

**Российская академия наук  
Кольский научный центр  
Горный институт**

На правах рукописи

УДК 504.3.064.36: 622.012.3

**ЗОРИН АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В КАРЬЕРАХ**

Специальность 25.00.30 "Метеорология, климатология, агрометеорология"

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург  
2006

Работа выполнена в Горном институте Кольского научного центра  
Российской академии наук

Научный руководитель: доктор технических наук  
С.А.Козырев

Научный консультант: кандидат географических наук,  
профессор О.Г.Богаткин

Официальные оппоненты: доктор географических наук,  
профессор В.И.Воробьев;  
кандидат физико-математических наук,  
доцент В.А.Васильев

Ведущая организация: ОАО "Апатит"

Защита состоится "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2006 г. на заседании  
диссертационного совета К 212.197.01 Российского государственного  
гидрометеорологического университета по адресу: 195196, г.Санкт-Петербург,  
Малоохтинский проспект, 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского  
государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук

А.В.Лубяной

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Обеспечение оптимального воздействия горного производства на состояние воздуха рабочей зоны при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом остается одной из проблем горной науки и производства.

Анализ материалов длительных наблюдений свидетельствует о том, что загрязнение атмосферы в карьерах неблагоприятно сказывается на состоянии здоровья трудящихся, повышая опасность возникновения профессиональных заболеваний, а иногда и острых отравлений, снижает производительность труда и наносит определенный экономический, а также социальный ущерб.

На предприятиях горной промышленности учет потерь вследствие неблагоприятных погодных условий в настоящее время не ведется, хотя добыча полезных ископаемых в карьерах во многих случаях при опасных для производства метеорологических явлениях осложняется. Прогноз и своевременное оповещение о таких явлениях позволяют предпринимать меры по сокращению простоя людей и механизмов, уменьшать количество недополученной по этой причине продукции. Без обеспечения безопасного состояния атмосферы карьеров по фактору загрязнения невозможно стабильное, ритмичное ведение горных работ и создание комфортных условий для персонала рудников.

Основным направлением проводимых по проблеме исследований является изучение закономерностей и причин нарушения естественного воздухообмена в карьерах и загрязнения атмосферы, происходящего вслед за этим нарушением, определение потребности в энергетических ресурсах для выведения атмосферы карьерного пространства из состояния устойчивости, прогнозирование моментов наступления загрязнения атмосферы карьеров, разработка средств и методов оперативной регистрации параметров физического и санитарно-гигиенического состояния атмосферы в карьерах.

Прогноз состояния атмосферы карьера, процессов и явлений погоды, влияющих на ее загрязнение, представляет собой одну из основных задач метеорологического обеспечения открытых горных работ.

**Цель работы** заключается в выявлении особенностей внутрикарьерной циркуляции воздуха и закономерностей пространственно-временного распределения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы для разработки методики прогноза опасных состояний атмосферы карьера.

**Основная идея работы** заключается в использовании экспериментально установленных закономерностей пространственно-временного распределения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы и особенностей внутрикарьерной циркуляции воздуха для разработки методики прогноза опасных для производства состояний атмосферы карьеров.

**Задачи исследований.** Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследовать процессы циркуляции воздушных потоков в карьерах и районах их расположения в зависимости от рельефа местности и метеоусловий;
2. Выявить закономерности пространственно-временного распределения вредных примесей в пределах действующих карьеров при различных метеоусловиях;
3. Разработать методику прогноза метеоусловий, опасных по загрязнению атмосферы карьеров.

**Методы исследований** включают анализ и обобщение предшествующего опыта по литературным и производственным данным, метеорологические наблюдения и их обработку, экспериментальные исследования в естественных условиях, методы математической статистики, методы синоптической метеорологии.

