах на основных горнодобывающих предприятиях угольной про-

мышленности, цветной и черной металлургии силами ИГД АН СССР, Ленинградского и Днепропетровского горных институтов и Горно-геологического института Уральского филиала АН СССР. Работы были возглавлены академиком А. А. Скочинским при активном участии академика Н. В. Мельникова и крупнейших специалистов в области рудничной вентиляции профессоров Ф. А. Абрамова, В. Б. Комарова, К. В. Кочнева, С. И. Луговского и др. По мере развития работ в исследования включались институты охраны труда, отраслевые институты и ряд высших учебных заведений.

Уже первые итоги исследований показали, что задачи, требующие решения, подразделяются на два аспекта. Первая группа из них связана с техническими решениями, направленными на снижение запыленности, загазованности и регулирование микроклимата на рабочих местах. Вторая группа касается вопросов естественного и искусственного проветривания карьеров и непосредственно связана с физикой приземного слоя атмосферы, а также с отдельными областями аэро- и термодинамики.

Не останавливаясь на рассмотрении методов, разработанных по решению вопросов первой группы, так как это не является предметом настоящей работы, отметим, что именно в этом направлении проведен целый ряд исследований, позволяющих во многом нормализовать санитарно-гигиенические условия труда в карьерах.

В области аэрации карьеров прежде всего следует отметить комплекс экспериментальных и теоретических работ, выполненных В. С. Никитиным в период 1956—1968 гг. и обобщенных в ряде монографий [1—3].

Систематизированные комплексные исследования естественного воздухообмена и микроклимата карьеров начиная с 1956 г. проводились на ряде горнорудных предприятий страны группой сотрудников Ленинградского горного института и Института биофизики под руководством одного из авторов данной статьи. Результаты этих исследований приведены в монографии [1] и ряде статей [4—6], в том числе и в настоящем сборнике.

Наряду с изучением механизма и условий естественного проветривания карьеров проведен ряд работ по изысканию методов интенсификации воздухообмена в них. Сюда нужно отнести исследования Н. З. Битколова [1, 7], Я. З. Бухмана [8, 9], С. С. Филатова [10, 11] и др.

Результаты упомянутых выше работ позволили решить ряд вопросов с обоснованием путей и методов искусственного проветривания карьеров, дать качественную оценку интенсивности естественного воздухообмена, выявить характерные особенности микроклимата ряда карьеров.

Одним из главных недостатков проведенных работ являлось слабое участие в исследованиях метеорологических учреждений. Проведенные в последние два-три года работы ГГО, ЛГМИ и Уральского УГМС на базе Коркинского карьера позволили выявить ряд

особенностей микроклимата, присущих данному карьере, однако исследования еще далеки от завершения.

Учитывая важность и значимость стоящих задач, целесообразна постановка комплексных исследований метеорологического режима в карьерах в ряде основных горнопромышленных районов страны с целью проведения в последующем необходимого районирования и подготовки материалов по обеспечению промышленных предприятий необходимой информацией.

При этом комплексные метеорологические исследования необходимы не только в существующих горнопромышленных районах, но и особенно во вновь создаваемых и проектируемых, одновременно с проведением серии поисковых работ, предшествующих проектированию. Своевременные метеорологические изыскания в новых горнопромышленных районах позволяют решить ряд технических вопросов, обеспечивающих в некоторых случаях нормальную работу предприятий в дальнейшем.

Основные задачи метеорологической науки по проблеме улучшения условий труда в карьерах и обеспечению ритмичности работы производства можно сформулировать следующим образом:

1. Разработка методов прогноза метеорологических явлений на базе установления процессов, формирующих естественный воздухообмен в карьерах, и факторов, его нарушающих.

2. Дальнейшая разработка теории процессов и механизма естественного воздухообмена в карьерах.

3. Разработка методов искусственного воздействия и предупреждения опасных для производства метеорологических явлений.

4. Районирование основных горнопромышленных областей по характерным климатическим элементам.

5. Изучение микроклимата на рабочих местах в карьерах.

6. Разработка единых методов и аппаратуры для метеорологических наблюдений в карьерах.

7. Разработка методов прогноза начала, продолжительности и конца отдельных опасных метеорологических явлений.

Решение поставленных задач потребует координации метеорологической службой Советского Союза работ ряда заинтересованных министерств и ведомств и позволит наряду с решением одной из основных задач — проблемы управления воздухообменом в карьерах — оказать действенную помощь со стороны гидрометслужбы народному хозяйству страны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Битколов Н. З., Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.
2. Никитин В. С. Естественная вентиляция карьеров. Проблемы рудничной аэрологии. Госгортехиздат, 1959.
3. Никитин В. С. Об особенностях распространения газа и пыли в карьерах. Рудничная аэрогазодинамика и безопасность горных работ. Изд-во «Недра», 1969.

4. Битколов Н. З. Причины нарушения воздухообмена и прогноз загазованности атмосферы в карьерах. Изв. ВУЗов, Горный журнал, № 10, 1958.
5. Битколов Н. З. Микроклиматические особенности атмосферы в карьерах. Изв. ВУЗов, Цветная металлургия, № 6, 1960.
6. Битколов Н. З. Роль ветра в естественном проветривании карьеров. Изв. ВУЗов, Цветная металлургия, № 3, 1962.
7. Битколов Н. З. К вопросу проветривания глубоких карьеров. Изв. ВУЗов, Горный журнал, № 4, 1959.
8. Бухман Я. З., Бакиров У. Х. Местное проветривание на металлических рудниках. Госгортехиздат, М., 1961.
9. Бухман Я. З. и др. Оздоровление условий труда в карьере. Безопасность труда в промышленности, № 4, 1965.
10. Филатов С. С. и др. Искусственное проветривание карьеров агрегатами пропеллерного типа. Уголь, № 9, 1967.
11. Филатов С. С., Вершинин А. А., Павлов А. И. Самоходная оросительно-вентиляционная установка для открытых горных работ. Горный журнал, № 2, 1967.

П. А. ВОРОНЦОВ, В. И. СЕЛИЦКАЯ, И. И. ЧЕСТНАЯ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРИИ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУИ В КОРКИНСКОМ КАРЬЕРЕ

При расчетах воздухообмена в карьерах, как правило, используется теория плоскопараллельной струи. С целью проверки применимости данной теории в статье дана характеристика некоторых видов движения воздушного потока по материалам аэрологических наблюдений в Коркинском карьере. Коркинский угольный разрез, расположенный южнее г. Челябинска, является самым глубоким в Советском Союзе карьером, представляющим собой замкнутый амфитеатр глубиной в западной части 320 м, в восточной части 232 м, с размерами карьерного поля в длину 2,8 км, в ширину 2,2 км. Борты карьера разнесены под углами: северный  $17^\circ$ , южный  $12-17^\circ$ , западный  $35^\circ$ , восточный  $28^\circ$ . Отношение длины карьера к его глубине составляет 9, а ширины к глубине 7. Объем выработанного пространства на I/XI 1967 г. составлял 613 млн. м<sup>3</sup>. Обнаженная площадь угольных пластов 1,5 млн. м<sup>2</sup>. На основании отношений длины и ширины карьера к его глубине он относится к категории слабопродуваемых. Одной из особенностей Коркинского угольного карьера является наличие в нем очагов самовозгорания угля, которые хотя и гасятся, но все же создают дополнительные источники тепловой энергии, идущей частично на нагревание воздуха в карьере. К сожалению, количественными оценками вклада тепла от сгорания угля в термический режим карьера мы не располагали.

Движение воздуха в глубоких замкнутых карьерах определяется в основном двумя факторами:

- а) общим синоптическим фоном, формирующим ветровой режим над карьером;
- б) процессами, развивающимися в самом карьере.

К последним нужно отнести деформацию основного воздушного потока в карьере и наличие местных движений воздуха, вызванных неравномерностью нагревания отдельных участков или склонов карьера.

Вопрос о естественном проветривании карьеров имеет большое практическое значение, и его исследованию было посвящено большинство работ как чисто теоретических, так и экспериментальных, включающих моделирование процессов обтекания карьеров. К сожалению, систематических микроаэрологических исследований ветрового режима в карьерах не проводилось. По теории плоскопараллельной струи, в карьерах существуют две основные схемы динамической циркуляции: прямоточная и рециркуляционная и иногда смешанная, или рециркуляционная прямоточная.

Напомним, что все теоретические расчеты этих видов движения воздуха получены в предположении, что воздушный поток характеризуется постоянством масштаба турбулентности и имеет изотермическую стратификацию.

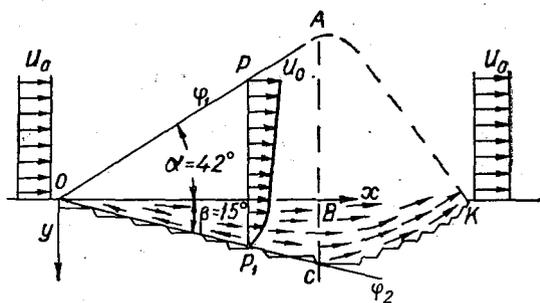


Рис. 1. Строение прямоточной схемы.

Естественное проветривание в карьерах осуществляется также под действием термических факторов, в этом случае имеет место конвективная и инверсионная схемы движения воздуха. Дадим краткий обзор движения воздуха по каждой из перечисленных схем по данным монографии В. С. Никитина, Н. З. Битколова [1].

Прямоточная схема естественного проветривания имеет место в карьерах с углами откосов подветренного борта  $\beta \leq 10 \div 15^\circ$ . Структура воздушного потока прямоточной схемы проветривания при ветре, дующем в направлении плоскости сечения карьера, приведена на рис. 1. По этой схеме поступающий в карьер воздушный поток деформируется и полностью охватывает весь профиль карьера.

Деформация скоростного поля внутри потока ограничивается линией ОАК (рис. 1), на которой скорость ветра  $u$  максимальна и равна  $u_0$  — скорости ветра на поверхности. Скорость воздушного потока в карьере падает в направлении к поверхности уступов, у которых она минимальна. Потоки обратного направления возникают только у нижних бровок уступов подветренного борта карьера, причем их размеры ограничиваются высотой отдельных усту-

пов. Все выделяющиеся на уступах примеси выносятся из карьера прямыми потоками воздуха.

Толщина слоя деформации скоростного поля потока, согласно данным моделирования, определяется внутренней границей  $\phi_1$ , проходящей на участке  $OA$  под углом  $\alpha_1 \approx 42^\circ$ . На участке  $AK$  деформация скоростного поля в глубину основного потока уменьшается и скорость принимает в точке  $K$  значение  $u_0$ .

Исследования в карьере с углами откоса  $12-15^\circ$  (Сибайский карьер) показали, что

$$u_x = 0,725u_0, \quad (1)$$

где  $u_0$  — скорость ветра на борту карьера,  $u_x$  — скорость ветра на уровне борта над карьером.

Закон распределения скорости ветра на участке поперечного сечения потока ниже бровки (линия  $x$  на рис. 1) имеет вид

$$u = 0,725u_0 \cos \psi \text{ м/сек.}, = 0,725u_0 \cos \psi \quad (2)$$

где  $\psi$  — безразмерный параметр, зависящий от структуры струи и определяемый опытным путем.

Величина

$$\psi = \frac{y}{0,171x} = 5,85y/x, \quad (3)$$

где  $x$  и  $y$  — горизонтальная и вертикальная координаты точки, в которой определяется скорость ветра. Скорость воздуха в зоне карьера изменяется от  $u = 0,725 u_0$  на линии  $OK$  до  $u = 0$  у поверхности уступов подветренного борта, являющегося внешней границей потока.

В действительности из-за довольно быстрого возрастания скорости по высоте поперечного сечения скорость воздушного потока у поверхности уступа на уровне  $1,5-2$  м при углах откоса подветренного борта  $\beta = 15^\circ$  составляет  $(0,1 \div 0,15)u_0$ . Прямоточная циркуляция является наиболее эффективной для естественного проветривания карьеров, так как при ней максимально используется энергия ветра для выноса пыли и газов из большей части карьера.

Некоторым недостатком прямоточной схемы является то, что с увеличением размеров карьера толщина слоя с малыми скоростями воздушного потока у поверхности уступов и в глубокой части карьера возрастает, а при наличии в глубокой части карьера резких углублений создаются особенно неблагоприятные условия вследствие образования в них плохо проветриваемых и застойных зон.

Движение потоков воздуха по рециркуляционной схеме циркуляции наблюдается при скорости ветра  $u_0 > 0,8 \div 1$  м/сек. в карьерах с углами откоса подветренного борта  $\beta > 15^\circ$ . Структура воз-

душного потока этой схемы дана на рис. 2. Поток воздуха, попадая в карьер, деформируется и расширяется по мере движения и образует пограничный слой, заключенный между линиями  $OP_1$  и  $OP_2$ . Граница деформации скоростного поля внутри потока проходит по линии  $OAK$ , на которой скорость воздуха  $u$  равна скорости ветра на выходе в карьер  $u_0$ . Положение внешней границы пограничного слоя определяется линией  $OC$ , на которой скорость ветра равна нулю. Угол наклона этой границы  $\alpha_2$  практически зависит только от турбулентности воздуха на поверхности земли. Конфигурация карьера, направление и скорость ветра не сказываются на его величине. В естественных условиях среднее значение  $\alpha_2$  составляет  $15^\circ$ . Заторможенная часть первоначальной массы струи,

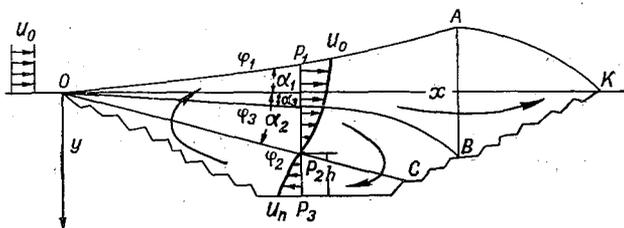


Рис. 2. Строение рециркуляционной схемы.

заключенная (или расположенная) между линиями  $OA$  и  $OC$ , как бы делится на две струи. Верхняя, лежащая между линиями  $OA$  и  $OB$ , встретив противоположный борт карьера, обтекает его и удаляется из карьера, вынося все вредные примеси, в том числе и с участка  $BK$ , за борт карьера; нижняя, лежащая между линиями  $OB$  и  $OC$ , поворачивает у противоположного борта навстречу ветру и, поднимаясь у подветренного борта, снова включается в основной поток.

Следовательно, сущность рециркуляционной схемы состоит в том, что в воздухе, движущемся над достаточно глубоким карьером, возникают две зоны течений с противоположными направлениями. При входе в карьер происходит расширение основного потока, сопровождающееся уменьшением скорости ветра; на некотором уровне направление потока меняется на противоположное. Таким образом, имеют место две зоны движения: активная зона, где движение воздуха происходит по направлению ветра, и зона вихрей — зона с противоположным основному потоку движением. Между этими зонами будут участки повышенной турбулентности, где ветер имеет самые различные направления, отклоняясь в обе стороны от основного потока.

Зона вихрей примыкает к подветренной стороне карьера, активная зона — к наветренной. Средние относительные скорости движения воздуха в активной зоне примерно в 2 раза выше, чем в зоне вихрей. Скорости ветра в активной зоне уменьшаются с глубиной, а в зоне обратного движения — возрастают. Каждой зоне присущи

свои закономерности движения, которые влияют на процесс воздухообмена.

Боковые относительно направления основного потока воздуха склоны карьера не оказывают заметного влияния на угол расширения струи, т. е. срыв потока с наветренной стороны карьера происходит обычно под одним и тем же углом. Влияние же конфигурации и наклона борта карьера существенно сказывается на распределении зон движения потока внутри карьера. Величина угла  $\alpha_2$  зависит от турбулентности и термической стратификации воздуха, увеличиваясь с ростом турбулентности и неустойчивости воздуха.

Если угол откоса борта карьера  $\beta$  меньше  $15-16^\circ$ , то в карьере зоны вихрей не будет, но практически всегда  $\alpha < \beta$  и в этом случае должны иметь место две зоны движения воздуха в карьере. В глубоких карьерах зона вихрей может составлять  $50-60\%$  общего объема карьерного пространства. Величина скорости ветра в зоне вихрей быстро уменьшается с увеличением угла откоса борта и глубины карьера. Если принять средний угол откоса карьера равным  $40^\circ$ , то, как установлено расчетом и экспериментом, величина средней скорости ветра в обратном потоке, т. е. в зоне вихрей, будет составлять  $30\%$  скорости ветра на борту карьера.

Отсюда вытекает, что почти для каждого карьера при данной термодинамической стратификации должна существовать своя критическая скорость ветра, которая может обеспечить естественную вентиляцию всего объема карьера.

Мы не будем здесь рассматривать конвективную и инверсионную схемы циркуляции. Отметим только, что наибольшая загазованность воздуха в карьерах имеет место при инверсиях.

Остановимся на разборе результатов шаропилотных наблюдений в Коркинском карьере с целью характеристики строения двух основных схем циркуляции: прямоточной и рециркуляционной. Хотя наблюдения были проведены пока на одном карьере, можно считать, что полученные характеристики будут применимы и для глубоких карьеров, имеющих сходные условия. Прежде чем приступить к разбору ветрового режима в карьере, приведем краткую характеристику термической стратификации столба воздуха над центром карьера. Все шаропилотные наблюдения в карьере проводились в светлое время суток, когда, очевидно, должна бы наблюдаться неустойчивая стратификация воздуха, при которой теория плоскопараллельной струи будет заведомо непригодна для расчетов элементов воздухообмена в карьере. По данным температурного зондирования со дна карьера можно дать характеристику термической стратификации столба воздуха в карьере через величину вертикального градиента температуры —  $\gamma^\circ/100$  м.

В табл. 1 приведено распределение  $\gamma^\circ/100$  м, соответствующих трем стратификациям:

- а) инверсионной,  $\gamma < 0,0^\circ$ ,
- б) безразличной,  $0,6^\circ > \gamma > 0,0^\circ$ ,
- в) неустойчивой,  $\gamma > 0,6^\circ$ .

Таблица 1

Распределение  $\gamma^\circ/100$  м в нижнем 100-метровом слое над дном карьера (%)

	$\gamma < 0,0$	$0,6^\circ > \gamma > 0,0^\circ$	$\gamma > 0,6^\circ$	$n$
XII 1968	20	35	45	20
III IV 1969	31	16	53	30
VIII 1968	70	17	13	22

Примечание. В этой таблице и в следующих  $n$  — число случаев.

Как видно, стратификация нижнего 100-метрового слоя в карьере может быть весьма различной. Инверсии здесь наиболее часто наблюдались в августе до 10—11 час., а наименьшая их повторяемость была в декабре. В данной работе мы не будем разбирать условия развития инверсионных слоев в Коркинском карьере, отметим только, что шаропилотные наблюдения, анализ которых будет сделан ниже, относились как к неустойчивому, так и к инверсионному состоянию атмосферы. Разбор ветрового режима начнем по отдельности для прямоточной и рециркуляционной схем циркуляции.

К прямоточной схеме будем относить те случаи, когда во всем слое подъема шара от дна карьера до его верхней части отклонения направления ветра были меньше  $90^\circ$ , т. е. когда не отмечался обратный поток. К рециркуляционной схеме отнесены случаи, когда поворот направления ветра в карьере был больше  $90^\circ$ , т. е. когда имели место два потока противоположных направлений.

Для учета роли динамического фактора материал шаропилотных наблюдений был разделен на четыре группы в зависимости от скорости ветра  $u_x$  на уровне бровки карьера:

Группа	Скорость ветра, м/сек.	Группа	Скорость ветра, м/сек.
1	$u_x \leq 3,0$	3	$6,1 < u_x < 9,0$
2	$3,1 < u_x < 6,0$	4	$u_x \leq 9,1$

Из сводных таблиц шаропилотных наблюдений выбраны были случаи, когда на высоте «0» (уровень бровки карьера) значения  $u_x$  имели величины в заданных пределах. Для этих случаев были рассчитаны  $\bar{u}_z$  на всех других уровнях через 25 м до дна карьера (отметка —300 м).

В первую очередь рассмотрим средние данные, характеризующие повторяемость двух основных схем циркуляций по 8 румбам,

градациям  $u_x$ , значениям угла  $\alpha$  и т. д. К сожалению, мы пока не имеем возможности выделить отдельно роль динамических и термических факторов формирования потока в каждой из рассматриваемых схем.

Таблица 2

Повторяемость (%) градаций скорости ветра при прямоточной (п) и рециркуляционной (р) схемах

Период года	$u_x$ м/сек.									
	0—3,0		3,1—6,0		6,1—9,0		≥9,0		n	
	п	р	п	р	п	р	п	р	п	р
Холодный	21	28	26	50	27	18	26	4	42	22
Теплый . .	46	65	49	29	3	6	2	—	39	31

Из данных табл. 2 вытекает, что прямоточная схема циркуляции в среднем, как правило, наблюдается при несколько бóльших скоростях ветра, чем рециркуляционная, но в отдельных случаях это положение не подтверждается.

Таблица 3

Повторяемость (%) направления ветра по 8 румбам при прямоточной (п) и рециркуляционной (р) схемах

Период года	Схема	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Холодный	п	7	2	14	5	12	41	17	2
	р	2	—	9	18	18	32	14	9
Теплый . .	п	14	33	20	8	—	3	11	11
	р	21	17	11	10	3	7	17	14

Направление ветра не является решающим для формирования циркуляции по прямоточной или рециркуляционной схемам, хотя при некоторых румбах угол откоса карьера будет больше  $15^\circ$ , когда согласно теории должны бы развиваться потоки по рециркуляционной схеме (табл. 3). Интересным является переход прямоточной циркуляции в рециркуляционную и обратно.

Часто за светлое время суток выпускалось до 8—10 шаров-пилотов, и в один день имели место обе схемы циркуляции при маломеняющемся направлении ветра. Как правило, переход прямых потоков в рециркуляционные в холодный период наблюдался в среднем между 11 и 13 час., а в летний период между 8 и 10 час. Переход от рециркуляционной к прямоточной циркуляции отмечался в летний период около 17—18 час., а в холодный между 14

и 16 час. Таким образом, эти данные указывают на большую роль термического фактора, а не угла откоса при переходе от одной формы циркуляции к другой. Но и в теплый, и в холодный периоды часто имели место случаи, когда в течение всего дня сохранялась только одна форма циркуляции.

По материалам шаропилотных наблюдений легко определить высоту поворота ветра  $h$  и, зная положение шара, подсчитать его удаление от бровки карьера по направлению ветра  $l_0$ , а тем самым и угол  $\alpha$ .

В данном случае угол  $\alpha$  будет определять уровень изменения направления потока воздуха на противоположное (рис. 3).

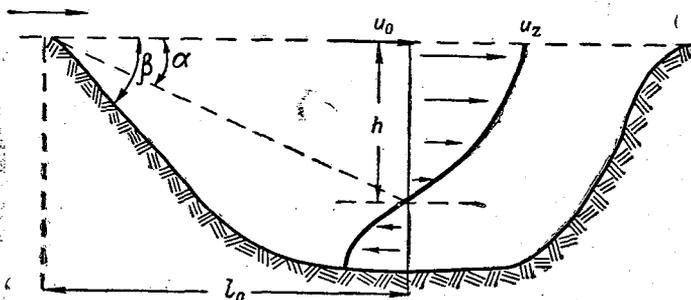


Рис. 3. Макет расчета элементов рециркуляционной схемы.

Из табл. 4 следует, что угол  $\alpha$  может меняться в весьма широких пределах, в нашем случае от 2 до 18°, в то время как по закономерностям рециркуляционной схемы угол  $\alpha$  не может быть меньше 10° и обычно его принимают равным 15° и больше. Средние же величины  $\alpha$  в теплый период составляют 9,5°, а в холодный — всего 6°. На поворот ветра в условиях карьеров могут влиять еще два фактора: термический, вызывающий образование местной циркуляции вдоль одного из склонов, и динамический, вызывающий обратное движение воздуха за счет отражения основного потока от наветренного борта карьера.

В холодный период скорости ветра значительно больше, чем в теплый, и можно ожидать, что в формировании потоков по рециркуляционной схеме преобладает динамический фактор, в то время как в теплый период большая роль отводится термическому фактору, вызывающему развитие своего рода местных замкнутых микроциркуляций вдоль склона карьера. Чем меньше  $\alpha$ , тем выше от дна уровень изменения направления потока на противоположное. Согласно теории плоскопараллельной струи, при ветрах юго-западной четверти, когда угол откоса карьера составляет около 38°, и южных румбов, когда этот угол будет всего 18°, в первом случае должны бы отмечаться потоки по рециркуляционной схеме, а во втором — по прямой, а фактически в холодный период наблю-

Таблица 4

Характеристика элементов рециркуляционной схемы для теплого (первая строка) и холодного (вторая строка) периодов

Элемент	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
$\bar{\alpha}^\circ$	10,7	9,0	6,8	8,3	9,0	15,0	10,8	10,7
	—	11,0	3,0	6,0	8,0	8,4	10,0	10,3
$\bar{u}_x$ м/сек.	3,4	2,0	3,1	1,8	2,7	4,5	3,4	3,5
	—	3,3	2,4	2,1	4,7	5,3	5,9	4,2
$\bar{h}$ м	200	225	240	240	150	225	180	180
	—	250	90	125	145	130	160	185

	$\alpha^\circ$						n
	2-5	6-8	9-11	12-14	>15	Среднее	
Повторяемость, %	3	36	39	15	6	9,5	33
	21	33	25	17	4	6,0	24
$\bar{u}_x$ м/сек.	1,1	2,4	3,2	4,3	3,3	—	—
	3,0	4,9	5,0	6,0	5,1	—	—
$\bar{h}$ м	110	220	190	215	260	—	—
	90	100	150	210	225	—	—

дается обратная картина; больших же различий между скоростями ветра обеих форм циркуляции на уровне бровки не наблюдается. Можно думать, что и в холодный период года угол откоса карьера не влияет, по-видимому, на формирование той или другой схемы циркуляции.

Для проверки теории плоскопараллельной струи нами, кроме того, сделано сопоставление скорости ветра на борту  $u_0$ , измеренной на метеостанции, со скоростью ветра на том же уровне над карьером  $u_x$ , полученной по данным шаропилотных наблюдений. Согласно теории,  $u_0 > u_x$ , причем для прямоточной схемы

$$u_x = 0,725u_0. \quad (4)$$

В декабре преобладали ветры южного направления и поток воздуха смещался непосредственно от метеостанции к карьере, а по шаропилотным наблюдениям  $u_x \geq u_0$ , причем отклонения распределялись почти равномерно.

Несмотря на то что ряд положений, вытекающих из теории плоскопараллельной струи, не имеет места в карьерах, все же, судя по данным шаропилотных наблюдений, мезомасштабная струя над

карьером иногда наблюдается, в дальнейшем будем ее называть просто струей.

Всякая струя в атмосфере должна иметь максимум скорости и минимум турбулентности на оси, выше и ниже которой наблюдается уменьшение скорости и рост турбулентности. Случай с максимумом скорости ветра вблизи бровки карьера, выше которого имеет место ее уменьшение, с отрицательным вертикальным градиентом скорости ветра,  $\Delta \geq 1,0$  м/сек. на 100 м, нами были отнесены к струе.

Строение струи в августе и декабре 1968 г. в различные сроки наблюдений (часы) приведено в табл. 5.

Таблица 5

	VIII					XII		
	7-9	9-11	11-15	15-17	17-19	9-11	11-13	13-15
Струя								
$u_m$ м/сек.	7,1	5,6	5,0	5,4	7,6	12,0	10,1	10,9
$\Delta$ м/сек.	-2,9	-1,6	-1,3	-2,0	-1,6	-1,0	-2,5	-1,7
$L$ м	75	85	90	75	150	150	50	100
Повторяемость, %	24	26	33	65	24	18	17	10
Все наблюдения								
$\bar{u}$ м/сек.	3,1	3,2	4,0	4,8	4,9	6,7	5,5	5,7
$\Delta$ м/сек.	1,1	0,6	0,9	0,4	0,6	2,3	2,2	1,9

В таблице даны средние значения скорости ветра на оси струи  $u_m$  м/сек. и величины  $\Delta$  в верхней части струи; поскольку скорость ветра с высотой уменьшается,  $\Delta$  дается со знаком минус. Кроме того, в таблице приведены толщина слоя  $L$ , в котором отмечается уменьшение скорости ветра и повторяемость случаев со струей по отношению ко всем наблюдениям за данный срок. Для сопоставления здесь же даны величины  $\bar{u}$  и  $\Delta$  на уровне бровки карьера средние из всех наблюдений.

Приведем (табл. 6) повторяемость угла наклона струи над бровкой карьера  $\alpha_1$ . Величина угла  $\alpha_1$  рассчитана с учетом удаления шара-пилота от бровки.

Таблица 6

Повторяемость (%) углов  $\alpha_1^\circ$  наклона оси струи над карьером

Месяц	-4,0 -2,1	-2,0 -0,6	-0,5 +0,5	0,6 2,0	2,1 4,0	4,1 6,0	6,1 8,0	8,1 10,0	10,1 12,0
VIII	15	15	23	12	11	11	4	—	4
XII	—	—	—	10	20	—	60	10	—

На рис. 4 дан профиль скорости ветра от дна карьера до высоты 150 м над бровкой карьера для случаев, когда ось струи располагалась на 50 м ниже и на 50 м выше бровки карьера, и средний из всех наблюдений профиль ветра.

Из табл. 5 и рис. 4 следует, что в теплый и холодный периоды значения  $u_m$  на оси струи всюду больше, чем  $u$ . Величина угла  $\alpha$  меняется в относительно больших пределах и принимает как отрицательные, так и положительные значения.

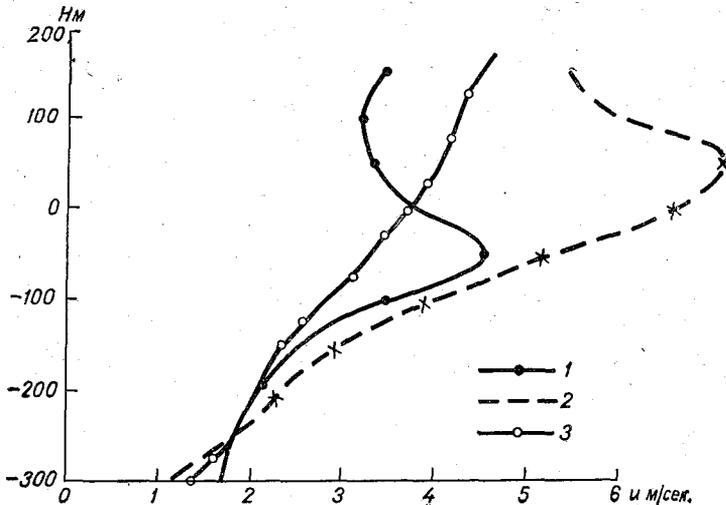


Рис. 4. Профиль скорости ветра в струе над карьером в августе 1968 г.

1 — на 50 м ниже бровки, 2 — на 50 м выше бровки, 3 —  $\bar{u}$  из всех наблюдений за данный срок.

Летом вероятность развития струи значительно больше, чем зимой, и она возрастает к полуденным часам, достигая почти 65% в период наибольшего прогрева воздуха в карьере.

Судя по хорошо выраженному суточному ходу развития струи с максимумом в полуденные часы и уменьшением вероятности ее развития в зимнее время, струя над карьером должна иметь термическое происхождение. Как известно, вектор ветра в нижних слоях атмосферы складывается из суммы векторов горизонтальных градиентов давления  $\frac{dp}{dx}$  и температуры  $\frac{dt}{dx}$ . Очевидно, в случае струи в карьере градиенты  $\frac{dp}{dx}$  и  $\frac{dt}{dx}$  совпадают или близки по направлению и величина  $\frac{dt}{dx}$  относительно велика, вследствие чего, согласно рис. 4, отмечается быстрый рост скорости ветра

в карьере с высотой. Выше бровки карьера величина  $\frac{dt}{dx}$  резко уменьшается, в результате должно наблюдаться уменьшение скорости ветра.

Характеристику интенсивности турбулентности в карьере дадим по наблюдениям за движением уравновешенных шаров-пилотов.

Кинетическая энергия турбулентных пульсаций скорости ветра  $E_T$  для единицы массы воздуха в изотропной атмосфере будет

$$E_T = \frac{3\bar{w}^2}{2}. \quad (5)$$

На рис. 5 даны профили  $E_T$  за 10 и 13 час. теплого и холодного периодов года.

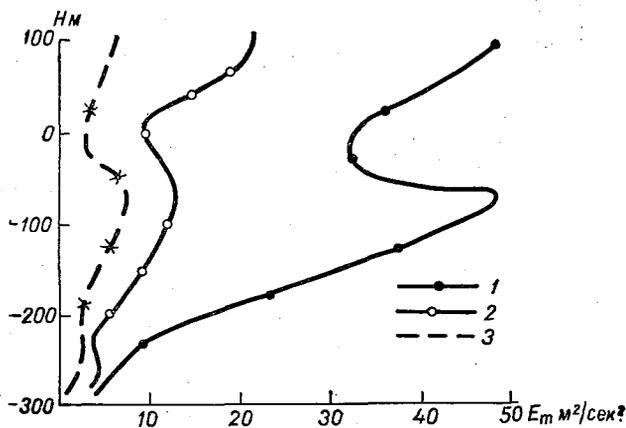


Рис. 5. Профиль энергии турбулентных пульсаций в карьере.

1 — 13 час. август, 2 — 10 час. август, 3 — 13 час. декабрь.

Не вдаваясь в подробный анализ приведенных графиков, который сделан нами в другой работе, помещенной в данном сборнике, отметим только, что на оси струи энергия турбулентных пульсаций минимальная и довольно быстро возрастает вверх и особенно вниз от оси струи. Максимум  $E_T$  располагается снизу струи в верхней части карьера с примерной отметкой 75 м от бровки карьера, минимум  $E_T$  — на высоте около 50 м выше бровки.

Наличие хорошо выраженного суточного и годового хода  $E_T$  также указывает на значительную роль термических факторов внутри самого карьера в формировании струи над карьером. По данным аэростатного зондирования в карьере и синхронных наблюдений за температурой воздуха, по бортам карьера в дневное время

часто имеют место большие величины  $\frac{dt}{dx}$ , почти на порядок превосходящие те же параметры в пограничном слое, что вызывает развитие термической составляющей скорости ветра, меняющейся в течение суток, усиливающей или ослабляющей основной поток воздуха и меняющей его направление.

В заключение можно отметить, что в карьерах поток воздуха всегда более или менее турбулизирован и не наблюдается изотермической стратификации атмосферы.

Следует отметить, что приведенных данных еще недостаточно для того, чтобы сделать какие-либо окончательные выводы о полной или частичной неприменимости теории плоскопараллельной струи к расчетам закономерностей формирования циркуляционного режима в глубоких карьерах. Но уже сейчас можно считать, что в условиях Коркинского карьера эта теория в лучшем случае дает только общую качественную картину движения воздушного потока и не может служить для каких-либо количественных расчетов.

Очевидно, в ближайшие 2—3 года необходимо проверить теорию в других карьерах и разработать новую теоретическую модель движения воздуха в карьерах с учетом турбулентности, термической стратификации и геометрии карьера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В. С., Битколов Н. З. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.

П. А. ВОРОНЦОВ, Т. А. КУРПАКОВА, И. И. ЧЕСТНАЯ

## СТРУКТУРА ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КОРКИНСКОМ КАРЬЕРЕ В ДНЕВНЫЕ ЧАСЫ

Эффективность естественного проветривания глубоких карьеров зависит в основном от скорости движения воздуха в карьере и степени его турбулентности, т. е. структуры воздушного потока.

Проведенные в Коркинском угольном разрезе микроаэрологические исследования позволили получить ряд характеристик структуры воздушного потока. Энергия турбулентности в карьерах, определяющая структуру потока, является функцией следующих факторов:

а) динамических — скорости основного потока и условий распределения его внутри карьера;

б) термических — вертикальной и горизонтальной стратификации масс воздуха, определяемой условиями притока и отражения солнечной радиации;

в) орографии карьера — его глубины, ширины, крутизны склонов и их ориентировки;

г) степени запыленности и загазованности атмосферы карьера твердыми примесями и других факторов.

Основным процессом, определяющим структуру воздушного потока в карьерах, является динамический фактор — средняя скорость ветра  $u$  и пульсации скорости ветра по осям  $x$ ,  $y$ , и  $z$ , т. е. продольная ( $u'$ ), поперечная ( $v'$ ) и вертикальная ( $w'$ ) составляющие пульсации скорости ветра.

**Вертикальная составляющая скорости ветра  $w'$  в карьере.** В работе авторов [1] были даны средние суточные значения  $w'$ . В данной статье приведен суточный ход вертикальной скорости ветра за светлое время суток и некоторые расчеты по данным как уравновешенных шаров-пилотов, так и температурно-ветрового зондирования в карьере. Шары выпускались в центральной наиболее глубокой части западного участка Коркинского карьера и смещались вместе с потоками воздуха на наветренную сторону карьера, где всегда наблюдались восходящие токи. Отсчеты углов на шар производились через 15 сек., следовательно, пульсации скорости ветра

9 определялись с периодами  $\tau_w \geq 30$  сек., или частотами  $\phi \leq 0,03$  гц. Точность измерения вертикальной составляющей скорости ветра  $w'$  составляла  $\pm 15$  см/сек.

Наибольшее количество отсчетов положения шара, а следовательно, и измерений  $w'$  приходилось на нижние уровни карьера, где шар смещался сравнительно медленно. Данные наблюдений за уравновешенными шарами приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Число измерений  $w'$  методом уравновешенных шаров на разных уровнях (%)

Месяц	Уровень, м					Всего наблюдений
	-300,-200	-200,-100	-100,-0	0-100	100-200	
VIII	34	36	16	14	—	922
XII, II-III	55	28	12	5	—	748

В дальнейшем в таблицах и тексте, где это не оговорено, все высоты даны от бровки карьера, взятой за 0 м, тогда отметка дна будет -300 м. В полуденные часы летнего времени уравновешенный шар часто поднимался за пределы  $2/3$  высоты карьера, а иногда и за уровень борта. В целом метод уравновешенных шаров дал примерно равномерное распределение  $w'$  и  $u$  м/сек. по всей толще карьера.

Следует заметить, что во время одного выпуска в каждом 100-метровом слое может быть от 10 до 20 измерений  $w'$  в зависимости от скорости подъема шара.

Таблица 2

Повторяемость (%) высот подъема уравновешенных шаров от дна карьера

Месяц	Часы	Уровень, м					Число подъемов
		до 100	100-200	200-300	300-400	400-500	
VIII	7-9	—	—	—	50	50	2
	9-11	27	18	9	18	28	11
	11-15	50	—	—	—	50	2
	15-17	—	—	25	25	50	11
	17-19	25	12	—	25	38	8
XII, II-III	9-11	33	67	—	—	—	3
	11-13	28	20	28	19	5	21
	13-15	33	17	33	4	3	12

Значения  $w'$  брались по слоям через 50 м как среднее арифметическое по модулю  $|\overline{w'}|$  без учета знака и как средние значения  $\overline{w'}$  с учетом знака за теплый (август) и холодный (декабрь, февраль — март) периоды года (табл. 3). В табл. 4 дана интенсивность турбулентности  $\sigma_w/\bar{u}$  и величина угла наклона вектора ветра к горизонту  $\alpha^\circ$ .

Таблица 3

Дневной ход  $|\overline{w'}|$  и  $\overline{w'}$  в карьере (см/сек.)

Средина слоя, м	Часы									
	7—9		9—11		11—15		15—17		17—19	
	$ \overline{w'} $	$\overline{w'}$								
Август										
—275	24	22	39	33	59	55	42	42	46	41
—225	54	53	55	52	76	56	61	54	135	117
—175	48	47	75	73	136	136	110	110	150	150
—125	70	70	83	76	180	180	190	190	193	193
—75	90	90	94	89	224	224	246	246	131	127
—25	121	108	94	92	164	123	156	156	231	231
25	56	46	86	84	153	142	152	152	124	124
75	47	47	121	121	226	226	125	116	164	164
Декабрь, февраль — март										
—275	—	—	31	23	36	32	38	37	—	—
—225	—	—	37	26	54	48	51	49	—	—
—175	—	—	32	20	67	63	70	65	—	—
—125	—	—	25	25	72	70	65	58	—	—
—75	—	—	52	52	67	48	85	73	—	—
—25	—	—	—	—	83	68	87	79	—	—
25	—	—	—	—	79	72	120	115	—	—
75	—	—	—	—	98	90	88	88	—	—

Величина  $w'$  имеет хорошо выраженный суточный и годовой ход с максимумом на всех уровнях в полуденные часы и летнее время. Характерной особенностью распределения величины  $w'$  в карьере является резкое ее возрастание во все сроки и периоды года до уровня примерно 230—240 м от дна карьера или до глубины карьера (0,7—0,8) H. Вблизи бровки карьера отмечается некоторое уменьшение  $w'$ , а выше — снова рост  $w'$ .

В средней части карьера отношение  $|\overline{w'}|/\overline{w'}$  близко к единице, т. е. здесь наблюдается отчетливо выраженный вынос воздуха со дна карьера.

Дневной ход  $\sigma_w/\bar{u}$  и  $\alpha^\circ$  в карьере

Средина слоя, м	Часы									
	7—9		9—11		11—15		15—17		17—19	
	$\sigma_w/\bar{u}$	$\alpha^\circ$								
Август										
—275	0,22	10	0,24	10	0,31	14	0,20	9	0,17	7
—225	0,84	34	0,68	29	0,45	20	0,41	18	0,72	30
—175	0,52	23	0,55	24	0,65	28	0,46	20	0,60	26
—125	0,72	30	0,53	23	0,75	32	0,87	35	0,72	30
—75	0,79	33	0,46	21	1,20	44	0,81	33	0,31	14
—25	1,00	38	0,58	25	0,68	29	0,60	25	0,55	24
25	0,47	21	0,45	20	0,47	21	0,65	28	0,55	24
75	0,47	21	0,77	32	0,67	28	0,48	21	0,40	17
Декабрь, февраль—март										
—275	—	—	0,49	21	0,50	22	0,39	17	—	—
—225	—	—	0,21	10	0,43	18	0,43	24	—	—
—175	—	—	0,14	6	0,43	18	0,22	12	—	—
—125	—	—	0,07	4	0,28	12	0,25	14	—	—
—75	—	—	0,13	7	0,21	10	0,32	18	—	—
—25	—	—	—	—	0,21	10	0,27	15	—	—
25	—	—	—	—	0,23	13	0,27	15	—	—
75	—	—	—	—	0,19	11	0,18	15	—	—

На уровне бровки это отношение составляет уже 0,8—0,9, и здесь сравнительно часто наблюдаются нисходящие движения воздуха.

В зимний период величина  $w'$  почти в 2—3 раза меньше, чем летом.

Наряду с вынужденными восходящими движениями в карьере в этот период более отчетливо, чем в августе, выражены нисходящие движения воздуха.

Судя по распределению  $w'$ , в дневные часы летнего времени воздухообмен, а следовательно, и вынос продуктов загрязнения в Коркинском карьере происходит на его наветренной стороне в 2—3 раза интенсивнее, чем зимой. По абсолютным значениям  $w'$  близко восходящим токам, наблюдаемым в термиках.

Параметр  $\sigma_w/\bar{u}$  характеризует интенсивность турбулентности в данном слое. Здесь  $\sigma_w$  — среднее квадратическое значение  $w'$

$$\sigma_w = \sqrt{\overline{w'^2}} = 1,25\bar{w}'$$

где коэффициент 1,25 был получен экспериментальным путем.

Величина  $\sigma_w/\bar{u}$  не имеет четко выраженного суточного хода, хотя она несколько больше в полуденные часы, но в годовом ходе минимум  $\sigma_w/\bar{u}$  все же наблюдается в зимние месяцы.

В летний период максимальная турбулентность отмечается в верхней части карьера, где наблюдаются и наибольшие значения  $w'$ . Следует отметить большие абсолютные значения  $\sigma_w/\bar{u}$  летом в полуденные часы в верхней части карьера, когда интенсивность турбулентности  $\sigma_w/\bar{u} \approx 1$ , т. е. энергия пульсаций вертикальной составляющей равна кинетической энергии основного потока. Над равнинными районами в нижнем 200—300-метровом слое атмосферы интенсивность турбулентности редко достигает 0,1—0,15.

Полученные значения  $w'$ ,  $\alpha$  и  $\sigma_w/\bar{u}$  в общем близки к данным, наблюдаемым над горными открытыми склонами. На рис. 1 при-

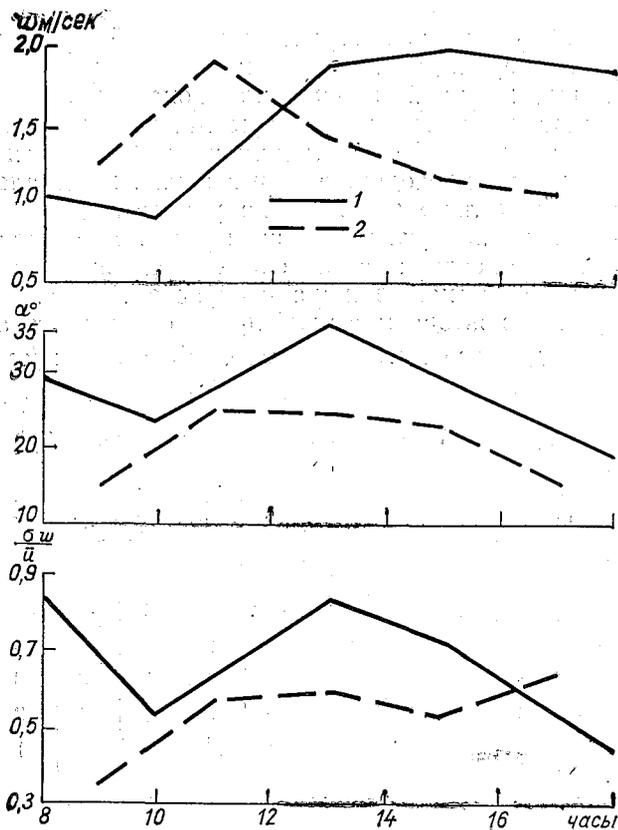


Рис. 1. Сопоставление суточного хода  $w'$ ,  $\alpha^\circ$  и  $\frac{\sigma_w}{\bar{u}}$  в карьере (1) и над горным склоном (2).

ведено сопоставление этих величин для Коркинского карьера и оголенных горных склонов долины Азау в районе Эльбруса.

В карьере на уровне примерно на 50 м ниже его бровки, где имеет место наибольший эффект деформации воздушного потока, углы  $\alpha$  и интенсивность турбулентности даже больше, чем над оголенными горными склонами; величины же  $w'$  до 12—13 час. примерно близки, а после 13 час. в карьере величины  $w'$  даже больше, чем над склоном. Не меньший интерес для характеристики естественного воздухообмена в карьере представляет  $\alpha$  — угол наклона вектора ветра к горизонту.

Следует еще раз напомнить, что уравновешенный шар, выпущенный со дна в средней части карьера, смещался вместе с потоком воздуха к наветренной его стороне и характеризовал интенсивность выноса воздуха из карьера.

В средней и верхней частях карьера в дневные часы летнего времени угол  $\alpha$  часто бывает больше углов откосов карьера. Это можно объяснить большой термодинамической неустойчивостью атмосферы в карьере в дневные часы и сочетанием на наветренной его стороне вынужденной и свободной конвекции.

Если исходить из уравнения неразрывности, то на подветренной половине карьера и по его бокам должны наблюдаться такие же интенсивные, но уже нисходящие токи воздуха. К сожалению, проверить экспериментально это пока не удалось.

В холодный период углы  $\alpha$  близки к углам откоса карьера и, очевидно, вынос воздуха из карьера происходит более спокойно под влиянием скоростного напора основного потока.

Распределение повторяемости  $w'$  приведено в табл. 5 по средним значениям данного интервала, т. е.  $\overline{w'} = \pm 0,25$  м/сек.

Таблица 5

Повторяемость  $w'$  в дневные часы в карьере (%)

Часы	$w'$ м/сек.												П
	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
Август													
8	—	—	8	37	39	12	1	2	1	—	—	—	118
10	—	—	5	41	28	16	8	2	—	—	—	—	241
13	—	—	—	7	15	21	28	11	7	3	10	—	27
16	—	—	4	18	32	14	9	5	7	4	3	4	84
18	—	—	5	19	24	19	16	14	—	2	1	—	86
Декабрь, февраль—март													
10	1	—	17	43	32	3	4	—	—	—	—	—	81
12	1	2	6	30	36	18	6	1	1	—	—	—	242
14	—	1	4	23	41	21	8	1	1	—	—	—	160

Повторяемость  $w'$  также свидетельствует о хорошо выраженном суточном ходе его с преобладанием больших величин  $w'$  в полуденные часы. В холодный период бóльшая повторяемость приходится на нисходящие токи.

**Мезомасштабные струи.** Как показывают результаты шаропитных наблюдений, над карьерами иногда развиваются так называемые мезомасштабные струи.

Всякая струя в атмосфере, как правило, должна иметь на оси максимум скорости и минимум турбулентности, ниже и выше оси струи скорости ветра уменьшаются, а турбулентность возрастает.

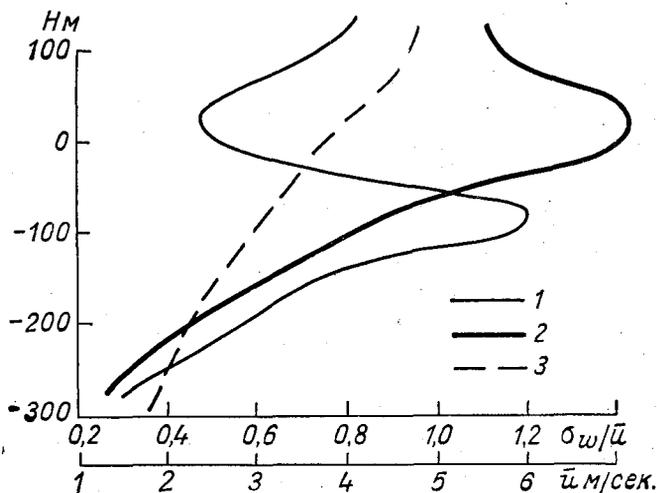


Рис. 2. Профили  $\frac{\sigma_w}{\bar{u}}$  и  $\bar{u}$  за 13 час. в августе в карьере.

1 —  $\sigma_w/\bar{u}$ , 2 —  $\bar{u}$  м/сек. при струе, 3 —  $\bar{u}$  м/сек. все наблюдения.

К мезомасштабной струе были отнесены те случаи, когда скорость ветра на уровне бровки карьера, или вблизи его, достигала максимума, а выше, в слое не менее 50 м, уменьшалась; величина вертикального градиента скорости  $\beta \geq -1,0$  м/сек. на 100 м.

Было установлено, что мезомасштабная струя в Коркинском карьере в летнее время в дневные часы развивается чаще, чем зимой; в полуденные часы августа вероятность развития струи 60—65%, в зимнее время 10—18%. Вследствие механического влияния карьера турбулентность ниже оси струи выражена особенно отчетливо.

На рис. 2 дано распределение интенсивности турбулентности  $\sigma_w/\bar{u}$  и профиля скорости ветра  $\bar{u}$  для случая, когда максимум ветра отмечался на 50 м выше бровки карьера, а также средний профиль ветра в карьере по данным всех наблюдений. Хорошо заметны

резкое уменьшение турбулентности на оси струи и максимум скорости. Обычно ось струи располагалась вблизи бровки, в 50—150 м от нее. Выше и особенно ниже оси струи наблюдается резкое возрастание  $\sigma_w/\bar{u}$  с максимумом на уровне примерно —75 м ниже оси. Скорость ветра в струе, расположенной ниже уровня карьера, не имеет заметных отличий от среднего профиля, в то время как в верхней ее части эти отличия от среднего профиля особенно хорошо заметны. В зимнее время скорости ветра на оси струи больше, чем летом, а значения  $\sigma_w/\bar{u}$  несколько меньше, чем летом, но структура струи также отчетливо выражена. Подробнее данные о строении мезомасштабной струи изложены в статье [3].

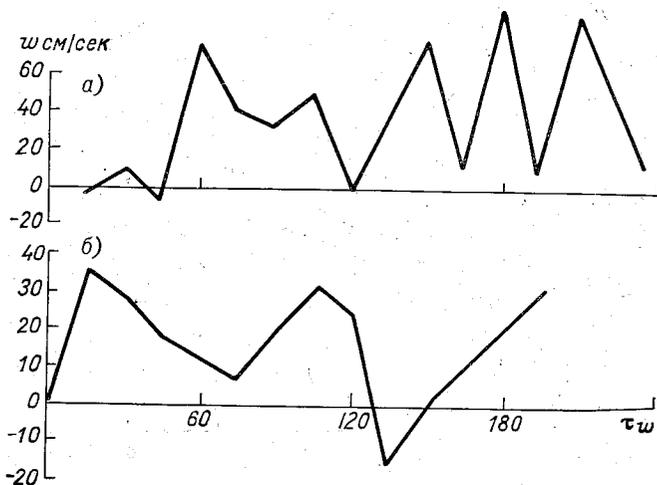


Рис. 3. Распределение периодов пульсации  $\tau_w$ .  
а — 19 VIII, 10 час. 30 мин.; б — 16 XII, 10 час. 30 мин.

**Коэффициент турбулентности  $K$  м<sup>2</sup>/сек.** Для оценки интенсивности турбулентного обмена на разных уровнях карьера приведем подсчитанные нами значения  $K$ . С этой целью были использованы результаты наблюдений за уравновешенными шарами. В данном случае уравновешенный шар, смещающийся вместе с потоком, был своего рода датчиком, измеряющим величину и период пульсаций воздушного потока.

Гессельбергом для этих условий была предложена формула для расчета  $K$

$$K = w'^2 \tau_w,$$

где  $w'$  — вертикальная составляющая скорости ветра,  $\tau_w$  — период пульсаций  $w'$ .

Значения  $\tau_w$  были нами определены по данным наблюдений за движением уравновешенных шаров и, как правило, составляли от 20 до 60 сек. при среднем 40 сек. Пример расчета  $\tau_w$  дан на рис. 3.

Для каждого наблюдения находилось среднее значение  $w$  в данном слое, и по распределению  $w$  определялись периоды пульсаций  $\tau_w$ . Мы приняли в первом приближении  $\tau_w$  постоянным на всех уровнях карьера для разных часов светлого времени суток в теплый и холодный периоды года. Это допущение внесет, конечно, погрешность в расчет  $K$ , но ошибка не будет превосходить 30—50%, если считать, что  $w'$  измерено достаточно надежно.

Т а б л и ц а 6

Значения коэффициента турбулентности  $K$  в карьере ( $\text{м}^2/\text{сек.}$ )

Слой, м	Часы								
	7—9	9—11	11—15	15—17	17—19	9—11	11—15	15—17	
	Теплый период					Холодный период			
—300, —200	2,1	2,4	6,0	4,3	12,0	1,3	2,9	4,0	
—200, —100	6,9	10,0	49,5	45,3	58,3	1,3	8,3	7,2	
—100, —0	19,7	16,3	60,0	80,0	64,0	58,6	6,4	10,0	
0 —100	28,0	21,8	65,3	49,3	41,3	—	8,0	24,3	
—300, —100	4,5	6,9	21,3	19,7	30,0	1,5	6,0	4,9	
—100, —100	10,3	18,3	61,7	75,3	69,3	75,9	7,2	13,3	
—300, —100	7,5	10,3	40,0	41,3	48,3	43,6	6,4	8,4	

В табл. 6 приведены значения  $K$  на разных уровнях Коркинского карьера по слоям через 100 м (300 м в карьере и 100 м над карьером) и через 200 м, а также интегральная величина  $K$  во всем 400-метровом слое.

В зимние месяцы величина  $K$  на всех уровнях карьера в общем близка к значениям  $K$  для нижних 200—300 м пограничного слоя при устойчивой стратификации.

В летние месяцы  $K$  начиная от дна карьера резко возрастает, особенно в полуденные часы, достигая максимума вблизи бровки карьера. Над карьером градиент интенсивности обмена, а в после-полуденные часы и его абсолютные значения несколько уменьшаются.

Величины  $K$  в дневные часы летнего времени соответствуют сильной термодинамической неустойчивости, а следовательно, указывают на интенсивный естественный воздухообмен в этот период года в карьере.

**Анализ критерия Ричардсона.** Рассмотрим распределение термодинамического вертикального градиента

$$\Gamma = \gamma + \gamma_d$$

Величина  $\Gamma$  представляет сумму фактического вертикального градиента температуры  $\gamma$  и механического ветрового эквивалента этого градиента  $\gamma_d$ . Из вывода уравнения Ричардсона следует, что кинетическая энергия пришедшей в соседний слой частички может вызвать перемещение другой частицы по вертикали на высоту  $H$  в том случае, если энергия частицы будет больше требующейся для этого работы

$$\left(\frac{\Delta u}{H}\right)^2 \geq \frac{g}{T}(\gamma_a - \gamma),$$

где  $\gamma_a$  — адиабатический градиент.

Это уравнение можно представить в виде

$$\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 > \frac{g}{T}(\gamma_a - \gamma).$$

При положительном значении  $\gamma_a - \gamma$ , т. е. когда распределение температуры соответствует устойчивому состоянию воздуха, может существовать критическое возрастание скорости ветра, при котором будет выполняться соотношение

$$\frac{T}{g}(\Delta_z u)^2 + \gamma > \gamma_a.$$

Слагаемое  $\frac{T}{g}\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right) = \gamma_d$  называют ветровым эквивалентом вертикального градиента температуры.

Если  $\gamma_d + \gamma > \gamma_a$ , то кинетическая энергия перемешивания возрастает, турбулентность усиливается и состояние воздуха будет неустойчивым, хотя бы  $\gamma < \gamma_a$ . Если  $\gamma_d = 0$ , то соотношение термической устойчивости принимает обычную форму. Следовательно, условие для развития неустойчивого состояния будет выражаться простой формулой  $\Gamma > \gamma_a$ .

Расчет  $\gamma_d$  по данным  $\frac{du}{dz}$  приведен в табл. 7.

Как следует из табл. 7, величина  $\gamma_d$  при скоростях ветра  $u \leq 3$  м/сек. (группа I) не велика и ее вклад в развитие турбулентности мал как в теплый, так и в холодный период года. Уже при ветрах 3—6 м/сек. (группа II) на уровне бровки карьера величина  $\gamma_d$  в теплый период в верхней части карьера может достигать до 0,3—0,6° и поэтому уже при  $\gamma = 0,4 \div 0,7^\circ$  на 100 м может иметь место неустойчивая стратификация. В холодный период величина  $\gamma_d$  для того же диапазона скорости ветра уже значительно больше и часто превышает 1°, а на бровке карьера достигает даже 2—2,5°, что уже соответствует сильной термической неустойчивости массы воздуха в этом слое и может способствовать развитию значительной турбулентности. При ветрах от 6 м/сек. и больше (группы III и IV) ветровой эквивалент вертикального градиента температуры, как правило, уже значительно больше  $\gamma_a$ , т. е. в этих условиях

Значения  $\gamma_d$  для теплого и холодного периодов при скоростях ветра разных групп

Группа скорости ветра	Слой, м							
	-300, -250	-250, -200	-200, -150	-150, -100	-100, -50	-50, 0	0— 50	50— 100
Холодный период								
I	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,05	0,53
II	0,53	1,56	0,0	0,39	1,20	2,42	2,76	1,82
III	0,10	1,56	0,88	1,83	2,05	2,76	0,69	1,20
IV	0,17	0,88	3,82	5,76	2,42	1,83	0,88	0,0
Теплый период								
I	0,00	0,19	0,04	0,04	0,04	0,04	0,18	0,42
II	0,74	0,0	0,04	0,29	0,57	0,42	0,18	0,29

должна иметь место весьма интенсивная турбулентность с неустойчивым состоянием атмосферы. По данным отдельных наблюдений, величины  $du/dz$  достигают 8—10 м/сек.; это соответствует развитию настолько интенсивной турбулентности и неустойчивости, что практически роль термической стратификации не будет иметь в этих условиях большого значения.

К сожалению, пока мы не располагаем достаточным материалом для характеристики турбулентности над западной и восточной частями карьера. По данным небольшой серии синхронных наблюдений в марте над двумя точками карьера было установлено, что в слое —100, —50 м при  $u_0 \approx 11$  м/сек. над западной частью карьера  $du/dz \approx 10$  м/сек., что соответствовало  $\gamma_d = 29^\circ$ ; над восточной частью карьера в тот же срок  $du/dz = 2,5$  м/сек., соответственно  $\gamma_d = 6,7^\circ$ , т. е. интенсивность турбулентности в слое —100, —50 м над западной частью карьера была в 4—4,5 раза больше, чем над восточной.

При малых скоростях ветра величины  $du/dz$  не велики и больших различий в значениях  $\gamma_d$  не имеется. Можно ожидать, что в этих условиях основное влияние будет иметь термическая стратификация.

**Энергетические характеристики воздушного потока.** Энергия турбулентных пульсаций скорости ветра определяется

$$E = \frac{1}{2} (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2).$$

Здесь  $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$  и  $\sigma_w$  — средние квадратические значения продольной, поперечной и вертикальной составляющих пульсаций скорости

ветра. Считая в первом приближении атмосферу в карьере изотропной, можно принять, что

$$E = 1,5 \sigma_w^2.$$

Энергия основного потока для единицы массы рассчитывалась по формуле

$$B = \frac{1}{2} \bar{u}^2,$$

где  $\bar{u}$  — средняя в слое скорость ветра.

Таблица 8

Дневной ход величин  $E$ ,  $B$  и  $E/B$  в карьере в различные сроки наблюдений (часы)

Средняя на слоя, м	Август					Декабрь, февраль — март		
	8	10	13	16	18	10	12	15
$E = 1,5(\sigma_w)^2 \text{ м}^2/\text{сек.}^2$								
—250	0,2	0,4	0,9	0,5	1,5	0,3	0,5	0,6
—150	0,5	0,7	2,1	2,3	3,8	0,3	1,2	1,0
— 50	0,6	1,9	6,6	7,6	6,0	0,7	1,2	1,6
50	0,5	2,0	6,8	5,6	3,9	—	1,1	—
$B = 0,5 (\bar{u}^2) \text{ м}^2/\text{сек.}^2$								
—250	0,3	0,7	2,2	3,6	2,8	1,3	1,12	0,8
—150	0,8	1,0	2,9	6,2	6,4	4,2	2,4	2,8
— 50	3,1	3,4	5,7	10,8	8,1	15,0	8,8	6,8
50	6,6	5,3	8,9	12,5	12,8	—	19,2	—
$E/B$								
—250	0,66	0,57	0,40	0,14	0,53	0,20	0,40	0,70
—150	0,62	0,70	0,72	0,37	0,59	0,12	0,53	0,35
— 50	0,20	0,56	1,16	0,70	0,74	0,04	0,13	0,24
50	0,08	0,38	0,76	0,45	0,31	—	0,06	—

В табл. 8 приведены значения  $E$  — кинетической энергии турбулентных пульсаций потока воздуха в карьере,  $B$  — энергии основного потока и параметр  $E/B$ .

Распределение  $E$  повторяет особенности хода  $w'$  — рост от дна карьера и максимум вблизи бровки. Особенно большие значения  $E$  в полуденные и послеполуденные часы летнего времени.

Характерной особенностью распределения энергии основного потока  $B$  является ее рост от дна карьера и до уровня 100 м выше

бровки, причем абсолютные величины  $V$  в теплый и холодный периоды года не имеют резких различий, в отличие от  $E$ . Сглаженный ход  $V$  в декабре и августе можно объяснить тем, что  $u$  были подсчитаны в данном случае по наблюдениям за уравновешенными шарами.

Интересным представляется распределение параметра  $E/B$ . В летнее время в карьерах большой удельный вес приобретает энергия турбулентных пульсаций по отношению к энергии основного потока. Например, в полуденные часы на верхних уровнях

Таблица 9

Скорость диссипации энергии турбулентности в карьере ( $\text{см}^2/\text{сек.}^3$ )

Средина слоя, м	Часы								
	8	10	13	16	18	10	13	16	
	Август					Декабрь, февраль — март			
—250	8	30	61	26	83	30	85	40	
—150	16	22	38	53	90	30	77	65	
— 50	8	98	253	326	251	37	63	115	
50	4	83	245	250	175	—	67	—	

карьера отношение  $E/B$  близко к единице, т. е. два вида этой кинетической энергии в карьере примерно одинаковы. В зимнее время величина  $E/B$  значительно меньше единицы на верхних уровнях карьера и примерно равна величине отношения в летний период на нижних уровнях. Шероховатость карьера отражается на структуре потока на нижних уровнях примерно одинаково зимой и летом.

В работе сделан расчет ориентировочных величин скорости диссипации энергии турбулентности  $\varepsilon$  в карьере по формуле

$$\varepsilon = 0,045 \frac{E^2}{K} \text{ см}^2/\text{сек.}^3,$$

где 0,045 — постоянный множитель.

Величины  $\varepsilon$  приведены в табл. 9. В летнее время скорость диссипации в полуденные часы в связи с неустойчивым состоянием атмосферы в карьере возрастает с высотой, достигая максимума на уровне бровки и уменьшаясь над карьером. В зимнее время наблюдается более медленное возрастание  $\varepsilon$  с высотой, а иногда даже его уменьшение.

На рис. 4 дано сопоставление профилей  $E$  и  $\varepsilon$  над карьером и в пос. Воейково.

Скорость диссипации имеет первый максимум у дна карьера и уменьшается примерно до высоты  $0,5H$  карьера, в верхней части карьера наблюдается резкое возрастание  $\varepsilon$  примерно до уровня  $(0,8 \div 0,9)H$ , а выше снова уменьшение.

Ход величины  $\epsilon$  в карьере также отличается от распределения  $\epsilon$  над ровной местностью.

В заключение применительно к карьерам можно указать на основные зоны с сильной или умеренной турбулентностью.

1. Слои воздуха над дном карьера. Здесь хотя и отмечается уменьшение скорости ветра, но вследствие большой шерохова-

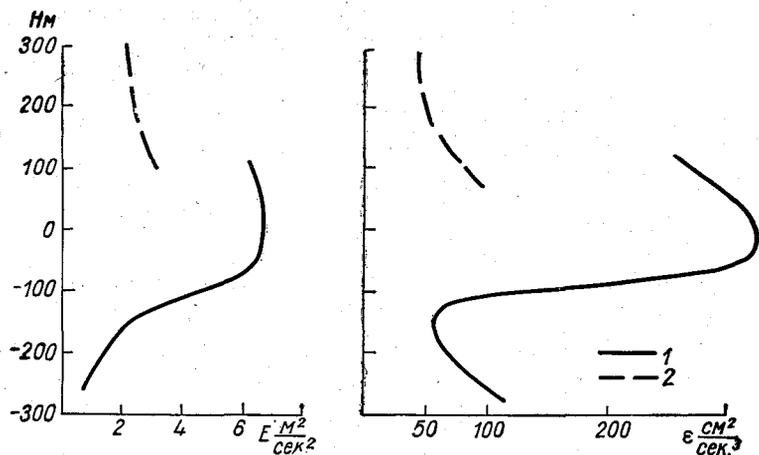


Рис. 4. Сопоставление  $E$  и  $\epsilon$  в карьере и над ровной местностью.

1 — карьер, 2 — пос. Воейков.

тости дна и термических контрастов всегда имеет место умеренная, а иногда и сильная турбулентность. Только при штилевых ветрах и глубоких инверсиях может турбулентность отсутствовать.

2. Участки с наветренной и подветренной сторон склонов карьера, где имеют место значительные горизонтальные градиенты скорости ветра. В этом случае с подветренной стороны карьера  $du/dx > 0$ , т. е. трансформация энергии основного потока в турбулентную ослабевает, а на наветренной стороне  $du/dx < 0$ , т. е. происходит усиление трансформации энергии основного потока в турбулентную.

3. Области сверху и снизу струи основного потока, проходящего над карьером. Как правило, эта зона в Коркинском карьере часто располагается на уровне около  $2/3$  высоты от дна карьера и характеризуется большими величинами  $du/dz$  и  $\gamma_a$ .

4. Зоны вдоль перегретых склонов карьера, где создаются большие горизонтальные и вертикальные градиенты температуры. Термические факторы будут оказывать особенно большое влияние при ослаблении скорости основного потока или в дневные часы теплого периода года. К числу термических факторов, вызывающих развитие турбулентности в карьерах, следует также отнести зоны

с очагами пожаров угля, площадь которых иногда занимает несколько десятков гектаров.

5. Вертикальные движения воздуха в карьере в теплый и холодный периоды на наветренной стороне карьера имеют хорошо выраженную восходящую составляющую, возрастающую с высотой и указывающую на интенсивный вынос здесь продуктов загрязнения. В зимний период имеет место вынужденная конвекция под влиянием орографии карьера, в летнее время вследствие развития термической неустойчивости атмосферы карьера возникает и свободная конвекция.

К сожалению, применяемая методика не позволила получить характеристики турбулентности в ночные часы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов П. А., Курпакова Т. А., Честная И. И. О турбулентности и вертикальных токах воздуха в Коркинском карьере в дневные часы. Труды НИИОГР. Челябинск, 1969.

2. Воронцов П. А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. Гидрометеиздат, Л., 1960.

3. Воронцов П. А., Селицкая В. И., Честная И. И. Экспериментальная проверка теории плоскопараллельной струи в Коркинском карьере. См. наст. сборник.

П. А. ВОРОНЦОВ, В. И. СЕЛИЦКАЯ, Е. В. ПЕТРОВА

## ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В КОРКИНСКОМ КАРЬЕРЕ

В процессах формирования микроклимата карьера наряду с динамическими факторами большое значение имеют термические условия.

Термическая стратификация и распределение влажности в столбе воздуха от дна карьера до его бровки или несколько выше борта, а также особенности горизонтального распределения температуры воздуха определяют условия естественного воздухообмена, формирования инверсионных слоев, развития туманов, дымки и загазованности карьера, а следовательно, и условия труда в нем.

Исследование температуры и влажности воздуха в Коркинском карьере проводилось нами с помощью зондирования на привязных шарах и привязном аэростате малой кубатуры. Поднимаемый легкий метеорограф регистрировал атмосферное давление, температуру и влажность воздуха и среднюю скорость ветра. Для выявления с возможно большей точностью деталей стратификации столба воздуха от дна карьера подъемы производились с трехминутными выдержками через каждые 25 м высоты и обязательной принудительной вентиляцией воздуха в шахте, где располагались датчики прибора.

Выше бровки карьера распределение температуры и влажности исследовалось с помощью зондирования на самолетах ЯК-12 или АН-2. В этом случае самолет с аэропорта Челябинска перелетал в район гор. Коркино и проводил над карьером вертикальное зондирование до высоты 1,5—2,0 км, а затем там же выполнял спуск с трехминутными выдержками на горизонтальных площадках.

Первые подъемы были опытными, мы подыскивали наиболее удобную методику температурного зондирования в карьерах. Привязные шары можно было использовать для зондирования только при слабых ветрах до 2—3 м/сек. Более перспективными оказались подъемы прибора на привязных аэростатах малой кубатуры, причем вместо стального троса аэростат поднимался на тонком, но

достаточно прочном капроновом шнуре. Всего за рассматриваемый период было сделано 82 зондирования в карьере и 54 над карьером, которые распределялись по месяцам следующим образом:

Вид зондирования	XII 1967 г.	II—III 1968 г.	VIII 1968 г.	XII 1968 г.	III—IV 1969 г.
Шар . . . . .	4	4	30	—	—
Аэростат . .	—	—	—	16	28
Самолет . . .	—	—	24	16	14

Следует заметить, что из-за сильных морозов, достигающих до  $-35, -40^{\circ}$  в декабре 1968 г., применяемая нами аппаратура часто отказывала в работе и поэтому число и высота зондирований в этот период были меньше, чем планировалось.

Распределение числа зондирований по высоте было следующим:

Вид зондирования	Высота, м					
	0—100	0—200	0—300	0—400	до 1500	до 2000
	В карьере				Над карьером	
Аэростат и шар . . . . .	14	24	28	16	—	—
Самолет . . . . .	—	—	—	—	18	36

По времени суток число зондирований было распределено следующим образом:

Вид зондирования	Сроки, часы				
	7—9	9—11	11—15	15—17	17—19
Аэростат . . .	21	29	26	4	2
Самолет . . . .	11	12	18	3	10

Примечание. Здесь время местное.

Перейдем к разбору некоторых особенностей распределения температуры и влажности воздуха в карьере и над карьером.

1. Для сопоставления результатов метеорологических и аэрологических измерений приведем краткий обзор наземных данных в карьере. В среднем по метеорологическим наблюдениям температура воздуха в карьере имеет тот же ход, что и на поверхности, с максимумом в 15 час. и минимумом утром, причем температура воздуха на дне карьера, как правило, на  $1,5-3,0^{\circ}$  выше, чем на поверхности.

В общем виде связь температуры воздуха на поверхности борта карьера  $t_6$  и его дна  $t_d$  можно выразить соотношением

$$t_d = t_6 \pm \Delta t. \quad (1)$$

Величина  $\Delta t$  зависит от ряда факторов и обычно положительная, только при инверсиях отрицательная.

По наземным данным установлено, что в зимний период в карьерах очень часто наблюдается инверсия температуры, повторяемость ее в период с октября по март в среднем 15 дней в месяц. В суточном ходе максимум числа инверсий приходится на 11 час. Особенно резко выражены инверсии в малооблачные дни, когда дно карьера остается не освещенным лучами Солнца. Наибольшую повторяемость при инверсиях имеют значения  $\Delta t$  от 0 до  $-1,0^\circ$ .

В теплый период года отмечается увеличение значения  $\Delta t$ , и примерно в 30% всех измерений его величина оказывается неустойчивой, а инверсионное состояние наблюдается только в 5%. Наибольшая вероятность инверсии по данным наблюдений на бортах приходится на самый нижний 100-метровый участок карьера, с высотой число случаев уменьшается, а в верхнем 100-метровом участке повторяемость инверсий составляет около 10%. Мощность инверсий по склону редко превышает 100 м.

2. Проведем сопоставление метеорологических и аэрологических наблюдений по данным измерений температуры воздуха на дне карьера  $t_d$  и его борту  $t_6$  и температуры столба воздуха на уровне борта над дном карьера  $t_k$ , полученных с помощью аэростатного зондирования. Тогда

$$t_d = t_6 \pm \Delta_1 t, \quad t_d = t_k \pm \Delta_2 t, \quad (2)$$

где  $\Delta_1 t$  — изменение температуры между бортом и дном, а  $\Delta_2 t$  — изменение температуры в столбе воздуха над центром карьера от дна до уровня бровки.

Если перейти к величине вертикального температурного градиента  $\gamma$ , тогда уравнения (2) можно переписать:

$$t_d = t_6 \pm \gamma_m h, \quad t_d = t_k + \gamma_3 h, \quad (3)$$

где  $\gamma_m$  и  $\gamma_3$  — значения градиента по данным метеорологических и аэрологических наблюдений.

Обычно о стратификации воздуха в карьерах судят по разности между температурой воздуха на дне и борту карьера, поэтому представляет интерес сопоставить величины  $t_6$  и  $t_k$  и выявить величину  $\delta t = t_k - t_6$ .

Поскольку в каждом достаточно глубоком карьере склоны карьера должны нагреваться более интенсивно по сравнению с горизонтальной поверхностью, то естественно ожидать, что воздух в карьере в дневные часы, особенно летом, должен быть несколько теплее воздуха в окружающем районе, по крайней мере на уровне борта или вблизи его, а ночью немного холоднее. Поэтому величина

$\delta t$  должна отличаться от нуля, особенно при слабых скоростях ветра, когда обмен воздуха в карьере замедлен. При аэростатном зондировании пункт подъема метеорографа располагался вблизи метеоплощадки «дно карьера» и можно считать, что  $t_d$  в обоих уравнениях будет одно и то же.

Тогда

$$\delta t = t_k - t_6 = (\gamma_m - \gamma_3) h. \quad (4)$$

Аналогично можно определить изменение влажности воздуха,

$$\delta r = r_k - r_6, \quad (5)$$

или скорости ветра

$$\delta u = u_k - u_6. \quad (6)$$

Поскольку  $h$  одинаково, то знак  $\delta t$  в уравнении (4) будет определяться соотношением  $\gamma_m$  и  $\gamma_3$ . При  $\gamma_m > \gamma_3$  величина  $\delta t$  положительная и, следовательно, воздух над центром карьера должен быть теплее воздуха на метеостанции, расположенной примерно на расстоянии 0,5 км от борта карьера с южной его стороны. При  $\gamma_m < \gamma_3$  величина  $\delta t$  отрицательная, и воздух над центром карьера будет холоднее.

Таблица 1

Значения  $\gamma_m$  и  $\gamma_3$  в карьере

Дата	8 час.					10 час.				
	метеостанция			аэростат		метеостанция			аэростат	
	$t_d$	$t_6$	$\gamma^\circ/100 \text{ м}$	$H_m$	$\gamma^\circ/100 \text{ м}$	$t_d$	$t_6$	$\gamma^\circ/100 \text{ м}$	$H_m$	$\gamma^\circ/100 \text{ м}$
17 VIII	18,1	15,7	0,80	225	-2,62	—	—	—	—	—
22 VIII	16,8	16,6	0,07	210	-0,33	21,6	18,3	0,77	175	-0,06
26 VIII	12,5	10,2	0,77	300	-1,33	—	—	—	—	—
27 VIII	17,9	15,0	0,97	190	-1,47	—	—	—	—	—
28 VIII	11,5	8,7	0,93	220	0,59	—	—	—	—	—
30 VIII	7,3	5,8	0,50	125	-0,08	9,7	7,2	0,83	35	-1,14
31 VIII	8,9	7,3	0,53	210	-1,86	14,7	14,8	0,0	130	-2,54
1 IX	14,5	15,0	-0,17	175	-3,26	23,7	20,7	1,00	90	-1,00
2 IX	10,0	7,2	0,93	160	-0,63	—	—	—	—	—

В табл. 1 и 2 приведены единичные случаи сопоставления значений  $\gamma_m$  и  $\gamma_3$  за отдельные дни в августе и декабре.

Сделаем пока самую общую оценку величины  $\delta t$ , а более подробный анализ будет сделан в другой работе.

Следует заметить, что во всех случаях зондирований как на шарах, так и на привязном аэростате приемник температуры хорошо

Значения  $\gamma_M$  и  $\gamma_3$  в карьере

Дата	12 час.					14 час.				
	метеостанция			аэростат		метеостанция			аэростат	
	$t_d$	$t_6$	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	$H_M$	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	$t_d$	$t_6$	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	$H_M$	$\gamma^\circ/100\text{ м}$
30 XI	-20,4	-23,0	0,87	140	0,86	-19,9	-22,2	0,77	150	0,53
4 XII	-22,8	-25,9	1,03	90	1,11	-21,2	-23,9	0,90	160	1,12
10 XII	-15,8	-18,8	1,00	140	0,43	-15,6	-18,8	1,06	125	0,88
13 XII	-15,6	-12,6	-1,00	250	-1,20	-11,9	-11,0	-0,30	240	-0,21
14 XII	-11,2	-12,6	0,47	225	-0,27	-8,1	-10,2	0,70	210	0,43

вентилировался и опасности нагрева прибора не было. Как видно, в августе имеют место большие различия между значениями  $\gamma_M$  и  $\gamma_3$ , причем всегда  $\gamma_M > \gamma_3$ , следовательно, воздух над карьером должен быть несколько теплее окружающего воздуха.

Интересным является факт совершенно различных стратификаций воздуха по данным метеорологических и аэрологических наблюдений — при наличии инверсии по данным зондирования по метеорологическим наблюдениям получается почти неустойчивое состояние масс воздуха. Следовательно, в летних условиях, особенно в утренние часы, наземные наблюдения часто дают заниженное число инверсий.

Следует заметить, что в августе 1968 г. зондирования проводились на шарах, когда скорости ветра были в пределах 1—2 м/сек. В этих условиях, например 26 VIII, в 8 час. воздух над центром карьера на уровне 300 м был почти на  $4^\circ$  теплее, чем над окружающей местностью. В другие сроки теплого периода сделать такие сопоставления нельзя, так как высота зондирования не достигала борта карьера. Очевидно, при скоростях ветра 1—2 м/сек. воздух в карьере застаивался и его замена проходила медленно, в течение примерно 30—40 мин., а в более глубоких слоях еще дольше.

На основании приведенных измерений можно предположить, что летом при слабых скоростях ветра и усиленном нагреве бортов карьера в 8—9 час. температура воздуха в центре карьера будет на  $2\text{—}3^\circ$  выше, чем на борту карьера.

В декабре, по данным табл. 2, различия между  $\gamma_M$  и  $\gamma_3$  значительно меньше и

$$\gamma_M \leq \gamma_3.$$

Интересным является факт, что при высоких температурах на борту  $\gamma_M > \gamma_3$ ; в наших случаях среднее  $t_6 \approx -12^\circ$ , и температура

воздуха над карьером выше на  $0,3-0,5^\circ$ . При  $\gamma_m < \gamma_z$  наблюдались более низкие температуры воздуха на борту,  $t_b \approx -24^\circ$ , и температура над карьером была ниже на  $0,3-0,5^\circ$ . При  $\gamma_m = \gamma_z$   $t_b \approx -20^\circ$ . К сожалению, зондирование часто не достигало борта карьера, поэтому все заключения сделаны в предположении сохранения  $\gamma_z$  для всего столба воздуха над центром карьера. Большие скорости ветра в зимний период и слабый прогрев солнечной радиацией бортов карьера не создают больших различий между температурой воздуха на борту и в центре карьера. Для того чтобы судить о стратификации столба воздуха в карьере в утренние часы летнего периода, данных наблюдений борт — дно часто будет недостаточно.

Далее перейдем к рассмотрению результатов зондирования в карьере и над карьером.

3. С целью выявления некоторых особенностей стратификации слоя воздуха в карьере приведем табл. 3 и 4 со средними значениями температуры  $t$  и влажности  $r$  воздуха и вертикального температурного градиента  $\gamma$  в карьере и над карьером.

В дополнение к средним значениям указанных метеозлементов приведем повторяемость вертикального температурного градиента  $\gamma$  в карьере через 100 м начиная от дна и над карьером в слое до 500 м (табл. 5 и 6) по следующим трем градациям:

- 1)  $\gamma < 0,0^\circ$  — слой с инверсией,
- 2)  $0,6^\circ > \gamma > 0,0^\circ$  — слой с устойчивым состоянием,
- 3)  $\gamma > 0,6^\circ$  — слой с неустойчивым состоянием.

Материал в таблицах дан для трех сезонов: весны (март — апрель), лета (август) и зимы (декабрь).

Приведенные в табл. 3 и 4 данные ввиду малого числа наблюдений не могут дать надежных климатологических характеристик распределения температуры и влажности воздуха в карьере и над карьером, но их достаточно для того, чтобы выявить некоторые особенности стратификации и ее изменений в суточном и годовом ходе.

В период март — апрель в карьере по средним данным инверсия имеет место только в самом нижнем слое (дно — 25 м) в течение всего светлого времени суток, но в утренние часы инверсия развивается в слое до 100 м. С уровня 25 м в полуденные часы наблюдается уже неустойчивое состояние до бровки карьера, в утренние часы в слое 100—300 м величина  $\gamma \approx 0,2-0,6^\circ$ .

Над карьером в апреле во все сроки отмечается в нижнем слое (земля — 300 м) неустойчивое состояние, выше величины  $\gamma$  находятся в пределах  $0,2-0,4$ , т. е. прогрев воздуха в этот период распространяется еще всего на 300 м.

Таким образом, по средним данным, весной слой воздуха с неустойчивым состоянием наблюдается как в самом карьере, так и над ним, инверсия же имеет место только в карьере в утренние часы от дна карьера до уровня примерно 100 м.

Средние значения  $t$ ,  $r$  и  $\gamma$  в карьере

Часы	Элемент	Н м									
		2	25	50	75	100	150	200	250	300	350
Март — апрель											
7—9	$t^\circ$	0,9	1,4	1,2	1,2	1,1	0,7	0,4	0,3	0,1	
	$r\%$	73	69	68	67	67	65	67	65	63	
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	-2,0	0,8	0,2	0,4	0,8	0,6	0,2	0,4	
9—11	$t^\circ$	1,0	1,1	0,9	0,8	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,9	-1,3
	$r\%$	68	61	60	58	57	58	59	60	65	65
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	-0,5	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8
11—15	$t^\circ$	2,4	2,5	2,3	2,0	1,6	1,2	0,7	0,2	-0,3	
	$r\%$	61	54	54	54	52	55	57	55	55	
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	-0,4	0,8	1,2	1,6	0,8	1,0	1,0	1,0	
Август											
8	$t^\circ$	13,1	13,7	14,0	14,5	14,7	16,0	16,7	—	—	—
	$r\%$	69	67	66	64	64	63	63	—	—	—
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	-2,4	-1,2	-2,0	-0,8	-2,6	-1,4	—	—	—
10	$t^\circ$	19,2	20,0	20,4	20,6	20,9	21,4	20,6	—	—	—
	$r\%$	58	56	54	53	53	51	51	—	—	—
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	-3,2	-1,6	-0,8	-1,2	-1,0	1,6	—	—	—
Декабрь											
10	$t^\circ$	-16,3	-16,4	-16,4	-16,4	-16,5	-16,9	-15,8	-15,4	—	—
	$r\%$	76	76	76	76	76	74	72	71	—	—
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	0,4	0,0	0,0	0,4	-0,6	-0,8	-0,8	—	—
12	$t^\circ$	-14,5	-14,7	-14,8	-15,0	-15,4	-16,0	-16,3	-16,5	—	—
	$r\%$	77	77	76	75	75	77	81	83	—	—
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	0,8	0,2	0,8	0,8	1,2	0,6	0,4	—	—
14	$t^\circ$	-15,0	-15,1	-15,2	-15,4	-15,7	-16,1	-16,4	-16,5	—	—
	$r\%$	70	70	70	70	69	68	69	70	—	—
	$\gamma^\circ/100\text{ м}$	—	0,4	0,4	0,8	1,2	0,8	0,6	0,8	—	—

Средние значения  $t$ ,  $r$  и  $\gamma^\circ$  над карьером

Часы	Элемент	H км										
		0,00	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0
Март — апрель												
9—11	$t^\circ$	-1,2	-1,8	-2,4	-3,3	-4,1	-5,3	-6,3	-6,9	-7,8	-8,7	-10,7
	$r\%$	68	68	68	69	71	73	67	64	61	51	37
11—15	$\gamma^\circ/100$ м	—	1,2	1,2	0,9	0,8	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
	$t^\circ$	0,8	-0,1	-0,9	-2,6	-3,1	-4,6	-5,0	-5,4	-6,3	-7,5	-10,4
15—17	$r\%$	56	59	61	63	67	73	67	44	40	37	37
	$\gamma^\circ/100$ м	—	1,8	1,8	0,7	0,5	0,8	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6
15—17	$t^\circ$	4,8	4,0	3,3	2,1	1,3	-0,2	-1,5	-3,0	-4,0	-4,5	-7,3
	$r\%$	55	60	62	63	65	68	67	58	45	40	39
6—8	$\gamma^\circ/100$ м	—	1,6	1,4	0,8	0,8	0,7	0,5	0,6	0,4	0,2	0,6
	$t^\circ$	11,8	12,7	13,7	14,1	14,3	13,5	12,1	10,2	8,2	7,6	—
17—18	$r\%$	79	70	67	62	57	50	54	59	62	60	70
	$\gamma^\circ/100$ м	—	-1,8	-2,0	-0,4	-0,2	0,4	0,3	0,9	0,8	0,4	—
10—12	$t^\circ$	20,8	20,7	20,5	19,8	19,0	17,1	14,4	11,7	9,6	7,2	—
	$r\%$	48	48	48	50	51	57	54	53	61	63	—
14	$\gamma^\circ/100$ м	—	0,2	0,2	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	0,8	1,0	—
	$t^\circ$	-14,5	-15,0	-15,5	-14,7	-14,6	-14,0	-12,7	-12,8	-13,0	-14,2	—
14	$r\%$	64	66	65	65	69	75	80	79	80	84	—
	$\gamma^\circ/100$ м	—	1,0	1,0	-0,8	-0,1	-0,3	-0,5	0,0	0,1	0,5	—
14	$t^\circ$	-21,5	-21,5	-21,8	-21,2	-20,6	-19,1	-17,2	-17,1	-18,3	-19,4	—
	$r\%$	61	62	62	64	65	69	67	68	61	60	—
14	$\gamma^\circ/100$ м	—	0,0	0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,8	-0,0	0,5	0,4	—
	$t^\circ$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Август												
Декабрь												

Таблица 5

Распределение числа случаев с различными значениями  $\gamma^{\circ}/100$  м на разных уровнях карьера и в различные сроки наблюдений (часы)

Слой, м	7-9			9-11			11-14			14-18		
	$\gamma^{\circ}/100$ м											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Март — апрель												
0-100	6	—	2	3	2	5	3	2	9	—	—	—
100-200	1	1	6	1	1	7	3	2	8	—	—	—
200-300	—	1	4	—	1	6	2	3	5	—	—	—
300-400	—	2	—	—	1	2	—	1	4	—	—	—
Август												
0-100	8	1	1	8	2	2	—	—	—	2	—	—
100-200	5	—	3	4	1	1	—	1	—	1	1	—
200-300	1	—	—	—	—	1	1	—	—	1	—	1
300-400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Декабрь												
0-100	—	—	—	2	2	2	2	5	7	—	—	—
100-200	—	—	—	2	3	—	3	4	3	—	—	—
200-300	—	—	—	1	—	—	2	3	1	—	—	—
300-400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

По данным табл. 5 и 6, весной инверсия в нижнем 100-метровом слое часто сохраняется до 11—12 час., реже она наблюдается в слое 100—200 м и иногда достигает уровня 300 м. Но преобладающей стратификацией воздуха во всем слое от дна до бровки карьера в этот период является неустойчивая.

Над карьером, как правило, до 300 м даже в утренние часы наблюдается неустойчивое состояние и только с 300 м величина  $\gamma$  уменьшается и иногда наблюдаются инверсионные слои. Влажность воздуха в карьере имеет хорошо выраженный суточный ход во всем слое с минимумом в полуденные часы, наибольшие ее значения отмечаются около дна, минимальные — на уровне 100—150 м, выше начинается возрастание. Над карьером относительная влажность имеет наименьшие значения внизу и довольно быстро возрастает приблизительно до 0,5 км. Следует заметить, что профили средних значений температуры и влажности воздуха в карьере совпадают с соответствующими профилями над карьером. На рис. 1а приведено распределение  $t$  и  $r$  за 9—11 и 11—15 часов в карьере и над карьером. Рост влажности воздуха в карьере, очевидно, показывает на различное происхождение воздуха:

Таблица 6

Распределение числа случаев с различными градациями величин  $\gamma^{\circ}/100$  м на разных уровнях над карьером и в различные сроки наблюдений (часы)

Слой, м	7-9			9-11			11-14			14-18		
	$\gamma^{\circ}/100$ м											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Март — апрель												
0-0,1	—	1	2	—	—	5	—	—	4	—	—	2
0,1-0,2	—	—	3	—	—	5	—	—	4	—	—	2
0,2-0,3	—	—	3	—	1	4	—	—	4	—	—	2
0,3-0,5	—	1	2	1	2	2	—	1	3	—	—	2
Август												
0-0,1	9	1	1	—	—	—	—	1	2	3	3	4
0,1-0,2	8	—	3	—	—	—	—	1	2	—	3	7
0,2-0,3	5	4	3	—	—	—	—	—	3	—	2	8
0,3-0,5	3	6	2	—	—	—	—	—	3	—	1	9
Декабрь												
0-0,1	—	—	—	1	—	3	4	2	5	1	—	—
0,1-0,2	—	—	—	1	2	2	5	4	2	1	—	—
0,2-0,3	—	—	—	2	—	2	8	—	2	1	—	—
0,3-0,5	—	—	—	3	1	—	9	2	—	1	—	—

внизу увлажнение идет за счет испарения со дна карьера, а с уровня 100 м карьер заполнен воздухом, опустившимся с бортов. В полуденные часы имеют место те же особенности распределения  $t$  и  $r$  с ростом температуры воздуха во всем слое карьера на 1,5—2,0°, а выше карьера на 3—4°.

Интересным является факт, что интенсивность прогрева воздуха, отнесенная к 1 часу ( $\Delta t/\text{час}$ ), над карьером несколько больше и составляет на уровне 100 м 1,1°, на 300 м 0,7° и на 500 м 0,4° при соответствующих значениях  $\Delta t/\text{час}$  в карьере у дна 1,0° на 100 м 0,6 и на 300 м 0,4°. Интенсивность уменьшения влажности  $\Delta r/\text{час}$  в карьере составляет около 3—4%, а выше карьера в слое 0—500 м примерно 2—3%. Следует отметить, что средние профили  $t$  и  $r$  в апреле не дают четкого указания о наличии более высоких температур столба воздуха над центром карьера по сравнению с окружающими районами. Правда, при осреднении имели место значительные различия в сроках зондирования в карьере и над ним, что при большом суточном ходе  $t$  могло сгладить контрасты между  $t_b$  и  $t_k$ .