**Научное значение** работы заключается в развитии методических принципов комплексного подхода к прогнозу и контролю пылегазовых режимов карьеров на иерархически взаимосвязанных временных и пространственных уровнях, установлении временных и пространственных особенностей распределения вредных примесей в объеме карьеров, разработке методики прогноза опасных по загрязнению состояний атмосферы карьера и комплекса мероприятий по нормализации воздушной среды.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Выявленные особенности распределения вредных примесей в атмосфере карьера при различных метеоусловиях являются основой для разработки методики прогноза состояния атмосферы карьера.
2. Разработанная методика прогноза опасных по загрязнению состояний атмосферы карьера позволяет снизить негативное воздействие атмосферных процессов на технологический режим карьеров.

**Практическая значимость.** Предлагается научно обоснованная и апробированная в результате экспериментальных работ методика прогноза опасных по загрязнению метеорологических условий в атмосфере карьеров, а также система контроля состояния атмосферы и управления организацией работ в карьере при опасных метеорологических ситуациях.

**Реализация результатов работы.**

Разработанная методика апробирована в карьерах "Оленегорский" ОАО "Олкон" и "Железный" ОАО "Ковдорский ГОК" и рекомендуется для использования на карьерах Кольского полуострова.

**Апробация работы.**

Основные положения работы докладывались на Всесоюзном научно-техническом симпозиуме "Физико-технические проблемы управления воздухообменом в горных выработках больших объемов", Кохтла-Ярве, 1983 г.; Всесоюзном совещании по горной метеорологии, Киев, 1985 г.; Всесоюзной конференции "Теоретические и прикладные вопросы воздухообмена в глубоких карьерах", Апатиты, 1985 г.; Международной конференции "Лавины и смежные вопросы", Кировск, 2001 г.; Международной конференции "Современные экологические проблемы Севера", Апатиты, 2006 г.

**Основные публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 работ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 76 наименований, содержит 108 страниц, в том числе 20 рисунков, 29 таблицы, 4 схемы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопросами изучения проблем аэрологии карьеров и путей их решения занимаются многие исследователи. Особенно следует отметить работы Н.З.Битколова, В.С.Никитина, М.М.Конорева, С.С.Филатова, А.Д.Вассермана, В.А.Рогалева, А.А.Бакланова, К.З.Ушакова, П.В.Бересневича, В.А.Михайлов и др., в которых отражены основные направления решения проблемы, но в них недостаточно полно рассмотрены вопросы циркуляции воздушных потоков в карьерном пространстве при сложных формах рельефа, а также причины, их вызывающие.

Рядом авторов П.В.Бересневич, В.А.Михайлов, В.Н.Сытенков, С.М.Лепешкин и др. предложены методы прогноза пылегазового состояния атмосферы карьеров, но это делалось в основном для одного конкретного карьера. Данная работа развивает концепции и понятия, изложенные вышеуказанными авторами. Здесь предлагается методика прогноза метеорологических условий, способствующих загрязнению карьера. Она состоит из прогноза синоптической ситуации над регионом и прогноза температурного режима атмосферы карьера. Данная методика применима для Северо-Западного региона, а при определенной доработке может стать универсальной. Представляется правомерным утверждать, что надежность прогноза длительности возникновения метеорологических ситуаций, опасных по загрязнению атмосферы карьеров вредными примесями, с углублением карьеров будет возрастать и общая длительность этих ситуаций будет увеличиваться.

Среди факторов, способных изменить состояние воздуха в карьере (уровень его загрязнения), основным является поток тепла, который получает поверхность Земли от Солнца. Потоки тепла от почвы нагревают приземный слой атмосферы, тем самым уменьшая его плотность и соответственно, устойчивость. Поднимаясь, теплый приземный слой воздуха уносит с собой и загрязнения. Так работает естественный механизм очистки приземного слоя воздуха, где наблюдается конвекция. Конвекция обычно характеризуется высотой слоя перемешивания, мощность которого, в свою очередь, зависит от степени устойчивости атмосферы (градиент температуры), и при благоприятных условиях может достигать нескольких километров. Устойчивое состояние атмосферы, в отличие от неустойчивого, не только не способствует развитию конвективных течений, но и, наоборот, подавляет их, что приводит к накоплению вредных веществ в приземном слое атмосферы.

Другой фактор, изменяющий состояние воздуха в карьере - это работа ветра. Аэрация карьеров (обмен внутрикарьерного воздуха с атмосферным) под действием ветровых потоков также способствует выносу вредных примесей из объема карьеров и нормализации их атмосферы.

Оценка влияния метеорологических условий на распространение примесей в атмосфере проведена для основных районов расположения открытых горных работ (карьеров) на территории России и стран СНГ на основе анализа климатических данных. В наиболее благоприятных условиях находится район Кольского полуострова. Несмотря на значительную продолжительность инверсионных состояний атмосферы, их интенсивность и мощность, рассеивающая способность атмосферы здесь высокие. Здесь почти постоянно наблюдаются достаточно сильные ветры. Формирование приземных инверсий в этой зоне редко сопровождается ослаблением скорости ветра. Очищению атмосферы благоприятствуют особенности годового хода продолжительности осадков, которые вымывают примеси. Данные климатические условия определяются активной циклонической деятельностью над регионом. Однако, несмотря на столь благоприятные условия, карьеры Кольского полуострова имеют простои по фактору загрязнения их атмосферы выше нормативных.

Очень высокой степенью загрязнения атмосферы характеризуются Восточно-Сибирский и Среднеазиатский районы. Здесь три четверти времени года преобладают штили и слабые ветры, а также мощные инверсии. Важнейшим фактором, определяющим высокий потенциал загрязнения атмосферы на этих территориях, является чрезвычайно малое количество осадков в условиях продолжительного жаркого лета.

Основные глубокие карьеры расположены в тех регионах, где в силу метеорологических условий рассеивающие способности атмосферы крайне незначительны и потенциал ее загрязнения достигает максимальных значений относительно остальной территории бывшего Союза.

Степень загрязнения атмосферы определяет не количество выбросов (в нашем случае они достаточно малы, чтобы их могла "переварить", нейтрализовать, рассеять атмосфера карьера, "выбросив" в окружающую атмосферу), а состояние самой атмосферы, способной или нет к "перевариванию" загрязнений.

Основными неблагоприятными факторами для рассеивания загрязнителей являются штиль и устойчивое состояние атмосферы, в том числе инверсия температуры в нижних слоях атмосферы, возникающая в основном вследствие радиационного выхолаживания земной поверхности, адвекции теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность, а также при стоке холодного воздуха в вогнутые формы рельефа.

Пути нормализации атмосферы карьеров имеют разную меру полноты решения проблемы. Коренное решение проблемы - полное подавление и улавливание вредных примесей, выделяющихся при работе оборудования, транспорта и ведении технологических процессов в карьере.

Как разновидность рассмотренного пути, прогноз, оценка и ограничение предельно допустимого выброса (ПДВ) вредных примесей в атмосферу карьера и промышленную зону имеет существенно меньшие технико-организационные и экономические недостатки.

Для действующих карьеров предложен метод краткосрочного прогноза состояния атмосферы карьера суточной заблаговременности для различного периода суток и времени года, разработана система автоматизированного дистанционного контроля состояния атмосферы карьера и оповещения об опасных ситуациях.

Вооруженные такими методами прогноза и системой контроля и оповещения, специальные службы (аналогичные пылевентиляционным на подземных рудниках) способны обеспечить контроль за соблюдением безопасных условий труда в карьерах по фактору загрязнения атмосферы. Предлагаемое направление решения проблемы оздоровления атмосферы в карьерах по срокам реализации и экономичности является наиболее эффективным.

Весь комплекс исследований проведен по следующей схеме: изучение циркуляции воздушных потоков в районах ведения горных работ, затем анализ их трансформации в сложных формах рельефа и карьерах с учетом микроклиматических особенностей, далее исследование распределения (временного и пространственного) вредных примесей в объемах карьеров в зависимости от метеорологических условий и технологических процессов. На основании полученной информации разрабатывались методы прогноза опасных по загрязнению метеоусловий в атмосфере карьера.