В августе в 8 час., по средним данным, в карьере в слое до

200 м наблюдалась хорошо развитая инверсия температуры, с повышением температуры воздуха приблизительно до 4°. К сожалению, выше 200 м подъемы почти не проводились. Над карьером в это время также наблюдалась хорошо развитая радиационная инверсия до 300 м с повышением температуры воздуха на 1,6°. В карьере интенсивность инверсии почти в 3 раза была больше, чем над карьером, а весь инверсионный слой в 8 час. распространяется от дна карьера до 600 м. К 10 час. в карьере происходит повышение температуры воздуха у дна на 6,1°, на высоте 200 м на 3,9° с сохранением инверсии в слое до высоты 150 м. В дневные часы над карьером инверсия отсутствует. В вечерние часы над карьером начинается охлаждение воздуха у поверхности земли, и величина  $\gamma$  понижается в слое 100 м до 0,2°, а выше сохраняется еще неустойчивая стратификация.

Влажность воздуха в карьере в период наблюдений была наибольшей в оба срока наблюдений у дна, постепенно уменьшалась к борту и имела хорошо выраженный суточный ход с минимумом в полуденные часы. Над бортом карьера влажность в слое инверсии уменьшалась, а выше с уровня 500 м увеличивалась. По данным табл. 5 и 6, в утренние часы в 25% всех подъемов отмечалась неустойчивая стратификация от дна карьера и до высоты 0,5 км над бортом, в остальных 70—75% была инверсия, причем вероятность инверсии несколько уменьшалась с высотой. В полуденные часы вероятность инверсии была минимальной, а к вечеру снова возрастала. Та же картина отмечалась и над карьером. Очевидно, на развитие инверсии в карьере и вне его основное влияние оказывало радиационное излучение и прогрев воздуха в самом карьере. Приведенные на рис. 1 б профили  $t$  и  $r$  даже по средним данным показывают на хорошо выраженную область теплового воздуха в карьере по сравнению с окружающим воздухом. Переход через бровку карьера сопровождался понижением температуры и некоторым ростом влажности, особенно заметным в утренние часы (8—9). Эти данные, полученные уже другим методом, также подтверждают наличие в карьере своего рода «острова тепла» с довольно большим перепадом температуры по горизонтали карьер — окружающая местность. Интенсивность нагрева воздуха  $\Delta t/\text{час}$  в карьере в августе составляла на дне около 3°, на высоте 100 м примерно 2°. Выше карьера на 100 м  $\Delta t \approx 1,4^\circ$ , на 200 м 1,1° и на 500 м приблизительно 0,4°, т. е. уже значительно меньше, чем в карьере.

В декабре в карьере преобладает стратификация, близкая к неустойчивой; слои инверсий, по средним данным, отсутствовали, кроме наблюдений за 10 час., где была отмечена слабая приподнятая инверсия в слое 100—250 м с повышением температуры всего на 0,9°. Над карьером внизу также наблюдались положительные величины  $\gamma$ , и только с уровня 200 м имела место мощная приподнятая инверсия с повышением температуры на 3—4,5°, толщиной 500—700 м, вызванная, очевидно, антициклоном, располагавшимся

в этот период над Коркиным карьером. Таким образом, в декабре в самом карьере и над карьером в слое 100—200 м по средним данным инверсия отсутствовала. Относительная влажность воздуха имела максимальные значения на дне карьера и уменьшалась с высотой примерно до уровня 100 м над карьером, а выше росла.

На рис. 1 в приведены профили  $t$  и  $r$  за 10 и 14 час. Интересным является распределение  $t$  в карьере. Инверсия, наблюдавшаяся в 10 час., разрушилась к 12—14 час. вследствие динамического перемешивания масс воздуха, в результате чего к 14 час. в карьере установилась примерно безразличная стратификация. Этот же процесс вызвал некоторое уменьшение влажности в карьере вследствие притока сюда более сухого воздуха извне. По данным табл. 5 и 6, в карьере в период 9—11 час. в слое до 100 м от дна все же в 30% случаев наблюдалась инверсия, но преобладала безразличная стратификация. В дневные часы вероятность инверсий в нижнем 100-метровом слое составляла всего 15%. Несколько возрастая с высотой, наиболее вероятной во всем столбе воздуха карьера являлась все же устойчивая и неустойчивая стратификация, соответствующая условиям хорошего турбулентного обмена. Над карьером внизу наблюдалась примерно та же картина, и только с уровня 200—300 м отчетливо выявляется приподнятая инверсия.

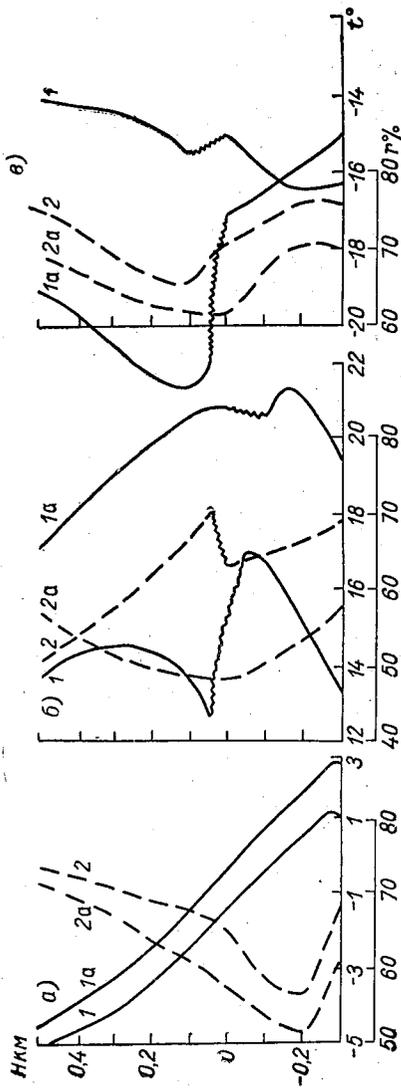


Рис. 1. Профили  $t$  и  $r$  в карьере и над карьером.

а — апрель. 1 и 1а —  $t$  за 9—11 и 11—15 час., 2 и 2а —  $r$  за 9—11 и 11—15 час. б — август. 1 и 1а —  $t$  за 8 и 10 час., 2 и 2а —  $r$  за 8 и 10 час. в — декабрь. 1 и 1а —  $t$  за 10 и 14 час., 2 и 2а —  $r$  за 10 и 14 час.

На рис. 1 в также заметно, что воздух в карьере несколько теплее вышележащего воздуха, переход через бровку карьера сопровождается скачком в ходе  $t$  и отчасти  $r$ . Следовательно, и в зимний период воздух в карьере и на его бровке будет несколько теплее, чем в окружающих районах на поверхности земли. Причина образования «острова тепла» в карьере, очевидно, связана с большой термической инерцией бортов карьера, выделением тепла очагами пожара угля и при взрывных работах, но этот вопрос еще неясен и требует дальнейшего исследования.

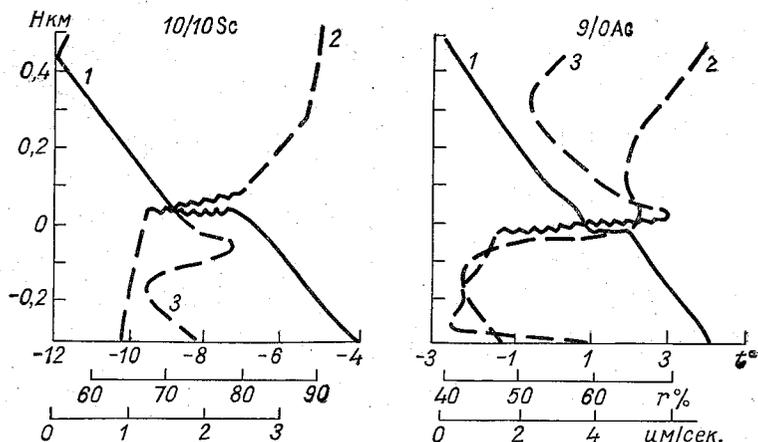


Рис. 2. Профили  $t$ ,  $r$  и  $u$  в карьере и над карьером в 1968 г.— 9 апреля за 10 час. слева и 6 апреля за 10 час. справа.

1 — температура, 2 — влажность, 3 — скорость ветра.

4. Средние величины  $t$  и  $r$  при синхронных зондированиях в карьере и над карьером, приведенные в табл. 3 и 4 и на рис. 1, имеют значительный разброс во времени зондирования в карьере и над карьером, кроме того, число подъемов прибора в карьере быстро уменьшается с высотой.

Для иллюстрации высказанных положений о частом наличии в карьере своего рода «островов тепла» нами приведено несколько примеров синхронных зондирований для случаев, когда высота подъема прибора в карьере была не меньше 250 м. Следует заметить, что самолет начинал зондирование часто не строго над карьером, а набор высоты происходил по спирали с окружностью, иногда выходящей за площадь карьера, поэтому данные самолетного зондирования характеризовали термический режим окружающего карьер воздуха.

На рис. 2 даны профили  $t$  и  $r$  за 10 час. 6 и 9/IV 1968 г. В карьере в эти дни во всем слое от его дна до высоты 0,5 км над карьером отмечалась стратификация, близкая к неустойчивой, но темпера-

тура воздуха в карьере на уровне бровки была на 1—2° выше окружающего воздуха. Влажность воздуха в эти дни в карьере была меньше и также изменялась скачком в сторону увеличения при переходе за границу карьера. Здесь же дан профиль скорости ветра  $u$ . Как видно, скорость ветра начиная от дна карьера растет вначале медленно, а при переходе за борт карьера быстро.

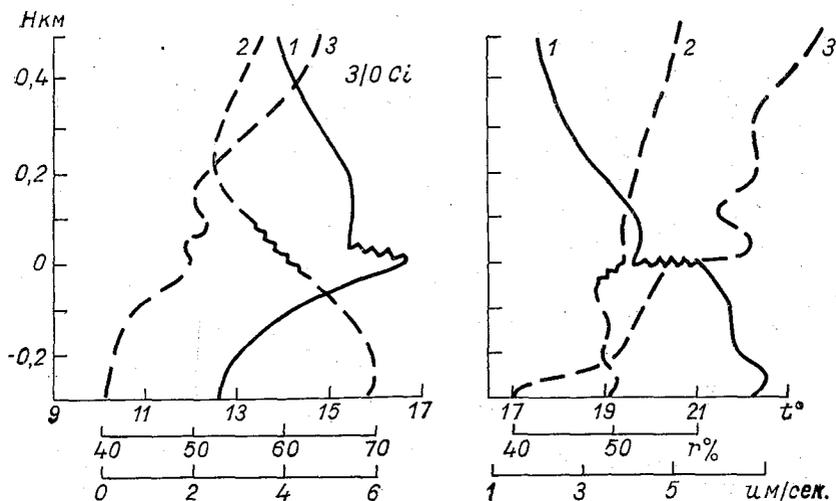


Рис. 3. Профили  $t$ ,  $r$  и  $u$  в карьере и над карьером в 1968 г. 26 августа за 8 час. слева и 31 августа за 18 час. справа.  
1 — температура, 2 — влажность, 3 — скорость ветра.

Аналогичные данные за два дня августа приведены на рис. 3. Здесь в 8 час. 26/VIII в карьере был слой инверсии, при переходе за карьер температура понизилась примерно на 1°, влажность была максимальной у дна карьера и уменьшалась с высотой как в карьере, так и над ним. Ветер с уровня 100 м изменялся более или менее плавно. Более резкое изменение всех элементов имело место 31 VIII в 18 час.:  $\Delta t = 1,5^\circ$ ,  $\Delta r = 5\%$  и  $\Delta u = 2$  м/сек.

Результаты зондирования за 11 час. 13 и 17 XII даны на рис. 4. Не вдаваясь в детали, отметим также резкое изменение всех метео-элементов при переходе границы карьер — окружающий воздух: 13 XII  $\Delta t = 4^\circ$ ,  $\Delta r = 10\%$  и  $\Delta u = 5-6$  м/сек. и 17 XII  $\Delta t = 1^\circ$  и  $\Delta r = 25\%$ . Интересным является наличие 17 XII мощной приподнятой инверсии с уровня 100 м над карьером.

В заключение можно отметить:

1. Данные аэрологического зондирования показали наличие в Коркинском карьере своего рода «острова тепла» в утренние часы теплого времени года. Образование «острова тепла» в карьере

вызвано, очевидно, усиленным нагревом бортов карьера, значительной тепловой инерцией горных пород, выделением тепла при пожарах угля и взрывных работах и другими факторами. Но физика этого процесса еще нуждается в дальнейших исследованиях.

2. Судить о стратификации слоя воздуха по данным наблюдений за температурой дно — борт в Коркинском карьере, особенно

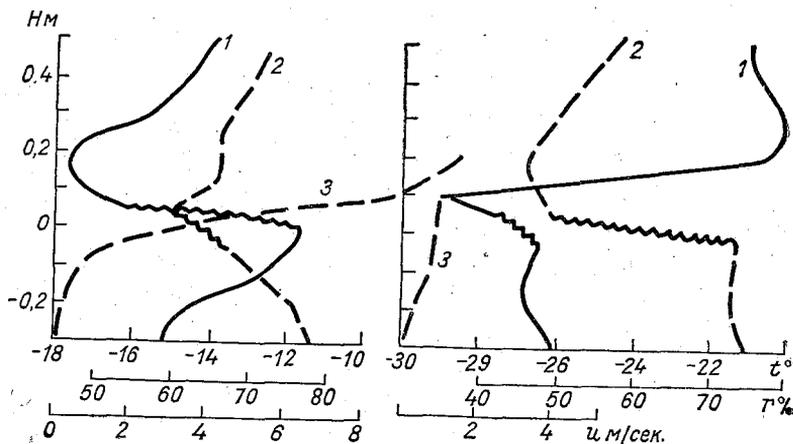


Рис. 4. Профили  $t$ ,  $r$  и  $u$  в карьере и над карьером в 1968 г. 13 декабря за 11 час. (слева) и 17 декабря за 11 час. (справа).

1 — температура, 2 — влажность, 3 — скорость ветра.

в утренние часы теплого периода года, часто бывает невозможно, ввиду того что температура воздуха на метеостанции обычно ниже температуры воздуха на том же уровне над центром карьера. Вследствие этого число инверсий в летнее время несколько занижено, а зимой завышено. Это положение также требует дальнейших разработок, особенно важных при прогнозе таких опасных явлений, как туманы и загазованность.

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОРКИНСКОГО КАРЬЕРА**

Исследование локальных метеорологических процессов и явлений, играющих важную роль в формировании климата и погоды в карьерах, позволяют объяснить причины их возникновения и сделать известный шаг на пути к уточнению качественного и количественного прогноза погоды на основе учета интенсивности местных процессов.

Проблема обеспечения нормальных атмосферных условий, отвечающих требованиям, предъявляемым санитарными и гигиеническими нормами к условиям труда в карьерах, для глубоких карьеров остается пока неразрешенной. Данной проблеме уделяет внимание целый ряд научно-исследовательских центров в основном технического профиля. В ряде работ приводятся схемы циркуляции воздуха карьера, полученные теоретическим путем или на моделях карьеров. В работах В. С. Никитина, Н. З. Битколова, Н. Г. Фатуева и других [1, 2, 3, 14] рассматриваются вопросы аэродинамики воздушных потоков и проветривания карьеров, решаемые как в производственных, так и в лабораторных условиях. При этом объектами исследований были несколько карьеров, расположенных на территории Урала, в их числе Коркинский, ряд карьеров на территориях Казахстана и Средней Азии. В последнее время установлено, что решить проблему проветривания карьеров невозможно без изучения влияния микроклимата (имеется в виду климат самого карьера) на формирование воздухообмена в карьерах. На многих карьерах Советского Союза были организованы постоянно действующие метеорологические станции и посты, собирающие сведения о метеорологических параметрах в карьерах и вне их. Появился ряд работ, посвященных микроклимату карьера, в которых анализируются материалы наблюдений постоянно действующих постов, периодических экспедиций и микросъемки в карьерах. В работах В. И. Усынина, В. Р. Кликко, К. В. Кочнева, С. С. Филатова, Н. З. Битколова, Ф. М. Силина [7, 8, 10, 13] разработана методика наблюдений и приводятся интересные данные по карьерам на тер-

риториях Кольского полуострова, Урала, Казахстана и, в частности, по Коркинскому карьере.

Однако следует отметить, что указанные авторы рассматривают частные вопросы влияния тех или иных метеорологических параметров на атмосферные условия карьеров; отсутствие материала ограничивает возможности и усилия исследователей в решении задачи.

В настоящей работе делается попытка на материале постоянных (поверхность и дно карьера) и периодических наблюдений в Коркинском карьере проанализировать влияние местных факторов на формирование микроклимата Коркинского карьера.

Коркинский угольный карьер — самый большой и глубокий в СССР. Условия труда в нем при скоплении вредных примесей и газов и возникновении туманов в холодное полугодие значительно ухудшаются.

**Радиационный режим.** В малооблачные и ясные дни основными факторами, определяющими различия радиационных потоков на склоны и дно карьера, являются наряду с астрономическими (продолжительностью дня и высотой солнца), экспозиция и крутизна склонов, углы закрытости горизонта и прозрачность атмосферы. Ввиду того что Коркинский карьер представляет собой террасированную чашу неправильной формы, вытянутую с запада на восток, отдельные участки склонов имеют различные углы наклона к горизонтальной плоскости и различную экспозицию по отношению к солнечным лучам. Очевидно, что в наиболее благоприятных условиях облучения находится северный склон, который имеет южную экспозицию, а в худших условиях — южный склон северной экспозиции.

В августе количество прямой радиации в дневные часы на поверхности карьера составляет около  $0,86 \text{ кал/см}^2\text{мин.}$ , что на 10—15% больше, чем получают горизонтальные площадки внутри карьера. Это связано с уменьшением прозрачности атмосферы воздуха в карьере из-за взрывных и прочих работ в дневное время.

Интенсивность рассеянной радиации на горизонтальной поверхности в основном связана с высотой солнца и прозрачностью атмосферы. Наблюдаемые значения рассеянной радиации в различных точках карьера близки друг к другу (днем около  $0,30 \text{ кал/см}^2\text{мин.}$ ).

Количество суммарной радиации, получаемое площадками внутри карьера, приблизительно одно и то же и в ясную погоду днем составляет  $0,9—1,1 \text{ кал/см}^2\text{мин.}$  Горизонтальная площадка на поверхности получает на 10—15% больше суммарной радиации, чем внутри карьера ( $1,0—1,2 \text{ ккал.}$ ).

Альbedo метеоплощадки на борту карьера имеет обычный для горизонтальной поверхности, покрытой травой, ход с повышенными значениями в утренние и вечерние часы и с минимумом в околополуденный период. Средняя величина альbedo составляет 20%.

Величина альbedo подстилающей поверхности в карьере в среднем 10%, но каждая из точек наблюдений дает свое, близкое к этому значение. Альbedo угля 9%. Альbedo более светлых поверхностей составляет 11—15%.

Суточный ход радиационного баланса характеризуется постепенным возрастанием в утренние часы, максимумом в 14 час. и затем плавным убыванием. Переход через нуль происходит после 19 час., причем к 20—21 часу величина радиационного баланса уже отрицательна и составляет 0,10—0,15 кал/см<sup>2</sup>мин. Утренний переход через нуль на поверхности карьера определяется моментом восхода солнца и происходит позднее 6 час.

Радиационный баланс склонов и дна карьера в течение дня на 20—30% выше, чем на поверхности карьера. Это объясняется характером подстилающей поверхности, условиями нагревания и излучения склонов и дна карьера. Радиационный баланс на склонах и дне карьера достигает в безоблачные дни 0,80—0,85 кал/см<sup>2</sup>мин.

Зимой малые высоты солнца (11—25°) и большие углы закрытости горизонта приводят к разным условиям облучения северного и южного бортов. Северный борт, имеющий южную экспозицию, находится в более благоприятных условиях, чем южный, так как вертикальные поверхности уступов южного борта при высоте солнца 20—30° совсем не облучаются. По данным В. В. Мухенберг [9], при высоте солнца 30° склоны северной экспозиции крутизной 60—90° получают всего лишь 40% величины суммарной радиации, приходящей на склон южной экспозиции. Условия облучения северного борта также неоднородны. Из-за больших углов закрытости горизонта верхние части борта более продолжительное время облучаются солнцем, а ниже уровня 200 м поверхности склонов в декабре вообще не освещаются. Продолжительность освещения северного борта на уровне 200 м от поверхности карьера невелика и составляет около 3—4 час.

Измерения, проведенные в ноябре—декабре 1968 г. показывают, что величина прямой радиации на горизонтальные площадки поверхности и северного склона карьера достигает в полдень 0,10—0,15 кал/см<sup>2</sup>мин.

Средние величины суммарной радиации невелики и составляют в полдень около 0,08 и 0,10 кал/см<sup>2</sup>мин., причем первая величина (0,08 кал/см<sup>2</sup>мин.) получена для точки, расположенной на поверхности, а вторая (0,10 кал/см<sup>2</sup>мин.)— для точки, находящейся на северном борту на уровне 200 м. Различия в величинах суммарной радиации можно объяснить тем, что рассеянная радиация в карьере несколько больше, чем на поверхности, за счет отраженной радиации от поверхностей уступов.

Средняя величина альbedo подстилающей поверхности, покрытой снегом, около 50%. Свежевыпавший снег имеет альbedo около 80%, однако загрязнение снега происходит довольно быстро и в течение двух-трех дней альbedo может уменьшиться до 30%.

Величина радиационного баланса в светлое время суток близка к нулю (0,01—0,02 кал/см<sup>2</sup>мин.).

**Температура почвы.** Режим температуры почвы карьера тесно связан с радиационными условиями и особенностями увлажнения дна и склонов карьера. Различие в приходе солнечной радиации на горизонтальные и вертикальные участки карьера вызывает разную степень их нагрева.

Летом температура поверхности почвы на борту карьера остается в дневные часы на 7—10° ниже, чем внутри карьера; в вечерние и утренние часы разность температур уменьшается до 1—3°, за исключением склона южной экспозиции, который остается более нагретым.

Температура поверхности склона южной экспозиции достигает наиболее высоких значений. Максимальные значения наблюдаются около 14 час. и достигают в отдельные ясные дни более 60°. На склонах северной и западной экспозиции максимум наступает в 11 час. и по своей величине он на 2—4° ниже, чем на склоне южной экспозиции, что связано с различием экспозиции склонов относительно солнца. На склоне юго-восточной экспозиции максимум, как и на склоне южной экспозиции, наблюдается в 14 час., но он гораздо меньше, что связано с характером подстилающей поверхности. Склон южной экспозиции сложен из угля, а на склоне юго-восточной экспозиции в месте измерения выходят породы светло-серого цвета.

Таким образом, в течение суток подстилающая поверхность в карьере остается более нагретой, чем окружающая местность. Различно ориентированные поверхности склонов нагреваются по-разному, что создает условия для образования конвекции и турбулентного обмена.

В зимний период в ясную погоду поверхность карьера и его северный борт нагревается значительно интенсивнее, чем южный борт и дно, которые не освещены солнцем. В отдельные ясные дни разность температуры почвы дно — поверхность достигает —5, —7°. В пасмурную же погоду разности температур почвы дно — поверхность в течение суток положительны. В суточном ходе максимальные значения температуры почвы как на дне, так и на поверхности карьера приходятся на дневные часы, а минимальные — на вторую половину ночи (табл. 1).

Увеличение температуры почвы от поверхности карьера ко дну, очевидно, связано с уменьшением эффективного излучения за счет формирования в карьере инверсионных слоев, наибольшая повторяемость которых отмечается в придонном слое в ночное время суток.

Амплитуда суточного хода температуры почвы становится гораздо меньше, чем в летнее время. Таким образом, в отличие от летних условий, которые характеризуются наибольшей температурой почвы в дневные часы на дне карьера, зимой в ясные дни температура почвы на поверхности карьера выше, чем на дне.

Таблица 1

## Суточный ход температуры почвы в различные месяцы и сроки наблюдений (часы)

	02	00	08	06	14	12	20	18
	I	VII	I	VII	I	VII	I	VII
Дно	-14	17	-14	21	-12	34	-23	21
Поверх- ность	-17	14	-18	20	-12	30	-17	20
	3	3	4	1	0	4	4	1

**Температура воздуха.** Основным источником нагревания воздуха является подстилающая поверхность. В связи с тем что в условиях Коркинского карьера наблюдается различная степень нагрева склонов, то и температура воздуха в различных его частях будет отличаться достаточным разнообразием. Летом разница температур дно — поверхность составляет до 4° ночью и 2—3° днем. С восходом солнца поверхность карьера нагревается, а дно еще не освещено. За счет этого происходит сглаживание разницы температур и она составляет только 1°.

Во всех точках внутри карьера отмечается резкое повышение температуры воздуха в период между появлением солнца над бортом карьера и 11 час. Вечером происходит более медленный спад температуры, что связано с сильным нагревом подстилающей поверхности и отдачей тепла.

В первую половину дня наиболее низкие температуры воздуха отмечены на склоне западной экспозиции, зато в вечерние часы температура здесь выше, чем на остальных склонах, что связано с условиями инсоляции этого склона. На склоне юго-восточной экспозиции наиболее высокие температуры воздуха наблюдаются с 11 до 14 час. На склонах южной и северной экспозиции максимум температуры растягивается в пределах 14—17 час. Различия в нагревании воздуха наиболее велики в дневное время (14—17 час.); в утренние часы они сглаживаются.

Были вычислены вертикальные градиенты температуры воздуха по двум точкам (дно — поверхность) по данным самописцев. Суточный ход повторяемости условного вертикального градиента показал, что для теплого полугодия в течение суток более чем 50% всех случаев приходится на градацию 2,1—3,0° на 300 м, и 10—30% — на смежные градации. Сверхадиабатические градиенты встречаются редко. При этом большие положительные градиенты, характеризующие неустойчивое состояние атмосферы в карьере, приходится в основном на дневное и вечернее время, большие отрицательные градиенты чаще наблюдаются в ночное и утреннее время. Следовательно, по данным двух точек, более половины всех случаев наблюдений падает на градиент, меняющийся в пределах

0,7—1,0° на 100 м. Была сделана попытка выявить зависимость условного вертикального градиента от направления ветра на поверхности карьера. Анализ кривых распределения показал, что наибольшая повторяемость приходится на градацию 2,1—3° на 300 м при любом направлении ветра, причем при северном и северо-восточном направлениях повторяемость этой градации 60—70%.

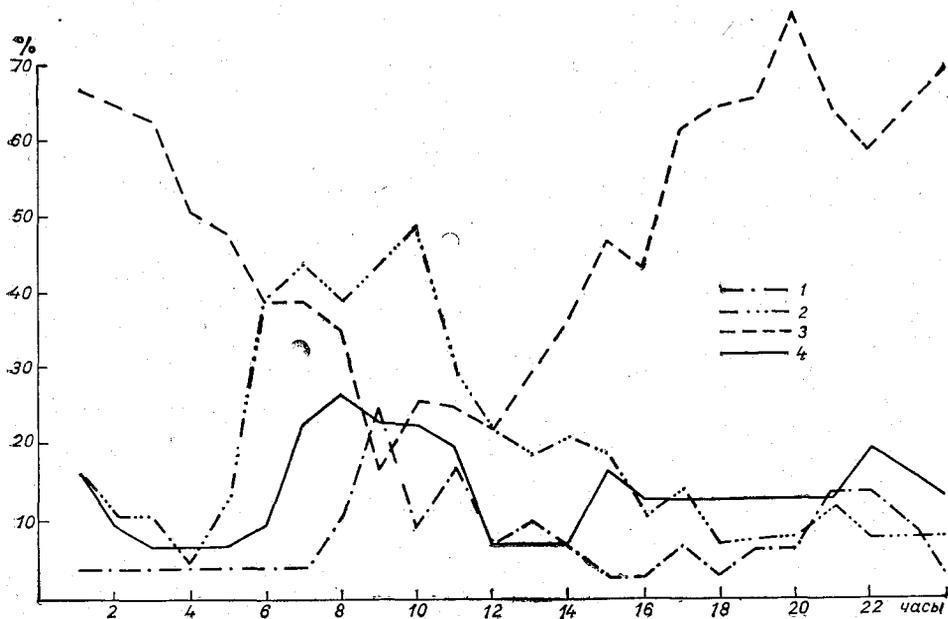


Рис. 1. Суточный ход повторяемости инверсионного распределения температуры воздуха на различных уровнях склонов карьера.  
1 — 100 м — поверхность, 2 — 200—100 м, 3 — дно — 200 м, 4 — дно — поверхность.

Однако следует отметить, что вертикальный градиент, вычисленный по двум точкам, дает условную картину распределения температуры с высотой в карьере и только отсутствие постоянного зондирования атмосферы карьера вынуждает пользоваться этими данными. Задача решения прогноза состояния атмосферы карьера тоже будет основываться на них, поэтому приходится анализировать наблюдения двух постоянно действующих пунктов, привлекая при этом результаты эпизодических исследований. Так, для отдельных месяцев теплого полугодия есть материалы по температуре воздуха на склонах.

Располагая данными по суточному ходу температуры воздуха на различных уровнях в карьере, мы имели возможность просле-

дить изменение температурного градиента по склону карьера. Анализ этих материалов дал интересные результаты (рис. 1 и 2). Оказалось, что в ночные часы в самой глубокой части карьера (дно — 200 м) велика повторяемость нулевых и отрицательных градиентов. Она составляет от 60 до 80%. В следующем слое (200—100 м)

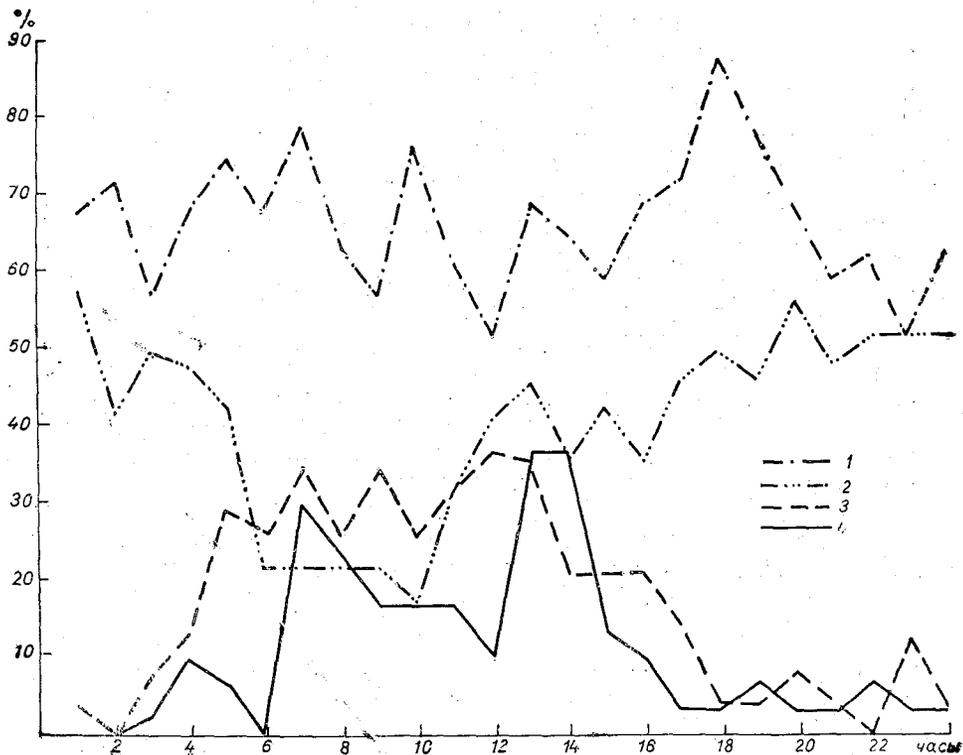


Рис. 2. Суточный ход повторяемости сверхадиабатических градиентов. Температуры воздуха на различных уровнях карьера.  
1 — 100 м — поверхность, 2 — 200—100 м, 3 — дно — 100 м, 4 — дно — поверхность.

повторяемость нулевых и отрицательных градиентов резко снижается до 10%, зато возрастает повторяемость сверхадиабатических градиентов до 50%. В самом верхнем слое (100 м — поверхность) повторяемость сверхадиабатических градиентов до 50%, повторяемость сверхадиабатических градиентов ночью от 65 до 80%. В утренние часы (6—10) повторяемость нулевых и отрицательных градиентов уменьшается в нижней части карьера от 40 до 25%, зато она увеличивается в средней части до 40—50%. После 10 час. повторяемость сверхадиабатических градиентов в слое 0—200 м несколько больше повторяемости отрицательных и нулевых градиентов, первые составляют от 25 до 45%, вторые — от 20

до 35%. После 15 час. резко возрастает повторяемость отрицательных градиентов в глубокой части карьера. В верхней части карьера в течение суток сохраняется большая повторяемость сверхадиабатических градиентов. Приведенная на этих же графиках кривая суточного хода температурного градиента, вычисленного по двум точкам, еще раз подтверждает, что этот градиент скрывает истинное распределение температуры по склонам и по слоям. Получается, что повторяемость отрицательных и нулевых градиентов невелика в течение суток, наибольшая повторяемость (до 20—25%) приходится на утренние часы (с 7 до 11). Повторяемость сверхадиабатических градиентов мала в вечерние и ночные часы, возрастает в дневные часы до 40%. Таким образом, чтобы представить истинную стратификацию воздуха в карьере, необходимо иметь данные о распределении температуры воздуха по склонам и данные зондирования. Полученные графики позволяют вместе с тем предполагать, что движение воздуха в карьере подчиняется общим закономерностям движения в котловинах и долинах.

При исследовании температурного режима Коркинского карьера особого внимания требует изучение инверсионного состояния атмосферы в связи с ухудшением условий труда в карьере.

Из всех случаев наблюдений по двум точкам (дно—поверхность) за два года для теплого полугодия были выбраны случаи с инверсионным распределением температуры.

Оказалось, что число часов с устойчивым состоянием атмосферы по данным двух точек (дно—поверхность) в апреле составляет 11,7%, уменьшаясь в летние месяцы до 0,3—0,9% и вновь увеличиваясь к осени (табл. 2).

Таблица 2

Продолжительность инверсионного распределения температуры воздуха в карьере 1967—1968 гг.

	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Число случаев с инверсией	43	20	3	5	11	22
Число часов с инверсией . . .	173	50	5	13	21	112
Общее число часов за 2 года	1464	1418	1440	1474	1463	1435
Повторяемость инверсии в % от общего числа часов в месяц . . . . .	11,7	3,5	0,3	0,9	1,4	7,8

В суточном ходе инверсии наблюдаются чаще в утренние часы до восхода солнца. Анализ синоптических условий в дни, когда отмечалось инверсионное распределение температуры, за два года позволил выявить следующую картину. Инверсионное распределение температуры воздуха отмечается в теплое полугодие в случае ослабления барического ветра, т. е. когда приземное поле дав-

ления представлено обычно какой-либо периферией антициклона или малоградиентным размытым полем. При таком приземном поле давления обычно наблюдаются растекание облачности в вечерние часы, малооблачные или безоблачные ночи, образование конвективной облачности начиная с 10—12 час. и кучевой облачности 7—8 баллов в послеполуденные сроки. Утренние часы перед восходом солнца характеризуются слабыми скоростями ветра или штилем, образованием дымки в карьере.

Инверсии при активном барическом поле (прохождении теплого фронта, т. е. при смене воздушных масс) отмечалось за два года лишь в двух случаях. Наиболее глубокие инверсии наблюдались при антициклоническом поле. При этом за два года в теплое полугодие отмечалось 185 дней с антициклоническим типом погоды, из них инверсия отмечалась в 26% дней.

Однако суждение об инверсии по данным двух точек (дно — поверхность) отражает неполную картину их образования. Для анализа были привлечены эпизодические данные зондирования и данные о температуре воздуха по склонам. В августе 1968 г. в Коркинском карьере было проведено температурное и самолетное зондирование атмосферы в карьере и над карьером.

Проанализировав данные изменения температуры воздуха свободного столба и по двум точкам по склону, мы получим интересные результаты. Как и следовало ожидать, температура воздуха по двум точкам менялась с градиентом, близким к сухоадиабатическому, в то время как в свободной атмосфере карьера градиент температуры был чрезвычайно разнообразным. Из всех случаев зондирования в 8 и 10 час. оказалось, что в слое 0—100 м от дна карьера чаще всего наблюдается инверсия температуры воздуха, при этом величины градиентов находятся в пределах 0—5° на 100 м. В слое 100—200 м инверсия сохраняется, градиенты меняются от 0 до 3° на 100 м. В 10 час. инверсия продолжает сохраняться в слое 0—100 м, градиенты остаются отрицательными, в среднем от 0 до —4° на 100 м. В слое 100—200 м наблюдается либо слабая инверсия температуры воздуха, либо слабая неустойчивость. В вечерние часы (16—18) отмечается неустойчивое состояние атмосферы, при этом градиенты близки к сухоадиабатическому. В дневные и ночные часы зондирование, к сожалению, не производилось.

Выше уровня карьера инверсия отмечается в утренние часы не всегда, но иногда сохраняется до уровня 500 м. В это время градиенты температуры, вычисленные по двум точкам (дно — поверхность), могут характеризовать любое состояние атмосферы в карьере, часто не совпадающее с истинным.

Данные температурного зондирования атмосферы карьера показывают, что инверсия не всегда охватывает всю толщу воздуха, чаще она наблюдается в нижнем 100—150-метровом слое воздуха и поэтому не может быть замечена при вычислении градиентов по двум точкам. Для теплого полугодия характерным является то, что

инверсия носит кратковременный характер, ее продолжительность не превышает в сутки 6—8 час., при этом она имеет определенный суточный ход.

Ночью охлаждение поверхности склонов и дна карьера начинается одновременно. Но в результате дневного прогрева воздушные массы, заполняющие карьер и прилегающие к его склонам, оказываются теплее. Холодный воздух с поверхности карьера опускается вдоль склонов, при этом возникает множество более мелких ячеек циркуляции, в которых холодный воздух склонов перемешивается с более теплым воздухом, для которого пространство между склонами служит достаточно большим резервуаром.

На дне карьера накапливается холодный воздух. Распределение градиентов температуры дно — поверхность указывает на то, что ночью разность между температурами воздушных масс у дна и на поверхности невелика, наиболее теплым оказывается верхняя часть карьера, т. е. распределение температуры в целом подчиняется закономерности, полученной Гейгером. Наиболее холодный воздух занимает придонную часть карьера толщиной 100—150 м. После восхода солнца и появления его над горизонтом карьера (после 8 час.) ночная схема циркуляции и распределения температуры начинает разрушаться. Утреннее зондирование атмосферы карьера и данные по температуре склонов указывают на наличие инверсии с большими отрицательными градиентами температуры в нижнем слое. Инверсия, охватывающая слой 0—200 м, наблюдается в 3—5 раз реже, инверсия, охватывающая всю толщу карьера — еще реже. Прогревание склонов карьера приводит к выравниванию температур, разрушению инверсии и возникновению дневной схемы циркуляции воздуха. Температура склонов карьера высока, но вследствие различной ориентации и свойств подстилающей поверхности склонов общих закономерностей в распределении температуры ожидать не следует.

Воздух, нагретый у склонов, начинает смещаться вдоль склонов карьера вверх. Так как инсоляция склонов велика в течение дня, крутизна отдельных участков склонов выражена сильно, а породы оголены, восходящий поток усиливается. Вертикальная мощность восходящих потоков возрастает по мере движения вверх по склону, о чем можно судить по данным шаров-пилотов. Восходящие потоки компенсируются нисходящими потоками холодного воздуха, при этом создается сложная схема циркуляции воздуха в карьере, которая представлена в работе Фатуева [14].

В холодный период (октябрь — март) температура воздуха в карьере и на поверхности характеризуется в общем правильным суточным ходом с максимумом около 15 час. и минимумом около 8 час., причем температура воздуха на дне карьера на 1,5—3,0° выше, чем на поверхности.

Величина разности температуры воздуха дно — поверхность зависит от скорости ветра, облачности и состояния атмосферы. При малооблачной погоде температура на дне на 2° выше, чем на по-

верхности, а при пасмурной на 2,5°. При ветре 0—2 м/сек. и безоблачной погоде температура воздуха на дне лишь на 1,5° выше, чем на поверхности. Это связано с тем, что в ясные дни поверхность карьера, освещенная солнцем, нагревается больше, чем дно, а ночью за счет стока холодного воздуха дно охлаждается сильнее.

Своеобразием температурного режима в зимний период в карьере является образование слоев инверсий и изотермии, резко ухудшающих воздухообмен. Анализ наблюдений показывает, что в течение месяца отмечается 10—15 дней с инверсионным состоянием атмосферы (табл. 3).

В суточном ходе наибольшая повторяемость отрицательных разностей температур воздуха дно — поверхность приходится на время около 11 час., причем этот максимум особенно ярко проявляется

Таблица 3

Число дней с инверсией (1) и ее продолжительность в часах (2) по разности температур дно — поверхность

Год	Месяц											
	X		XI		XII		I		II		III	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1967	15	82	17	245	18	53	9	56	14	106	4	23
1968	17	113	11	71			11	60	19	177	13	53

в малооблачные дни (рис. 3). Он обусловлен различными условиями облучения солнцем поверхности и дна карьера. В то время как поверхность нагревается солнцем, дно остается не освещенным.

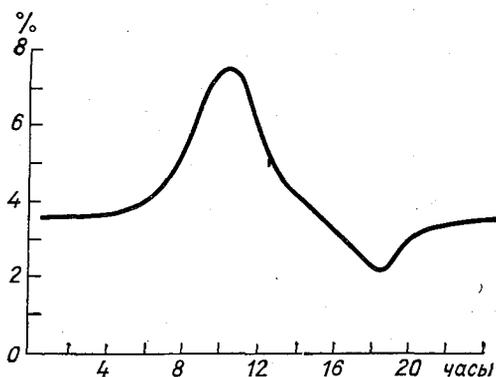


Рис. 3. Суточный ход повторяемости инверсий зимой.

Средняя величина инверсий составляет  $-2, -2,5^{\circ}$ . Наибольшая повторяемость приходится на величину инверсий в пределах от 0 до  $-1,0^{\circ}$ , однако отмечаются случаи, когда величина инверсии достигает  $-13, -14^{\circ}$ . Повторяемость инверсий ниже  $-5^{\circ}$  составляет лишь 10% (рис. 4), причем отмечаются они в основном в дневное время.

Выявляется зависимость инверсий от направления и скорости ветра. Наиболее вероятно образование инверсий при южных и юго-западных ветрах, наименее вероятно при ветрах с восточной составляющей (табл. 4).

Таблица 4

Направление . . . . .	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость, % . . . . .	5	1	2	1	32	30	13	9	7

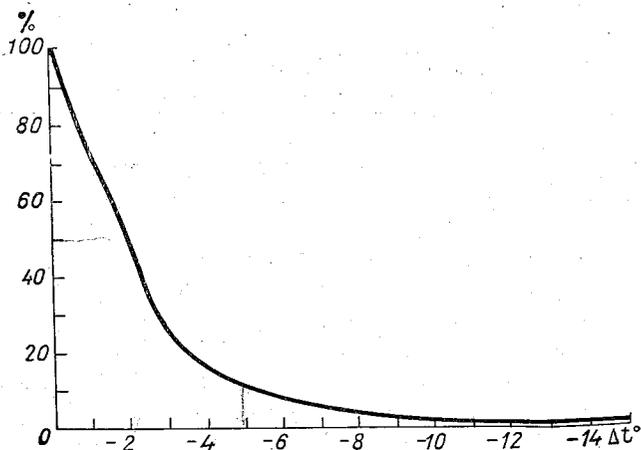


Рис. 4. Вероятность инверсий различной интенсивности.

При малых скоростях ветра на поверхности карьера наиболее часто происходит образование инверсионных слоев, а при скорости более 5 м/сек. вероятность их образования резко уменьшается в связи с усилением турбулентного обмена (табл. 5).

Таблица 5

**Вероятность инверсии при различных скоростях ветра**

Скорость ветра на поверхности, м/сек. . . . .	Штиль	1—2	3—5	5	Всего
Число случаев . . . . .	63	285	802	279	1429
Число инверсий . . . . .	10	44	117	21	192
Вероятность инверсий, % . . . . .	16	15	15	8	13

По синоптическим условиям образования инверсии можно разделить на две группы: инверсии, возникающие при прохождении

фронтов и смене воздушных масс, и инверсии, образующиеся при антициклоническом режиме погоды.

Первые из них малой интенсивности и непродолжительны, вторые — более интенсивные и сохраняются до нескольких суток. Они, очевидно, обусловлены образованием устойчивого состояния атмосферы в антициклоническом поле, когда в течение нескольких дней наблюдаются малооблачная погода и нисходящие движения в нижних слоях тропосферы, приводящие к образованию приподнятых и приземных инверсий. Вероятность инверсий при различной синоптической ситуации приведена в табл. 6.

В ясные ночи происходит сильное выхолаживание приземных слоев воздуха как на поверхности, так и внутри карьера. Холодный воздух стекает по бортам карьера и скапливается в придонной части. Отмечено, что в ясные ночи температура воздуха на дне

Таблица 6

Синоптическая ситуация	Вероятность, %	Синоптическая ситуация	Вероятность, %
Антициклон:		Малогradientное поле:	
центр . . . . .	40	повышенное давление . . . . .	27
север . . . . .	32	пониженное давление . . . . .	12
северо-восток . . . . .	33	Ложбина . . . . .	14
восток . . . . .	43	Циклон:	
юго-запад . . . . .	18	центр . . . . .	0
запад . . . . .	10	юго-восток . . . . .	8
северо-запад . . . . .	15	юг . . . . .	0
Седловина . . . . .	17	юго-запад . . . . .	0
Отрог . . . . .	26	северо-запад . . . . .	0

карьера понижается примерно на 1° больше, чем на поверхности. Распределение температур во внутрикарьерном пространстве в такие моменты напоминает распределение температур в долине, описанное Гейгером [5]. В условиях слабого обмена на поверхности и внутри карьера накопление холодного воздуха на дне карьера приводит к увеличению мощности и интенсивности внутрикарьерной инверсии.

Вполне возможно, что орография карьера способствует проседанию внекарьерных инверсий, ухудшая воздухообмен в карьерном пространстве. При определенных условиях, очевидно, происходит слияние внутрикарьерных и внекарьерных инверсий и создаются наиболее опасные и продолжительные условия загазованности карьера.

Разность температур дно — поверхность при отсутствии зондиро-

вания в карьере является пока единственным критерием, позволяющим судить о термическом режиме карьера.

Однако анализ материала показал, что загазованность карьера и ухудшение воздухообмена отмечается и при положительных значениях разностей температуры дно — поверхность. Экспедиционные наблюдения, а также данные самописцев, расположенных на различных уровнях бортов, позволяют сделать вывод о том, что существуют внутрикарьерные инверсии, не прослеживающиеся по разности температур дно — поверхность. Они могут занимать или целиком все пространство карьера, или только отдельные его слои. О существовании инверсионных слоев на некоторой высоте в «чаше» карьера отмечено также в работе Силина [10].

Наиболее часто инверсионные слои можно наблюдать в придонном пространстве. Вероятность их существования ночью до 50%, днем до 30%.

Внутрикарьерные инверсионные слои подвижны и в течение суток могут наблюдаться на различных высотах карьера.

**Ветровой режим.** Ветровой режим является одной из важнейших характеристик микроклимата карьера. Он определяет температурные и влажностные потоки, перенос пыли и газов, обеспечивает воздухообмен в карьере.

Изучение ветрового режима Коркинского карьера для теплого полугодия выявило ряд особенностей, характерных для данного района. Розы ветров, построенные для отдельных месяцев теплого полугодия, показали, что на поверхности карьера сохраняется ветровой режим, типичный для Южного Урала. В апреле отрог азиатского антициклона начинает разрушаться и наблюдается переход к синоптическим процессам летнего полугодия. Наряду с господствующими южными и юго-западными ветрами появляются северо-западный. С мая по август включительно преобладающими направлениями являются северное и северо-западное, что соответствует усилению воздействия отрога азорского антициклона. Отдельные ядра высокого давления из области азорского антициклона, а также арктических антициклонов, смещающихся над Русской равниной с севера на юго-восток, проходят через территорию Южного Урала, стационарируя иногда над Северным Казахстаном. В сентябре наблюдается переход к зимним процессам: направление ветра меняется, усиливается повторяемость ветров южного и юго-западного направлений. Совершенно иная картина распределения направления ветра в карьере. Розы ветров в карьере имеют почти круглую форму, с незначительным увеличением повторяемости отдельных румбов, что указывает на равную вероятность ветра любого направления вне зависимости от направления ветра на поверхности. Чаще всего отмечается слабое увеличение повторяемости противоположных общему направлению переноса на поверхности ветров.

Распределение скоростей ветра по направлениям в течение теплого полугодия показывает, что на поверхности средние месяч-

ные скорости ветра меняются от 3 до 5 м/сек., при этом большие скорости отмечаются при ветрах северного и западного румбов, наименьшие — при юго-восточном направлении. Скорости воздушных потоков на дне карьера в среднем для всех направлений составляют не более 2 м/сек., резких колебаний скоростей в зависимости от направления не наблюдается. Отмечается нормальный суточный ход скорости ветра, с максимумом в дневные часы и минимумом в ночные. Для глубокой части карьера, где расположен пункт наблюдений, характерно наряду с общим уменьшением скоростей ветра увеличение числа штилей. Для июля — сентября их число превышает 100 случаев в месяц.

Для определения периодичности ветра применен способ, предложенный Э. А. Бурманом [4]. Полученные этим способом результаты вычислений занесены в табл. 7. Анализ таблицы позволяет установить несколько интересных явлений.

Таблица 7

Показатели периодичности направлений ветра (%) по срокам, ст. Коркинуголь (дно)

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	П %	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	П %	
	0 час.									6 час.									
IV				5	2	11	17		35		5	7	5	6					23
V				1	2	12	27		42	1					4	0	9		14
VI					8	16	22	10	56	7	3	8	4						22
VII				3	1	24	22		50			12	11	5	2				30
VIII					14	12	13	9	48	4	12	1	19						36
IX					3	20	8	5	36					5	4	4	10		23
	12 час.									18 час.									
IV	9	13	7				3	22	6						8	0	8		22
V	0	16	20				0	36	2	1	0	9							12
VI	0	7	7	2				16	0	8	7	2							17
VII	1	16	11				2	30					1		3	2	2		8
VIII	6	17	22				9	54	1						2	0	0		3
IX	4	4	13	1				22	2	3	3		10						18

Прежде всего можно заметить определенную группировку преобладающих румбов по срокам: ветры южной половины горизонта ночью, постепенный поворот ветра от южной половины горизонта к восточной утром и от восточной половины к северной половине горизонта днем и поворот к западной половине с постепенным переходом к ветрам южных румбов вечером. Вращение ветра по часовой стрелке в течение суток отмечается во всех месяцах, за

исключением мая и сентября. В сентябре ветер меняет направление 2 раза в сутки. Ночью преобладают ветры южных и западных румбов, днем — северо-восточной половины. В мае наблюдается возвращение ветра против часовой стрелки.

Зимний ветровой режим района формируется в результате действия западного отрога сибирского антициклона и прохождения атлантических и средиземноморских циклонов.

Наибольшую повторяемость в зимний период имеют ветры южного и юго-западного направлений. Сложная орография карьера способствует искажению ветрового потока, и на дне карьера преобладают северо-восточные, восточные и юго-западные потоки (табл. 8).

Анализ материала показывает, что в большинстве случаев наблюдается поворот ветра в карьере на угол от 90 до 135°, причем наибольшее отклонение претерпевают ветры юго-западного

Таблица 8

Направление . . . . .	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость, %								
поверхность . . . . .	12	4	2	3	34	20	11	14
дно . . . . .	6	17	18	11	11	16	11	10

и северо-западного направлений — от 135 до 180°, а наименьшее — северо-восточного, северного и западного направлений — от 45 до 90°.

Изменение направления ветра в нижней части карьера подтверждает прямоточно-циркуляционную схему проветривания, разработанную Никитиным [3], который показал, что верхняя часть

Таблица 9

Повторяемость (%) ветра на дне карьера в зависимости от направления ветра на поверхности

Поверхность	Дно								Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
С	2	8	23	9	10	15	7	5	21
СВ	2	6	24	10	5	8	11	8	26
В	11	4	15	4	7	0	4	18	37
ЮВ	8	25	15	0	8	13	0	6	25
Ю	5	20	7	5	5	8	9	7	34
ЮЗ	5	10	11	5	6	11	6	8	38
З	4	4	7	9	15	16	9	6	30
СЗ	1	3	17	16	11	15	7	8	22
Штиль	1	1	5	8	0	8	8	2	67

Коркинского карьера проветривается прямым потоком, а нижняя рециркуляционным.

Отмечается некоторая периодичность повторяемости ветра на дне карьера (табл. 9). Днем преобладает юго-восточный поток, ночью — северо-западный. Дневной поток обусловлен, по-видимому, разным нагревом южного и северного бортов, а ночной — большей скоростью стока холодного воздуха по более крутым западному и северному склонам. Наибольшей продолжительностьюобладают на поверхности карьера ветры южного направления, наименьшей — восточного. Если учесть, что южные и юго-западные потоки направлены со стороны города, где имеется значительное число дымовых труб, то они переносят дополнительные продукты загрязнения в карьер.

Суточный ход скорости ветра на дне карьера совпадает с суточным ходом скорости ветра у поверхности. Максимальная скорость отмечается днем, а минимальная — ночью.

Скорость ветра у поверхности земли примерно в 4 раза больше, чем на дне. Наибольшие средние скорости у поверхности земли имеют ветры южного и северо-западного направлений, наименьшие — ветры восточного направления. На дне карьера обнаруживается обратная закономерность: наибольшая средняя скорость наблюдается при восточном, а наименьшая — при южном направ-

Таблица 10

Средняя скорость ветра по направлениям (м/сек.)

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Поверхность . . . . .	4,1	3,4	3,2	3,8	4,6	4,2	3,7	4,7
Дно . . . . .	1,5	1,7	2,0	1,8	1,3	1,4	1,4	1,5

лении ветра на поверхности (табл. 10). Такая закономерность, очевидно, обусловлена тем, что восточный ветер направлен вдоль большой оси карьера, а южный — по малой оси. Кроме того, следует учитывать, что пункт наблюдения располагался в западной части дна карьера.

В отдельных случаях при ветрах на поверхности более 15 м/сек. на дне отмечается ветер до 7 м/сек.

Следует отметить, что при штиле на поверхности в некоторых случаях на дне отмечаются местные ветры до 3 м/сек., которые, очевидно, возникают вследствие неравномерного нагрева отдельных участков бортов и дна. Чаще всего они отмечаются в вечерние и ночные часы.

Таким образом, сложный характер орографии карьера приводит к разнообразному режиму ветра внутри карьера. Как пример можно привести результаты анемометрической съемки, выполненной в 11 час. 29 XI 1968 г. (рис. 5).

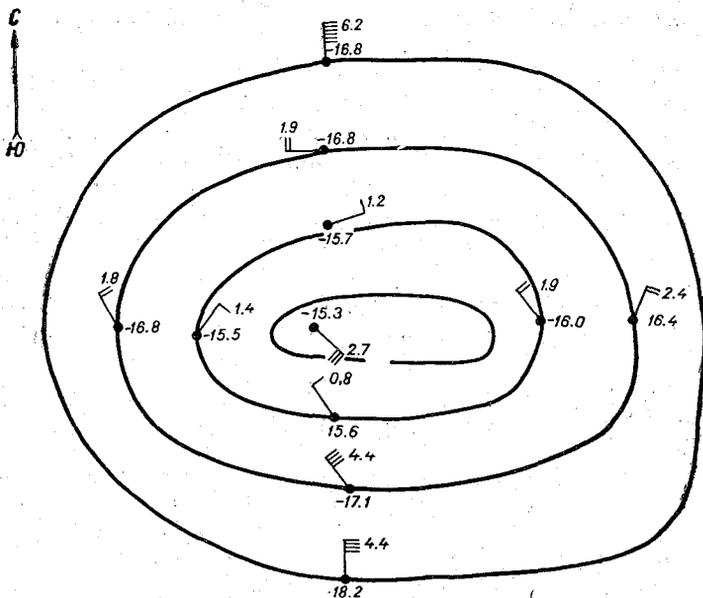


Рис. 5. Термоанемометрическая съемка 29 ноября 1968 г.

Интересно отметить, что скорости ветра на наветренной и подветренной частях поверхности карьера различаются на 1,8 м/сек. На уровне 100 м от поверхности скорость ветра на наветренном борту на 2,5 м/сек. больше, чем на подветренном. На уровне 200 м от поверхности скорости ветра резко уменьшаются, а на дне карьера они возрастают, меняя свое направление почти на 180°.

### ВЫВОДЫ

1. Сложный характер рельефа Коркинского карьера предопределяет значительную неоднородность в поступлении радиации к подстилающей поверхности склонов и дна, что в свою очередь вызывает различную степень нагревания почвы и воздуха.

2. При неустойчивых условиях стратификации температура почвы и воздуха на дне карьера выше, чем на поверхности.

3. В зимних условиях очень велика вероятность образования внутрикарьерных инверсий, резко ухудшающих воздухообмен и вызывающих загазованность карьера.

4. Летом проветривание карьера осуществляется за счет термических факторов, очевидно, по конвективной схеме, а зимой по прямоточно-рециркуляционной.

5. На дне карьера как зимой, так и летом отмечается некоторая периодичность направлений ветра.

6. Скорость ветра на дне примерно в 3—4 раза меньше, чем на поверхности.

7. В методическом отношении использование только двух постоянно действующих точек, на дне и поверхности карьера, является неудовлетворительным; необходимы данные периодического зондирования атмосферы карьера и данные по склонам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Битколов Н. З. Вентиляция карьеров энергией ветра. Записки ЛГИ, т. 46, вып. 1, 1962.
2. Битколов Н. З. Микроклиматические особенности атмосферы в карьерах. Изд. ВУЗов. Цветная металлургия, № 6, 1960.
3. Битколов Н. З., Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, 1963.
4. Бурман Э. А. Местные ветры. Гидрометеиздат, Л., 1969.
5. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. ИЛ, М., 1960.
6. Гутман Л. Н., Монин А. С. О локальных ветрах в горной местности. Тр. ЦИП, вып. 21(48), 1950.
7. Клик В. Р. и др. Микроклимат и аэрология Зырянского карьера.
8. Кочнев К. В., Филатов С. С. К вопросу об улучшении атмосферных условий в глубоких карьерах. УФ АН СССР, вып. 11, Свердловск, 1960.
9. Мухенберг В. В. Некоторые особенности прихода солнечной радиации на наклонные поверхности. Труды ГГО, вып. 179, 1965.
10. Силин Ф. М. Исследование микроклимата карьеров Урала. Сб. работ Свердловской ГМО, вып. 6, 1967.
11. Скобунов В. В. Естественная вентиляция в карьерах. Проблемы рудничной аэрологии. Изд. АН СССР, 1963.
12. Усынин В. И. Микроклимат карьеров Кольского полуострова и его особенности. (Проветривание карьеров и рудников с большими зонами обрушения.) Изд. «Наука», 1966.
13. Усынин В. И. О методике исследования микроклимата карьеров. КФ АН СССР, изд. «Недра», М.—Л., 1966.
14. Фатуев Н. Г. Новые данные о естественном проветривании глубоких карьеров. Сб. научных трудов НИИОГР, вып. III, М., 1964.

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ В КОРКИНСКОМ КАРЬЕРЕ

Интенсивность естественного воздухообмена в карьере зависит от двух факторов: динамического и термического. Последний определяется нагревом, обусловленным инсоляцией.

Интенсивность радиационного теплообмена зависит от макроклиматических факторов (высоты над уровнем моря, температуры и влажности атмосферы, облачности, турбулентности и т. п.) и от местных влияний, к которым относятся: альbedo подстилающей поверхности, экспозиция и угол падения склона, затененность окружающими горами, строениями и т. д. Пространственно-временная изменчивость интенсивности инсоляции поверхностей бортов и дна карьера определяет тепловое состояние почвы и горных пород. Последние в свою очередь формируют режим температуры воздуха в карьерном пространстве.

Коркинский карьер представляет собой террасированную котловину, большая ось которой направлена с запада на восток, а малая — с севера на юг. Площади горизонтальных террас составляли (на декабрь 1968 г.) 2 999 460 м<sup>2</sup>, а наклонных уступов — 1 504 215 м<sup>2</sup>, т. е. горизонтальных поверхностей в карьере почти вдвое больше, чем наклонных. Углы откосов уступов меняются от 40 до 60° в целом по карьере, поэтому средний угол откоса был принят 50°.

Альbedo подстилающей поверхности карьера для теплого полугодия находится в пределах 0,09—0,16 и в среднем по всему карьере составляет 0,11. В холодное полугодие альbedo меняется от 0,30 до 0,45.

Размеры карьера таковы, что затененность окружающими склонами велика и возрастает сверху вниз. В связи с этим для 24 точек, расположенных на различных уровнях, были определены степени закрытости горизонта. Точки выбирались с таким расчетом, чтобы охарактеризовать закрытость горизонта во всех частях карьера (рис. 1). Для каждой точки в отдельности определялась закрытость горизонта по восьми направлениям. За истинный горизонт принималась высота данной точки, за видимый — высота самого высо-

кого уступа, кромка которого видна на фоне неба. Превышением видимого горизонта над истинным считалась разность отметок самого высокого уступа и данной точки.

По результатам вычислений построены схемы закрытости горизонта (рис. 1). При анализе полученных данных становится очевидным, что закрытость горизонта в карьере зависит не

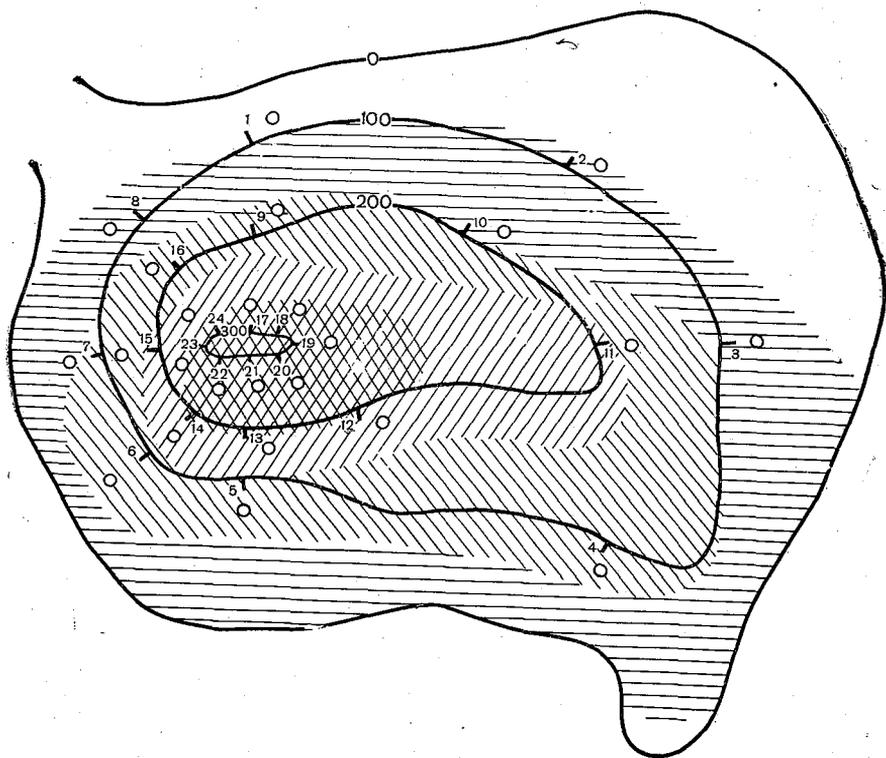


Рис. 1. Схема расположения точек и углов закрытия горизонта и продолжительность инсоляции 15 XII.

только от глубины и расстояния до уступа, закрывающего его, но и от ширины горизонтальных площадок, на которых выбирается точка. На первом, 100-метровом уровне большая закрытость горизонта ( $29^\circ$ ) отмечена в западной и северо-западных частях карьера с западной и северо-западной сторон; в юго-западной части в юго-западном направлении закрытость горизонта равна  $22^\circ$ . В восточной части карьера закрытость горизонта в восточном направлении составляет  $33^\circ$ . В остальных направлениях горизонт более открыт (углы закрытости  $3\text{--}12^\circ$ ), так как расстояние до отдаленных бортов большое по сравнению с превышением.

На втором, 200-метровом горизонте затененность ближайшими бортами возрастает, здесь высота уступов большая, а ширина (проекция их наклонной части) значительно меньше. Так, у северного борта карьера закрытость горизонта в этом направлении составляет 23—30°. В сторону юга закрытость северных уступов составляет 6—8°. Восточный борт затеняется с юга на 15°, с юго-запада на 5°, а с востока на 22°. Юго-восточная и южная части карьера больше всего затенены с юга (24—34°), а открыты в северо-восточном и восточном направлениях (5—9°). Юго-западная сторона 200-метрового горизонта закрыта сильно с запада (30°) и юго-запада (36°), открыта в восточном направлении (6°). Западный борт на этом уровне затенен с юго-запада, запада и северо-запада на 24—42°, открыт с востока. Нижний 300-метровый горизонт расположен почти у дна карьера. Закрытость горизонта здесь наибольшая по всем направлениям, она составляет 24—45° по всем направлениям, за исключением восточного (9°).

Таким образом, по всей глубине карьера наименьшую закрытость горизонта создают восточный и юго-восточный борты, наибольшую — западный и северо-западный борты.

Продолжительность инсоляции склонов и дна карьера определенным образом характеризует интенсивность прямой солнечной радиации, получаемой бортами карьера в различное время года и суток. Продолжительность инсоляции определялась по номограмме Рейдата [2], составленной для 54° с. ш. с учетом закрытости горизонта отдельных частей карьера. Совмещая номограмму Рейдата со схемой закрытости горизонта, вычисляли продолжительность инсоляции в разных точках карьера через 10 дней в течение года.

По полученным данным можно сделать следующие выводы. Поверхность карьера до глубины 100 м облучается круглый год. Но продолжительность инсоляции в течение года и в зависимости от расположения бортов различная. Большая продолжительность инсоляции в течение года наблюдается на северном, северо-западном и северо-восточном бортах карьера. 22 VI она составляла 14,5 часа, 21 XII 5,2 часа. Заметно снижается продолжительность инсоляции зимой на бортах южных направлений: на юго-восточном 3 часа, на юго-западном 2,6 часа, на южном 3,5 часа.

С глубиной продолжительность инсоляции уменьшается и особенно на южном борту. На северном борту она изменялась от 12,3 часа 22 VI до 3,8 часа 21 XII. Юго-восточный борт облучается несколько дольше (13,1—4,6 часа). Значительно меньше продолжительность инсоляции на западном борту (10,7—1,9 часа), а на юго-западном она ближе к зиме быстро снижается и с 30 XI по 11 I юго-западный борт на глубине 200 м совсем не облучается. Зимой южный борт карьера не получает радиации 70 дней, а юго-восточный — 150 дней (с 6 X по 6 II). Наименьшая продолжительность инсоляции наблюдается на дне карьера. В течение зимы дно совсем не получает прямой солнечной радиации: у юго-восточного

борта 132 дня (16 X—26 II), у южного 126 дней (18 X—22 II) и у восточного 88 дней (7 XI—3 II). Только летом дно карьера облучается 9—12 час. в день.

Такое длительное пребывание дна карьера в тени способствует застою ночного выхоложенного воздуха на дне карьера, что при слабых барических градиентах может привести к формированию устойчивых инверсий в атмосфере карьера.

При поднятии от дна карьера вверх до 200 м горизонта продолжительность инсоляции по бортам карьера резко отличается. Если дно карьера в течение зимы совсем не облучается, то на высоте 200 м наблюдается приток прямой солнечной радиации. На северном борту продолжительность инсоляции зимой составляет от 3,6 до 7,8 часа в сутки. Немного меньше облучается западный и северо-западный борты: от 1,9 до 7,0 часа в сутки. Южный борт еще не облучается в течение 50 дней, юго-западный — 30 дней.

Особые условия продолжительности инсоляции на 200-метровом горизонте складываются в юго-восточной части карьера. Здесь при отработке бортов образовался своеобразный выступ. Закрытость горизонта в этой части составляет  $34^\circ$  с юга и  $30^\circ$  с юго-востока. Это способствует тому, что в зимнее время, когда высоты солнца над горизонтом малы, эта часть карьера не облучается прямой солнечной радиацией в течение 150 дней, т. е. дольше, чем дно карьера.

При поднятии до 100-метрового горизонта отмечено, что все участки карьера облучаются прямой солнечной радиацией. Но продолжительность инсоляции в зависимости от ориентации бортов различная. Наибольших значений она достигает на северо-востоке (5,6—9,6 часа) и севере (5,5—8,5 часа в сутки). Южный борт в это время облучается менее продолжительно: от 2,5 часа в декабре до 7,4 часа в сутки в феврале.

С наступлением весны продолжительность инсоляции быстро увеличивается. Дно карьера полностью начинает облучаться с 10 III. К концу марта продолжительность инсоляции составляет в северо-западной, северной и северо-восточной частях дна карьера 8,2—8,4 часа в сутки; в южной, юго-восточной и северо-восточной частях 7,3—7,8 часа в сутки; в западной 6,8 часа. Таким образом, видно, что наибольшая продолжительность инсоляции с момента начала облучения отмечается на бортах южной ориентации (географический северный борт).

На 200-метровом горизонте в марте облучаются все участки карьера, но в большей степени, чем у дна карьера. На северном борту продолжительность инсоляции составляет 10,7 часа в сутки, на южном — 7,4, на восточном — 9,7, на западном — 8,7 часа.

При поднятии до 100-метрового горизонта продолжительность инсоляции увеличивается. На северном и северо-восточном бортах она составляет 11,0—11,8 часа, на южном — 11,1 часа, на западном и северо-западном — 9,6 и 9,5 часа в сутки.

От весны к лету продолжительность инсоляции непрерывно увеличивается и наибольших значений достигает 22 VI. Даже на дне карьера продолжительность инсоляции составляет от 9,9 (на западе) до 12,0 час. (на востоке).

На горизонте 200 м продолжительность инсоляции 22 VI еще больше: 14,6 часа в сутки на юго-востоке, 12,9 на востоке, 13,1 на северо-востоке и 8,7 часа на западе.

На горизонте 100 м наибольшая продолжительность инсоляции на юго-востоке 15,7 часа в сутки, на юге 15,4, на юго-западе 14,0, на севере 14,5, на западе 11,6 часа в сутки.

С 22 VI продолжительность инсоляции постепенно уменьшается и в осенний период распределение ее значений идентично распределению в весенний период.

Продолжительность инсоляции хотя и важный, но недостаточный критерий для оценки радиационного режима карьера. Необходимо выяснить, какие поверхности карьера и в какое время получают больше радиации и какие меньше. Напряжение солнечной радиации на дне и склонах карьера находится в соответствии с характером изменения углов падения солнечных лучей на рассматриваемые поверхности. Значения углов падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность известны. Для получения углов падения солнечных лучей на наклонные поверхности была использована формула [1].

$$\cos i = \cos \beta \sin h_{\odot} + \sin \beta \cos h_{\odot} \cos(A_{\odot} - A_{\Pi}), \quad (1)$$

где  $\beta$  — угол наклона склона,  $h_{\odot}$  — высота солнца,  $A_{\odot}$ ,  $A_{\Pi}$  — азимуты солнца и проекции нормали к склону на горизонтальную плоскость, отсчитываемые от плоскости меридиана.

С целью определения азимутов наклонных уступов карьера была произведена схематизация. В первом приближении можно принять, что северный борт карьера ориентирован на юг и его азимут равен  $0^{\circ}$ , южный борт ориентирован на север и его азимут равен  $180^{\circ}$ , западный борт ориентирован на восток его азимут равен  $90^{\circ}$ ; восточный борт ориентирован на запад, азимут  $270^{\circ}$ .

Углы наклона уступов меняются в карьере от  $45$  до  $58^{\circ}$ , в среднем можно считать их равными  $50^{\circ}$ . На рис. 2 представлены кривые изменения углов падения солнечных лучей в течение дня на уступы и террасы различных бортов карьеров.

В безоблачную погоду основным фактором, определяющим различие радиационных потоков на склоны, является экспозиция и крутизна склонов. Изменение в течение безоблачного дня напряжения солнечной радиации на дне, террасах и уступах карьера находится в соответствии с характером изменения углов падения солнечных лучей на эти поверхности.

В полдень максимум напряжения солнечной радиации наблюдается не на горизонтальных поверхностях, а на уступах, ориентированных на юг. При этом значения максимума интенсивности

солнечной радиации на уступах выше, чем на террасах. Еще больше значения максимума напряжения радиации на западных и восточных уступах карьера, но на западном склоне максимум наблюдается в утренние часы, а на восточном — в вечерние.

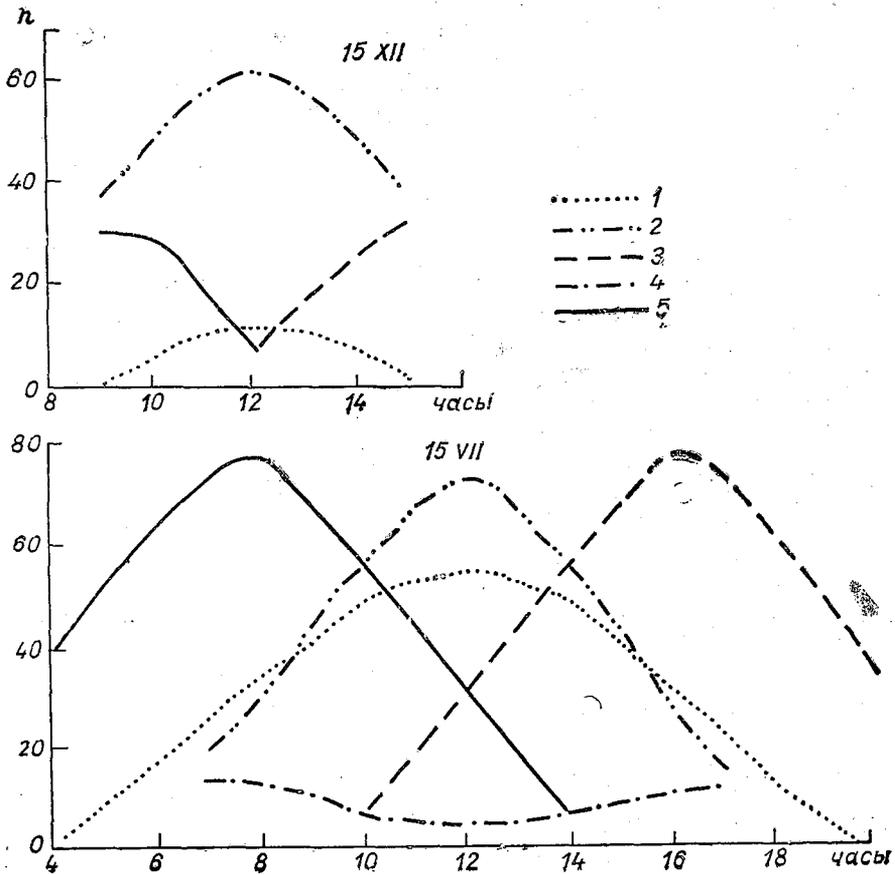


Рис. 2. Углы падения солнечных лучей на склоны карьера.

1 — горизонтальная поверхность, 2 — северный склон, 3 — восточный, 4 — южный, 5 — западный.

Уступы южного борта карьера остаются в тени с сентября по март. Лишь в апреле они начинают облучаться солнечной радиацией утром и вечером. В 8 час. угол падения солнечных лучей на уступы южного борта карьера составляет  $4^\circ$ , а в 16 час.  $9^\circ$ .

Наибольших значений эти углы достигают в июне утром ( $14^\circ$ ) и вечером ( $15^\circ$ ). Из этого следует, что южный борт карьера из-за своей ориентации находится в наименее благоприятных условиях и облучается прямой солнечной радиацией в наименьшей степени.

Анализ полученных данных позволяет сделать некоторые выводы о радиационном режиме карьера, и вместе с тем рассчитанные характеристики могут служить основой для изучения радиационного баланса карьера.

1. Радиационный режим Коркинского карьера определяется продолжительностью инсоляции склонов и дна карьера; интенсивность инсоляции в свою очередь определяется ориентацией и углами наклона уступов карьера, т. е. экспозицией склонов.

2. Продолжительность инсоляции без учета облачности меняется в карьере в течение года так, что дно карьера от 88 до 132 дней зимой не получает прямой солнечной радиации. На глубине 200 м западный и южный борты не облучаются от 30 до 50 дней соответственно. На юго-востоке карьера из-за большой закрытости горизонта, частично связанной с особенностями отработки карьера, число дней увеличивается до 150. В это время северный борт получает инсоляцию в течение 8 час. в сутки.

Наибольшая продолжительность инсоляции в течение года отмечается на верхнем 100-метровом горизонте карьера.

3. В безоблачную погоду максимальное напряжение солнечной радиации следует ожидать на северном борту карьера в полдень, на западном — в утренние часы, на восточном — в вечерние. Значения максимума радиации на указанные склоны превышают значения максимума напряжения солнечной радиации на горизонтальные поверхности.

Уступы южного борта остаются в тени в течение семи месяцев. В остальное время года угол падения лучей солнца на эти уступы крайне мал. Поэтому напряжение солнечной радиации на южном борту должно быть меньше, чем в остальных частях карьера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К. Я. Актинометрия. Гидрометеиздат, Л., 1965.
2. Reidat R. Arbeitsblätter zur Ermittlung des Sonnenstandes, Annalen der Meteorologie 7 (1955/56).

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ТУМАНА В КОРКИНСКОМ КАРЬЕРЕ

С развитием открытого способа горных разработок возникла необходимость в исследовании причин формирования инверсий и туманов в карьерах и создания методики их прогнозирования.

Известно [9], что простои вскрышных поездов на угольных разработках составляют от 7 до 20% календарного времени. Они вызваны не только производственными, но и метеорологическими причинами. Если производственные причины простоев касаются отдельных видов транспорта, то в случае туманов работа в карьере останавливается полностью. Показательно следующее сопоставление. Применение гидроустановок в Коркинском и Батурином карьерах за период 1953—1958 гг. дало экономию свыше 5,8 млн. руб. (при капиталовложениях 1,3 млн. руб.) [9], в то время как простой в работе 460 час. Коркинского карьера из-за тумана и загазованности (ноябрь 1967 г.) нанес ущерб около 1,5 млн. руб.

Как видим, экономические убытки, вызванные метеорологическими условиями, могут быть велики относительно экономического эффекта от совершенствования отдельных видов производства.

В настоящее время причины формирования глубоких инверсий и туманов в карьерах детально не изучены. Тем более, исключительную сложность представляет разработка метода прогноза тумана в карьерах.

Еще в 1932 г. Виллет [5] обобщил литературу о физических и синоптических условиях туманообразования на равнинах, однако локальные туманы, а тем более туманы в карьерах, им рассмотрены не были.

Этот вопрос не нашел отражения и в последующих широко известных монографиях [4, 6, 7, 8, 11, 13].

Погодные условия горных районов (впадин, долин, котлообразных ложбин и т. п.) изучены несколько лучше, чем туманы в карьерах. Однако полностью перенести физические характеристики таких районов на условия карьера нельзя, несмотря на то, что наи-

более общие черты процесса туманообразования могут быть учтены.

Образование туманов обусловлено как крупномасштабными метеорологическими процессами — синоптическими, так и локальными метеорологическими процессами непосредственно в районе карьера.

Особенности синоптических процессов над Уралом и Западной Сибирью в значительной мере определяются, с одной стороны, влиянием Уральского хребта, с другой — влиянием горного массива Восточной Сибири. Поток воздуха с запада на восток над Уралом зачастую деформируется, а циклоны подвергаются модификации (изменение траектории, сегментация, фёновое размывание атмосферных фронтов). Открытость района с севера и юго-запада способствует вторжению в Западную Сибирь северо-западных, северных, а также юго-западных циклонов. Циклонический характер погоды преобладает в теплую половину года.

Условия погоды над южной частью Западной Сибири в холодную половину года определяются гребнем сибирского антициклона. Однако на фоне этого процесса имеются разновидности синоптических процессов, при которых наиболее вероятно образование туманов. Требуется более детально изучить такие процессы применительно для района карьера.

Данные метеорологических наблюдений в Коркинском карьере за период сентябрь 1966 г. — декабрь 1968 г. показывают, что туманы в карьере формируются, как правило, в холодную половину года. Из 22 случаев с туманами 3 отнесены к радиационно-адвективным, остальные — к туманам радиационного происхождения. Число случаев с туманами, конечно, невелико. Поэтому для более полного заключения о характере синоптических процессов их формирования к анализу привлекались все случаи понижения видимости в карьере (мгла, дымка, задымленность), а также все случаи «чистой погоды» (отсутствие тумана, мглы, дымки, задымленности).

Была осуществлена типизация синоптических процессов на основании траекторий смещения барических образований у поверхности земли и характерных термобарических полей по картам АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub> и ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup>. Малоподвижные барические образования выделены особо.

Анализ синоптического материала за указанный период показал, что можно выделить пять типов антициклонических (индекс А) и четыре типа циклонических (индекс В) процессов (табл. 1).

Мы не приводим здесь схемы типовых приземных и высотных барических полей. Они требуют уточнения в дальнейшем на более обширном материале. Ограничимся лишь общими характеристиками типов синоптических процессов.

Широтное смещение антициклонов (тип I А) наблюдается при одновременной активизации циклонических процес-

Таблица 1

Продолжительность в часах (числитель) и вероятность (знаменатель) погодных условий при различных типах синоптических процессов

Тип синоптического процесса	Число случаев	Продолжительность синоптического процесса, часы	Мгла, дымка, задымление	Туман	Чистая погода*
IA Широтное смещение антициклонов	27	2543	$\frac{882}{0,33}$	$\frac{62}{0,02}$	$\frac{1659}{0,65}$
IIA Северо-западные антициклоны	8	552	$\frac{262}{0,47}$	—	$\frac{290}{0,53}$
IIIA Юго-западные антициклоны	8	696	$\frac{274}{0,40}$	$\frac{16}{0,02}$	$\frac{406}{0,58}$
IVA Ультраполярное вхождение антициклонов	9	1416	$\frac{356}{0,24}$	$\frac{220}{0,16}$	$\frac{840}{0,60}$
VA Гребень восточного антициклона	26	3216	$\frac{1893}{0,59}$	$\frac{431}{0,13}$	$\frac{892}{0,28}$
IVB Западные циклоны	42	4806	$\frac{1112}{0,23}$	$\frac{12}{0,001}$	$\frac{3682}{0,77}$
IVB Северо-западные циклоны	28	2784	$\frac{190}{0,07}$	—	$\frac{2594}{0,93}$
IVB Западные циклоны совместно с юго-западными	29	3192	$\frac{515}{0,16}$	$\frac{6}{0,002}$	$\frac{2671}{0,84}$
IVB Изолированное малоградиентное барическое поле	3	336	$\frac{181}{0,54}$	—	$\frac{155}{0,46}$

сов в Полярном бассейне и ослаблении в субтропических районах. У поверхности земли отмечаются или движущиеся антициклоны, или полоса повышенного давления, простирающаяся с запада через южную часть Западной Сибири в виде отдельных центров. Антициклоны, как правило, формируются в массе полярного воздуха. Исследуемый район находится преимущественно под северной или восточной периферией высотного антициклона. На термобарической карте адвекция холода отмечается чаще и более четко, адвекция тепла — реже, слабее и в основном в конце процесса. Отсюда можно сделать вывод, что вероятность образования тумана в карьере невелика и что наиболее часто при всех антициклонических процессах отмечается «чистая погода» (табл. 1).

При северо-западном смещении антициклонов (тип ПА) за исследуемый период туманы не отмечались. Возможно повторное смещение антициклона по данной траектории без

существенного перерыва процесса. При этом второй, более интенсивный антициклон стационарирует над Центральным Уралом. Если он формируется в арктической массе воздуха и ожидается его восточная периферия, то создаются условия, благоприятствующие хорошей видимости в карьере. В случае массы полярного воздуха при слабой адвекции тепла или холода на высотах в карьере отмечается пониженная видимость (мгла, дымка, задымление).

Выходу юго-западных антициклонов (тип III A) способствует формирование высотной ложбины, ориентированной через ЕТС на Балканы. Эти антициклоны преимущественно слабо развиты по высоте и не стационарируют над Уралом. Поэтому термодинамика пограничного слоя воздуха и верхних уровней над Челябинским угольным бассейном преимущественно определяется циклоническими процессами над востоком ЕТС. Если высотный гребень сдвинут к западу, то над районом исследования при наличии ложбины, ориентированной с северо-востока на Казахстан, наблюдается нулевая адвекция или слабая адвекция холода — условия благоприятные для хорошей видимости в карьере. В случае адвекции тепла (над карьером западная или северо-западная периферия антициклона) и слабого ветра у земли видимость в карьере понижается. Вероятность образования тумана в этом процессе невелика.

Ультраполярные вхождения антициклонов (тип IV A) и развитие гребня восточного антициклона (тип V A) — наиболее опасные условия для возникновения туманов в Коркинском карьере. Арктический воздух в антициклонах, движущихся по ультраполярной траектории, как правило, после первых трех-четырех дней быстро трансформируется в полярный. Поэтому в первые дни в карьере наблюдается «чистая погода» при неустойчивой термической стратификации приземного слоя воздуха. В процессе трансформации воздушной массы в дальнейшем отмечается дымка, мгла, задымленность. При установившейся адвекции тепла в пограничном слое в карьере возможен туман. В случае развития гребня, ориентированного с востока на центральные и южные районы Урала, на западной и северо-западной периферии его преимущественно отмечается адвекция тепла. Однако вероятность образования тумана в Коркинском карьере значительно возрастает, если адвекция тепла отмечается во всей нижней половине тропосферы и увеличивается по высоте. Образование тумана может наблюдаться как в первый, так и в последующие дни антициклонического процесса (I A, III A, IV A, V A) с вероятностью в первые четыре дня соответственно равной 0,11; 0,20; 0,27 и 0,18. При синоциклоническом процессе типа V A в случае вторжения арктической массы воздуха образование тумана в первые три дня не наблюдается, вероятность его значительно возрастает в последующие дни, при трансформации арктического воздуха в полярный.

Развитие циклонических процессов, как правило, способствует благоприятным условиям работы в карьере, особенно при северо-

Средние значения  $\gamma_{\text{вн}}$  при различных типах антициклонических процессов и условиях погоды

Тип процесса	Чистая погода*	Мгла, дымка, задымление		Туман	Число дней	
		в ночные часы	в течение суток		с типом процесса	зондирований (3 часа)
Октябрь — март						
IA	-0,42	-0,64	-0,56	-0,80	38	14
IIA	—	—	-0,87	—	6	2
IIIA	0,12	-0,57	-0,51	—	17	10
IV A	-0,65	—	-1,02	-1,11	30	12
VA	-0,10	-0,37	-1,03	-1,20	122	67
Апрель — сентябрь						
IA	0,14	-0,37	-0,47	—	68	25
IIA	0,89	-0,70	-0,74	—	13	9
IIIA	0,04	-0,17	-0,75	—	12	5
IV A	-0,18	-0,43	-0,88	—	29	19
VA	0,36	—	—	—	12	1

западных циклонах (II B). Анализ данных вертикального распределения температуры по станции Шагол (в 50 км к северо-западу от Коркино) показал, что туманы в Коркинском карьере наблюдаются при различных значениях вертикального градиента температуры в слое внекарьерной инверсии ( $\gamma_{\text{вн}}$ ). Как видно из табл. 2, туманы в карьере в холодную половину года образуются при  $\gamma_{\text{вн}} \leq -0,80^\circ/100$  м. Значения  $\gamma_{\text{вн}}$ , при которых отмечался туман, имели следующую повторяемость:

$\gamma^\circ/100$ м	Число случаев	$\gamma^\circ/100$ м	Число случаев
от -0,60 до -1,00	10	-1,51 — -2,00	5
-1,01 — -1,50	9	-2,01 — -2,40	1

Среднее значение  $\gamma_{\text{вн}}$  безотносительно к типу процесса равно  $-1,23^\circ/100$  м при среднем квадратическом отклонении  $\pm 0,41^\circ/100$  м. Таким образом,  $\gamma_{\text{вн}} \leq -0,80^\circ/100$  м является верхним устойчивым пределом инверсии, при которой образуется туман в карьере. Наиболее сильные инверсии и соответственно наиболее продолжительные туманы отмечаются в типах IV A и V A. Указанная «критическая» величина  $\gamma_{\text{вн}}$  в слое инверсии является вероятностным показателем образования тумана, обусловленного внекарьерным термическим

фактором. В отдельных случаях при значительной инверсии температуры отмечены дымки, задымление и даже «чистая погода». Повторяемость  $\gamma_{\text{вн}}$  при различных условиях погоды в карьере (табл. 3) указывает на необходимость дифференцированного подхода к характеру формирования инверсии. Наряду с радиационными и адиабатическими процессами в условиях антициклонической погоды

Т а б л и ц а 3

Повторяемость (число дней зондирования)  $\gamma_{\text{вн}}$  и продолжительность (часы) различных условий погоды в карьере

$\gamma_{\text{вн}}$	Туман		Мгла, дымка, задымление		«Чистая погода»	
	повторяемость	продолжительность	повторяемость	продолжительность	повторяемость	продолжительность
Холодный период года (октябрь — март)						
от -2,4 до -2,0	1	12	1	24	—	—
от -1,9 до -1,6	5	78	4	96	—	—
от -1,5 до -1,2	5	66	11	282	1	24
от -1,1 до -0,8	10	163	18	375	6	144
от -0,7 до -0,4	6	68	6	163	7	168
от -0,3 до -0,0	2	33	6	124	5	120
от 0,1 до 0,4	1	12	3	99	5	120
от 0,5 до 0,8	—	—	—	6	2	48
Теплый период года (апрель — сентябрь)						
от -2,0 до -1,6	—	—	1	6	—	—
от -1,5 до -1,2	—	—	6	66	1	24
от -1,1 до -0,8	—	—	12	165	2	48
от -0,7 до -0,4	—	—	17	188	1	24
от -0,3 до 0,0	—	—	12	123	5	120
от 0,1 до 0,4	—	—	10	93	6	144
от 0,5 до 0,8	—	—	—	—	3	72
от 0,9 до 1,2	—	—	1	18	1	24

особое значение в формировании инверсии имеет адвекция температуры в пограничном слое. Анализ приземных и высотных карт погоды в случаях туманов и «чистой погоды» в карьере показал, что можно выделить два типа формирования внекарьерной инверсии.

Первый тип инверсии отмечается, как правило, при увеличении с высотой адвекции тепла в пределах пограничного слоя. У поверхности земли возможна нулевая адвекция и в редких случаях слабая адвекция холода.

Ниже приводится повторяемость распределения знака адвекции температуры по высоте в пограничном слое при наличии тумана в карьере (холодный период года, октябрь — март):

Адвекция температуры:

у поверхности земли	>0	≈0	>0	≈0	<0	<0
на $AT_{850}$	>0	>0	≈0	≈0	≈0	>0
Число случаев (дней)	17	2	4	1	4	2

Подынверсионная масса воздуха в данном типе представляет собой аккумулятор водяного пара, твердых и газообразных примесей. Будучи устойчивой начиная от поверхности земли, она является внешним благоприятным условием образования тумана в карьере.

Внекарьерная инверсия первого типа формируется на западной, северо-западной, реже северной периферии антициклона или гребня, ориентированного с востока.

Второй тип инверсии отмечается при изменении по высоте знака и величины адвекции температуры. В этом случае в тонкой пленке приземного слоя масса воздуха будет оставаться неустойчивой, и застойные зоны в карьере не возникают.

Второй тип внекарьерной инверсии обусловлен усиливающейся адвекцией холода у поверхности земли и нулевой или слабой адвекцией тепла на  $AT_{850}$ . В некоторых случаях этого типа адвекция холода отмечалась во всем пограничном слое. Знак адвекции температуры по высоте в пограничном слое при «чистой погоде» в карьере в холодный период года (октябрь — март) имеет следующее распределение:

Адвекция температуры:

у поверхности земли	<0	<0	<0	>0
на $AT_{850}$	<0	>0	≈0	>0
Число случаев (дней)	6	17	2	1

У поверхности земли отмечаются преимущественно северные ветры в противоположность южным, юго-западным и западным ветрам, сопровождающим образование инверсии первого типа. Поскольку тот и другой типы инверсии могут наблюдаться при любом антициклоническом процессе, то прогноз типа инверсии должен сводиться к расчету адвективных изменений температуры у поверхности земли и на  $AT_{850}$ . В свою очередь прогноз величины инверсии нужно давать на основании прогноза температуры на указанных уровнях.

В комплексе внекарьерных факторов, определяющих условия туманообразования в отрицательных формах рельефа, наряду с внекарьерной инверсией рассматривались локальные и адвективные изменения температуры и влажности у поверхности земли и на

карте АТ<sub>850</sub> и вертикальные движения (адиабатические процессы) в слое земля — изобарическая поверхность 850 мб. Адвекция температуры и влажности ( $T - T_d$ ) рассчитывалась способом обратного переноса и способом конечных разностей. Затем определялось среднее значение.

Графический анализ вариантов зависимости вероятности образования тумана в Коркинском карьере от изменений температуры и влажности у поверхности земли и на АТ<sub>850</sub> показал, что параметрами, в лучшей степени определяющими эту связь, являются:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_a - \left[ \frac{\partial(T - T_d)}{\partial t} \right]_a \\ \beta &= \delta T_{\text{факт}} - \delta(T - T_d)_{\text{факт}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $\left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_a$  — адвективные изменения температуры на уровне АТ<sub>850</sub>, определяемые на 12 час. вперед как способом обратного переноса, так и способом конечных разностей при  $r = 250$  км и стандартном расположении на палетке точек 1—4 по формуле

$$\left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_a = 0,14[(H_2 - H_4)(T_1 - T_3)]. \quad (2)$$

Член  $\left[ \frac{\partial(T - T_d)}{\partial t} \right]_a$  — адвективные изменения дефицита точки росы на АТ<sub>850</sub> при вышеуказанных условиях — рассчитывается по формуле

$$\left[ \frac{\partial(T - T_d)}{\partial t} \right]_a = 0,14(H_2 - H_4)[(T - T_d)_1 - (T - T_d)_3]. \quad (3)$$

Величины  $\delta T_{\text{факт}}$  и  $\delta(T - T_d)_{\text{факт}}$  — фактическое изменение температуры и дефицита точки росы у поверхности земли за 12 час.