Для определения значений метеорологических параметров в карьерах и районах их расположения проводились стандартные наблюдения в соответствии с требованиями Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам. Проводимые наблюдения были трех типов, каждый из которых направлен на решение конкретных задач. Первые два вида работ проводились с целью сбора информации для описания микроклиматического режима карьеров, используемого при разработке проектных рекомендаций и для определения границ эффективного воздухообмена.

Первый вид наблюдений проводится с помощью стандартных метеорологических самописцев (термографов, гигрографов, барографов) на стационарных пунктах. Данные наблюдения требуют минимальной трудоемкости и направлены на сбор общей непрерывной информации о микроклимате карьеров.

Второй вид - регулярные метеорологические наблюдения, проводимые по заранее разработанной методике с целью сбора более детальной информации по конкретным вопросам внутрикарьерной и долинной циркуляции. Сюда входят градиентные, шаропилотные наблюдения, наблюдения за облачностью, ветром, атмосферными явлениями, состоянием подстилающей поверхности и др. Для этого используются ручные чашечные анемометры, аспирационные психрометры, барометры-анероиды, ртутные метеорологические термометры, шаропилотные комплекты, аэрологические теодолиты и другие приборы.

Отдельно нужно выделить вертикальное зондирование карьерной атмосферы, которое осуществлялось с помощью привязных аэростатов. Эти наблюдения крайне необходимы для полного изучения всех особенностей внутрикарьерной циркуляции. Особенно они нужны для определения параметров турбулентности и температурной стратификации.

Третий вид наблюдений имеет целью получение постоянных оперативных сведений о состоянии атмосферы карьера для определения фактической степени интенсивности воздухообмена в объеме карьера. Это и есть система автоматизированного дистанционного контроля состояния атмосферы карьера. Для этих целей использовались различные дистанционные приборы, позволяющие получать оперативную информацию о состоянии карьерной атмосферы в любой момент времени, не находясь в карьере. Датчики этих приборов устанавливаются в карьерах с учетом их геометрических размеров и форм, а также производственных условий. Пульт приборов выводится в диспетчерскую. Данная система позволяет получать информацию о ветровом, температурном и влажностном режимах атмосферы карьера по трем осям.

При проведении взрывных работ в карьерах выполнялись наблюдения за распространением газового облака, исследования естественного процесса внутрикарьерной циркуляции, а также его изменения в результате трансформации процессов при различных метеорологических условиях.

Отдельно следует отметить методы отбора проб карьерного воздуха и их химический анализ для определения содержания вредных примесей. Отбор производился методом многократной прокачки с помощью насосов в полиэтиленовые мешки и резиновые камеры. Анализ осуществлялся на газоанализаторах ГМК-3 и спектрофотометрах СФ-26. Для экспресс-анализа применялись многокомпонентный электрохимический газоанализатор фирмы ОПТЭК "Каскад 312.5" и японские газоанализаторы фирмы RIKEN KEIKI модели CO-7 и SC-7.

Для исследования внутрикарьерной циркуляции были проведены экспериментальные исследования с созданием искусственных потоков воздуха в объеме карьера и определением их параметров, с фиксированием конкретных метеорологических условий и уровня концентрации вредных примесей. Данные работы проводились совместно с сотрудниками ИГД МЧМ СССР. Полученные результаты показали, что при устойчивом состоянии атмосферы в зависимости от интенсивности инверсии активность внутрикарьерной циркуляции уменьшается в два и более раз. Для эффективного выноса примесей за пределы карьера требуется достаточно высокая скорость их транспортирования на границе и, соответственно, большие энергозатраты.

**Выявленные особенности распределения вредных примесей в атмосфере карьера при различных метеоусловиях являются основой для разработки методики прогноза состояния атмосферы карьера**

В работе подробно изложены климатические условия районов расположения карьеров, даются особенности микроклиматических режимов карьеров.