Термогигрометрические параметры  $\alpha$  и  $\beta$  характеризуют изменение температуры и влажности в пограничном слое. Знак минус определяет компенсирующий эффект сухого воздуха в процессе повышения температуры как туманообразующего условия при антициклонической погоде.

Анализ графиков (рис. 1), на которые наносились случаи с туманом, дымкой, задымлением и «чистой погодой» с учетом  $\gamma_{\text{усл}}$  (разность между температурой дна и поверхности карьера), позволил выделить области (овалы — III) с максимальной вероятностью  $P_1$  образования тумана. В квадрантах I и II вероятность образования тумана существенно меньше — сюда входит часть случаев за пределами овальной области III. Значения вероятности  $P_1$  образования тумана, дымки, задымления и «чистой погоды» в Коркинском карьере в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$  представлены в табл. 4.

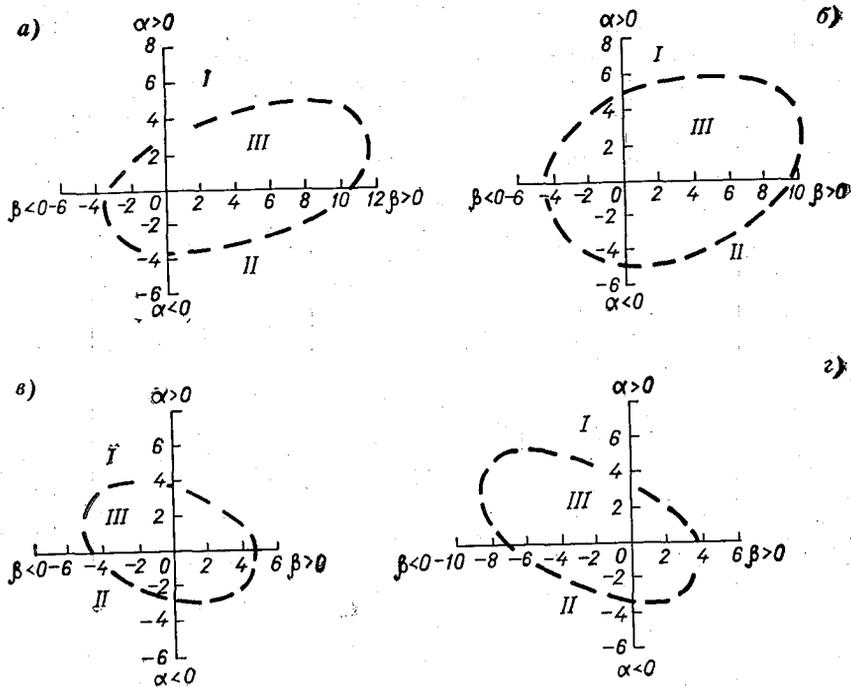


Рис. 1. Образование тумана в карьере при антициклонических условиях погоды в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$ . Холодный период 1966—1968 гг.  
 а — от 3 до 15 час. при  $\gamma_{\text{усл}} > 0$ , б — от 3 до 15 час. при  $\gamma_{\text{усл}} < 0$ , в — от 15 до 3 час. при  $\gamma_{\text{усл}} > 0$ , г — от 15 до 3 час. при  $\gamma_{\text{усл}} < 0$ .

Оценка влияния адиабатических процессов на образование тумана над районом исследования в период 3—15 час. проводилась через вертикальные скорости:  $\bar{w} = \frac{dp}{dt}$  — барический эквивалент вертикальной скорости и  $\nabla^2 p_0$  — лапласиан от приземного давления (при  $r=250$  км), характеризующий вертикальные движения, связанные с конвергенцией и дивергенцией приземного трения.

Наиболее часто туманы образуются при нисходящих движениях  $\bar{w} > 0$  и отрицательных значениях лапласиана ( $\nabla^2 p_0 < 0$ ). В пределах овала III (рис. 2) отмечены все случаи туманов в карьере. В пределах квадранта I и II (до  $-30$ ) вероятность образования тумана меньше (табл. 5). При восходящих движениях, больших  $30 \frac{\text{мб}}{12 \text{ час.}}$  по абсолютной величине, туманы не отмечались.

Большое значение в механизме формирования туманов в карьере имеет вертикальное распределение температуры внутри карьера.

Таблица 4

Значения  $P_1$  в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$ 

Квадраты и овал	От 3 до 15 час.			От 15 до 3 час.			
	туман	дымка, мгла, за- дымление	*чистая погода*	туман	дымка, мгла, за- дымление	*чистая погода*	
Все случаи циклонической и антициклонической погоды							
I	0,13	0,37	0,50	0,06	0,43	0,51	
II	0,11	0,40	0,49	0,11	0,39	0,50	
III	0,14	0,35	0,51	0,10	0,35	0,55	
Антициклоническая погода							
$\gamma_{\text{усл}} < 0$	I	0,63	0,37	0,0	0,50	0,33	0,17
	II	0,47	0,53	0,0	0,75	0,25	0,0
	III	0,63	0,37	0,0	0,50	0,38	0,12
$\gamma_{\text{усл}} > 0$	I	0,06	0,34	0,60	0,05	0,44	0,51
	II	0,05	0,37	0,58	0,06	0,38	0,56
	III	0,05	0,37	0,58	0,08	0,37	0,55

Поскольку отсутствуют систематические вертикальные внутрикарьерные зондирования, то основанием для оценки состояния атмосферы в карьере являются данные о температуре на поверхности и дне карьера (условный вертикальный температурный градиент  $\gamma_{\text{усл}}$ ). Прогноз температуры на поверхности карьера может быть выполнен на основании известных синоптических приемов [12]. Однако с учетом местных особенностей района нами получены

Таблица 5

Значение  $P_2$  в зависимости от  $\tilde{\omega}$  и  $\nabla^2 P_0$ 

Квадраты, и овал	Туман	Дымка, мгла задымление	*Чистая погода*
Все случаи циклонической и антициклонической погоды			
I	0,12	0,38	0,50
II	0,12	0,44	0,44
III	0,12	0,39	0,49
Антициклоническая погода			
I	0,16	0,42	0,42
II	0,15	0,35	0,50
III	0,18	0,39	0,43

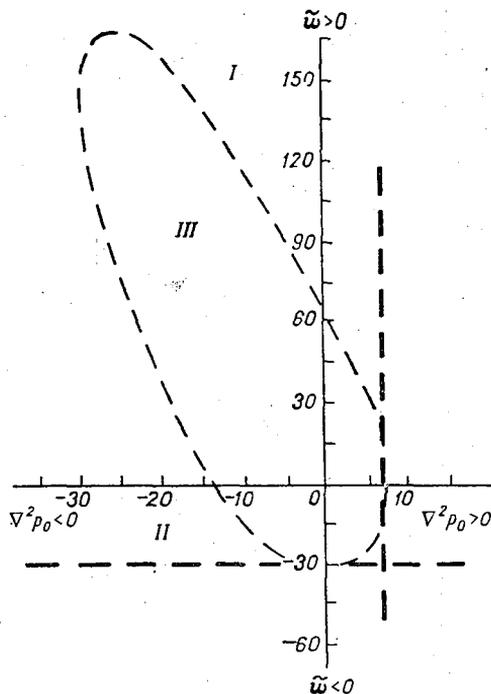


Рис. 2. Образование тумана в карьере при антициклонических условиях погоды в зависимости от  $\tilde{w}$  и  $\nabla^2 p_0$ . Холодный период 1966—1968 гг.

уравнения регрессии (табл. 6), определяющие связь изменения температуры в зависимости от облачности ( $N$ ) и ветра ( $D, V$ ). Прогностическое значение облачности берется в долях единицы и рассчитывается по известной формуле

$$N = 1 - (0,8n_n + 0,6n_c + 0,2n_v) n_{\text{общ}}, \quad (4)$$

где  $n_n, n_c, n_v$  — количество облаков в долях единицы соответственно нижнего, среднего и верхнего ярусов,  $n_{\text{общ}}$  — общее количество облаков ( $n_{\text{общ}} = n_n + n_c + n_v$ ).

Для удобства использования полученные уравнения регрессии могут быть табулированы или представлены на графиках. Уравнения для поверхности карьера имеют высокий коэффициент корреляции, за исключением помеченных звездочкой ( $r < 0,4$ ). Менее достоверны и потому носят ориентировочный характер уравнения для дна карьера. Прогноз температуры для дна карьера, как выяснилось, — задача очень сложная, самостоятельная и требует дополнительных эмпирических и теоретических исследований.

Таблица 6

Зависимость изменений температуры ночью ( $\Delta t_n$ ) и днем ( $\Delta t_d$ ) от величины  $N$  при различных характеристиках ветра

Ветер		$\Delta t_n$ от 18 до 6 час.	$\Delta t_d$ от 6 до 12 час.
$D$	$v$ м/сек.		
На поверхности карьера			
Ю — ЗЮЗ	0—2	-1,2+5,6 $N$	-1,7+11,4 $N$
	3—4	-0,3+4,1 $N$	-0,9+ 9,8 $N$
	5—6	-2,0+5,3 $N$	0,1+ 7,0 $N$
	7—8	0,1+2,3 $N^*$	0,7+ 5,8 $N^*$
З — С	0—2	3,3+0,2 $N$	-1,6+ 9,4 $N$
	3—4	2,0+0,3 $N$	1,2+ 5,4 $N$
	5—6	-1,7+0,1 $N^*$	-1,7+ 5,4 $N$
ССВ—ЮЮВ	0—2	-1,7+4,1 $N$	1,0+ 4,8 $N$
На дне карьера.			
Ю — ЗЮЗ	0—2	-2,6+0,2 $N$	1,4+4,6 $N$
	3—4	—	0,4+7,0 $N$
	5—6	1,9+4,8 $N$	1,9+4,8 $N$
	7—8	—	-3,4+9,6 $N$
З — С	0—2	-2,3+1,0 $N$	1,1+1,8 $N^*$
	3—4	—	0,03+5,2 $N$
	5—6	—	-3,2+8,2 $N$
ССВ—ЮЮВ	0—2	-2,8+1,2 $N^*$	-0,6+7,2 $N$
	3—4	-0,2+2,4 $N$	—

Примечание. Ввиду недостаточного числа случаев наблюдений некоторые градации скорости ветра отсутствуют.

Используя приведенные уравнения, вначале температура прогнозируется на 12-часовой интервал ( $\Delta t_n$  — от 18 до 6 час.), затем — на 6-часовой ( $\Delta t_d$  от 6 до 12 час.). Выбор этих сроков обусловлен временем начала формирования внутрикарьерной инверсии и максимумом повторяемости возникновения тумана в карьере в 9—11 час.

В итоге, температура воздуха на поверхности на 6 и 12 час. прогнозируется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} t_6 &= t_{18} + \Delta t_n \\ t_{12} &= t_6 + \Delta t_d \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Аналогично прогнозируется температура воздуха для дна карьера.

Большую опасность представляет образование тумана, смога и плотных дымок в ночные часы, когда реакция человека на изменения внешней среды понижена, а газонакопление в процессе усиления внутрикарьерной инверсии может достигнуть опасной концентрации. Интересно было выяснить возможность экстраполяции вечерних (18—23 часа) условий погоды в карьере на ночь как первое прогностическое приближение (инерционный прогноз). Оценка признака «есть вечером — будет ночью» проводилась по ряду критериев успешности:  $u$  — общая оправдываемость,  $H$  — критерий надежности Н. А. Багрова [1, 2],  $Q$  — критерий точности А. М. Обухова [10],  $I$  — количество прогностической информации и  $v$  — информационное отношение  $H$  (Ф) и  $H$  (П) — соответственно безусловная и условная энтропия. Приведем значения критериев успешности инерционного прогноза:

$u\%$	$H$	$Q$	$H$ (Ф) дед	$H$ (П) дед	$I$	$v$
82.4	0,59	0,55	0,287	0,200	0,087	0,303

Несмотря на высокие критерии успешности такого рода, прогноз применим только на ближайшие 3—4 часа, так как он не содержит информации об изменениях погоды в карьере.

Более целесообразно испытать уже разработанные методы прогноза туманов применительно к карьере. Была проведена оценка успешности прогноза тумана по методам А. С. Зверева [6, 7] и М. Е. Берлянда [3] на материале метеорологических наблюдений внутри карьера за сентябрь 1966 г. — декабрь 1968 г. Оба метода широко применяются в практике и являются физически достаточно обоснованными, хотя подход к определению минимальной температуры и температуры туманообразования несколько различен.

Прогноз тумана по методу Берлянда рекомендуется рассчитывать при отсутствии снежного покрова. Однако, учитывая, что внутри карьера отсутствует сплошной снежный покров и снег покрыт угольной пылью, можно принять альбедо такой поверхности близкое к альбедо серого тела.

Параллельно по двум методам проведены расчеты тумана для антициклонических условий зимних периодов. Оценка успешности альтернативных прогнозов выполнялась на основании расчета вышеуказанных критериев успешности. Всего испытано 155 случаев прогноза тумана.

Как видно из табл. 7, метод Зверева имеет большую успешность, чем метод Берлянда, а следовательно, его применение для прогноза тумана в Коркинском карьере вполне целесообразно. Метод

## Значения критериев успешности прогноза тумана в Коркинском карьере

Категории успешности	По методу А. С. Зверева	По методу М. Е. Берлянда	Критерии успешности	По методу А. С. Зверева	По методу М. Е. Берлянда
$u\%$	70,4	41,9	$H$ (П) дед	0,209	0,249
$H$	0,52	0,25	$I$	0,044	0,004
$Q$	0,43	0,14	$v$	0,172	0,016
$H$ (Ф) дед	0,253	0,253			

Зверева снимает 17,2% неопределенности климатологического прогноза, в то время как метод Берлянда — лишь 1,6%. В последующем исследовании с увеличением числа случаев с туманами необходимо определить поправочные коэффициенты к минимальной температуре и температуре туманообразования.

В итоге прогноз тумана в Коркинском карьере выполняется в два этапа. На первом этапе расчеты осуществляются по следующей схеме:

1. На основании прогноза синоптических условий определяется тип синоптического процесса и по синоптическим материалам за 15 час. прогнозируется температура у поверхности земли и на  $AT_{850}$  на ночные и утренние сроки (3—6 час.).

2. Прогнозируется адвекция температуры у поверхности земли с целью выявления типа внекарьерной инверсии.

3. Прогнозируется  $\gamma_{вн}$  в слое до  $AT_{850}$  на ночные и утренние сроки (3—6 час.).

4. На основании прогноза температуры на дне и поверхности карьера (по приведенным уравнениям регрессии) с учетом предшествующего хода  $t_{дно}$  определяется  $\gamma_{усл.}$  Дополнительно учитываются полученные прогностические признаки. Схема прогноза приведена на рис. 3.

На втором этапе выполняются следующие расчеты:

1. Составляется прогноз по методу Зверева.

2. Прогнозируются на ночные и утренние часы термогигрометрические характеристики  $\alpha$  и  $\beta$ , а также  $\tilde{\omega}$  и  $\nabla^2 p_0$ . При  $\gamma_{усл.} < 0$  или  $\gamma_{усл.} > 0$  определяется вероятность возникновения тумана в соответствующих участках (рис. 1, 2 и табл. 6, 7). Значения  $\tilde{\omega}$  и  $\nabla^2 p_0$  как прогностические могут быть получены по материалам факсимильных передач из ГМЦ.

3. Суммарная вероятность по  $\alpha$  и  $\beta$ , с одной стороны, и  $\tilde{\omega}$  и  $\nabla^2 p_0$  — с другой, дает итоговую вероятность возникновения тумана в карьере. Следует учитывать, что чем больше нисходящие движения ( $\tilde{\omega} > 0$ ) и отрицательный лапласиан, тем более вероятен туман.

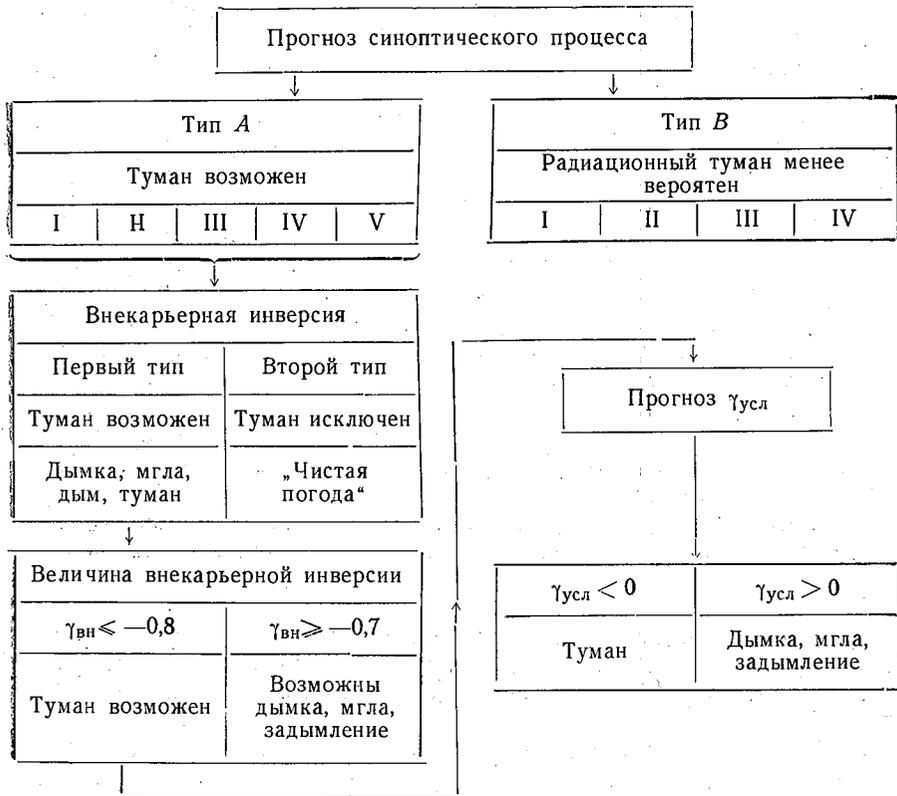


Рис. 3. Схема прогноза тумана. Этап 1

Таблица 8

**Прогноз тумана на втором этапе**

Прогноз тумана по суммарной вероятности $P_T = P_1(\alpha, \beta) + P_2(\bar{\omega}, \nabla^2 p_0)$	Прогноз по А. С. Звереву	
	Туман ожидается	Туман не ожидается
Туман ожидается, если $P_T \geq 0,6$	(+)	(-) (по А. С. Звереву)
Туман не ожидается, если $P_T < 0,4$	(-) (по данным $P_T$ )	(-)

4. На основании табл. 8 (схемы) дается окончательное заключение.

Ба. Если по методу Зверева ожидается туман, а  $P_T \geq 0,6$ , то следует прогнозировать туман.

б. Если по методу Зверева туман не ожидается, а  $P_T \leq 0,4$ , то туман не прогнозируется.

в. Если по методу Зверева туман не ожидается, а  $P_T \geq 0,6$ , то предпочтение отдается методу Зверева, так как оправдываемость отсутствия тумана по этому методу составляет 88%.

г. Если по методу Зверева ожидается туман, а  $P_T \leq 0,4$ , то предпочтение отдается значению суммарной вероятности.

Следовательно, если расчеты по двум этапам одновременно указывают на туман или на отсутствие тумана, то вероятность успешности прогноза существенно увеличивается. В случае разного прогноза по двум этапам — предпочтение следует отдавать второму этапу при учете типа внекарьерной инверсии.

Важно спрогнозировать не только наличие тумана, но и его отсутствие. Прогноз длительной хорошей погоды в карьере может быть успешно использован в краткосрочном планировании производственных работ.

Заблаговременное предупреждение о возникновении тумана в карьере может быть экономически выгодно использовано в следующих целях.

В производственном плане:

1. Своевременная передислокация части техники (или производственных работ в условия менее подверженные явлению).

2. Установка части техники на ремонтно-профилактические мероприятия.

3. Заблаговременный вывод людей из карьера при наличии еще не опасных концентраций вредных газов. Не менее опасны при этом и силикозные отравления.

4. Возможные регулирование процессов выработки в целях сокращения внутренних источников примесей, ведущих к быстрому формированию тумана.

При подготовке искусственной очистки карьера:

1. Заблаговременная подготовка и установка (или доставка) техники — наземных средств, авиации и т. п.

2. Выбор реагента и способа воздействия в зависимости от интенсивности и вида прогнозируемой инверсии и тумана.

Дальнейшее развитие угольной, железнорудной промышленности и цветной металлургии потребует роста учета метеорологической информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н. А. Метод оценки прогнозов. Метеорология и гидрология, № 4, 1955.

2. Багров Н. А. Об экономической полезности прогнозов. Метеорология и гидрология, № 2, 1966.

3. Берлянд М. Е. Об условия образования туманов. Труды ГГО, вып. 94, 1960.
4. Бугаев В. А. и др. Синоптические процессы Средней Азии. Изд. АН УзбССР, Ташкент, 1957.
5. Виллет Г. Туман и мгла. Их причины, распределение и предсказание. Изд. Центр. бюро погоды СССР, М., 1932.
6. Зверев А. С. Туманы и их предсказание. Гидрометеиздат, Л., 1954.
7. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Гидрометеиздат. Л., 1968.
8. Лайхтман Д. Л. и Чудновский А. Ф. Физика приземного слоя атмосферы. Изд. техн.-теор. литературы, М.—Л., 1949.
9. Мельников Н. В. (ред.) Сб. «Развитие открытых горных работ в СССР». Изд. «Наука», 1968.
10. Обухов А. М. К вопросу об оценке успешности альтернативных прогнозов. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 4, 1955.
11. Петерсен С. Анализ и прогноз погоды. Гидрометеиздат, Л., 1961.
12. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть II. Гидрометеиздат, Л., 1965.
13. Хромов С. П. Основы синоптической метеорологии. Гидрометеиздат, Л., 1948.

## ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В КАРЬЕРАХ

Санитарно-гигиенический контроль за составом воздуха в карьерах, как и контроль вообще, является первым шагом, направленным на осуществление комплекса мероприятий, необходимых для управления условиями труда и регулирования их.

Практика последних лет и накопленный опыт позволили достаточно полно характеризовать состав воздуха в карьерах и прежде всего на рабочих местах. Как следствие этого узаконен ряд положений по вентиляционному контролю, отраженных в соответствующих параграфах правил безопасности [1].

Кроме того, массовый контроль за качественным и количественным составом воздуха в карьерах позволил определить удельный вес и значимость источников загрязнения атмосферы и, что важно, разработать целый ряд конструктивных, технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение загазованности и запыленности воздуха.

В этом плане задачи, сформулированные акад. А. А. Скочинским на первом всесоюзном совещании по условиям труда на открытых горных работах, состоявшемся в 1956 г., в основном были выполнены в течение истекшего десятилетия.

Установлены источники, уровни и характер загрязнения атмосферы на рабочих местах, принципиально определены методы контроля и нормализации загрязнения. При этом нельзя не упомянуть весьма оригинальное исследование методического плана, выполненное В. С. Никитиным [2], по оценке интенсивности подвижных источников загрязнения атмосферы в карьерах.

Вместе с тем, несмотря на достигнутые успехи в рассматриваемой области, наблюдается крайне недостаточное внимание к работам методического характера, позволяющим не только получить частные выводы о различных условиях и отличительных признаках открытых горных работ, но и возможность обосновать общие закономерности и положения, типичные для них вообще.

Воздухообмен в карьерах определяется одновременным воздействием как термических, так и динамических сил. При этом роль

и удельный вес каждого из определяющих элементов неодинаковы и зависят от многих факторов. Основными из них являются метеорологические условия и величина отдельных элементов, их слагающих.

Рассматривая исследования, выполненные за последнее десятилетие, можно отметить комплекс работ В. С. Никитина, обобщенных в докторской диссертации, детально анализирующей роль ветрового фактора в аэрации карьеров.

Отдавая должное упомянутым выше исследованиям, необходимо отметить, что по известным к настоящему времени сведениям, нарушения воздухообмена в карьерах в своем большинстве обусловлены не только динамикой воздушных потоков, но и температурной характеристикой атмосферы как в карьерном пространстве, так и за его пределами.

Удельный вес и значимость такого рода нарушений воздухообмена, формирующих общие скопления примесей до опасных концентраций, все более возрастает и в ряде случаев ведет к необратимым экономическим потерям.

Таким образом, в целях улучшения условий труда, повышения экономических показателей работы предприятий вентиляционный контроль в карьерах должен иметь прежде всего единые методы.

При этом в основу может быть положено следующее:

Следует различать контроль за составом воздуха на рабочих местах и за интенсивностью естественного воздухообмена в карьерном пространстве.

В первом случае достаточен периодический отбор проб на рабочих местах на содержание возможных примесей с регистрацией направления и скорости ветра, а также контроль микроклиматических параметров в кабинах оборудования. Постановка такого контроля позволит достаточно полно судить об уровнях загрязнения атмосферы, источниках выделения примесей, эффективности проводимых профилактических мероприятий, а также о необходимых совершенствованиях технологического процесса и дополнительных разработках по локализации источников.

Контроль за интенсивностью проветривания имеет целью, с одной стороны, прогноз возможных опасных явлений в атмосфере карьера, с другой — решение вопросов конструктивного и организационного плана, направленных на предупреждение и ликвидацию нарушений воздухообмена. Прогнозирование возможных накоплений примесей в атмосфере карьера может быть осуществлено уже на стадии проектирования на основе следующих исходных данных:

- а) суммарной интенсивности источников выделения примесей;
- б) основных размерах карьера на различных этапах разработки и порядке ведения горных работ;
- в) характеристике метеорологических элементов для района предприятия.

На основании указанных выше данных представляется возможным оценить:

1) закономерности трансформации поверхностного воздушного потока в карьере с выявлением наиболее труднопроветриваемых ветром зон и участков. Такая проверка может быть осуществлена на модели для любой стадии разработки месторождения. На рис. 1 показано изменение поверхностного воздушного потока в карьерном пространстве, полученное для Гайского карьера на основании опытов на моделях;

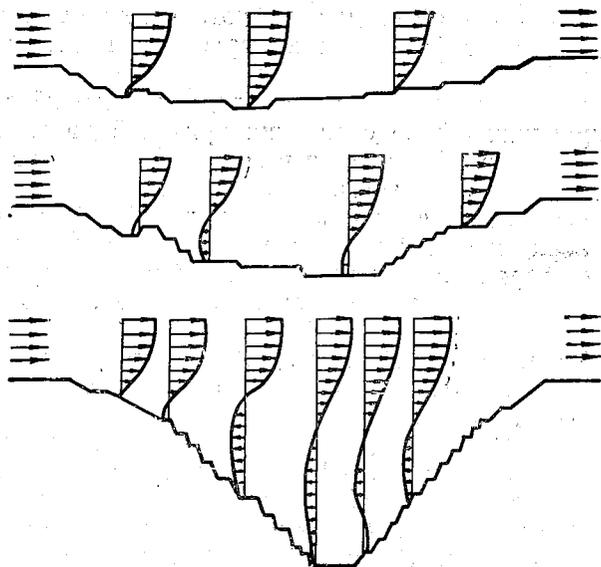


Рис. 1. Изменение поверхностного воздушного потока в пределах карьерного пространства.

2) в соответствии с закономерностями развития поверхностных воздушных потоков рассчитывается количественная характеристика воздухообмена для условий устойчивой стратификации атмосферы по известному методу, предложенному В. С. Никитиным [3], или по методу, излагаемому в работе [5].

Рекомендуемый выше подход позволяет в целом определить возможность появления опасных явлений в атмосфере карьера на любой стадии его разработки.

Однако вторая часть задачи, направленная на предупреждение и ликвидацию нарушений воздухообмена, требует систематического контроля за постоянно меняющимися значениями метеорологиче-

ских параметров, совокупность которых и определяет возникновение условий, приводящих к накоплению примесей в атмосфере карьеров.

Из рассмотренного следует, что первым элементом, подлежащим контролю, является скорость и направление ветра.

Учет направления ветра необходим из-за возможной различной геометрии поверхностного воздушного потока, вследствие чего возможны и разные степень и условия его развития.

В качестве средств измерения скорости и направления ветра могут быть рекомендованы показывающие приборы (типа метеостанций М-49) или регистрирующие (М-12, М-64), а также ручные анемометры типа М-13.

Для измерения ветровых характеристик должна выбираться метеорологическая площадка вблизи карьера с характерным для окружающей местности рельефом, по возможности отвечающая требованиям соответствующих инструкций [4]. Высота расположения приемников ветрового потока выбирается с учетом особенностей рельефа и может составлять 6, 8, 10 или 12 м. Измерения скорости ветра ручным анемометром производятся на высоте 2 м.

Выбирая наблюдательную площадку, необходимо помнить, что она предназначается для определения скорости ветра, характерной прежде всего для проветривания района карьера ветровыми потоками. Это должно определять место площадки и в окружающем рельефе, которое иногда выбирается не в полном соответствии с требованиями наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Так, при равномерном кольцевом расположении отвалов вокруг карьера на небольшом удалении от него наиболее типичные значения скорости будут на верхней кромке отвалов, что и позволяет разместить метеоплощадку в рассматриваемом месте.

Впоследствии данные измерений на наблюдательной площадке могут быть привязаны к результатам, получаемым с ближайшей метеостанции.

Наряду с измерением ветровых характеристик за пределами карьера целесообразно периодически измерять скорости ветра непосредственно в карьерном пространстве и главным образом на рабочих участках, увязывая их с местами отбора проб воздуха.

Термическое воздействие на воздухообмен в карьерах характеризуется развитием восходящих воздушных потоков в результате возникновения температурных неоднородностей. Наличие в пределах карьера участков с различной температурой почвы определяет разную по величине и знаку теплопередачу между почвой и воздухом и, как следствие этого, накопление или убывание тепловой энергии в воздухе, заполняющем карьерное пространство. Кроме того, на температурный режим в карьере постоянно воздействует (неоднозначно) и тепловая энергия приземных слоев воздуха на поверхности.

Результирующая термического проветривания может быть оценена по данным измерения температуры воздуха на поверхности

и в карьере. Сопоставляя между собой значения измеренных температур, представляется возможным по величине и знаку их разности приближенно судить о степени устойчивости атмосферы.

Неразрывная связь нарушения воздухообмена с устойчивыми или близкими к ним состояниями позволяет прогнозировать по данным температурных измерений с учетом характеристик ветра на тот или иной период вероятность накопления примесей в приземном слое атмосферы карьера.

Таким образом, для оценки термического проветривания карьерного пространства необходима постановка измерений температуры воздуха в карьере и на поверхности. Измерение температуры воздуха целесообразно вести на стандартной высоте (2 м) с использованием достаточно точных средств измерений.

В качестве измерительных приборов могут быть рекомендованы психрометрические термометры или термометры, аналогичные им.

Безусловно, предлагаемые техника и методика оценки термического состояния атмосферы имеют весьма ограниченную достоверность и не могут быть в ряде случаев распространены на все карьерное пространство. Однако даже такая приближенная характеристика иногда позволяет прогнозировать опасные метеорологические явления с позиций возможного нарушения воздухообмена.

Недостатком рекомендуемой методики измерений является и то, что результаты позволяют судить о температурах только на границах системы карьер — поверхность, не вскрывая закономерностей изменения температурного градиента внутри рассматриваемого слоя.

В частности, указанная методика не будет отражать состояния атмосферы в случае приподнятых инверсий и поэтому в дальнейшем должны совершенствоваться и создаваться методы и средства дистанционных измерений, позволяющие давать интегральную оценку энергетического состояния всей системы.

Зависимость состояния атмосферы в карьерах от характеристики приземных слоев воздуха в окружающем районе определяет необходимость учета при контроле и общих условий погоды. Знание синоптической обстановки в районе карьера и регистрация случаев нарушения воздухообмена позволяет по мере накопления статистических материалов достаточно достоверно и заблаговременно прогнозировать возможные накопления примесей в воздухе, а следовательно, и сделать первый шаг к активному вмешательству в регулирование состава воздуха в карьерах.

Настоящая статья не претендует на полное изложение вопросов систематизации методов контроля, а затрагивает их только в порядке постановки.

Природа процессов обмена воздуха в карьерах и их существенное влияние на работу предприятия определяют необходимость создания единых методов контроля, позволяющих сделать необходимые обобщения и выводы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации для предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом. Госгортехиздат, М., 1963.
2. Никитин В. С. Определение интенсивности выделения пыли автосамосвалами в карьерах. Науч. сообщ. ин-та горн. дела им. А. А. Скочинского, 1968, 39.
3. Никитин В. С. Аэрация карьеров и прогнозирование состава их атмосферы. Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, М., 1969.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеиздат, Л., 1958.
5. Битколов Н. З., Иванов И. И. Основные закономерности и расчет естественного проветривания карьеров энергией ветра. См. наст. сборник.

*И. З. БИТКОЛОВ, Е. М. ЕГОРОВ, И. И. ИВАНОВ, Н. С. ТЮНЯКИНА*

## **ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В КАРЬЕРАХ**

Воздушный поток, движущийся по земной поверхности, в пределах карьерного пространства трансформируется по закономерностям, присущим плоской свободной струе [1].

При этом выраженность и полнота развития струи могут быть различны и определяются главным образом профилем карьера в направлении движения ветра, а также макро- и микрошероховатостью подстилающей поверхности [2, 3]. Под макрошероховатостью понимаются размеры характерных элементов, слагающих профиль карьера, каковыми являются размеры берм, высота и углы откоса уступов, под микрошероховатостью — неровности, которые имеют место в пределах слагающих карьер элементов, как-то: неровности поверхностей уступов, берм, а также наличие на последних навалов породы различной высоты и сосредоточенности, от больших скопелений до отдельных валунов и даже кусков.

Наиболее характерное изменение ветрового потока в пределах карьерного пространства представлено графически на рис. 1.

Из литературы [2, 3, 4] известно, что поверхностный воздушный поток развивается в карьере в основном по прямооточной, рециркуляционной и рециркуляционно-прямоточной схемам.

При определенных условиях развития горных работ возможно также формирование прямоточно-рециркуляционной схемы.

В метеорологии для условий земной поверхности известны [5, 6, 7] два основных профиля ветра: степенной и логарифмический.

Как показывает анализ и обобщение большого экспериментального материала, в приземном слое атмосферы средняя скорость воздушных потоков возрастает с высотой. В случае сравнительно ровной подстилающей поверхности и при состоянии атмосферы, близком к безразличному равновесию, эмпирические данные по

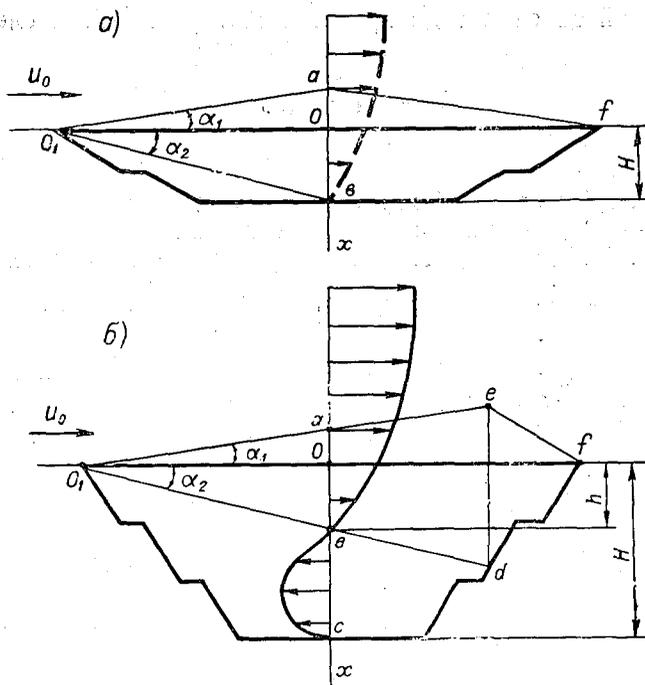


Рис. 1. Изменение ветрового потока в пределах карьерного пространства.

$a$  — мелкие карьеры,  $b$  — глубокие карьеры.

распределению скорости ветра с высотой достаточно хорошо описываются логарифмическим законом

$$u_z = u_1 \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}}, \quad (1)$$

где  $u_z$  — определяемая скорость ветрового потока на высоте  $z$  от земной поверхности,  $u_1$  — скорость потока, измеряемая на высоте  $z_1$ ,  $z_0$  — параметр шероховатости.

При устойчивых или неустойчивых состояниях атмосферы вертикальное распределение скорости ветровых потоков может быть представлено степенным законом [6].

$$u_z = u_1 \frac{z^\epsilon - z_0^\epsilon}{z_1^\epsilon - z_0^\epsilon}, \quad (2)$$

где  $\epsilon$  — параметр устойчивости атмосферы.

Степенной закон иногда представляют [5] также в следующем виде:

$$u_z = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^m, \quad (3)$$

где

$m = 0,3 \div 0,5$  для устойчивого состояния,  
 $m = 0,2 \div 0,3$  для равновесного состояния,  
 $m = 0,1 \div 0,2$  для неустойчивого состояния атмосферы.

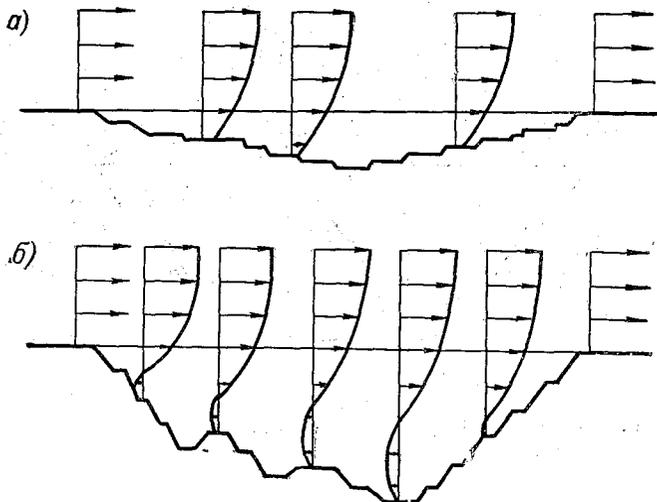


Рис. 2. Профили ветрового потока.  
 а — прямоочная схема, б — рециркуляционная схема.

Анализ показал, что турбулентные течения в лабораторных установках тождественны с турбулентным режимом потоков в случае безразличного равновесия, т. е. профиль ветра должен быть логарифмическим.

Для рассматриваемых условий в пределах карьерного пространства (рис. 2а) уравнение (1) принимает вид

$$u_x = \varphi u_0 \frac{\ln(H-x) - \ln z_0}{\ln H - \ln z_0}, \quad (4)$$

где  $u_x$  — определяемая скорость ветрового потока в карьерном пространстве на глубине  $x$  от поверхности карьера,  $u_0$  — скорость ветра на поверхности карьера,  $H$  — глубина карьера,  $\varphi$  — поправочный коэффициент, учитывающий изменение скорости ветрового потока  $u_0$  в пределах карьерного пространства. Как показано в работе [4], для расчетов можно принять  $\varphi = 0,60 \div 0,67$ .

Для прямоточной схемы движения воздуха в целом или отдельных участков (рис. 2а) характерно постоянное убывание скорости сверху вниз по зависимостям, которые описывают степенным законом

$$u_x = \varphi u_0 \left( \frac{H-x}{H} \right)^m. \quad (5)$$

Показатель степени  $m$  изменяется при этом от 0,3 до 0,6 и определяется устойчивостью атмосферы, степенью развития струи и местоположением рассматриваемого профиля в карьерном пространстве.

Выражение (2) для рассматриваемых условий можно записать

$$u_x = \varphi u_0 \frac{(H-x)^e - z_0^e}{H^e - z_0^e}. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что если на высоте  $z_1 = 1$  м от дна карьера производится измерение скорости  $u_1$ , то профили ветровых потоков для прямоточной схемы могут быть определены в зависимости от степени устойчивости атмосферы по приведенным формулам (1), (2), (3). Однако на действующем карьере это далеко не всегда осуществимо, поэтому вполне приемлемыми при расчетах являются выражения (4), (5), (6), которые дают вертикальное распределение ветровых потоков карьерного пространства при измерении скорости поверхностного ветра, что осуществляется значительно легче и проще.

Таким образом, профиль ветра в пределах карьерного пространства определяется условиями и характером развития поверхностного воздушного потока, а также шероховатостью подстилающей поверхности. В особой мере указанные выше факторы проявляются для карьеров, имеющих углы откоса, близкие к углу раскрытия свободной струи.

Если считать, что полученные нами профили (рис. 1) характеризуются изотермическими условиями, то правомерно предположить, что значения  $m$  будут составлять около 0,3.

По мере углубления карьера развивается движение воздуха по рециркуляционной схеме, при которой характер изменения скорости ветра с глубиной не является однозначным; а профиль выглядит сложным.

В пределах прямых воздушных потоков наблюдается степенной закон изменения скорости с показателем степени  $m = 0,3 \div 0,6$ .

Зона обратных потоков характеризуется параболическим законом изменения скорости и для условий, рассмотренных выше (рис. 1б). Распределение скорости ветра по высоте может быть выражено уравнением

$$u_x = A(x-h)^2 + B(x-h) + C, \quad (7)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — коэффициенты, характеризующие рассматриваемый

профиль,  $h$  — глубина границы рециркуляционной зоны для рассматриваемого сечения карьера (рис. 1 б).

Таковы основные закономерности изменения скоростей ветра в карьерах при условии изотермического состояния атмосферы, когда воздухообмен осуществляется только за счет энергии ветровых потоков.

Определенное влияние на структуру скорости ветра в карьере будет оказывать и ее профиль на поверхности, формирующийся под действием внешних относительно карьерного пространства условий. В реальных условиях на характер изменения скорости ветра в карьерах оказывают влияние не только рассмотренные выше условия, но и местные потоки, являющиеся следствием самого карьерного пространства и присущих ему микроклиматических особенностей.

Резкому обострению микроклиматических особенностей в карьерах способствует ослабленный турбулентный обмен. Наибольший обмен будет иметь место в дневные часы при неустойчивой стратификации.

С учетом вертикального градиента температуры скорость движения конвективного потока в карьере определяется формулой [3]:

$$u = 0,55k \sqrt{\frac{t_n - t_b}{t_b + 0,01 \Delta t H} (H - x) g \sin \beta}, \quad (8)$$

где  $H$  — глубина карьера,  $x$  — глубина расположения точки (от поверхности), в которой определяется скорость воздуха,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\beta$  — угол откоса карьера,  $t_n$  — температура поверхности откоса борта карьера на глубине  $x$ ,  $t_b$  — температура воздуха на поверхности земли,  $\Delta t$  — фактический градиент температуры,  $k$  — коэффициент, учитывающий изменение скорости из-за влияния уступов.

Ночное ослабление ветра, особенно при инверсии, связано с действием термической стратификации на обмен. Но в карьерах имеет место и местная циркуляция, вызванная термической неоднородностью слагающих карьер поверхностей.

Но материалам наших экспериментальных исследований в производственных условиях установлено, что скорость местных потоков в карьерах глубиной 100—150 м достигает в дневное время суток 2,0—2,5 м/сек.

Исходя из общих закономерностей распределения солнечной энергии в пределах карьерного пространства можно определить основные направления местных потоков:

- а) утром, при преимущественном освещении западного борта — потоки восточного направления;
- б) днем, когда наибольший приток тепла отмечается к северному борту — потоки южного и смежного с ним направлений;
- в) вечером, при освещении восточного борта — потоки западного направления;

г) ночью, при интенсивном радиационном выхолаживании припочвенного слоя воздуха — стоковые потоки холодного воздуха, стекающего вдоль бортов и скапливающегося на дне карьера. Скорости стоковых потоков обычно невелики, они достигают 1—2 м/сек. и зависят от площади воздухообора.

Кроме этих основных типов потоков, направление и время существования которых можно довольно точно предопределять на большинстве карьеров, действуют еще потоки переменного характера, вызванные действием термического фактора и его особенностями в каждом конкретном карьере. Перечисленные типы потоков оказывают влияние на характер ветрового потока в карьере. При анализе результатов измерений направлений воздушных потоков можно отметить, что ветер в карьерах в течение дня нередко меняется по часовой стрелке от восточного утром до западного к вечеру. Это показано на примере распределения повторяемости направлений ветра по срокам на карьере одного из предприятий (табл. 1).

Таблица 1  
Повторяемость ветров различных направлений  
в октябре

Час	С	СВ	В	ЮЗ	Ю	ЮВ	З	СЗ
1	10	17	13	30	10	7	7	7
7	0	13	10	33	27	0	10	7
13	20	16	10	13	26	13	0	3
19	3	3	17	17	10	7	10	33

Таким образом, основными факторами, определяющими характеристики ветрового потока в карьере, являются деформация поверхностного ветрового потока вследствие особенностей геометрии карьерного пространства и местные потоки термического происхождения. Действуя совместно, указанные условия формируют результирующий поток определенной скорости, направления и мощности.

Непосредственное измерение скорости ветра в карьерах позволяет получить ее интегральную характеристику, которая определяется комплексом всех действующих факторов. Наглядным подтверждением этому может служить представленный на рис. 3 характер изменения скорости ветра в течение года. Для сравнения на рис. 3 показаны не только абсолютные значения скорости ветра в карьере  $u_k$  и на поверхности  $u_n$ , но и их относительные величины

$$\Delta u = \frac{u_k}{u_n}$$

Из рис. 3 видно, что изменения скорости ветра в карьере хорошо согласуются с ее величиной на поверхности, а относительные средние месячные значения остаются практически постоянными в течение года, лишь несколько повышаясь в летние и осенние месяцы. Последнее можно объяснить интенсивным развитием местных потоков в указанный период года.

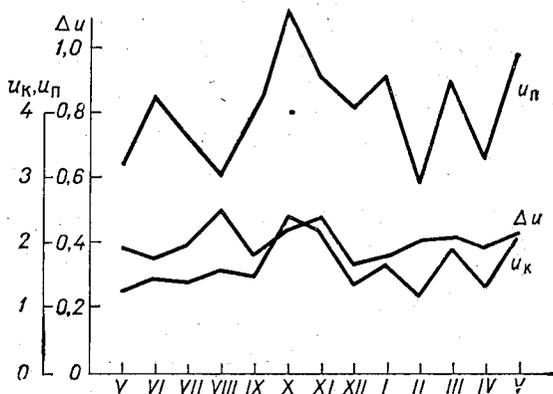


Рис. 3. Изменение относительной скорости ветра и скоростей ветра в карьере и на его поверхности в течение года (по средним месячным данным).

Вместе с тем данные, приведенные на рис. 3, показывая общий характер изменения средней месячной скорости ветра в течение года, не раскрывают закономерностей ее изменения в отдельные отрезки времени.

Располагая данными об изменении скорости ветра в течение суток за отдельные месяцы, представляется возможным судить о роли факторов, определяющих естественное проветривание, в разные периоды года. Так, большая амплитуда изменения относительных скоростей ветра в карьере в летние месяцы говорит о существенном влиянии на ее значение местных воздушных потоков, сформированных за счет температурной неоднородности.

На рис. 4 представлена типичная картина изменения скорости ветра в течение суток, полученная по средним данным для летнего и осенне-зимнего периодов. Данные, приведенные на рис. 4, показывают, что в летние месяцы наблюдается достаточно хорошо выраженный суточный ход относительной скорости ветра в карьерах с максимумом в дневное время и минимумом ночью. Сопоставляя изменение скорости ветра в карьере летом по сравнению с зимой, видим, что в последнем случае скорость в течение суток практически не изменяется. Вместе с тем месячные характеристики ветровых потоков пригодны для качественного суждения об изменении

условий воздухообмена в разные периоды года и о значимости факторов, его определяющих, и не позволяют дать количественные оценки на тот или иной конкретный момент времени.

В качестве интервала, в пределах которого наиболее полно прослеживается динамика изменения скорости ветра, следует, исходя из периодичности изменения метеорологических элементов,

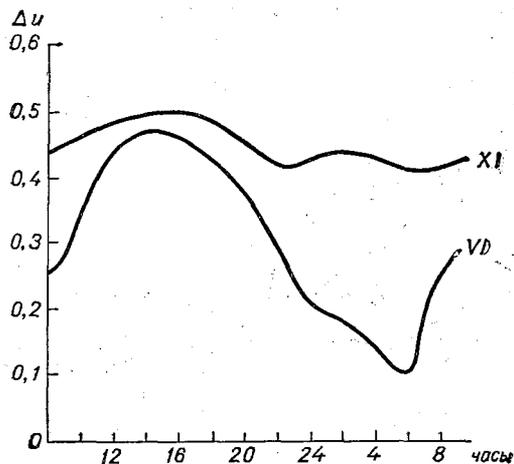


Рис. 4. Изменение относительной скорости ветра в течение суток (по средним часовым данным).

принять сутки. Различия в изменении скорости ветра в карьере в разные времена года объясняется действием местных потоков. Не случайно наибольшие значения  $\frac{u_k}{u_n}$  наблюдаются именно в дневные часы суток, когда приход солнечной энергии максимален.

Зимой наличие снежного покрова, небольшая высота солнца, низкая температура воздуха и малая продолжительность светового дня при более частой по сравнению с летом повторяемостью пасмурных дней существенно снижают интенсивность развития местных потоков, ставя тем самым скорость ветра в карьерах главным образом в зависимости от энергии поверхностного ветра.

Безусловно, такая зависимость будет наиболее полно проявляться в карьерах, расположенных в средней полосе СССР. Разное географическое положение, обуславливая вполне конкретную метеорологическую ситуацию района, может существенным образом перераспределить соотношение между энергией поверхностного ветра и местными потоками, изменив и их результирующую.

Так, для карьеров Кольского полуострова (Каула, Апатит, Оленегорск), севера и северо-востока СССР (Медвежий ручей, Трубка

Мира и др.) правомерно ожидать, что большую часть года скорость ветра в карьерах зависит от скорости воздушных потоков на поверхности.

Другое положение в карьерах Средней Азии и юга Казахстана (Кургашинкан, Гаурдак, Мурунтау, Каратау и др.). Вследствие отсутствия снежного покрова или кратковременности местные потоки в указанных условиях будут проявляться и в зимние месяцы, внося определенные коррективы в результирующую скорость ветра в карьерном пространстве. Характер изменения скорости ветра в карьере будет находиться в зависимости от величины поверхностного ветра как в разные периоды года, так и в течение суток.

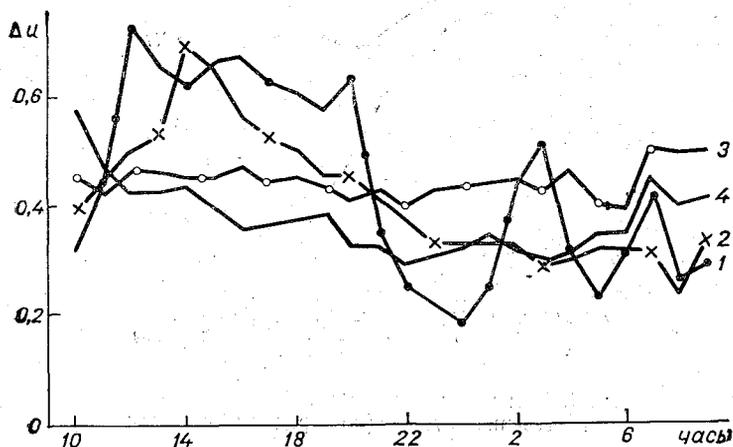


Рис. 5. Зависимость относительной скорости от поверхностного ветра.

1 — 1—2 м/сек., 2 — 3—4 м/сек., 3 — 5—6 м/сек., 4 — 8—9 м/сек.

Для целого ряда районов Советского Союза типично сезонное изменение скорости ветра с наличием длительных безветренных периодов. Одним из таких районов является Южный Урал (Башкирская АССР и Челябинская область), где расположена большая группа рудных карьеров (Гайский, Сибайский, Блявинский, Учалинский, Бурибайский и др.).

Естественно, что при безветренной погоде местные потоки приобретают решающее значение в формировании скорости ветра в карьерах и естественного воздухообмена в них. Увеличение скорости ветра сопровождается интенсификацией турбулентного обмена в приземном слое воздуха и усилением процессов теплообмена между поверхностью и воздухом, как следствие этого происходит выравнивание температурного поля и уменьшение развития местных потоков.

Показанный на рис. 5 характер изменения относительной скорости ветра в карьере в зависимости от ее значения на поверхности

позволяет судить о диапазоне скоростей ветров, в котором проявляется влияние местных потоков. Практически при скоростях ветра на поверхности 5 м/сек. и более влияние местных потоков на результирующую скорость ветра не сказывается.

Существенное влияние, которое оказывают местные потоки при своем развитии на скорость ветра в карьерах, должно получать свое выражение и в трансформации направления движения воздуха. При этом в зависимости от направления поверхностного воздушного потока розы ветров в карьере будут различны.

Как указывалось, в карьерах северного полушария местные потоки должны иметь преимущественно южное, западное и восточ-

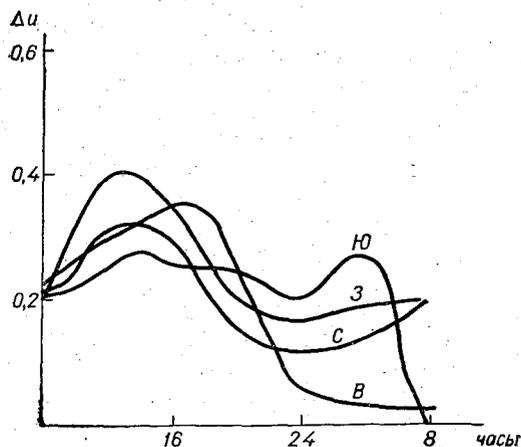


Рис. 6. Зависимость относительной скорости от направления поверхностного ветра.

ное направления. Исходя из этого результирующее направление движения воздуха в карьерах с учетом вектора ветра, формируемого поверхностными воздушными массами, должно иметь тенденцию к большей повторяемости направлений, связанных с вектором местных потоков.

На рис. 6 показано изменение относительной скорости ветра, полученное в одном из карьеров Казахстана в летнее время года при различных направлениях ветра на поверхности. При ветре на поверхности восточного и западного направлений характер изменения относительной скорости ветра в карьере остается примерно одинаков, с четко выраженным максимумом в дневные часы суток и минимумом в ночное время. Идентичный характер изменения относительной скорости ветра воздушных потоков восточного и западного направлений позволяет судить о незначительной роли местных потоков в утренние и вечерние часы. Определяющее зна-

чение в рассматриваемом конкретном случае играют местные потоки, развивающиеся в дневные часы, когда основной приток тепла приходится преимущественно на северный борт. Не случайно при ветрах северного и южного направлений картина существенно меняется.

Ветер северного направления на поверхности формирует в карьере обратное движение воздуха по рециркуляционной схеме, которое усиливается местными потоками, имеющими южное направление. В итоге характерно выражен дневной максимум относительной скорости ветра в карьере.

При ветрах южного направления наблюдается обратная картина, в результате чего приращение относительной скорости ветра в карьере в дневное время суток не наблюдается.

Местные потоки, как имеющие определенное направление, оказывают влияние на розу ветров в карьере.

Полагая, что в условиях карьеров местные потоки должны иметь преимущественно южное направление, правомерно предположить, что это должно получить отражение и в результирующей розе ветров.

На рис. 7 представлены месячные розы ветров, полученные по данным натурных наблюдений в карьере, в нижней части которого наблюдается полное развитие рециркуляционной зоны.

Для того чтобы оценить влияние местных потоков на направление ветра в карьере, произведено дополнительное построение.

Если принять, что роза ветров в карьере формируется только под действием направления поверхностного ветра, то для рассматриваемых условий (рециркуляционно-прямоточных и рециркуляционных схем) должно наблюдаться во всех случаях прямо противоположное движение воздуха в карьере (рис. 7 линия 3).

Всякое отклонение от розы ветров, построенной только по направлениям ветра на поверхности, связано с действием местных потоков. Из рис. 7 видно, что минимальное влияние местных потоков на розу ветров в карьере отмечается в январе и феврале. Картина, наблюдавшаяся в марте, подчеркивает закономерность преобладания ветров южной четверти.

В весенние, летние и первые осенние месяцы в розе ветров в карьере весьма активно проявляются местные потоки южного и юго-западного направлений.

В октябре и ноябре влияние местных потоков на повторяемость ожидаемого направления ветра в карьере сглаживается потоком южного направления, сформированным энергией поверхностного ветра, но роза ветров за декабрь подтверждает закономерность большого повторения воздушных потоков южной четверти.

Таким образом, ветровой режим в карьерном пространстве формируется прежде всего энергией поверхностного ветра и местными потоками, обусловленными термической неоднородностью.

Температурная стратификация атмосферы определяет интенсивность турбулентного обмена.

Углубление карьеров приводит к ослаблению в них вентиляции энергией ветра и создает предпосылки для образования в них результирующих потоков, значительным образом трансформирован-

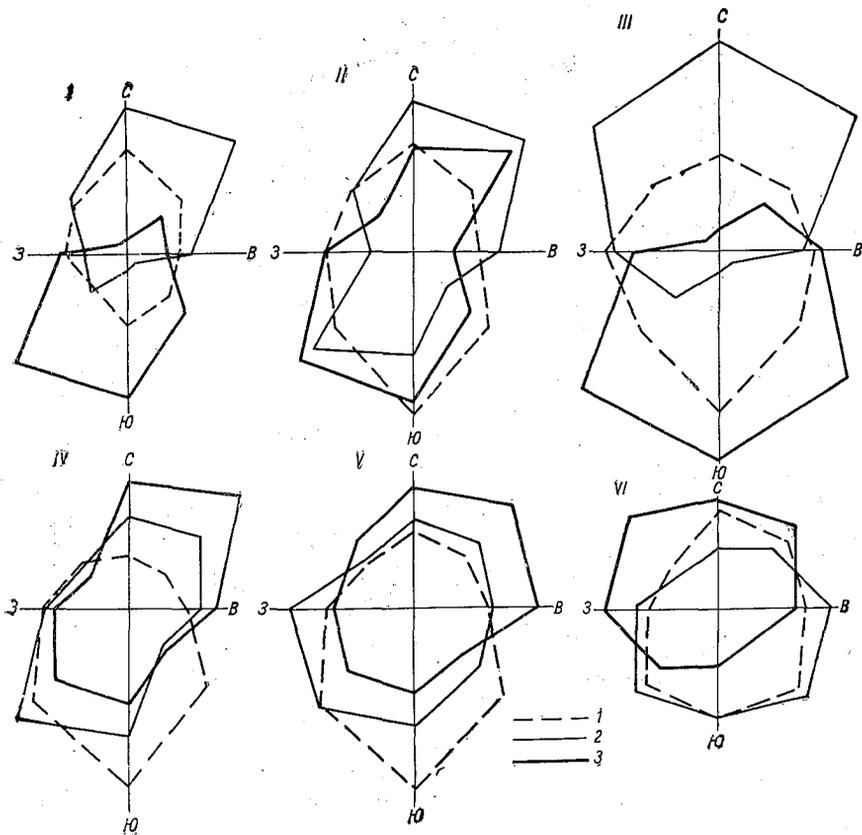


Рис. 7а. Месячные розы ветров (I—VI).

1 — для карьера, 2 — для поверхности карьера, 3 — теоретическая.

ных энергией местных потоков как по скорости, так и по направлению.

Интенсивность и закономерности проявления местных потоков при прочих равных условиях зависят от географического местоположения карьера и метеорологических условий района. Принципиально в ином положении в этом отношении будут находиться карьеры, расположенные за Полярным кругом и в Средней Азии.

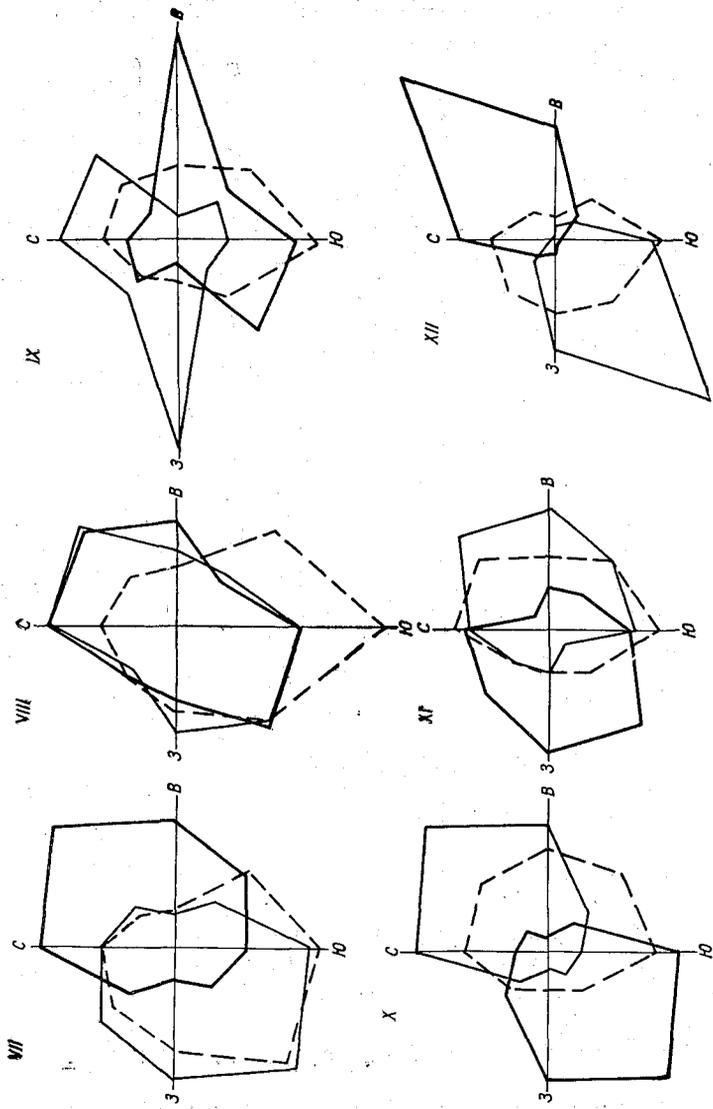


Рис. 76. Месячные розы ветров (VII—XII).  
 Углы обозначения см. рис. 7а.

В первых местные потоки значительную часть времени вообще не получают развития, во вторых — отмечаются в течение всего года.

Общими факторами, определяющими развитие и роль местных потоков в условиях карьеров, являются снежный покров, высота солнца и продолжительность светового дня, профиль карьера, его географическое положение, ориентация и степень развития отдельных бортов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. Физматгиз, М., 1960.
2. Битколов Н. З., Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.
3. Битколов Н. З. Проветривание карьеров. Учебное пособие, ЛГИ, Л., 1964.
4. Битколов Н. З., Фатуев Н. Г. Вентиляция карьеров энергией ветра. Записки ЛГИ, т. 46, вып. 1, 1962.
5. Клипов Ф. Я. К вопросу о распределении температуры, скорости и направления ветра с высотой в нижнем слое атмосферы. Метеорология и гидрология, № 5, 1968.
6. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат, Л., 1961.
7. Щербак ова Л. Ф. О профилях ветра в межполосных лесных клетках. Труды ГГО, вып. 43(105), 1954.

*Н. З. БИТКОЛОВ, Е. М. ЕГОРОВ, Н. С. ТЮНЯКИНА*

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО И ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАРЬЕРОВ**

В последние годы разработка полезных ископаемых открытым способом находит все большее применение.

В связи с интенсификацией горных работ и углублением карьеров остро встала проблема улучшения санитарно-гигиенических условий труда для рабочих, занятых в карьерах.

Неблагоприятные условия труда горнорабочих вызвали необходимость всестороннего изучения причин нарушения естественного воздухообмена и условий, способствующих накоплению примесей газа и пыли в атмосфере карьера. Связь естественного воздухообмена с метеорологическими условиями определила то большое внимание, которое уделяется изучению микроклимата карьеров и его особенностей. Однако исследования микроклиматического режима в карьерах весьма немногочисленны и представлены, как правило, лишь изучением отдельных метеорологических элементов общего комплекса.

Сведения о микроклимате, радиационном, термическом и ветровом режиме различных карьеров имеют большое значение как для разработки и обоснования методов проветривания, так и для изучения вопросов биоклимата на рабочих местах.

Настоящая работа выполнена по материалам производственных исследований, проведенных в течение 1965—1967 гг. Институтом Биофизики на ряде карьеров Северного и Центрального Казахстана. Задача ее — по возможности подробнее изучить особенности радиационного и термического режима карьеров и выявить их влияние на естественный воздухообмен в карьерах.

Карьеры как искусственно созданные углубления в земной поверхности характеризуются самостоятельным микроклиматом, отличным от климата прилегающего района. Микроклиматические характеристики карьеров формируются под влиянием следующих основных причин:

- 1) геометрии карьерного пространства,

2) своеобразия подстилающей поверхности, слагающей элементы карьера,

3) принятой технологии работ на карьерах.

Это находит выражение в изменении ветрового режима, особенностях теплового баланса и распределения солнечной радиации.

Ниже рассматриваются особенности распределения коротковолновой радиации (суммарной, рассеянной, отраженной) на различных характерных участках карьера. В процессе разработки объем карьерного пространства возрастает, что влечет за собой увеличение площади слагающих его поверхностей, при этом приращение площади происходит только за счет наклонных плоскостей, образующих уступы.

Таблица 1

Размеры площадей карьеров (м<sup>2</sup>)

Наименование площадей	Карьер А	Карьер Б
Горизонтальные участки (дороги, бермы и т. п.)	36 080	34 690
Наклонные участки (уступы) . . . . .	87 127	127 469
Общая поверхность карьера $S_0$ . . . . .	121 207	164 769
Размер карьера в плане $S_{\Pi}$ . . . . .	79 920	109 820
Отношение $\frac{S_0}{S_{\Pi}}$ . . . . .	1,52	1,50

В табл. 1 приведены данные, характеризующие площади элементов двух карьеров и их соотношение. Эти данные показывают, что основной слагающей плоскостью в карьерах является наклонная.

В процессе разработки отношение  $S_0/S_{\Pi}$  увеличивается от 1,0 до 1,5, вследствие чего приток солнечной радиации, отнесенный к единице поверхности карьера, будет меньше, чем для горизон-

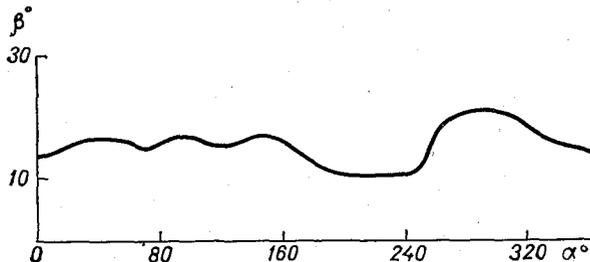


Рис. 1. Углы закрытия горизонта для дна карьера А.

тальной площади. Таким образом, сам факт возникновения карьера как геометрического пространства ставит его в условия сокращенного притока солнечной радиации.

Другой особенностью карьера является существенная закрытость горизонта вследствие значительной глубины и больших углов наклона карьера. На рис. 1 показано, что значительная закры-

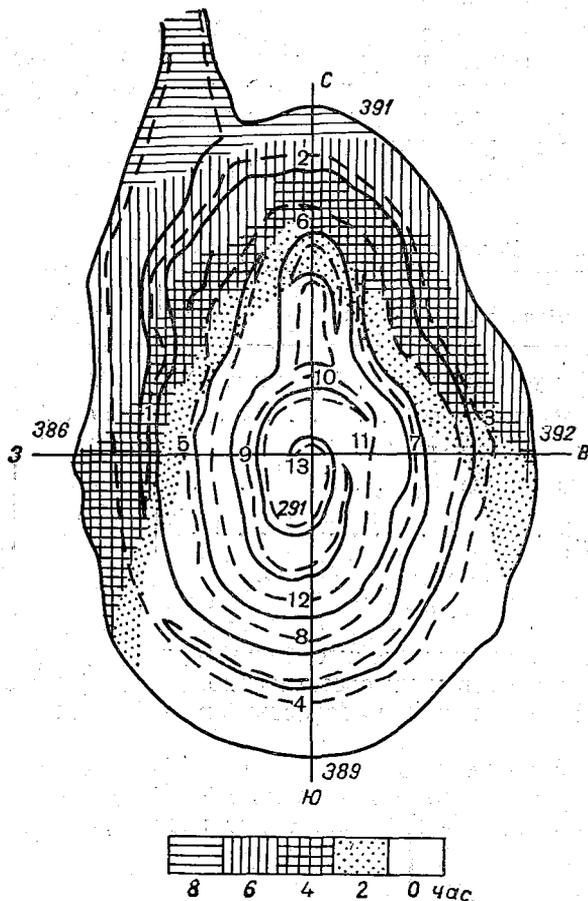


Рис. 2. Освещенность карьера А в декабре.

тость горизонта для дна карьера ведет к сокращению продолжительности поступления прямой солнечной радиации к его нижним участкам. При этом в результате более позднего относительного восхода солнца не только снижается продолжительность солнечного сияния, но в зимнее время года значительная часть карьера вообще не освещена солнцем.

По характеру освещенности карьера А в декабре и июне (рис. 2 и 3) можно судить об ее изменении по глубине в различные времена года. Разница в продолжительности освещения солнцем верхних и нижних уступов карьера А, показанного на рис. 2 и 3, составляет 4—6 час. в летнее время года, а в зимнее, несмотря на

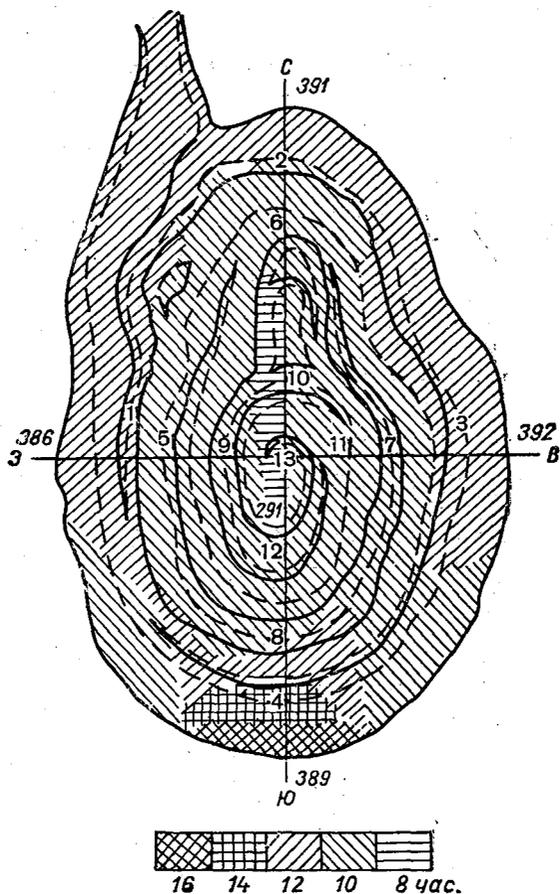


Рис. 3. Освещенность карьера А в июне.

резкое сокращение продолжительности светового дня, увеличивается до 8 час.

Наряду с изменением освещенности по глубине ее неравномерность весьма четко проявляется и по различным бортам вследствие различной их ориентации по странам света. Характер распределения освещенности показывает только качественную сторону явления, не вскрывая количественных взаимосвязей, определяю-

щих в конечном итоге термический режим атмосферы карьера в целом.

При минимальной высоте солнца (в зимнее время года) освещается незначительная часть карьера (верхние горизонты северного, западного, восточного бортов), по мере увеличения высоты

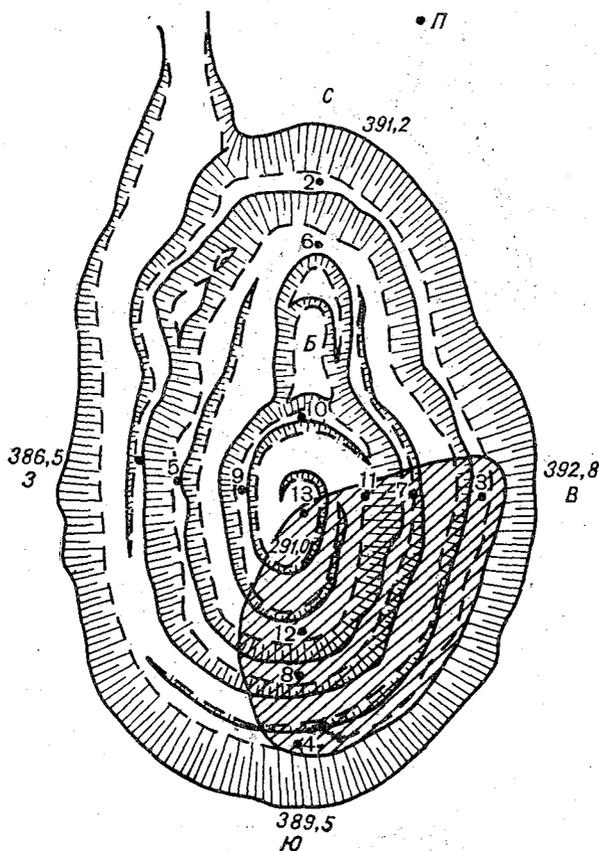


Рис. 4. План карьера и расположение замерных точек.

Заштрихованный участок — зоны отрицательной разности между температурами почвы и воздуха, П — пункт наблюдения вне карьера.

солнца площадь карьера, освещенная солнцем, увеличивается, однако южный борт длительный период остается неосвещенным.

Актинометрические и микроклиматические наблюдения, рассматриваемые в настоящей работе, проводились в основном на двух карьерах.

Карьер А — овальной формы, в плане имеет размеры: длина 500 м, ширина 300 м, глубина 97 м. Карьер ориентирован длинной осью с севера на юг. Расположен в Северном Казахстане. Карьер Б — круглой формы, имеет диаметр 370 м и глубину 137 м, расположен в Центральном Казахстане.

В карьере А было оборудовано 13 замерных пунктов по четырем характерным бортам (рис. 4). В карьере Б измерения проводились на 16 пунктах, размещенных на двух основных взаимноперпендикулярных осях.

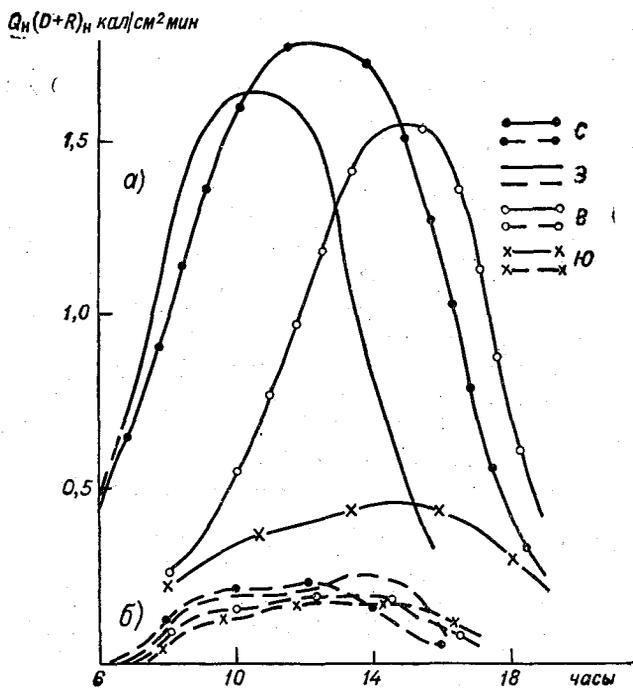


Рис 5. Дневной ход суммарной  $Q_n$  и рассеянной  $(D+R)_n$  радиации на разных бортах карьера А.

а — суммарная радиация, б — рассеянная и отраженная радиация.

В каждой точке измерялась суммарная, рассеянная и отраженная радиация походным альбедометром. Измерения проводились при наклонном и горизонтальном положениях прибора. Угол наклона альбедометра выбирался исходя из наиболее характерных углов откосов в районе того или иного участка карьера. Кроме того, в каждой точке производились замеры температуры воздуха на высоте 2 м и температуры почвы на глубине 1 см.

Температура воздуха измерялась аспирационным психрометром, температура почвы — термометрами сопротивления. Актино-

метрические измерения проводились через час циклами из 3 дней по три-четыре цикла в месяц с момента восхода до захода солнца. Замеры температуры осуществлялись круглосуточно через каждые 2 часа.

Контрольные пункты располагались на ровных площадках за пределами карьеров, измерения на них позволяли сопоставить результаты, полученные в карьере и на окружающей его территории.

Дневной ход суммарной радиации на различных бортах карьера представлен на рис. 5.

Изменение напряжения суммарной радиации в течение безоблачного дня на дне карьера и его бортах находится в соответствии с углами падения лучей на рассматриваемые поверхности. Так, на западном борту максимум наступает около 10 час. На восточном борту максимум запаздывает относительно полудня на три часа и приходится на вторую половину дня. Особенно велики разности в утренние и вечерние часы. В эти периоды суток разности составляют около  $0,7$  кал/см<sup>2</sup>мин.

Дневная изменчивость солнечной радиации на южном борту невелика, а ее максимум значительно ниже, чем на других бортах. Северный борт карьера характеризуется наибольшей напряженностью солнечной радиации.

На графиках, характеризующих дневной ход рассеянной и отраженной радиации, обращают на себя внимание весьма малые различия в поступлении рассеянной и отраженной радиации к бортам карьера. Анализируя дневной ход относительных потоков прямой  $\left(\frac{S_H}{S_T}\right)$ , суммарной  $\left(\frac{Q_H}{Q_T}\right)$  и рассеянной  $\frac{(D+R)_H}{D_T}$  радиации на различные борта карьера (табл. 2), можно отметить, что рассеянная радиация  $(D+R)$ , поступающая на борта, ориентированные в сторону, противоположную солнцу, превышает радиацию, приходящую на горизонтальную поверхность, за счет возрастания отраженной радиации от бортов и поверхностей карьера. В некоторых случаях отраженная радиация может составлять главную часть в потоке радиации на борта.

Так как дневной ход рассеянной радиации выражен слабо и ее общий вклад в величину суммарной радиации незначителен, то очевидно, что неоднородность прихода суммарной радиации, обусловленная различной экспозицией бортов, вызвана прежде всего различием прихода прямой солнечной радиации, что подтверждается и данными, приведенными в табл. 2.

Сравнивая приход радиации на наклонные борта и горизонтальную поверхность, можно отметить, что при малых высотах солнца наибольший приход радиации отмечен на горизонтальную поверхность по сравнению с северным бортом. С увеличением высоты солнца приход радиации на северный борт возрастает, а на восточный и западный борта уменьшается. Такая зависимость суммарной радиации, поступающей на борта, от высоты солнца объясняется

Таблица 2

Дневной ход относительных величин прямой  $\frac{S_H}{S_r}$ , суммарной  $\frac{Q_H}{Q_r}$  и рассеянной  $\frac{(D+R)_H}{D_r}$  радиации на различные борты карьеров

Время	Северный борт			Южный борт			Восточный борт			Западный борт		
	$\frac{S_H}{S_r}$	$\frac{Q_H}{Q_r}$	$\frac{(D+R)_H}{D_r}$									
8	0,55	0,64	1,20	0,47	0,58	1,05	0,24	0,31	1,57	1,61	1,90	1,43
9	0,59	0,92	1,30	0,40	0,46	1,00	0,27	0,38	1,15	1,26	1,86	1,15
10	0,64	1,00	1,39	0,32	0,37	0,96	0,30	0,54	1,00	1,18	1,55	1,05
11	0,79	1,10	1,40	0,22	0,28	0,80	0,35	0,69	0,58	0,86	1,40	0,81
12	0,94	1,20	1,45	0,29	0,21	0,75	0,69	0,94	0,65	0,64	1,37	0,76
13	0,75	0,97	1,50	0,27	0,34	0,90	0,79	0,99	0,72	0,39	0,98	0,96
14	0,67	0,88	1,00	0,41	0,47	1,05	1,00	1,27	0,81	0,26	0,72	1,20
15	0,60	0,80	0,50	0,49	0,55	1,00	1,39	1,53	0,85	0,10	0,60	1,10
16	0,58	0,78	0,14	0,90	0,85	1,10	2,41	2,19	0,90	0,08	0,27	1,13
17	0,53	0,70	0,12	0,59	0,96	1,18	2,60	2,29	1,00	0,06	0,19	1,15

тем, что при малых высотах солнца освещены восточный и западный борты, а северный обращен в сторону от солнца.

Проведенные измерения позволяют сказать, что в условиях карьеров отраженная радиация от бортов и других поверхностей карьера может компенсировать убывание рассеянной радиации внутри карьерного пространства за счет значительной закрытости горизонта.

Таблица 3

Дневные суммы суммарной радиации (кал/см<sup>2</sup> сутки) на разных бортах карьера А

Борт	Глубина, м (номер точки)	25/VIII, $\Sigma_{\Gamma}=402$		10/IX, $\Sigma_{\Gamma}=305$		7/X, $\Sigma_{\Gamma}=167$		17/XI, $\Sigma_{\Gamma}=101$	
		$\Sigma_{\text{H}}$	$\frac{\Sigma_{\text{H}}}{\Sigma_{\Gamma}}$	$\Sigma_{\text{H}}$	$\frac{\Sigma_{\text{H}}}{\Sigma_{\Gamma}}$	$\Sigma_{\text{H}}$	$\frac{\Sigma_{\text{H}}}{\Sigma_{\Gamma}}$	$\Sigma_{\text{H}}$	$\frac{\Sigma_{\text{H}}}{\Sigma_{\Gamma}}$
Северный	70(2)	554	1,38	390	1,28	240	1,44	163	1,67
	50(6)	434	1,08	300	0,98	216	1,29	134	1,34
	20(10)	310	0,77	260	0,85	180	1,08	57	0,57
Дно	0(13)	294	0,73	187	0,61	138	0,83	43	0,43
Восточный	70(3)	479	1,19	295	0,97	180	1,08	120	1,20
	50(7)	311	0,78	200	0,65	150	0,90	77	0,77
	20(11)	235	0,59	180	0,58	120	0,72	34	0,34
Южный	70(4)	151	0,37	110	0,35	40	0,24	20	0,20
	50(8)	118	0,29	72	0,24	30	0,18	15	0,15
	20(12)	59	0,15	36	0,12	24	0,10	10	0,10
Западный	70(1)	386	0,98	267	0,87	180	1,08	96	1,15
	50(5)	302	0,75	250	0,68	165	0,98	77	0,77
	20(9)	252	0,61	180	0,59	138	0,82	29	0,30

Примечание.  $\Sigma_{\Gamma}$  — сумма на горизонтальной поверхности;  $\Sigma_{\text{H}}$  — сумма на наклонном борту карьера.

По данным измерений дневного хода суммарной радиации на бортах различной экспозиции были определены дневные суммы радиации для различных бортов карьера А в точках, расположенных на разной глубине. Полученные результаты представлены в табл. 3. Суммы радиации подсчитаны для четырех безоблачных дней различных месяцев (август, сентябрь, октябрь, ноябрь).

Из табл. 3 видно, что суммы радиации и относительные величины их заметно меняются как по глубине, так и во времени. Северный борт получает тепла больше, чем горизонтальная поверхность в сумме за день, причем эта разница увеличивается с уменьшением высоты солнца.

Дневные суммы радиации заметно уменьшаются с глубиной, на северном борту на 50% для августа и на 70% для ноября. Нижние уступы южного борта как ориентированные наиболее неблагоприятно по отношению к солнцу в ноябре—октябре получают только рассеянную и отраженную радиацию.

В условиях карьеров наряду с рассмотренными факторами определенное значение в распределении солнечной радиации имеют такие переменные параметры, как продолжительность залегания снежного покрова, влажность и окраска горных пород. Следует

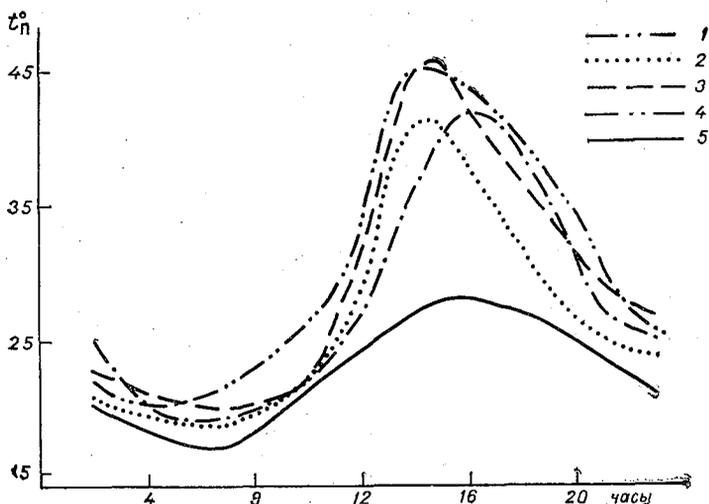


Рис. 6. Суточный ход температуры почвы на глубине 0,01 м.

1 — поверхность, 2 — западный борт (точка 9), 3 — северный борт (точка 10), 4 — восточный борт (точка 11), 5 — южный борт (точка 12).

также отметить, что атмосфера карьеров характеризуется повышенным содержанием различных примесей, что определенным образом влияет на приходящую радиацию.

Отмеченные выше особенности распределения солнечной радиации в карьерах обуславливают особый термический режим, что в конечном итоге и определяет микроклимат карьера.

Режим температуры почвы карьера тесно связан с рассмотренными выше радиационными условиями. Эта связь особенно четко проявляется при рассмотрении суточного хода температуры почвы  $t_{п}$  на глубине 1 см за ясные дни, представленного на рис. 6. При анализе этого рисунка обращает на себя внимание существенное различие режимов температуры поверхности бортов карьера. Наиболее высоких значений достигает температура поверхности северного борта (точка 10).

На восточном, западном бортах и дне карьера наступление максимумов температуры почвы запаздывает относительно максимумов солнечной радиации. На западном борту максимум температуры почвы наблюдается в 14 час., на восточном — в 17 час.

Температура поверхности почвы южного борта в течение суток ниже температуры почвы всех других бортов, ее суточная амплитуда незначительна и составляет  $10^{\circ}$ , тогда как на восточном и западном бортах она достигает  $23^{\circ}$ . Ночью значения температуры поверхности почвы во всех точках различаются мало, однако в связи с запаздыванием относительного восхода солнца для дна карьера наблюдается отставание наступления минимумов температуры почвы в карьере по сравнению с открытыми участками поверхности на 2—3 часа.

Таблица 4

Средние значения температуры почвы на глубине 0,01 м

	VI	VII	VIII	IX	X	XI
<b>Дневные часы</b>						
Северный борт, точка 10 . . . . .	29,9	34,4	30,4	20,0	7,3	—0,4
Южный борт, точка 12 . . . . .	17,2	24,8	17,4	12,2	2,4	—1,6
Разность температур . . . . .	12,7	9,6	13,0	7,8	4,9	1,1
<b>Ночные часы</b>						
Северный борт, точка 10 . . . . .	12,5	19,9	16,2	11,8	2,2	—1,6
Южный борт, точка 12 . . . . .	9,8	17,0	13,3	9,5	2,3	—2,0
Разность температур . . . . .	2,7	2,9	2,9	2,3	—0,1	+0,4

Сравнение суточного хода температуры почвы показывает, что наибольшая разница наблюдается между температурами поверхности почвы северного и южного бортов. В 14 час. эта разница достигает  $18^{\circ}$ . Сопоставление средних дневных и ночных значений температуры почвы на этих бортах и их разностей (табл. 4) показывает, что максимальная разница наблюдается в дневные часы летнего периода. В сентябре, октябре и ноябре эта разница уменьшается вследствие сокращения притока солнечной радиации и усиления облачности в этот период. В ночные часы, когда отсутствует приток солнечной радиации, разность температуры также невелика.

Если сравнить значения температуры почвы, измеренной в различных точках, можно отметить, что в точках, расположенных в нижней части карьера, они, как правило, ниже температуры почвы в пункте, расположенном за пределами карьера. Это является

следствием уменьшения притока солнечной радиации к нижним участкам карьера, которое было отмечено при анализе данных актинометрических измерений. Таким образом, термический режим подстилающей поверхности карьера характеризуется определенным дефицитом тепловой энергии по сравнению с режимом окружающей карьер местности. Вследствие ослабленной подвижности воздушной среды в карьере дефицит тепловой энергии, поступающей к подстилающей поверхности карьера, определяет в конечном итоге термический режим припочвенного слоя воздуха.

Своеобразие термического режима в карьерах можно проследить путем рассмотрения характера теплообмена между почвой и воздухом, который, как известно, прямо пропорционален разности между температурой почвы и воздуха. При положительном значении разности между температурой почвы и температурой воздуха тепловой поток направлен от почвы к воздуху, при отрицательном — наоборот.

По результатам одновременных измерений нами определялась разница между температурой поверхности почвы и температурой воздуха для каждой точки. Полученные данные по карьере А в систематизированном виде представлены в табл. 5.

Из анализа этих данных видно, что повторяемость отрицательного значения разности между температурой почвы и воздуха (величина  $K$ ) для пунктов, расположенных в карьере, как правило, выше, чем для точки, находящейся за пределами карьера. Это соответствует сделанному ранее выводу о дефиците тепловой энергии, поступающей к поверхности карьера.

Из табл. 5 также видно, что особенно большие значения  $K$  наблюдались в пунктах, расположенных на южном борту карьера. В некоторых случаях эта величина достигала 90%. Наименьшие значения  $K$  отмечены на точках северного борта. Они примерно равны значениям  $K$ , полученным по измерениям на ровной площадке вблизи карьера. Отмеченные различия хорошо согласуются с распределением приходящей солнечной радиации по бортам карьера. Из сравнения значений  $K$  для пунктов восточного и западного бортов карьера видно, что они несколько выше для точек, расположенных на западном борту карьера.

Выявлена также тесная связь между распределением солнечной радиации и значениями  $K$  по глубине карьера. Измерениями было установлено, что суммы солнечной радиации для точек нижнего горизонта (точки 9—12) в среднем на 40—50% ниже, чем для точек верхнего горизонта (точки 1—4). Соответствующая разница, как видно из табл. 2, наблюдается и для  $K$ .

Проследив за изменением величины  $K$  по месяцам, можно отметить, что в октябре, несмотря на меньшее количество приходящей солнечной радиации, значение  $K$  меньше, чем в другие месяцы для всех пунктов, в том числе и для поверхности. Это можно объяснить тем, что тепло, накопленное глубокими слоями почвы в течение летних месяцев, в октябре поступает к верхним слоям,

Повторяемость случаев отрицательной разности температур  $\Delta t_{п-в}$ 

Поверх- ность	Название борта, номер точки												
	западный			северный			восточный			южный			дно
	1	5	9	2	6	10	3	7	11	4	8	12	13

## Июнь

<i>n</i>	79	79	69	65	80	78	61	79	66	65	68	66	65	64
<i>n-Δt</i>	10	30	26	27	16	12	12	32	11	33	24	13	50	33
<i>P</i>	13	38	38	42	20	15	20	41	17	51	35	20	76	52

## Июль

<i>n</i>	97	99	87	80	96	92	80	103	90	81	79	82	84	75
<i>n-Δt</i>	14	44	47	59	34	20	21	30	32	55	35	26	75	41
<i>P</i>	14	44	54	74	35	22	26	29	36	68	44	32	89	55

## Август

<i>n</i>	87	99	97	87	98	90	87	96	90	87	98	95	89	78
<i>n-Δt</i>	12	25	37	49	18	11	14	29	19	43	86	38	82	33
<i>P</i>	14	25	38	56	18	12	16	30	21	50	88	40	92	42

## Сентябрь

<i>n</i>	47	42	45	69	47	43	67	48	46	68	43	48	66	64
<i>n-Δt</i>	2	6	7	18	7	2	13	14	9	19	31	27	47	30
<i>P</i>	4	14	16	26	15	5	19	29	20	28	72	56	71	47

## Октябрь

<i>n</i>	79	72	69	61	72	57	60	68	68	63	65	70	62	66
<i>n-Δt</i>	27	17	18	20	16	13	21	24	15	19	28	25	19	35
<i>P</i>	33	24	26	33	22	23	35	35	22	30	43	36	31	56

Примечание. *n* — общее количество наблюдений, *n-Δt* — количество случаев отрицательной разности температур, *P* — повторяемость (%) случаев отрицательной разности.

повышая их температуру по сравнению с температурой воздуха, которая интенсивно снижается.

Представления о температурных различиях между отдельными бортами карьера можно получить, рассматривая рис. 7, где изображен суточный ход разности между температурой поверхности почвы и воздуха на различных бортах карьера.

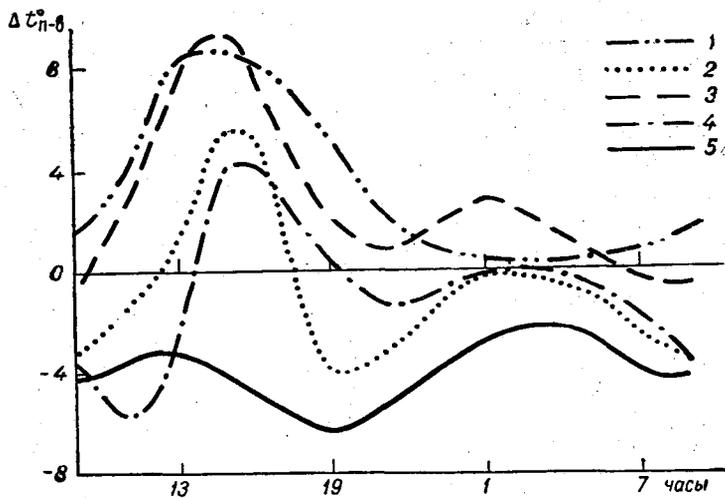


Рис. 7. Суточный ход разности температур почвы и воздуха на поверхности и различных бортах карьера.  
Уел. обозначения см. рис. 6.