Карьер "Центральный" ОАО "Апатит" расположен на горной платообразной вершине, "Коашвинский" в горной долине в закрытом цирке, "Ньюрпахский" на горном склоне, "Железный" ОАО "Ковдорский ГОК" в холмистой, лесистой местности, "Оленегорский" ОАО "Олкон" на равнине, "Центральный" ГМК "Печенганикель" в холмистой местности в непосредственной близости от Баренцева моря, что во многом определяет особенности его микроклимата.

Все рассматриваемые карьеры расположены в зоне отрицательных среднегодовых температур воздуха. Такое положение обуславливает короткое прохладное лето и продолжительную зиму.

Ветры со скоростями ниже 3 м/с в районах расположения карьеров составляют для "Центрального" ОАО "Апатит" 37% (3240 час. в год), для Коашвинского 78% (6830 час.), для Ньюрпахского 63% (5519 час.), для "Железного" 68,5% (6000 час.), Оленегорского 64,5% (5950 час.) и для "Центрального" ГМК "Печенганикель" ориентировочно до 20% (1500 час.). При этом штили составляют соответственно 13, 34, 7, 24, 21, 7%. В Коашвинском карьере наблюдаются наименьшие скорости ветра, как по месяцам, так и по румбам.

Из анализа среднемесячных температур воздуха в карьерах Кольского полуострова на различных высотах и среднемесячных температур воздуха в карьерах по слоям можно оценить термический режим в карьерах полуострова. В Оленегорском карьере в нижнем придонном слое инверсия наблюдается 50% времени года, что также характерно для Железного и

Коашвинского карьеров. А вот в верхних слоях инверсии соответственно составляют 17, 50 и 33% времени года. В Ньюрпахском карьере преобладают приподнятые инверсии (58%) в верхнем слое карьера. Все это хорошо согласуется с данными аэрологических наблюдений в нижнем слое от 26 м над уровнем моря (метеостанция Кандалакша) до 400 м по АТ-925 мб. В этом слое инверсии на Кольском полуострове в течение года наблюдаются в 3 раза чаще, чем в слое от 380 м, пункт наблюдения на Коашвинском карьере, до 1090 м метеостанция на плато Ловчорр, перепад высот 810 м. Значения инверсионных градиентов, наблюдавшихся в карьерах, приведены в таблице. Инверсии образуются в слоях воздуха, развивающегося по сухоадиабатическому закону.

В карьерах разность температур воздуха над освещенным солнцем бортом, по сравнению с затененным, достигает 4-5°C, а температура поверхности почвы 9-13°C. Скорости потоков местной циркуляции термического происхождения достигают 5-6 м/с (при скоростях ветра над карьером от 1,2 до 2 м/с). В карьерах глубиной свыше 80 м при ветре на поверхности 2-3 м/с циркуляция возникает в основном за счет местных потоков воздуха. При ветрах на замкнутом контуре карьера более 3 м/с при глубине его до 100 м скорость ветра на дне составляет 0,5-0,6 скорости ветра на поверхности.

Инверсионные градиенты, наблюдающиеся в карьерах Кольского полуострова

Карьеры	Град. ср. °/100м	Град. max. °/100м
Железный ОАО "Ковдорский ГОК"	2,1	6,7
Оленегорский ОАО "ОЛКОН"	1,9	4,2
Центральный ГМК "Печенганикель"	2,4	5,6
Центральный ОАО "Апатит"	2,7	5,7
Коашвинский ОАО "Апатит"	3,4	8,6
Ньюрпахкский ОАО "Апатит"	2,9	7,3

Описаны особенности микроклимата карьеров, формирующиеся под влиянием комплекса факторов, основными из которых являются абсолютные и относительные размеры карьерного пространства, его ориентация относительно стран света, рельеф окружающей местности и его антропогенное изменение, солнечная радиация, тепловой и радиационный баланс подстилающих пород, наличие снежного покрова и водоемов в карьере, температурная стратификация и влажность карьерной атмосферы, ветровые характеристики набегающего потока.