На восточном борту карьера в первую половину дня поступление радиационного тепла невелико, в связи с этим в течение всего дополуденного периода имеет место инверсионное распределение температуры. Вследствие этого поток тепла имеет отрицательный знак (направлен от воздуха к почве) и лишь после полудня на этом борту развивается теплообмен, направленный из почвы в воздух, который сохраняется до 19—20 час. На западном борту положительный поток тепла наблюдается на 1,5—2 часа раньше, чем на восточном.

На северном борту наблюдаются положительные значения  $\Delta t_{п-в}$  в течение суток, которые достигают максимума в 15 час., а минимума в 21 час. На южном борту в течение суток наблюдается отрицательный поток, направленный от воздуха к почве. Наличие второго максимума  $\Delta t_{п-в}$  в ночные часы объясняется притоком тепла к поверхности бортов из глубинных слоев почвы, обладающей хорошей теплопроводностью.

Выявленные особенности распределения солнечной радиации в карьере и связанные с ними изменения термического режима подстилающей поверхности позволяют сделать ряд важных выво-

дов относительно причин и условий, способствующих возникновению внутрикарьерных инверсий, и связанного с ними ухудшения санитарно-гигиенических характеристик воздуха.

Как было показано, термический режим подстилающей поверхности вследствие недостаточного прихода солнечной радиации отличается определенным дефицитом тепловой энергии по сравнению с режимом окружающей карьер территории. Дефицит тепловой энергии, поступающей к подстилающей поверхности, при определенных условиях погоды может привести к более интенсивному выхолаживанию припочвенного слоя воздуха в ночные часы. При малых скоростях ветра выхолаживание припочвенного слоя еще более затрудняет турбулентный обмен между воздушными массами, что ведет к образованию застойных зон воздуха в карьере.

Если этот процесс сопровождается инверсиями в приземном слое воздуха, возникающими в результате радиационного выхолаживания или адвекции, то охлажденные припочвенные слои воздуха, находящиеся за пределами карьера, получают возможность стока в карьер под действием силы тяжести, что увеличивает вероятность образования устойчивой стратификации в пределах карьерного пространства или даже внутрикарьерной инверсии.

Величина и мощность такой инверсии в карьере имеют значительно большие пределы, чем на окружающей территории.

Так, например, нами неоднократно фиксировался отрицательный перепад между температурой воздуха у дна и верхнего уровня карьера, достигающий  $8-10^{\circ}$  при разности высот около 60 м. Разрушение таких местных инверсий под действием ветра, как отмечено в микроклиматических исследованиях долин и котловин [4, 5], отстает по времени на 2—3 часа и более по сравнению с окружающей ровной местностью. Для карьеров это отставание может увеличиваться вследствие значительной закрытости горизонтов и повышенной запыленности воздуха.

Полученные данные позволяют определить участки карьера, которые характеризуются дефицитом тепловой энергии и связанной с ним высокой повторяемостью отрицательной разности между температурой почвы и воздуха, т. е. те участки карьера, особенности термического режима которых способствуют возникновению устойчивого и инверсионного состояний. На рис. 4 штриховкой отмечены примерные границы этой зоны, полученные по результатам актинометрических и температурных измерений, проведенных в августе в карьере А.

Следует отметить, что приведенные в таблицах и на рисунках результаты, относящиеся в основном к карьере А, почти полностью совпадают с результатами подобных измерений в карьере Б. Поэтому можно предположить, что выявленные особенности распределения солнечной радиации и термического режима подстилающей поверхности и припочвенного слоя воздуха характерны для сравнительно небольших карьеров, имеющих круглую или овальную форму в плане со значительными углами наклона бортов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенштат Б. А. Тепловой баланс и микроклимат южных горных долин. Труды САНИГМИ, вып. 35(50), 1967.
2. Кондратьев К. Я., Манолова М. П. Дневной ход и дневные суммы рассеянной и суммарной радиации на различных склонах. Вестник ЛГУ, № 4, 1958.
3. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. ИЛ, М., 1960.
4. Кондратьев К. Я. Актинометрия. Гидрометеоздат, Л., 1965.
5. Микроклимат СССР. Под ред. И. А. Гольцберг. Гидрометеоздат, Л., 1967.
6. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеоздат, Л., 1950.

Н. З. БИТКОЛОВ, И. И. ИВАНОВ

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ КАРЬЕРОВ ЭНЕРГИЕЙ ВЕТРА

Перспективными планами развития народного хозяйства в Советском Союзе предусматривается дальнейший рост горнодобывающей промышленности с преимущественным развитием открытого способа разработки полезных ископаемых.

Создание мощных средств механизации и внедрение наиболее прогрессивной технологии позволило существенно увеличить глубину карьеров. При этом принципиально по-новому встала проблема обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда, одной из основных задач которой является поддержание необходимого состава воздуха и микроклимата на рабочих местах.

Зависимость характеристик воздуха в карьерах от комплекса метеорологических условий определяет необходимость контроля и оперативного прогнозирования естественного воздухообмена и его нарушений, оценки уровней и установления причин запыленности и загазованности в карьерах.

Для того чтобы выявить механизм и причины нарушения воздухообмена и разработать методы прогноза скоплений в атмосфере карьеров аэрозолей и газов с концентрациями, превышающими санитарные нормы, необходимо установить закономерности естественной циркуляции воздушных масс в пределах карьерного пространства.

Процесс отработки карьера происходит последовательно, в основном его можно разделить на три стадии, которые определяются величиной соотношения глубины карьера  $H$  и его размера в плане  $L_{пл}$  (рис. 1):

- 1)  $p \leq 0,10$  — мелкие карьеры,
- 2)  $0,10 < p < 0,2$  — средние карьеры,
- 3)  $p \geq 0,2$  — глубокие карьеры,

где  $p = \frac{H}{L_{пл}}$  — безразмерный параметр.

Интенсивность проветривания карьера энергией ветра зависит от его объема, который по мере разработки непрерывно растет, площадь слагающих его поверхностей увеличивается и только за счет наклонных поверхностей. Последнее находит свое выражение в особенностях теплового баланса и распределении проходящей

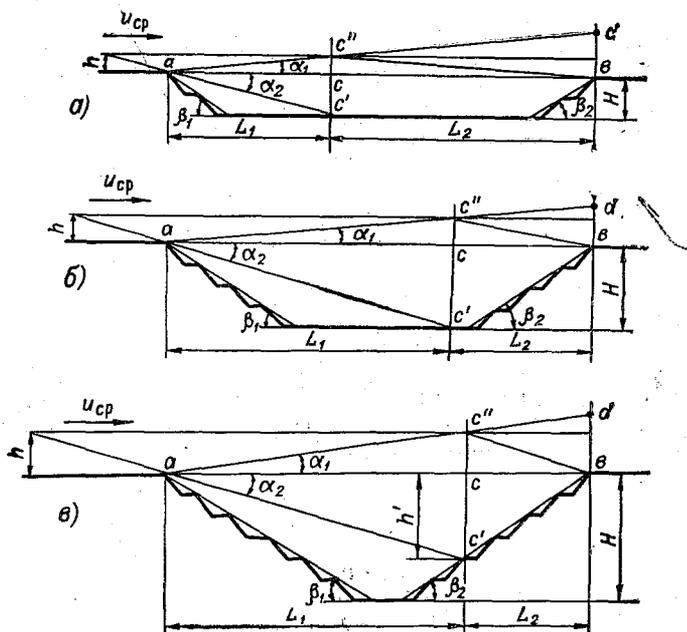


Рис. 1. Схема проветривания карьера энергией поверхностного ветра на различных этапах разработки.

а)  $p < 0,10$ , б)  $0,10 < p < 0,2$ , в)  $p > 0,2$ .

солнечной радиации и как следствие этого в изменении ветрового режима в карьере за счет образования местных потоков, вызванных температурными неоднородностями почвы и воздуха.

Карьеры, в которых добываются руды в скальных породах, имеют в ряде случаев форму, приближающуюся к круглой. Аналитические выражения слагающих карьер поверхности имеют следующий вид:

$$s_{\text{н}} = \frac{\pi H}{\sin \alpha} [L_{\text{пл}} - H' \operatorname{ctg} \alpha - (H - H') \operatorname{ctg} \alpha] \quad (1)$$

для наклонной поверхности,

$$s_{\text{г}} = \pi \left\{ \frac{L_{\text{пл}}^2}{4} + H \operatorname{ctg} \alpha [H' (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) + H \operatorname{ctg} \beta - L_{\text{пл}}] \right\} \quad (2)$$

для горизонтальной поверхности,

где  $\alpha$  — среднее значение угла откоса уступа;  $\beta$  — среднее значение угла откоса борта;  $H'$  — среднее значение высоты уступа.

Площадь карьера в плане

$$S_{пл} = \pi \frac{L_{пл}^2}{4}. \quad (3)$$

Отношение суммарной площади карьера  $s_n + s_r$  к площади его в плане  $S_{пл}$  может быть выражено зависимостью

$$\eta = \frac{s_n + s_r}{S_{пл}} = 1 + ap + bp^2, \quad (4)$$

где

$$a = k \left[ 1 + \frac{H'}{L_{пл}} (\text{ctg } \beta - \text{ctg } \alpha) \right],$$

$$b = -k \text{ctg } \beta,$$

$$k = 4 \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

На рис. 2 по выражению (4) для наиболее характерных сочетаний углов  $\alpha$  и  $\beta$  построены кривые, характеризующие изменение отношения  $\eta$  в функции параметра  $p$ .

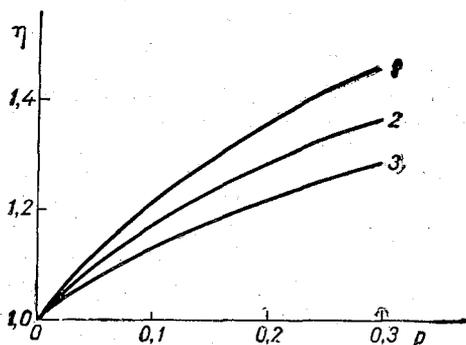


Рис. 2. Изменение суммарной площади карьера  $\eta$  с возрастанием его глубины.

1 —  $\alpha=60^\circ$ ,  $\beta=40^\circ$ , 2 —  $\alpha=50^\circ$ ,  $\beta=40^\circ$ , 3 —  $\alpha=40^\circ$ ,  $\beta=40^\circ$ .

Таким образом, с увеличением глубины карьера (при неизменных размерах в плане  $L_{пл}$  суммарная площадь карьера возрастает, приток радиации на единицу поверхности сокращается, что неизбежно сказывается на снижении интенсивности естественного воздухообмена в карьере.

Большая неравномерность освещенности и распределения солнечной радиации во времени, а также по бортам и глубине карьера приводит к образованию нестационарных температурных полей почвы и воздуха, формирующих местные потоки определенного направления и мощности. Кроме того, увеличение площади обна-

жения горных пород в карьере способствует увеличению запыленности и загазованности. Суммарное пыле- и газовыделение в объеме карьерного пространства

$$\Phi = \varphi q F, \quad (5)$$

где  $q$  — интенсивность эквивалентного источника выделения в карьере с единицы площади;  $F$  — общая площадь выделений, с которой вредности поступают в рассматриваемую зону;  $\varphi$  — поправочный коэффициент, учитывающий величину площади наклонных бортов. Для первой стадии  $\varphi=1,0$ , для второй  $\varphi=1,2$ ; для третьей  $\varphi=1,3$ .

Комплекс метеорологических факторов, формирующих естественный воздухообмен, получает свое выражение в виде результирующей скорости движения воздуха в карьере.

Воздушные потоки по причинам образования могут быть объединены в две группы: потоки, связанные с состоянием атмосферы и движением воздушных масс над карьерами, и местные потоки, сформированные в результате неравномерного нагрева отдельных частей почвенного покрова карьера и поверхности.

Рассматривать процесс формирования воздухообмена в карьере под действием термического фактора можно по следующей цепи: приход солнечной радиации — температура воздуха — интенсивность местных потоков и степень устойчивости атмосферы. С увеличением абсолютной скорости ветра влияние местных потоков на результирующую скорость ветра в карьере проявляется значительно меньше, уже при  $u_{\text{п}} \geq 4 \div 5$  м/сек. это влияние не проявляется [1, 2].

Все потоки действуют в карьере совместно, образуя результирующий поток, который в зависимости от рассматриваемых факторов принимает определенное направление.

Нарушения воздухообмена в карьере также связаны и с общей синоптической обстановкой данного географического района [3], подавляющее большинство которых бывает при антициклонической деятельности и малоградиентных полях.

При анализе нарушений воздухообмена на одном из карьеров, который проводился по наземным синоптическим картам и данным радиозондирования в пункте, расположенном в 300 км от исследуемого района, нами получены данные, подтверждающие наличие связи между нарушениями и синоптической обстановкой.

В подавляющем большинстве (более 50% случаев) нарушения воздухообмена происходили при антициклонической погоде, около 30% — при малоградиентных полях и только около 6% случаев нарушений воздухообмена наблюдалось при циклонических образованиях.

Большой процент повторяемости нарушений при антициклонической погоде объясняется природой самого антициклона. Так как в центре антициклона обычно отмечаются малые скорости ветра

и малые вертикальные температурные градиенты, турбулентный обмен будет значительно меньше, чем в циклоне, а это неизбежно ведет к нарушению воздухообмена. Отсюда видна взаимосвязь нарушений воздухообмена в карьере и процессов больших масштабов.

Таким образом, воздухообмен в карьере является сложной функцией многих переменных, главными из которых являются две: динамическая и термическая составляющие.

Первая из них формируется энергией поверхностного ветра, вторая — температурным полем почвы и воздуха. Изменяясь по величине и направлению, но действуя совместно, динамическая и термическая силы в сочетании с другими влияющими факторами и формируют результирующую скорость ветра и в целом воздухообмен в карьере.

Для того чтобы получить количественную оценку интенсивности естественного проветривания, требуется установить соотношения между метеорологическими параметрами, с одной стороны, и объемом карьера и количеством выделяющихся в нем примесей — с другой.

Непостоянство энергии поверхностного ветра и его направления определяет различную интенсивность воздухообмена и, как следствие этого, возможность его нарушения и накопления в атмосфере карьера определенных концентраций газов и пыли.

Основные схемы движения воздушных потоков в карьерах достаточно полно разработаны В. С. Никитиным [1], предложенные им методы позволяют рассчитывать естественный воздухообмен с учетом запыленности и загазованности в карьере. Однако большее число рассмотренных схем движения воздуха и описывающих их уравнений несколько усложняет применение этих методов, так как на практике наблюдаются в основном комбинированные схемы естественного проветривания.

Вместе с тем общая природа процессов проветривания позволяет, по нашему мнению, дать единый метод расчета естественного проветривания энергией ветра и даже при совместном действии термического фактора.

Считая одним из основных элементов, обуславливающих естественное проветривание, энергию поверхностного ветра, определим количество воздуха, вовлекаемое в проветривание на каждой стадии отработки месторождения.

Первая стадия (рис. 1 а) характерна для начального периода отработки карьера или для случая разработки месторождений с горизонтально или полого залегающими рудными телами, когда размеры в плане значительны при небольшой глубине. В этом случае карьер практически не изменяет рельефа окружающей территории и проветривание подавляющей его части осуществляется так же, как и для всей территории района. Некоторое различие в рельефе касается главным образом характера подстилающих пород и сопровождается повышением параметра шероховатости.

Количество воздуха в м<sup>3</sup>/сек., вовлекаемое в проветривание на участке  $L_1$ , определится для первой стадии по формуле

$$Q_1^* = u_{\text{ср}} h_1 b_{1\text{к}}, \quad (6)$$

где  $u_{\text{ср}}$  — средняя скорость движения воздушных потоков на поверхности карьера;  $h_1$  — высота слоя воздуха, участвующего в проветривании участка  $L_1$ ;  $b_{1\text{к}}$  — средняя ширина карьера для участка  $L_1$  в направлении, перпендикулярном направлению ветра.

Высота слоя деформации воздушного потока определяется из геометрических построений (рис. 1 а)

$$h_1 = H_1 \frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2}, \quad (7)$$

где  $H_1$  — глубина карьера на данной стадии разработки;  $\alpha_1$  — внутренний угол сужения ядра постоянных скоростей,  $\alpha_2$  — внешний угол раскрытия свободной струи.

Из теории свободных турбулентных струй [4] известно, что

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &\approx 7^\circ 20' \\ \alpha_2 &\approx 15^\circ \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Так как  $\text{tg } \alpha_1 = 0,129$ ,  $\text{tg } \alpha_2 = 0,268$ ,  
то

$$h_1 = 0,48 H_1, \quad (9)$$

т. е. высота деформированного воздушного слоя, принимающего участие в проветривании на данной стадии разработки, является только функцией  $H_1$ .

Количество воздуха, участвующего в воздухообмене карьерного пространства, для участка  $L_2$  определится как для открытой площадки:

$$Q_1^* = \gamma u_{\text{ср}} L_2 b_{2\text{к}} k, \quad (10)$$

где  $L_2$  — характерный размер площадки в направлении ветра;  $b_{2\text{к}}$  — средний размер площадки  $L_2$  в направлении, перпендикулярном вектору ветра;  $\gamma$  — коэффициент, учитывающий изменение  $u_{\text{ср}}$  для участка  $L_2$  (как показано в работе [5],  $\gamma = 0,6 \div 0,7$ );  $k$  — коэффициент, учитывающий турбулентную структуру потока. В условиях развитой турбулентности  $k = 0,129$ .

Величины  $L_{\text{пл}}$ ,  $b_{\text{к}}$ ,  $H$  задаются, размер площадки  $L_2$  определяется по формуле

$$L_2 = L_{\text{пл}} - H \text{ctg } \alpha_2. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), получим

$$Q_1^* = \gamma u_{\text{ср}} b_{2\text{к}} k (L_{\text{пл}} - H_1 \text{ctg } \alpha_2). \quad (12)$$

Полное количество воздуха, участвующего в проветривании на первой стадии разработки карьера,

$$Q_1 = Q_1' + Q_1'' \quad (13)$$

Уравнение (13) с учетом (6) и (12) принимает вид

$$Q_1 = u_{cp} h_1 b_{1к} + \gamma u_{cp} b_{2к} k (L_{пл} - H_1 \operatorname{ctg} \alpha_2). \quad (14)$$

Используя (7), формулу (14) можно записать

$$Q_1 = a_1 u_{cp}, \quad (15)$$

где

$$a_1 = b_{1к} H_1 \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \gamma b_{2к} k (L_{пл} - H_1 \operatorname{ctg} \alpha_2). \quad (16)$$

Величина скорости ветра на поверхности карьера изменяется по высоте, поэтому в расчетные формулы необходимо ввести величину средней скорости ветрового потока по поверхности, участвующего в воздухообмене карьерного пространства

$$u_{cp} = \frac{1}{h} \int_0^h u_x dx, \quad (17)$$

где  $u_x$  — функция распределения скорости ветрового потока на поверхности по высоте  $x$ ;  $h$  — высота рассматриваемого слоя, участвующего в проветривании.

Обобщение и анализ большого экспериментального материала [6] показали, что вертикальное распределение ветровых потоков с большой степенью точности может быть представлено степенным законом

$$u_x = u_1 \left( \frac{x}{x_1} \right)^m, \quad (18)$$

где  $u_1$  — измеренное значение скорости ветрового потока на высоте  $x_1$  от поверхности;  $m$  — показатель степени, зависящий от состояния атмосферы:

$m = 0,3 \div 0,5 \approx$  устойчивое,  $m = 0,2 \div 0,3 \approx$  равновесное,  $m = 0,1 \div 0,2 \approx$  неустойчивое состояние.

Уравнение (17) с учетом (18) принимает вид

$$u_{cp} = \frac{u_1}{m+1} \left( \frac{h}{x_1} \right)^m. \quad (19)$$

Это позволяет ввести в расчетные формулы величину средней скорости  $u_{cp}$  ветрового потока, участвующего в проветривании карьера, по результатам экспериментальных измерений на высоте  $x_1$  вне карьера с учетом степени устойчивости атмосферы.

При дальнейшем увеличении глубины карьера (рис. 1 б) условия проветривания рабочей зоны существенно меняются, движение воздушных масс в большей части карьера осуществляется по рециркуляционной схеме, увеличивается зона обратных потоков, ослабляется проветривание поверхностными потоками нижней части карьера, однако количество воздуха, участвующего в проветривании, как и на первой стадии разработки, в единицу времени определится формулой, аналогичной выражению (15):

$$Q_2 = n_2 u_{\text{ср}}, \quad (20)$$

где

$$u_2 = b_{1к} H_2 \frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2} + \gamma k b_{2к} (L_{\text{пл}} - H_2 \text{ctg } \alpha_2). \quad (21)$$

На третьей стадии разработки, при  $p \geq 0,2$ , проветривание большей части карьерного пространства и всех его нижних горизонтов осуществляется только обратными потоками, которые характеризуются значительно меньшими скоростями по сравнению с ветром на поверхности и существенным образом снижают эффективность воздухообмена энергией ветра.

Производственные наблюдения и экспериментальные исследования на моделях показали, что для третьей стадии разработки

$$u_{\text{к}} \approx 0,3 u_{\text{п}}. \quad (22)$$

Если внешняя граница свободной струи выходит на наветренный борт карьера (рис. 1 в), то высота воздушного потока, участвующего в проветривании, может быть определена из следующего соотношения

$$h_3 = h' \frac{\text{tg } \alpha_1}{\text{tg } \alpha_2}, \quad (23)$$

где  $h'$  — глубина точки встречи границы внешнего угла раскрытия свободной струи и подветренного борта карьера.

Из геометрических построений получаем

$$h' = L_1 \text{tg } \alpha_2 = L_2 \text{tg } \beta_2, \quad (24)$$

где  $\beta_2$  — угол наветренного борта карьера.

Из формулы (24) получим

$$h' = \frac{L_1 \text{tg } \alpha_2 + L_2 \text{tg } \beta_2}{2}. \quad (25)$$

Уравнение (23) с учетом (25) имеет вид

$$h_3 = \frac{\text{tg } \alpha_1}{2} \left( L_1 + L_2 \frac{\text{tg } \beta_2}{\text{tg } \alpha_2} \right). \quad (26)$$

Из треугольника  $abc'$  определяем  $L_1$  и  $L_2$  через заданные  $L_{пл}$ ,  $\alpha_2$  и  $\beta_2$ :

$$L_1 = L_{пл} \frac{\operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2}, \quad (27)$$

$$L_2 = L_{пл} \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2}. \quad (28)$$

Подставляя (27) и (28) в (26), окончательно получим

$$h_3 = L_{пл} \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \beta_2}}. \quad (29)$$

Для участка  $L_1$  количество воздуха, принимающего участие в воздухообмене, равно

$$Q'_3 = u_{ср} b_{1к} h_3. \quad (30)$$

Для участка  $L_2$  дополнительное приращение расхода воздуха на проветривание определится по формуле, аналогичной (10)

$$Q''_3 = \gamma u_{ср} L_2 b_{2к} k. \quad (31)$$

Общее количество воздуха, участвующего в воздухообмене на третьей стадии отработки карьера, равно

$$Q_3 = n_3 u_{ср}, \quad (32)$$

где

$$n_3 = b_{1к} h_3 + \gamma L_2 k b_{2к}. \quad (33)$$

С учетом (28) и (29) уравнение (33) можно записать

$$n_3 = b_{1к} L_{пл} \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \beta_2}} + \gamma k b_{2к} L_{пл} \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \beta_2}. \quad (34)$$

Сравнение формул (14), (15), (16), (20), (21), (32) и (33) показывает аналогичность выражений для количества воздуха, принимающего участие в проветривании. Это позволяет дать обобщенную формулу, справедливую для любой стадии разработки карьера

$$Q = n u_{ср}. \quad (35)$$

Величина коэффициента  $n$  зависит от геометрических размеров карьера и в общем виде может быть определена для каждой стадии разработки соответственно выражениями (16), (21), (33) или (34). Таким образом, количество воздуха, участвующего в естественном воздухообмене в карьерном пространстве, пропорционально величине средней скорости ветрового потока на поверхности.

Если известны источники выделения вредностей в карьерном пространстве и их характеристики, то можно оценить с учетом интенсивности естественного воздухообмена величину концентрации

практически в любой интересующей нас точке и в случае превышения санитарных норм принять меры для активного воздействия на воздухообмен.

В случае равномерного по площади газовыделения концентрации в  $\text{мг}/\text{м}^3$  в точке  $x$  с учетом (5) равна

$$C_x = \varphi \frac{qF}{Q}. \quad (36)$$

Выражение (36) с учетом (35) принимает вид

$$C_x = \frac{M}{u_{\text{ср}}}, \quad (37)$$

где

$$M = \frac{\varphi q F}{n}, \quad (38)$$

т. е. концентрация в исследуемой точке обратно пропорциональна величине средней скорости ветрового потока на поверхности карьерного пространства, а это еще раз подчеркивает важность динамического фактора в естественном проветривании и создании нормальных санитарно-гигиенических условий труда в карьерах.

#### *Пример расчета*

Карьер имеет следующие размеры:

$$\begin{aligned} L_{\text{пл}} &= 550 \text{ м}, & b_{1\text{к}} &= 400 \text{ м}, & b_{2\text{к}} &= 350 \text{ м}, \\ H_1 &= 50 \text{ м}, & H_2 &= 100 \text{ м}, & H_3 &= 150 \text{ м}, \\ \beta_1 &= 40^\circ, & \beta_2 &= 35^\circ, \end{aligned}$$

Интенсивность выделения сероводорода  $q = 0,3 \text{ мг}/\text{м}^2\text{сек}$ .

Санитарная норма  $0,01 \text{ мг}/\text{л}$ .

Пользуясь приведенными выше формулами, определяем для каждой стадии разработки карьера величины  $h$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q$  и  $C_x$ . Результаты расчетов при трех значениях средней скорости ветровых потоков на поверхности приведены в табл. 1.

Сравнивая приведенные в таблице данные для всех трех стадий отработки карьера, видим, что общее количество воздуха, принимающего участие в проветривании карьерного пространства, остается примерно постоянным (при неизменных размерах карьера в плане). Таким образом, с увеличением глубины разработки рост объема карьерного пространства ведет к снижению интенсивности воздухообмена. Поэтому при значительной глубине карьера и малых скоростях поверхностного ветра естественный воздухообмен в ряде случаев не обеспечивает нормальных санитарно-гигиенических условий труда, что определяет необходимость активизации циркуляции воздушных масс в пределах карьерного пространства в определенные моменты времени.

**Количество воздуха  $Q$  в м<sup>3</sup>/сек. и максимальные концентрации  
поверхности**

$H$ м	$h$ м	$L_1$ м	$L_2$ м	$u_{\text{ср}} = 2$ м/сек.			
				$Q_1 \cdot 10^3$	$Q_2 \cdot 10^3$	$Q \cdot 10^3$	$C_x$
50	24	186	364	19,2	21,3	40,5	1,63
100	48	373	177	38,4	10,4	48,8	1,62
150	51	398	152	41,1	8,1	49,2	1,75

Приведенный здесь расчет показывает, что при заданной интенсивности источников выделения вредностей и скорости поверхностного ветра  $u_{\text{п}} \approx 2 \div 4$  м/сек. средние концентрации для карьерного пространства получены весьма значительные. В зоне рециркуляционных потоков эти величины, как показывают экспериментальные данные, имеют еще большее значение. Если учесть, что газы выделяются и их распространение неразрывно связаны с состоянием воздуха в приземном слое атмосферы, то общий уровень концентраций газа или пыли при определенных метеорологических ситуациях будет выше рассчитанных, приближаясь по своей величине к концентрации, допустимой по санитарным нормам, и даже превышая их.

В целом рассмотренный метод расчета естественного воздухообмена по динамическому фактору может быть использован также и с учетом термического фактора. Для этого необходимы материалы производственных исследований, характеризующие результирующую величину скорости ветра в карьере, сформированную как термическим, так и динамическим фактором.

При наличии производственных данных о соотношении скоростей движения воздуха в карьере  $u_{\text{к}}$  и на поверхности  $u_{\text{п}}$  в формулу количества воздуха, участвующего в проветривании (35), вводится поправочный коэффициент  $k_2$  для средней скорости движения воздуха на поверхности  $u_{\text{ср}}$ .

В частности, если действие термических потоков не проявляется, то  $k_2 = 1$ . При положительном действии местных потоков, усиливающим в карьере скорость ветра, коэффициент  $k_2$  возрастает до значения

$$k_2 = \frac{u_{\text{кф}}}{u_{\text{ср}}}, \quad (39)$$

где  $u_{\text{кф}}$  — величина фактической скорости ветровых потоков в карьере;  $u_{\text{ср}}$  — величина средней скорости ветра, определяемая уравнением (22).

Наоборот, при ослаблении ветра за счет местных потоков значения  $k_2$  будут меньше единицы.

Таблица I

примеси  $C_x$  в  $\text{мг/м}^3$  при различных значениях средней скорости  $u_{\text{ср}}$  ного потока

$u_{\text{ср}} = 3 \text{ м/сек.}$				$u_{\text{ср}} = 4 \text{ м/сек.}$			
$Q_1 \cdot 10^3$	$Q_2 \cdot 10^3$	$Q \cdot 10^3$	$C_x$	$Q_1 \cdot 10^3$	$Q_2 \cdot 10^3$	$Q \cdot 10^3$	$C_x$
28,8	32,0	60,8	1,09	38,4	42,6	81,0	0,81
57,6	15,6	73,2	1,08	76,8	20,8	97,6	0,81
61,6	12,2	73,8	1,16	82,2	16,2	98,4	0,87

Учет влияния термического фактора на интенсивность естественного проветривания позволяет более строго рассмотреть физическую основу происходящих явлений и получить с учетом динамического фактора и выделяющихся в объем карьерного пространства вредностей наиболее достоверные количественные характеристики естественного воздухообмена в карьере.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ✓ 1. Битколов Н. З. и Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.
- ✓ 2. Битколов Н. З. Проветривание карьеров. Учебное пособие, ЛГИ, 1964.
3. Сонькин Л. Р. Годовой ход и синоптическая обусловленность температурных профилей в нижнем 500-метровом слое. Труды ГГО, вып. 185, 1966.
4. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. Физматгиз, М., 1960.
5. Битколов Н. З. Роль ветра в естественном проветривании карьеров. Изв. ВУЗов, Цветная металлургия, № 3, 1962.
6. Клинов Ф. Я. К вопросу о распределении температуры, скорости и направления ветра в нижнем слое атмосферы. Метеорология и гидрология, № 5, 1968.
7. Wagner H. Zur Frage der physikalisch exakten Beschreibung der Wetterführung. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 1968, 113, N 2.

*Н. З. БИТКОЛОВ, А. А. КИСЛИЦКИЙ, Н. С. ТЮНЯКИНА*

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МИКРОКЛИМАТА КАБИН КРУПНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ЗАНЯТОГО В КАРЬЕРАХ**

Открытый способ разработки месторождений стал в последние годы ведущим в добыче большинства полезных ископаемых.

Применение мощной горной техники позволило не только расширить масштабы открытых горных работ, но и значительно увеличить целесообразную глубину разработки. Уже в настоящее время на ряде действующих карьеров горные работы ведутся на глубинах 200—300 м при проектных пределах до 300—500 м и более.

Рост интенсивности и масштабов открытой разработки, увеличение глубины карьера и численности рабочих, а также механизация производственных процессов более остро поставили вопросы обеспечения санитарно-гигиенических условий труда в карьерах по составу воздуха, его микроклиматической характеристике, а также по таким факторам, как шум, вибрации и некоторые другие.

Особое место в ряде указанных факторов играет микроклимат как на отдельных рабочих местах, так и в карьере в целом, прямо или косвенно влияющий не только на здоровье рабочих, но и на производительность их труда и аварийность работ.

С ростом глубины карьера его микроклимат все более обособляется от климата окружающего района, что должно учитываться при разработке средств проветривания и способов обеспечения комфортных условий труда, а также при оценке биоклимата в карьерах.

Развитие горной промышленности характеризуется разработкой месторождений полезных ископаемых в различных климатических зонах страны начиная с Крайнего Севера и Северо-Востока (карьеры Кольского полуострова и Якутии) до Юга СССР (карьеры Казахстана и Средней Азии). Климатические условия этих районов весьма различны. Для районов Крайнего Севера характерны небольшая высота солнца, круглосуточные полярные дни летом, продолжительные ночи и короткие сумерки зимой. Зимой отмечается около 200 дней с суточной температурой воздуха ниже 0°. Лето короткое и прохладное.

Южные районы характеризуются резко выраженным континентальным климатом с сильными колебаниями температуры, малым количеством осадков, неравномерно распределенных по сезонам, большой сухостью воздуха и малой облачностью. В низких широтах создаются благоприятные условия для большой продолжительности солнечного сияния.

Таблица 1  
Экстремальные и средние температуры воздуха

Станция	Январь		Июль		Станция	Январь		Июль	
	$\bar{t}^{\circ}$	$t^{\circ}_{\min}$	$\bar{t}^{\circ}$	$t^{\circ}_{\max}$		$\bar{t}^{\circ}$	$t^{\circ}_{\min}$	$\bar{t}^{\circ}$	$t^{\circ}_{\max}$
Мурманск	-10	-40	12	30	Якутск . .	-42	-60	18	35
Туруханск	-29	-60	14	30	Кзыл-Орда	-10	-35	26	45
Тикси . . .	-34	-55	7	30	Ташкент . .	-3	-30	27	50

В табл. 1 даны средние и экстремальные температуры воздуха для некоторых пунктов СССР.

Различия в климате, характерные для отдельных районов, определяют разные требования и нормы к условиям труда в карьерах.

В климатическом отношении рабочие места в карьерах могут быть разделены на три группы:

- 1) расположенные постоянно под открытым небом (бурильщики, взрывники, транспортные рабочие и др.),
- 2) постоянно находящиеся в изолированных помещениях (кабины экскаваторов, бульдозеров и т. п.),
- 3) находящиеся в переменных микроклиматических условиях, связанные с периодическим, по производственной необходимости, выходом за пределы помещения (кабины автосамосвалов, буровых станков и др.).

Метеорологические условия труда на рабочих местах первой группы определяются микроклиматом самого карьера, что соответственно обуславливает выбор необходимых средств индивидуальной защиты в виде спецодежды и т. п.

Рабочие места, связанные с постоянным пребыванием в изолированных помещениях, подвержены действию как внутренних источников тепла, так и непосредственному воздействию комплекса метеорологических параметров, характерных для данного района и присущих собственно карьерному пространству.

Многолетний опыт эксплуатации горного оборудования показывает, что их ограждающие конструкции не обеспечивают необходимый режим температуры и влажности не только в районах с очень жарким или холодным климатом, но и в районах умеренного климата. В летнее время металлический корпус оборудования на карьерах Урала нагревается до 50—60°, а зимой воздух в ка-

бинах быстро охлаждается и имеет температуру  $-3, -7^{\circ}$  даже при наличии обогревательных приборов.

Судить о важности регулирования микроклимата на рабочих местах в кабинах оборудования и о его влиянии на производительность труда можно по данным, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Влияние температуры и влажности на производительность труда [5]

$t^{\circ}$	$r\%$	Снижение произ- водительности труда, %	$t^{\circ}$	$r\%$	Снижение произ- водительности труда, %
33,6	100	40	43,2	28	20
48,8	33	40	26,0	100	8
29,4	100	20	40,0	19	8

Климатические условия оказывают свое влияние на производительность труда не только при повышении, но и при понижении температуры. Особенно характерно это отмечается в зимние месяцы при падении температуры ниже  $-26^{\circ}$ , так на карьерах Нижне-Куранахского ГОКа производительность труда машинистов экскаваторов ЭКГ-4 и буровых станков ГУ-20-2 снижается в зимние месяцы в 1,6 раза и в течение декабря — апреля на 30% ниже среднегодовой часовой производительности труда [7].

По данным американских исследователей [9], кондиционирование воздуха на рабочих местах позволяет увеличить производительность труда на 25—30%.

Особую группу составляют рабочие места, находящиеся в переменном микроклиматическом режиме. Разработанных нормативов для такого рода рабочих мест нет. В то же время многочисленность рабочих таких профессий требует решения данной задачи.

Не останавливаясь на определении возможных норм микроклимата для рабочих мест третьей группы, так как это должно быть предметом специальных физиологических исследований, рассмотрим микроклиматические особенности, присущие карьерному пространству и подлежащие учету при оценке климатических факторов теплоощущения, а также определяющие выбор и обоснование целесообразных методов обеспечения комфортных условий труда на рабочих местах, связанных с постоянным или периодическим пребыванием в кабинах различного оборудования.

Общие метеорологические условия для района любого карьера могут быть получены из соответствующих климатических справочников. Наряду с этим необходимо учесть особенности изменения и распределения метеозлементов в пределах карьера.

Известно, что на тепловые ощущения человека наибольшее влияние оказывает комплекс таких факторов, как температура воздуха, солнечная радиация и скорость ветра. Радиационные условия

как фактор нагрева приобретают особое значение для карьеров, расположенных в южных районах Советского Союза, где период высоких летних температур сочетается с безоблачной погодой, когда радиационное воздействие на людей, обслуживающих различного рода оборудования, проявляется в полной мере.

Тепловой режим и теплоотдача кабин оборудования являются функцией не только характеристик материала, из которого изготовлены кабины, но и климатических условий (температуры воздуха, скорости ветра, солнечной радиации).

Кроме того, необходимо учесть, что с увеличением глубины карьеров наблюдается повышение температуры с сухоадиабатическим градиентом  $1^\circ$  на 100 м.

Скорость ветровых потоков для различных участков карьера не является величиной постоянной, но почти всегда значительно меньше, чем для условий открытого участка. Исходя из полученных нами данных по материалам круглогодичных наблюдений величину скорости ветра в карьере можно принять равной

$$u_k = 0,3u_n. \quad (1)$$

Уравнение теплового баланса кабины можно представить в виде

$$R + Q = P + B, \quad (2)$$

где  $R$  — радиационный баланс, т. е. разность между лучистым потоком, падающим на кабину, и обратным потоком, обусловленным собственным излучением стен оборудования;  $Q$  — дополнительное поступление тепла от внутренних источников;  $P$  — турбулентный теплообмен с окружающим воздухом;  $B$  — поток тепла, обусловленный теплопроводностью стен оборудования.

Помимо теплопроводности и конвективного теплообмена, лучистый теплообмен оказывает существенное влияние на теплопоступления или теплоотдачу. Кабины оборудования в условиях карьеров находятся зачастую вблизи дополнительных источников радиации (освещенного или сильно нагретого борта или уступа).

В этих случаях на кабину будет падать поток радиации, отраженной от борта, и поток длинноволнового излучения. Радиационный баланс кабины при таких условиях может оказаться повышенным.

Если принять интенсивность отраженной радиации во всех точках уступа или борта одинаковой, то радиационный баланс кабины можно представить в виде [1]

$$R_k = S_k + D_k + r_3 + r_6 + u_a + u_3 + u_6 - r_k - u_k, \quad (3)$$

где  $S_k$  — поступление прямой солнечной радиации к кабине;  $D_k$  — поступление рассеянной радиации к кабине;  $r_3$  — поступление радиаций к кабине, отраженной от поверхности почвы;  $r_6$  — поток отраженной от борта радиации, поступающей к кабине;  $u_a$  — поступление к кабине длинноволнового излучения атмосферы;  $u_3$  — по-

ступление к кабине длинноволнового излучения поверхности почвы;  $u_6$  — поток излучения, поступающий к кабине от борта;  $r_k$  — коротковолновая радиация, отраженная от кабины;  $u_k$  — длинноволновое излучение кабины в окружающее пространство.

Турбулентный теплообмен в уравнении теплового баланса кабины может быть представлен как

$$P = \rho c_p D' (t_k - t_b), \quad (4)$$

где  $\rho$  — плотность воздуха;  $c_p$  — теплоемкость воздуха при постоянном давлении;  $D'$  — коэффициент турбулентной диффузии;  $t_k$  — температура воздуха в кабине;  $t_b$  — температура наружного воздуха.

Поток тепла, обусловленный теплопроводностью,

$$B = \alpha (t_k - t_b), \quad (5)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, который зависит от теплопроводности и термического сопротивления кабины.

Чтобы получить выражение для температуры кабины, надо записать уравнение теплового баланса кабины в виде

$$R_k = P_k = \rho c_p D' (t_k - t_b). \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует очевидный результат: когда радиационный баланс кабины равен нулю ( $R_k = 0$ ), то  $t_k = t_b$ , т. е. температура кабины имеет температуру окружающего воздуха. Это положение с достаточным приближением может наблюдаться, если внутри кабины и вне ее не действуют никакие источники тепла.

При положительном радиационном балансе, когда приток радиации к кабине больше радиационных потерь,  $t_k > t_b$ , при отрицательном радиационном балансе  $t_k < t_b$ .

Тогда

$$t_k = \frac{R}{\rho c_p D'} \pm t_b. \quad (7)$$

Записав уравнение радиационного баланса кабины в виде [1]

$$R_k = \frac{1}{4} \{1 - A_k (S + D + r + 2r_6) + \beta [(t_s - t_k) (t_a - t_k) + 2(t_b - t_k)]\}, \quad (8)$$

где  $\beta = 4\delta\sigma T^3 \approx 0,01$  кал/см<sup>2</sup>мин.град. (для дневных температур летнего периода);

$S$  — прямая радиация;  $D$  — рассеянная радиация;  $r$  — отраженная радиация;  $r_6$  — отраженная радиация от борта;  $t_a$  — температура поверхности почвы;  $t_k$  — температура кабины;  $t_a$  — радиационная температура, соответствующая интенсивности излучения атмосферы;  $t_6$  — температура борта или уступа.

Температуру кабины можно выразить как

$$t_k = \frac{1}{\rho c_p D + \beta} \left[ \frac{1 - A_k}{4} (S + D + r + 2r) + \frac{\beta}{4} (t_a + t_z + 2t_6) + c_p \rho D t_b \right]. \quad (9)$$

Турбулентный теплообмен с поверхности кабины будет ослаблен, так как коэффициент турбулентной диффузии является функцией скорости ветра [3]

$$D' = m \sqrt{u}, \quad (10)$$

где  $u$  — скорость ветра в м/сек.;  $m$  — коэффициент.

Для условий карьеров

$$D' = 0,55m \sqrt{u_n}, \quad (11)$$

где  $u_n$  — скорость ветра на поверхности м/сек.

Влияние скорости ветра на величину теплотеря велико. Согласно исследованиям Б. А. Айзенштата [1], снижение скорости ветра в 3 раза в интервале 3—6 м/сек. уменьшает коэффициент теплотеря в 1,4 раза.

Радиационный приток тепла к поверхностям оборудования, как было отмечено выше, складывается из прямой, рассеянной, а также из коротковолновой и длинноволновой отраженной радиации от поверхностей борта или уступа.

Если принять, что прямая и рассеянная радиация в полуденные часы одинакова для карьера и для прилегающего района, то удельный вес отраженной радиации возрастает.

Таким образом, с позиций влияния метеорологических условий на микроклимат рабочих мест в карьерах необходимо учитывать следующие особенности:

- 1) повышенную температуру воздуха,
- 2) меньшую скорость ветра,
- 3) большую напряженность солнечной радиации за счет дополнительного отражения от бортов и уступов.

Исходя из этого правомерно предполагать, что в летнее время года в карьерах и кабинах горного оборудования будет иметь место повышенный термический режим, что соответственно требует учета при расчете средств обеспечения комфортных условий труда.

В зимнее время года термический режим будет более благоприятным по сравнению с поверхностью и метеорологические данные, характерные для района, исходя из предыдущих условий могут быть положены в основу расчета.

При проектировании установок кондиционирования воздуха для кабин крупного горного оборудования выбор расчетных параметров наружного воздуха имеет большое техническое и экономическое значение. При неправильно выбранной расчетной температуре наружного воздуха охлаждающие установки не будут обеспечивать необходимый эффект в жаркое время года.

К расчетной температуре наружного воздуха необходимо вводить поправку на повышение температуры с глубиной, равное  $1^\circ$  на 100 м. Расчетные параметры наружного воздуха имеются в соответствующей литературе [8].

Для расчетов систем кондиционирования воздуха для кабин оборудования должны быть составлены балансы тепла. С этой целью необходимо определить поступление тепла через стенки кабины вследствие наличия разности температур, поступление лучистого тепла и тепловыделение от оборудования и людей.

Поступление тепла в ккал/час через стенки определяется по выражению

$$Q = kF(t_b - t_k), \quad (12)$$

где  $k$  — коэффициент теплопередачи в ккал/час  $m^2$ град.,  $F$  — площадь поверхности ограждения в  $m^2$ ;  $t_b$  — расчетная температура наружного воздуха с учетом поправки на глубину карьера ( $t_b = t_{расч. в} + \frac{H}{100}$ ), где  $H$  — глубина карьера в метрах,  $t_k$  — расчетная температура воздуха внутри кабины.

Количество тепла, поступающего за счет солнечной радиации, определяют по выражению

$$Q = Q_{пад} \tau_{погл} \tau_{пр}, \quad (13)$$

где  $\tau_{погл}$  — коэффициент поглощения падающей на поверхность ограждения радиации;  $\tau_{пр}$  — коэффициент пропускания падающей радиации

$$\tau_{пр} = \frac{k}{\alpha_n}, \quad (14)$$

где  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности ограждения.

В связи с тем что скорость в карьере уменьшается в среднем в 3 раза, уменьшается и коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности ограждения, что приводит к увеличению в конечном счете количества тепла, поступающего в кабину оборудования за счет солнечной радиации.

Каково же увеличение количества тепла, поступающего в кабину оборудования, расположенного в карьере, за счет снижения скорости ветра?

Представим стенку кабины как пластину при продольном обтекании ветром. Для расчета теплоотдачи пластины в турбулентном потоке М. А. Михеев [6] рекомендует следующее выражение

$$\overline{Nu}_{nL} = 0,037 Re_{nL}^{0,8} Rr_n^{0,43} \left( \frac{Pr_n}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (15)$$

где  $Nu_{nL} = \frac{\alpha_n L}{\lambda}$  — средний критерий Нуссельта;  $Pr_n = \frac{\gamma_n}{\alpha_n}$  —

критерий Прандтля при температуре потока окружающей среды;  $Pr_{ст} = \frac{\gamma_{ст}}{a_{ст}}$  — критерий Прандтля при температуре среды на границе со стенкой;  $Re = \frac{vL}{\gamma_n}$  — критерий Рейнольдса для потока среды.