При устойчивом состоянии атмосферы необходимо создать в карьере конвективное движение и обеспечить обмен воздушными массами с внешней средой. Оценка требуемого для этого количества энергии приведена применительно к установившейся инверсии в карьере из условий разрушения инверсионного состояния, ибо образование циркуляционных зон с помощью вентиляционных потоков без изменения стратификации атмосферы в карьере не обеспечивает необходимого уровня снижения концентрации примесей, поскольку обмена с внешней средой фактически не происходит. Необходимо отметить, что указанные оценки освещают лишь одну сторону затрат на воздухообмен - разрушение далеко не самой мощной и продолжительной по своей природе инверсии. Однако разрушение устойчивой стратификации дает только предпосылки и возможность организовать взаимодействие (массообмен) системы с окружающей средой и вынос примесей из карьера. Для осуществления этого процесса необходимы дополнительные затраты кинетической энергии на поддержание движения воздушных масс. Кроме того, для практической реализации разрушения инверсии и организации воздухообмена чрезвычайно важным является рационально вкладывать необходимую энергию, так как можно создать очень интенсивные циркуляции в локальных областях, а во всем объеме карьера инверсия будет сохраняться и выноса примесей не произойдет.

В результате проведенных исследований с учетом необходимых обоснований и доказательств установлено, что в карьерах Кольского полуострова преобладают приземные инверсии, распределение температуры воздуха по глубине в глубоких карьерах и горных долинах имеет равнозначный характер, нарушения естественного воздухообмена наибольшей продолжительности наблюдаются во всех исследуемых карьерах в течение пяти месяцев, с ноября по март, большей частью из-за приземных инверсий на нижних горизонтах карьеров. Ветровой режим в карьерах определяется горно-долинной циркуляцией, при этом в тупиковых забоях, на бержах образуются застойные зоны с местной замкнутой циркуляцией соленоидального вида. С углублением карьеров происходит еще большее обособление внутрикарьерной циркуляции от общеатмосферной, увеличивается количество застойных зон в карьерах с замкнутой циркуляцией. Выявлено также наличие в чаше карьера застойной области, препятствующей интенсивному естественному воздухообмену, причем с увеличением скорости фоновых потоков эта область опускается ко дну карьера и еще более снижает эффективность естественного воздухообмена. Основная зона загрязнения атмосферы исследуемых карьеров совпадает с этой застойной областью. Данная зона находится в средней части карьера, верхняя граница ее расположена на 1/3 глубины карьера от замкнутого контура. В соответствии с циркуляционными условиями основными очагами загрязнения внутрикарьерной атмосферы являются рабочие забои (как правило,

тупиковые) и главные транспортные магистрали. Наибольшему скоплению вредных примесей в объеме карьера способствуют инверсионное распределение температуры воздуха с высотой и штилевые условия.

Установлены особенности распространения вредных примесей от технологических источников в атмосфере карьера. На рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере карьера активно влияет планировочная структура территории. Одна из проблем, часто встречающихся при рассеивании загрязняющих веществ от низких источников, состоит в том, что начальное рассеивание существенно увеличивается в аэродинамической тени от технологических складок местности. Все вредные примеси поступают в атмосферу карьера в перегретом виде (газы после проведения массового взрыва, выхлопные газы от технологического транспорта и оборудования), то есть их температура значительно отличается от температуры атмосферы карьера. Распространение вредных примесей в атмосфере карьера имеет волновой характер. Волна (объем максимальной концентрации, выброса) вредных примесей распространяется радиально от источника выброса до тех пор, пока температура волны не сравняется с температурой окружающего воздуха. Выбросы вредных примесей в атмосферу карьера носят дискретный характер (массовый взрыв - разовый выброс, дизельная техника работает в разном режиме), кроме того, дизельная техника перемещается, значит, характер выбросов становится еще и блуждающим.