Напишем отношения критериев Нуссельта для стенки, расположенной на поверхности и в карьере

$$\frac{Nu_{пов}}{Nu_{кар}} = \frac{0,037 (Re_{nL}^{пов})^{0,8} Pr_n^{0,43} \left( \frac{Pr_n}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}}{0,037 (Re_{nL}^{кар})^{0,8} Pr_n^{0,43} \left( \frac{Pr_n}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}} \quad (16)$$

Так как значения критериев Прандтля для возможных интервалов изменения температур потолка и стенки для поверхности и карьера практически равны, то раскрывая значения критериев  $Nu$  и  $Re$ , можно написать

$$\frac{Nu_{пов}}{Nu_{кар}} = \frac{\alpha_{пов}}{\alpha_{кар}} = \left( \frac{v_{пов}}{v_{кар}} \right)^{0,8} \quad (17)$$

Из выражения (17) при снижении скорости ветра в карьере в 3 раза получим:

$$\frac{\alpha_{пов}}{\alpha_{кар}} = 2,4,$$

т. е. коэффициент конвективной теплоотдачи наружной поверхности ограждения в окружающую среду в карьере в 2,4 раза меньше, чем вне его.

Из выражений (13) и (14) видно, что только за счет уменьшения скорости ветра в карьере в 3 раза количество тепла, поступающего от солнечной радиации через поверхности ограждения (стены, потолок), увеличивается в среднем в 2,4 раза.

Для защиты кабин горного оборудования от поступления тепла за счет солнечной радиации можно рекомендовать применять солнцезащитные стекла и окрашивать наружные поверхности в светлые цвета.

Для уменьшения тепlopоступлений из-за наличия разности температур необходимо устраивать теплоизоляцию кабин. Расчеты, проведенные для кабин экскаватора ЭРГ-350/1000, показывают, что применение в качестве тепловой изоляции стен минерального волокна или пробки толщиной 20 мм позволяет уменьшить поступление тепла в 2,3 раза.

Таким образом, в районах с очень жарким климатом в условиях карьеров тепловой баланс рабочих, обслуживающих механизмы, сильно перегружается из-за повышенного радиационного режима и уменьшенной скорости ветра в карьере. Это определяет необходимость разработки нормативов микроклимата в карьерах и обос-

нования целесообразных способов их обеспечения при проектировании и строительстве различных машин и механизмов.

Создание на горном оборудовании различных кондиционирующих устройств, теплоизоляция кабин являются неотложной задачей. Необходимость учета микроклимата кабин горного оборудования диктуется все возрастающим объемом открытых горных работ и увеличением глубины карьеров.

Введенный анализ показывает, что кабины для защиты от неблагоприятных условий погоды и климата должны иметь и достаточную теплоизоляцию.

Непрерывные и высокоинтенсивные производственные процессы в карьерах требуют создания оптимальных микроклиматических условий труда на рабочих местах, что приведет к увеличению производительности труда и сократит аварийность работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенштат Б. А. Методы расчета и результаты некоторых биоклиматических характеристик. Труды САНИГМИ, вып. 22(37), 1965.

2. Битколов И. З., Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.

3. Будыко М. И., Циценко Г. В. Климатические факторы теплоощущения человека. Изв. АН СССР, серия геогр., № 3, 1960.

4. Дашкевич Л. А. Методы расчета инсоляции при проектировании промышленных зданий. Госстройиздат, М., 1939.

5. Малышев А. В. Физиолого-технические обоснования условий, обеспечивающих тепловой комфорт. Сб. «Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях».

6. Михеев М. А., Михеева Н. М. Краткий курс теплопередачи. Госэнергоиздат, М., 1960.

7. Петрищев В. А. Влияние метеорологического фактора на заболеваемость и производительность труда рабочих на карьерах Севера. Труды Иркутского политехнического ин-та, вып. 37, 1967.

8. Расчетные параметры наружного воздуха ПИ-1, серия № 2-630-61.

9. P. Scherwood. Is air conditioning worth while? Factory Manag., 33, 1964, 4, 189.

## МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ИНВЕРСИЙ, ПОВЫШЕННОЙ ЗАГАЗОВАННОСТИ И ЗАПЫЛЕННОСТИ В КАРЬЕРАХ УРАЛА

Совершенствование и внедрение комплексной механизации и автоматизации на открытых горных разработках, уменьшение эффективности естественного воздухообмена с увеличением глубины карьеров влечет за собой рост загазованности и запыленности их атмосферы.

Загрязнение атмосферы карьеров — помутнение воздуха в результате наличия в нем взвешенных частичек пыли, дыма, токсичных газов — связано с макропроцессами, ведущими к понижению температуры воздуха в приземном слое атмосферы, и микропроцессами, связанными с понижением температуры почвы и воздуха в карьерах относительно поверхности. Атмосфера при этом принимает устойчивое равновесие — развиваются инверсии.

**Условие развития внутрикарьерных инверсий.** Наряду с приземными инверсиями при тихой погоде за счет интенсивного излучения, более позднего попадания солнечных лучей в карьер по сравнению с околокарьерной территорией и стока холодного воздуха с отвалов и возвышенностей возникают внутрикарьерные инверсии.

Продолжительность их 5—12 час. с разностью температур в слое 2—5°, мощность достигает десятков метров у дна карьеров, распространяясь на разные горизонты и около уступов бортов. Стратификация атмосферы при наличии приземной и внутрикарьерной инверсий исключительно устойчивая, поэтому в этих условиях происходит сильное загрязнение атмосферы карьеров. Возникающая турбулентность способствует распространению вредностей в карьерном пространстве, но не в состоянии вынести их за пределы карьера. При инверсионном режиме относительная влажность в карьере возрастает, так как влага накапливается под слоем инверсии, задерживающим динамическую турбулентность. Кроме того, влияет и распределение температур: при инверсиях внизу холоднее, а понижение температуры обычно связано с повышением относительной влажности.

### Средняя суточная температура воздуха

Полугодие	Место наблюдений	Часы					
		0	2	4	6	8	10
Холодное (XI—IV)	Поверхность	-10,1	-10,1	-10,4	-10,5	-9,6	-7,2
	Дно	-8,4	-8,7	-9,0	-9,2	-8,5	-6,8
Теплое (V—X)	Поверхность	10,1	9,2	8,9	10,6	13,1	15,2
	Дно	12,3	11,6	11,0	11,7	13,7	16,2

Благоприятными условиями для образования инверсий на Урале являются:

1. Антициклонический тип погоды с малоградиентным барическим полем (особенно в холодный период года);

- а) центр антициклона,
- б) северо-западная и юго-западная периферия антициклона.

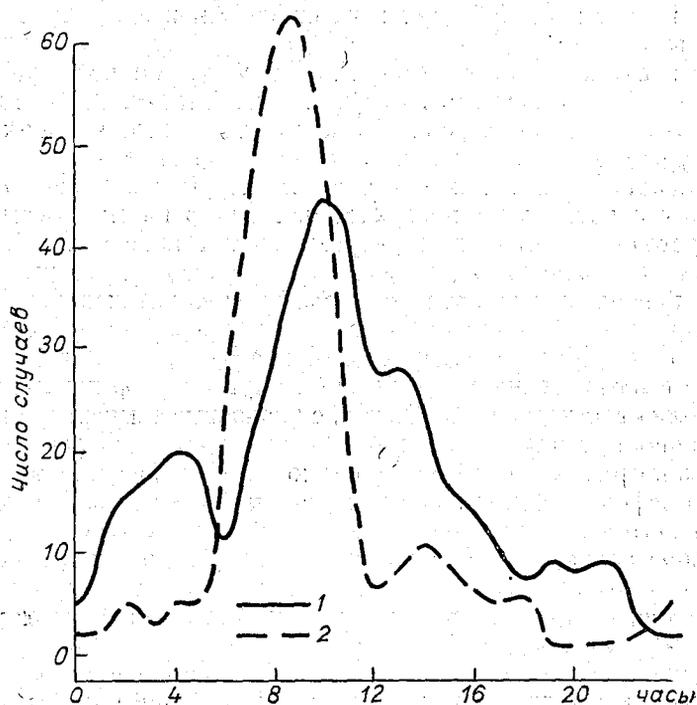


Рис. 1. Суточный ход инверсий температуры в Сибайском карьере в 1968 г.

1 — холодное полугодие, 2 — теплое полугодие.

на Сибайском карьере за 1967—1968 гг.

Полугодие	Место наблюдений	Часы					
		12	14	16	18	20	22
Холодное (XI—IV)	Поверхность	—5,6	—5,5	—6,7	—9,8	—9,3	—9,8
	Дно	—4,7	—4,6	—5,3	—6,4	—7,3	—7,9
Теплое (V—X)	Поверхность	16,9	17,4	16,9	15,2	12,6	11,1
	Дно	18,5	18,9	18,4	16,9	15,1	13,6

2. Адвекция (перенос) тепла на карте барической топографии АТ<sub>850</sub>.

3. Наличие замкнутого очага или гребня тепла на карте средней температуры в слое 1000—5500 м (от  $\frac{500}{1000}$ ).

При перечисленных синоптических ситуациях накоплению вредностей в атмосфере карьеров способствуют следующие метеорологические условия:

а) слабый ветер или штиль в ночные и утренние часы при ясной погоде или небольшой облачности;

б) уменьшение температурных градиентов до отрицательных значений или начинающееся общее повышение температуры с высотой.

В 90% случаев в холодный период года образование инверсий наблюдалось при сибирском антициклоне, когда на Урал направлен гребень и по его западной и северо-западной периферии происходит интенсивный вынос теплых воздушных масс в нижнем слое тропосферы. Это объясняет связь между юго-западным направлением ветра и загрязнением ряда Уральских карьеров.

Повторяемость инверсий в течение суток, особенно в теплое полугодие, имеет определенную закономерность: наибольшая наблюдается в утренние часы, наименьшая — в полуденные и вечерние (рис. 1).

В ночные и утренние часы при штиле и безоблачной погоде за счет радиационного выхолаживания в приземном слое создается отрицательный градиент температуры воздуха и образуется приземный или внутрикарьерный инверсионный слой, препятствующий перемешиванию воздуха в карьере. В дневное время (12—14 час.) за счет преобладания инсоляции над излучением, увеличения скорости ветра и развития турбулентности инверсионные слои разрушаются. Наибольшая температура воздуха во все месяцы года и полугодия приходится на это время (табл. 1).

Большой мощности инверсии, вызвавшие сильные смоги продолжительностью от 75 до 360 час. (в Асбестовском карьере в октябре 1968 г. 67 час., в Сибайском в декабре 1968 г. 60 час. и т. д.), наблюдались в Коркинском карьере в декабре 1966 г., ноябре 1967 г. и январе 1968 г.

Рассмотрим метеорологические условия при образовании инверсий и смога в Коркинском карьере в декабре 1966 г. (рис. 2). Над Южным Уралом установилась антициклоническая циркуляция атмосферы с приземной инверсией. С 24 по 27 XII нормальное распределение температуры воздуха в карьере прерывалось инверсионным в послеполуденные часы. Инверсии температуры продолжались в течение 6—10 час., затем с ослаблением солнечных лучей разрушались, так как температура воздуха у поверхности земли резко понижалась. Интенсивность смога находилась в прямой зависимости от возникновения или разрушения инверсионного слоя в карьере.

В период этих кратковременных инверсий контрасты между температурой воздуха поверхности и дна карьера достигали  $-7^{\circ}$ .

С 8 час. 28 XII установилась продолжительная инверсия с перепадом температур  $15,8^{\circ}$ , температурный градиент составил  $-5^{\circ}/100$  м. Северное направление ветра с 24 XII сменилось на южное (рис. 2).

Анализ высотных карт  $AT_{850}$  и  $AT_{700}$  показал, что 23 XII в антициклоне на этих высотах наблюдалась адвекция холода. На карте от  $500$  до  $1000$  антициклону соответствовали ложбины холода. В 15 час. 23 XII на  $AT_{850}$  и  $AT_{700}$  отмечалась интенсивная адвекция тепла, которая к 15 час. 24 XII составила  $12-14^{\circ}/24$  часа и утром 24 XII началось стекание в карьер дыма котелен, накапливание угольный пыли, дыма от пожаров и газа угольных пластов. Относительная влажность воздуха на поверхности до выпадения снега 30 XII была около 80%, резко снижаясь в периоды инверсий, в подынверсионном слое составляла 85—90%, поэтому при избытии ядер конденсации образовался смог с горизонтальной видимостью около 100 м.

✓ По данным радиозондирования, 23 XII в инверсионном слое до 600 м скачок температуры составил  $4^{\circ}$ , к 26 XII он увеличился до  $12^{\circ}$ , а 27 XII в слое 670 м достиг  $18,2^{\circ}$ , т. е. температурный градиент составил  $-2,7^{\circ}/100$  м.

В день начала смога в атмосфере карьера содержалось менее 0,001% окиси углерода, с течением времени процент содержания увеличился и 28 и 29 XII — в дни наибольшей интенсивности явления — составил 0,006—0,007%, а у западного борта количество окиси углерода достигло 0,008% при допустимой концентрации 0,001%.

Из семи дней, в течение которых наблюдался смог, карьер не работал почти четыре дня. 31 XII установилась пасмурная погода и инверсия разрушилась; с усилением южного ветра до 5 м/сек. карьер проветрился.

На рис. 3 приводится связь суточного хода внутрикарьерных инверсий с загрязнением Коркинского карьера по полугодиям за 1968 г.

Из рисунка следует, что:



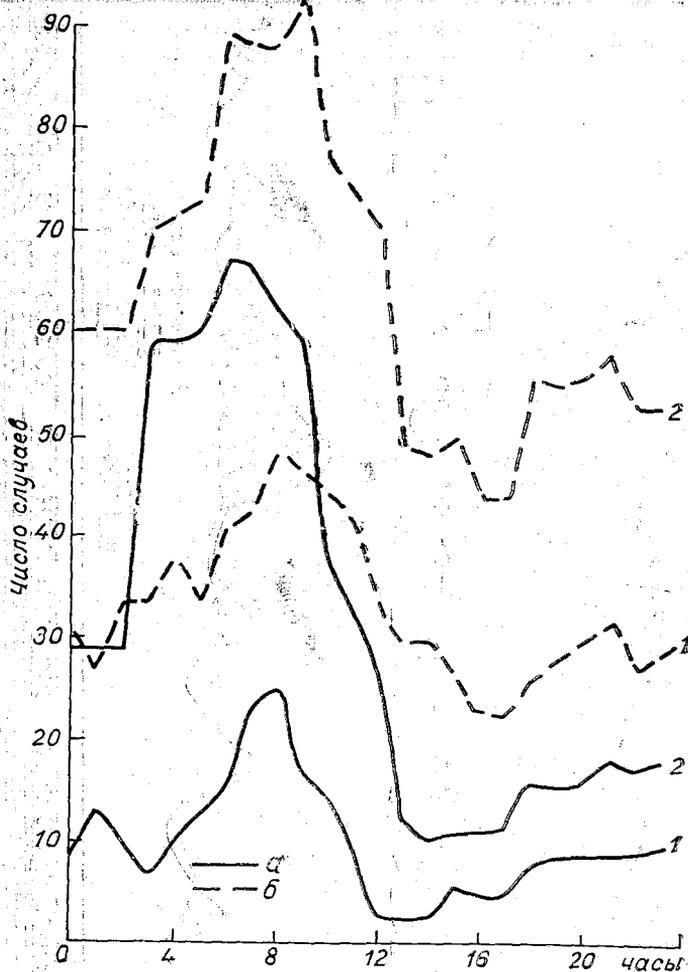


Рис. 3. Суточный ход внутрикарьерных инверсий (1) и загрязнения (2) Коркинского карьера в теплое (а) и холодное (б) полугодия 1968 г.

а) число инверсий и случаев загрязнения в холодное полугодие в 2 раза больше относительно теплому;

б) максимум инверсий и случаев загрязнения приходится на предполуденные часы, минимум — на послеполуденные;

в) в холодное полугодие максимум инверсий и загрязнения сдвинут к полудню;

г) число случаев загрязнения во все часы суток более чем в 2 раза превышает число случаев инверсий.

**Связь внутрикьерных инверсий с загрязнением атмосферы  
Сибайского карьера за 1968 г., часы**

Явление	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Инверсии . . . . .	41	83	52	86	116	21	48	61	54	48	88	92	789
Загрязнения . . . . .	116	175	18	17	9	13	—	—	14	46	34	148	590
Инверсии и загряз- нения . . . . .	6	38	5	6	5	5	—	—	6	7	11	43	132

Анализируя связь между внутрикьерными инверсиями и загрязнением атмосферы карьеров (табл. 2), можно видеть, что продолжительность загрязнения Сибайского карьера в зимние месяцы была в 2 раза больше, чем инверсии, в теплое время года — наоборот. В июле и августе при продолжительности инверсионного состояния атмосферы 109 час. загрязнения карьера не наблюдалось. Рисунок 3 и табл. 2 подтверждают, что загрязнение карьеров более чем в 50% случаев происходит при  $1^{\circ}/100 \text{ м} > \gamma > 0^{\circ}/100 \text{ м}$ , т. е. при отсутствии инверсий.

Следует отметить, что настоящая статья является первой попыткой нахождения связи загрязнения атмосферы карьеров с инверсиями, метеорологическими условиями и синоптической ситуацией для последующего прогнозирования.

Результаты в первом приближении позволяют считать, что при наличии данных по зондированию атмосферы карьеров и приземных слоев прогнозирование времени загрязнения вполне возможно.

**Метеорологические условия при повышенной загазованности и запыленности в карьерах Урала.** Залежи полезных ископаемых и вмещающих пород в большинстве карьеров Урала имеют коэффициент крепости 6—16 по шкале профессора М. М. Протодыконова, в связи с чем отбойка горной массы производится с помощью массовых взрывов.

Транспортировка руды на обогатительные фабрики, пустых пород и бедных руд в отвалы осуществляется в 50% автотранспортом (большегрузными автосамосвалами), который, как и массовые взрывы и другие источники пыле- и газовыделения, в сильной степени загрязняет атмосферу карьеров, вследствие чего нередко прекращаются горные работы. Так, 13 и 14 II 1969 г. после взрывных работ при западном ветре скоростью 1—2 м/сек. на поверхности и полном штиле на дне карьера при образовавшейся инверсии с температурным градиентом до  $-5^{\circ}/100 \text{ м}$  Асбестовский карьер не работал полную смену.

Загазованность Коркинского угольного карьера в ноябре 1967 г. при установившейся антициклонической погоде и развитых инвер-

сиях температуры воздуха привела к прекращению работ в течение 12 суток.

Вследствие загазованности выхлопными газами автомашины атмосферы Сибайского карьера в штилевую погоду при слаборазвитой конвекции неоднократно приходилось прекращать работу автотранспорта.

В составе атмосферы глубоких карьеров, который в основном почти не отличается от обычного атмосферного воздуха, всегда имеются ядовитые и вредные примеси [1].

По содержанию свободной двуокиси кремния в горных породах Сибайский рудник относится к силикозоопасным [2].

Большое скопление пыли в карьерах приводит к заболеваниям силикозом (при кварцевой пыли) и пневмоколизом (при угольной, асбестовой и др.). В пыли Сибайского карьера содержится 8—23,6% свободной двуокиси кремния; во вскрышных породах, в угольной пыли и в пыли перегоревших внутренних отвалов Коркинского карьера 8,4; 12—17 и 7,5—27% соответственно.

Максимальный размер пылинок, попадающих в легкие человека, до 10 мкм; наиболее опасные — пылинки размером до 2 мкм.

В Коркинском угольном карьере 70—80% пылинок размером менее 3 мкм, в Сибайском 98,5% размером 2 мкм и меньше.

Содержание пыли в воздухе на территории Сибайского рудника в районе жилого поселка при скорости ветра 5—7 м/сек. достигает 7 мг/м<sup>3</sup> при санитарной норме 2 мг/м<sup>3</sup> [2].

Повышенная общая запыленность воздуха в карьерах наблюдалась при сильных ветрах на поверхности за счет сдувания пыли с околоскарьерной территории, бортов и дорог и при штиле и слабых ветрах (1 м/сек.) на дне карьера, особенно в местах бурения шпуров перфораторами, сухого шарошечного бурения и работы экскаваторов при отсутствии средств пылеподавления.

Для ряда Уральских карьеров характерно загрязнение их вследствие образования туманов.

Туманы наблюдаются радиационные, возникающие в результате местного выхолаживания воздуха в ночные и утренние часы, адвективные, возникающие вследствие перемещения более теплого воздуха над охлажденной подстилающей поверхностью, и адвективно-радиационные (смешанные).

Туманы на Среднем Урале чаще всего наблюдаются во второй половине лета и в начале осени (июль — сентябрь), максимум в годовом их ходе приходится на август, минимум — на март. По типам туманы распределяются следующим образом: сплошные — 40%, просвечивающие — 32% и поземные — 28% общего числа туманов.

В условиях некоторых карьеров (Сибайский, Учалинский) туманы способствуют растворению вредных примесей (акролеина, окислов азота и др.) и, кроме ухудшения видимости, вреда не приносят. В угольных (Коркинский) и асбестовых (Асбестовский) карьерах туманы и находящиеся в их атмосфере пыль, сажа и газы образуют смоги.

Основными ядовитыми примесями в карьерах Урала являются окись углерода, окислы азота, сернистый газ, акролеин, формальдегид и сероводород, которые выделяются при взрывных работах, работе дизельных двигателей, пожарах и т. д. [4]. На рис. 4 дано распределение продолжительности повышенного загрязнения Коркинского (300 м), Сибайского (200 м) и Асбестовского (140 м) карьеров за 1968 г. по месяцам.

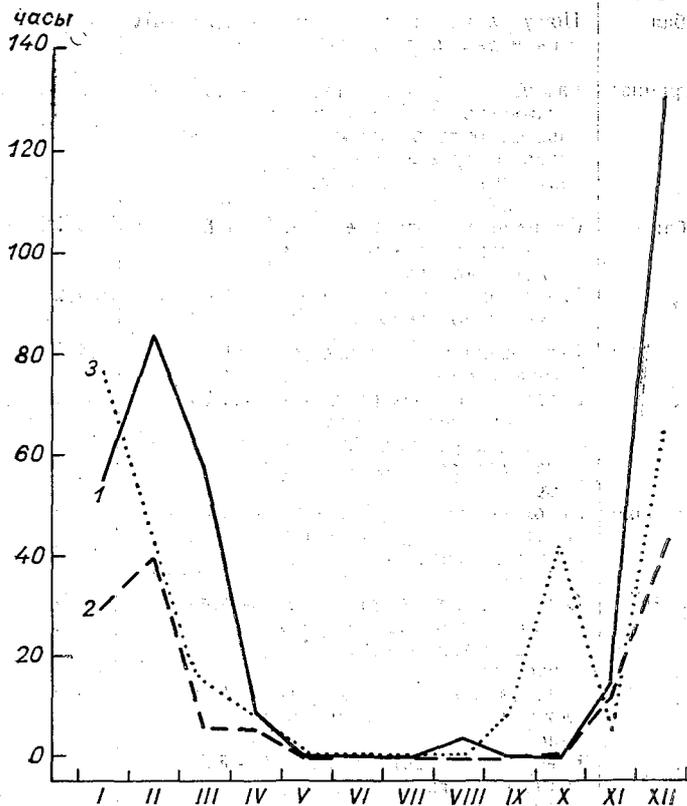


Рис. 4. График продолжительности повышенного загрязнения атмосферы карьеров в 1968 г.  
1 — Коркинский карьер, 2 — Сибайский, 3 — Учалинский.

Общая продолжительность загрязнения карьеров за 1968 г. составила:

Карьер	Продолжительность, часы	Карьер	Продолжительность, часы
Коркинский	2228	Сибайский	604
Асбестовский	831	Учалинский	992

### Метеорологические условия повышенной загазованности

Время, час, мин.	Интенсивность инверсии	Краткое описание загрязнения атмосферы	Температура воздуха, град.		Направление и ско- рость ветра, м/сек.	
			п	к	п	к
6 10	Слабая	Помутнение воздуха. Дым-ка и дым образуют смог	-6,7	-5,6	З 1,0	— 0
11 50	Умеренная	Газ по всему карьере, в юго-восточной части поднялось облако загрязненного воздуха и между отвалами вышло на северо-восток	-5,4	-4,4	ЮЗ 1,2	ЮЗ 0,6
14 30	Слабая	Скопление загрязненного воздуха в юго-восточной части карьера	-8,6		ЮЗ 1,1	— 0
18 00	"	Газ равномерно распределяется по всему карьере	-10,4	-10,0	ЮЗ 2,3	— 0
20 00	"	Без изменений. Скопление газа у северного борта	-10,8		З 1,0	
21 00	"	Загрязненный воздух белесоватого цвета поднимается над карьером. Скопление у северо-восточного борта	-11,2		З 1,0	
0 00	Умеренная	Загрязнение голубоватого цвета по всему карьере, больше у северо-восточного борта	-10,8	-11,0	З 1,0	— 0
2 00	Сильная	Общее помутнение атмосферы карьера серого цвета, в южной части белесоватого	-9,4		— 0	— 0
3 40	"	Загрязненный воздух уплотнился и опустился на дно	-9,3		— 0	— 0
4 00	"	В верхней части чисто. Сильно загазованы IX, X, XI уступы	-8,5		З 1,0	
6 45	Умеренная	Газ распространяется по всему карьере. Скопление газа у северо-восточного борта	-9,0	-9,6	— 0	— 0
9 45	Слабая	Без изменений. Загрязненный воздух поднимается вверх	-11,4		ЮЗ 1,0	
10 45	"	Газ распространен по всему карьере. Ослабевает. Цвет воздуха из голубоватого переходит в белесоватый	-6,9		ЮЗ 1,0	
12 00		Атмосфера карьера очистилась	-8,4	-7,6	ЮЗ 4,0	ЮЗ 0,6

Таблица 3

Учалинского карьера 18—19 XII 1968 г.

Влажность воздуха, %		Температура почвы, град.		Видимость, м	Облачность, баллы и атмосферные явления	T°/100м	Примечание
п	к	п	к				
87	88	-8	-6	1000	9/0	0,9	Натягивает дым от обогатительной фабрики Карьер почти очистился юго-западным ветром
88	99	-6	-6	200	10/4	0,8	
87				1000	4/1		
100	100	-13	-11	1000	0/0	0,3	
100	100			1000	0/0 иней		
100	100			1000	0/0 иней		
100	88			200	0/0 иней	-0,2	
97	100			<100	0/0 иней		Проветривание РД 2 часа 10 мин.—2 часа 50 мин., 4 часа 10 мин.—4 часа 50 мин.
96				<100	0/0 иней		Проветривание РД на XI уступе, 4 часа 30 мин.—7 час.
94				<100	0/0 иней		Работы в карьере прекращены
96	100	-10	-12	200	5/0	-0,5	
94				1000	5/0		
82				1000	2/0 <sup>o</sup>		
83	93	-9	-10	>1000	1/0 <sup>o</sup>	+0,7	

Но более чем в 75% этого числа в году наблюдалось слабое загрязнение всей атмосферы карьеров в виде дымки, что объясняется наличием большого количества ядер конденсации и водяных паров, насыщающих инверсионный слой, и в виде мглы в дни с малой относительной влажностью.

Анализ материалов показывает, что наибольшее число случаев интенсивного и продолжительного загрязнения приходится на холодное полугодие.

В холодное время года термический фактор почти отсутствует: наблюдается значительная облачность; подстилающая поверхность приобретает более светлый цвет, имеющий меньшую поглощательную способность солнечной радиации, в результате излучение преобладает над инсоляцией; уменьшается высота солнца над горизонтом, вследствие чего лучи его лишь на короткий срок проникают в карьер.

Из рис. 4 следует, что с увеличением глубины карьера продолжительность загрязнения атмосферы в нем растет. Увеличение естественного проветривания карьера термическими силами не компенсируется ослаблением действия динамического фактора.

Загазованность атмосферы карьеров связана с устойчивым состоянием ее при штилевой погоде и слаборазвитой конвекции. Интенсивность конвекционного движения и распределение температур воздуха в карьере определяются температурным режимом почвы карьера.

Определяющее влияние термического режима почвы распространяется и на инверсионную схему естественного движения воздуха.

При устойчивом состоянии атмосферы и отсутствии восходящих струй средняя температура почвы в карьере ( $t_{пк}$ ) ниже температуры прилегающего воздуха ( $t_{вк}$ ); при неустойчивом состоянии температура почвы в карьере ( $t_{пк}$ ) выше, чем на поверхности ( $t_{пп}$ ), при устойчивом состоянии ниже, т. е. при устойчивом состоянии  $t_{пк} < t_{вк} < t_{пп}$ ; при неустойчивом состоянии  $t_{пк} > t_{вк} > t_{пп}$ .

Общее загрязнение Учалинского карьера за 1968 г. составляет около 11%. Как правило, местное загрязнение чаще происходит у северного и северо-восточного бортов. Это загрязнение распространяется до определенных уступов, в виде облака белесовато-серого цвета перемещается в атмосфере карьера по горизонтали и вертикали. В последнем случае такое облако при слабом движении воздуха выносится за пределы карьера, особенно в коридоры, создаваемые отвалами (северный отвал и бывшая плотина ФСО фабрики). В Гороблагодатском железорудном карьере такой вынос происходит по съезду.

Создающееся загрязнение на дне карьера в застойных зонах под действием слабого ветра и турбулентности распространяется в атмосфере всего карьера.

Типичный случай загрязнения Учалинского карьера наблюдался 18 и 19 XII 1968 г. (табл. 3). В ночь на 18 XII при ослаблении ветра, небольшой высоко-кучевой облачности и сильном излучении

в атмосфере карьера начала образовываться дымка, а при поступлении дыма от обогатительной фабрики образовался смог.

Вечером 18 XII стало ясно, радиационное выхолаживание возросло, влажность увеличилась до 100%; ночью образовался иней, температурный градиент достиг отрицательных величин, интенсивность загрязнения перешла допустимые пределы, и в 4 часа 30 мин. работы в карьере пришлось прекратить.

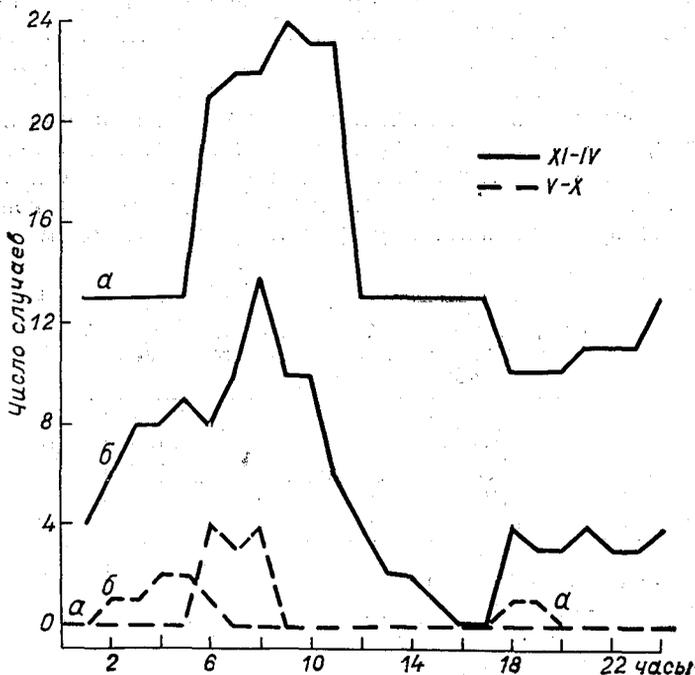


Рис. 5. График повторяемости повышенного загрязнения атмосферы Коркинского (а) и Сибайского (б) карьеров в различные часы суток в холодное (XI—IV) и теплое (V—X) полугодия 1967—1968 гг.

Применяемые 3 раза для искусственного проветривания вентиляционные установки РД-3 м, как и в некоторых других случаях, вследствие малой скорости ветра практически карьер не проветрили. При помощи установок загрязненный воздух в виде облака перемещался по карьере, поднимался кверху, а при выключении установок опускался вниз, а если и удалялся из карьера, то при постоянно действующих источниках загрязнения карьер при инверсиях быстро загрязнялся вновь.

Карьер очистился 19 XII около 12 час. с усилением юго-западного ветра скоростью 4 м/сек.

Загрязнение мглой является преобладающим для Коржинского, Сибайского и Асбестовского карьеров. В большинстве случаев загрязнение Коржинского карьера происходило при юго-западном ветре скоростью 2—4 м/сек. на поверхности и штиле, или слабом ветре, в карьере. В 90% случаев загрязнение карьеров наблюдалось при сибирском антициклоне, когда на Южный Урал направлен гребень и по его западной и северо-западной периферии происходит интенсивный вынос теплых воздушных масс. Отсюда тесная связь между юго-западным ветром и загрязнением Коржинского карьера, следствием которой является сильная мгла.

Повторяемость загрязнения в течение суток, особенно в теплое полугодие, имеет определенную закономерность: наибольшая — в ночные и утренние часы, наименьшая — в полуденные и вечерние (рис. 5). Последнее объясняется активным действием конвективной схемы проветривания карьеров и суточным ходом скорости ветра [5].

Таблица 4

**Повторяемость (%) синоптических ситуаций над Средним Уралом при наступлении загрязнения карьеров**

Полугодие	Гребень или отрог сибирского антициклона	Центральная часть антициклона	Периферия антициклона	Малоградиентное поле повышенного давления	Периферия циклона
Теплое (V—X)	44	22	17	16	2
Холодное (XI—IV)	39	23	13	8	16

Загазованность карьера происходила при большом разнообразии синоптических ситуаций (табл. 4), но главным образом в теплое полугодие при распространении ложбин циклонов и в холодное — при установлении над Сибирью стационарных антициклонов умеренных широт.

Из табл. 5 следует, что предела температуры по термодинамической устойчивости атмосферы карьеров Урала не существует. Переход атмосферы карьеров в устойчивое состояние, а следовательно, и загрязнение их может происходить при любых температурных условиях.

Загрязнение карьеров, как правило, начиналось при температурных градиентах меньше адиабатических ( $\gamma < 1^\circ/100$  м); повышенная интенсивность загрязнения (табл. 6) отмечалась при устой-

Таблица 5

Повторяемость (число случаев) градаций температуры при повышенном загрязнении (з) и проветривании (п) карьеров

Температура	Коркинский		Сибайский		Асбестовский		Учалинский	
	з	п	з	п	з	п	з	п
от -30 до -40	2	—	6	—	—	—	5	4
-20 -30	13	2	22	—	7	—	20	17
-10 -20	29	4	24	1	11	1	9	8
0 -10	29	4	14	3	14	1	6	4
0 10	3	—	8	3	9	1	6	4
10 20	—	—	1	—	—	—	14	10
20 30	—	—	—	—	—	—	2	1
30 40	—	—	—	—	—	—	—	—

чивом состоянии атмосферы при образовании изотермии и инверсии ( $\gamma \leq 0^\circ/100$  м).

Проветривание карьеров начиналось при  $\gamma > -0,1^\circ/100$  м. При градиентах больше адиабатических ( $\gamma \geq 1,1^\circ/100$  м) загазованности карьеров не наблюдалось.

Таблица 6

Значения температурных градиентов, при которых происходило загрязнение и очищение атмосферы карьеров в 1967—1968 гг., %

	$\gamma^\circ/100$ м (от — до)												
	>1,2	1,1	1,0	0,9 0,6	0,5 0,1	0,0	-0,1 -0,4	-0,5 -0,9	-1,0 -1,4	-1,5 -1,9	-2,0 -2,4	-2,5 -3,0	<-3,0
Загрязнение	0	1	1	24	25	4	14	9	11	5	3	3	0
Проветривание	0	4	32	48	10	4	2	0	0	0	0	0	0

Проветривание карьеров, кроме Сибайского и Учалинского, в основном достигалось естественным путем (95%), главным образом динамической энергией, создаваемой ветром, и термической, обусловленной температурным режимом, зависящим от интенсивности солнечной радиации. Несмотря на проветривание карьеров (17%) при скорости ветра 1—2 м/сек. (табл. 7), при этих же скоростях (27%) происходила загазованность карьеров, а в большинстве случаев (98%) при этих же скоростях ветра карьеры не проветривались. Это объясняется развитой турбулентностью в первом

Таблица 7

**Влияние динамического фактора на загрязнение  
и проветривание карьеров глубиной 150 м (%)**

	Число случаев	Скорость ветра, м/сек.					
		штиль	1	2	3	4	5
Происходило загрязнение . . .	84	70	22	5	3	0	0
Карьеры не проветривались . .	178	100	98	85	10	1	0
Карьеры проветривались . . . .	28	0	2	15	90	99	100

случае и отсутствием ее во втором. Кроме того, проветривание при слабых скоростях ветра относится только к направлению ветра по большой оси карьера (табл. 8).

Несмотря на то что количество воздуха, участвующего в воздухообмене атмосферы карьера с окружающей средой по корот-

Таблица 8

**Средние скорости ветра (м/сек.) по длинной (С — Ю)  
и короткой (В — З) осям на дне Асбестовского карьера  
за 1967—1968 гг.**

Скорость ветра на поверхности, м/сек.	Количество наблюдений	С — Ю		В — З	
		холодное полугодие	теплое полугодие	холодное полугодие	теплое полугодие
1	273	1,1	1,1	0,9	1,0
2	316	1,6	1,9	1,4	1,7
3	227	2,3	3,0	1,8	2,0
4	117	3,6	3,7	2,5	2,6
5	48	4,2	4,5	2,4	3,0
Средняя 3,0		2,6	2,8	1,8	2,1

кой оси ( $l$ ) больше, проветривание карьера по длинной оси ( $L$ ) при одних и тех же скоростях на поверхности происходит быстрее. Это объясняется тем, что проветривание по оси  $L$  переходит от рециркуляционной схемы к прямоточной и за этот счет наблюдается рост скорости ветра до  $V_L = 1,35V_l$  (табл. 8). В среднем за 1967—1968 гг. по Асбестовскому карьере, вытянутому в меридиональном направлении ( $L/l = 2,5/1$ ),  $V_L = 0,9V_0$ ;  $V_l = 0,65V_0$ .

Таблица 9

Процентное выражение факторов, обеспечивающих проветривание  
Сибайского и Учалинского карьеров в 1967—1968 гг.

Полугодие	Слабый ветер и РД	Ветер, м/сек.						Термическая конвекция	Ветер и термическая конвекция	Другие причины (осадки, прекращение работ и т. д.)
		1	2	3	4	5	6			
Холодное (XI—IV)	22	5	13	14	9	7	—	6	14	10
Теплое (V—X)	—	1	5	9	18	5	—	26	31	5

Проветривание карьеров в основном достигалось естественным путем, главным образом ветром и термической конвекцией, особенно эффективно при их совместном действии (табл. 9).

В теплый период года искусственное проветривание не проводилось, так как в этом не было необходимости. В холодное полугодие применение РД было более эффективным при небольшой скорости ветра в карьере и действии установки только в направлении ветра.

Борьба с загазованностью и запыленностью в карьерах Урала проводится в трех направлениях:

1. Проведение мероприятий по улучшению микроклимата для интенсификации естественного проветривания (расположение большой оси карьеров в направлении господствующих ветров, коридорное расположение отвалов, озеленение и т. д.).

2. Разработка и осуществление подавления пыли на карьерных автодорогах, при экскавации горной массы и при вторичном бурении; нейтрализация выхлопных газов автосамосвалов и т. д., проводимые Учалинским ГОК и Башкирским медносерным комбинатом совместно с институтом «Унипромедь».

3. Разработка и внедрение методов искусственного проветривания карьеров.

### ВЫВОДЫ

1. В летние месяцы (июнь — июль) и переходные сезоны года (сентябрь — октябрь и апрель — май) инверсии наблюдаются часто, однако их небольшая продолжительность, мощность и величина, как правило, повышенного загрязнения атмосферы карьеров не вызывают. ✓

2. В зимний период (ноябрь — март) с установлением холодной малооблачной погоды под влиянием сибирского антициклона возникают частые приземные инверсии, которые усиливаются натеканием теплого воздуха; при этом возникают продолжительные мощные инверсии, которые ослабляют воздухообмен атмосферы карьера ✓

с окружающей средой и приводят к продолжительным повышенным загрязнениям карьеров.

3. Синоптические условия образования инверсий: антициклонический тип погоды с малоградиентным барическим полем, адвекция тепла и наличие замкнутого очага или гребня тепла.

4. Метеорологические условия образования приземных и внутри-карьерных инверсий: слабый ветер или штиль, ясная или малооблачная погода в ночные и утренние часы.

5. Повышенная загазованность карьеров Урала в основном наблюдается в холодное полугодие при установлении над Сибирью стационарных антициклонов умеренных широт.

6. Накопление вредных примесей в атмосфере карьеров связано с процессами, ведущими к устойчивой стратификации атмосферы и понижению температуры воздуха у дна карьера, т. е. с наступлением штиля и развитием инверсии.

7. В суточном ходе загазованность чаще наблюдается в утренние часы за счет усиленного излучения и уменьшения суточного хода скорости ветра.

8. Повышенная общекарьерная запыленность воздуха наблюдается при сильных ветрах за счет сдувания пыли с околокарьерной территории, бортов и дорог; местная — при штиле и слабых ветрах (меньше 1 м/сек.), на дне карьера в местах пылевыделения.

9. В тихую ясную погоду за счет термического фактора происходит перераспределение давления, и в карьере создаются местные потоки воздуха; эти потоки скоростью 0,5—0,6 м/сек. у наветренных, освещенных солнцем бортов создают застойные зоны и только потоки скоростью более 1—2 м/сек. выносят вредности за пределы карьера.

10. При отсутствии эффективных средств искусственного проветривания карьеров необходимо проводить мероприятия по изменению микроклимата в сторону интенсификации естественного проветривания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Битколов Н. З., Никитин В. С. Проветривание карьеров. Госгортехиздат, М., 1963.

2. Бухман Я. З., Симанов П. Г. Сб. «Опыт борьбы с запыленностью и загазованностью на Сибайском карьере». Цветметинформация, М., 1966.

3. Воронцов П. А. Турбулентность и вертикальные потоки в пограничном слое атмосферы. Гидрометеиздат, Л., 1966.

4. Кочнев К. В., Филатов С. С. К вопросу об улучшении атмосферных условий в глубоких карьерах. Сб. работ по силикозу, вып. II; Горно-геологический институт УФ АН СССР, Свердловск, 1960.

5. Силин Ф. М. Исследование микроклимата карьеров Урала. Сб. работ Свердловской ГМО, вып. 6, Свердловск, 1967.

6. Филатов С. С. Исследование естественного воздухообмена в глубоких карьерах. Сб. работ по силикозу, вып. III; Горно-геологический институт УФ АН СССР, Свердловск, 1961.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Н. З. Битколов, П. А. Воронцов. Краткий обзор современного состояния и перспективы метеорологического обеспечения горных работ в карьерах	5
П. А. Воронцов, В. И. Селицкая, И. И. Честная. Экспериментальная проверка теории плоскопараллельной струи в Коркинском карьере	10
П. А. Воронцов, В. И. Селицкая, И. И. Честная. Структура воздушного потока в Коркинском карьере в дневные часы	23
П. А. Воронцов, В. И. Селицкая, Е. В. Петрова. Вертикальное распределение температуры и влажности воздуха в Коркинском карьере	38
Н. Ф. Белов, Л. В. Безлюдова. Некоторые особенности метеорологического режима Коркинского карьера	53
Л. В. Безлюдова. Продолжительность солнечной инсоляции в Коркинском карьере	72
Л. А. Хандожко. Условия формирования и прогноз тумана в Коркинском карьере	79
Н. З. Битколов. Вентиляционный контроль в карьерах	96
Н. З. Битколов, Е. М. Егоров, И. И. Иванов, Н. С. Тюнякина. Характер изменения скорости ветра в карьерах	102
Н. З. Битколов, Е. М. Егоров, Н. С. Тюнякина. Некоторые особенности радиационного и термического режима карьеров	116
Н. З. Битколов, И. И. Иванов. Основные закономерности и расчет естественного проветривания карьеров энергией ветра	132
Н. З. Битколов, А. А. Кислицкий, Н. С. Тюнякина. Некоторые вопросы микроклимата кабин крупного горного оборудования, занятого в карьерах	144
Ф. М. Силин. Метеорологические условия образования инверсий, повышенной загазованности и запыленности в карьерах Урала	153

ТРУДЫ ГГО, вып. 270

### Метеорологический режим карьеров

Редактор Л. В. Царькова. Технический редактор И. К. Пелипенко.  
Корректоры Л. И. Хромова, А. В. Хюркес.

Сдано в набор 3/IV 1970 г. Подписано к печати 21/VIII 1970 г. Бумага 60×90<sup>1/16</sup>. Бум. л. 5,5. Печ. л. 11. Уч.-изд. л. 11,39. М-49001. Индекс МЛ-309. Тираж 550 экз. Заказ № 449. Цена 80 коп. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23. Сортавадская книжная типография Управления по печати при Совете Министров КАССР. Сортавала, Карельская, 42.

**Краткий обзор современного состояния и перспективы метеорологического обеспечения горных работ в карьерах.** Битколов Н. З., Воронцов П. А. Труды ГГО, 1970, вып. 270, стр. 7—9.

В статье приведены краткие сведения об основных этапах изучения метеорологических условий в карьерах и основные задачи гидрометеослужбы по обеспечению запросов производства.

Библ. 11.

**Экспериментальная проверка теории плоскопараллельной струи в Коркинском карьере.** Воронцов П. А., Селицкая В. И., Честная И. И. Труды ГГО, 1970, вып. 270, стр. 10—22.

В работе приведены основные положения теории плоскопараллельной струи, имеющей широкое применение при расчетах естественного воздухообмена в карьерах. Теория построена в предположении отсутствия турбулентности в атмосфере карьера и наличия безразличной стратификации.

На материалах ветрового зондирования в Коркинском карьере даны основные характеристики строения прямоточной и рециркуляционной схем.

Показано, что угол расширения струи  $\alpha$  в обеих схемах может меняться в весьма больших пределах, не соответствующих его термическим значениям и зависящих не только от динамических, но и от термических факторов карьера. Соотношение скоростей ветра на борту карьера и над его центром на том же уровне также не соответствует теоретическим данным. При мало меняющемся направлении ветра в дневные часы наблюдается переход утром прямоточных потоков в рециркуляционные, а вечером — обратно, т. е. здесь также основное влияние будет иметь термический фактор.

Иногда над карьером имеет место мезомасштабная струя с максимумом скорости ветра вблизи бровки карьера, изменением высоты оси струи от 50 до 150 м относительно бровки и с хорошо выраженной повторяемостью максимума скорости в полуденные часы и минимума зимой. Можно считать, что мезомасштабная струя над карьером имеет не динамическое, а термическое происхождение. Сделан вывод, что в условиях Коркинского карьера теория плоскопараллельной струи не может давать надежные количественные характеристики при расчете воздухообмена. Необходима проверка этой теории в других карьерах и разработка новой теоретической модели воздушного потока в карьерах с учетом турбулентности и геометрии карьера.

Табл. 6. Илл. 5. Библ. 1.