Наблюдения над загрязнением атмосферы карьеров проведены в период, наиболее благоприятный для развития атмосферных процессов, способствующих скоплению вредных примесей в них. Источниками загрязнения атмосферы в нижней зоне карьеров являются внутренние источники, а при инверсиях - источники с вышележащих горизонтов. Источниками загрязнения в верхней зоне являются внутренние источники, а при инверсиях и неблагоприятных ветровых переносах - источники вне контура карьера.

Проведена оценка времени загрязнения атмосферы фактически существующего карьера до уровня ПДК и времени его естественного проветривания ветром и конвекцией. Оценивая экономические потери от простоя фактически существующего карьера по фактору загрязнения его атмосферы более ПДК вредных веществ, получилось, что суточный простой в среднем будет обходиться много более миллиона рублей и это без учета рыночной стоимости не добытой за это время продукции. При проектировании и эксплуатации следует учитывать возможности влияния расположенных близко друг к другу объектов горнодобывающей промышленности, чтобы избегать ненужных производственных осложнений в части загрязнения их опасными выбросами.

**Краткосрочный прогноз метеоусловий, способствующих накоплению загрязнений в атмосфере карьеров, состоит из двух частей: прогноза синоптического положения над регионом и расчета вертикального температурного градиента в атмосфере карьера**

Синоптические процессы, протекающие над районом расположения карьеров, определяют погодные условия данного региона. В объеме карьера эти условия претерпевают определенную трансформацию и формируют режим естественного воздухообмена карьера. Исследование зависимости естественного воздухообмена в карьерах от синоптических процессов, развивающихся над районом их расположения, проводилось:

- синоптическим методом изучения погодных условий, основанным на анализе карт погоды, на качественно-физических выводах из этого анализа и на количественных расчетах,

- физико-статистическим методом, основанным на статистических закономерностях изменений погоды, выявлении закономерностей атмосферных процессов и прогностических связей между различными характеристиками погоды.

Цель данного анализа - выявление синоптических процессов, при которых в приземном слое атмосферы над Кольским полуостровом, а следовательно, и в атмосфере карьеров, наблюдалась устойчивая стратификация и резкое ослабление естественного проветривания открытых горных работ.

Наиболее часто инверсии над Кольским полуостровом наблюдаются, когда над ним расположена малоактивная барическая ложбина. Рост давления и слабые ветры способствуют выхолаживанию земной поверхности и возникновению инверсии, такие ситуации характерны для ноября-декабря и января-февраля. Достаточно часто инверсии наблюдаются при западной и северо-западной периферии антициклона и в гребне повышенного давления. Эти ситуации характерны для января-марта и возникают в большинстве случаев при усилении Сибирского антициклона и распространении его на европейскую территорию и Скандинавский полуостров. Особо необходимо отметить ситуацию, когда обширный антициклон занимает весь Скандинавский полуостров, в течение 5-7 дней остается малоподвижным. На Кольский полуостров при такой ситуации поступает теплый воздух с Атлантики, а холодный воздух, как более тяжелый, находится у земной поверхности. Приземные инверсии в этом случае могут занимать весь нижний слой атмосферы от земли до 1.5 км, или возникает несколько слоев с инверсиями. Момент окончания инверсии наступает, когда теплый воздух распространяется до земной поверхности.

Суть предлагаемой методики прогнозирования состояния атмосферы карьера сводится к следующему. По ожидаемому синоптическому процессу определяется вероятность возникновения типовой метеоситуации, способствующей развитию загрязнения атмосферы карьера. Далее применяются расчетные метеорологические методики для каждого карьера конкретно с учетом их особенностей.

Для прогноза состояния термической стратификации в слое 1.5 км (Коашвинский - Центральный карьеры ОАО "Апатит") построены эмпирические графики методом последовательной графической регрессии за зимний сезон для случаев наличия и отсутствия инверсии в 1.5-километровом слое. На этих графиках представлена зависимость вертикального профиля температуры от степени ночного выхолаживания или дневного прогрева у поверхности земли и от стратификации атмосферы в слое до 1.5 км до начала охлаждения или прогрева. По скорости перемещения барического образования определяем продолжительность инверсии, прогнозируем температуру воздуха в 9 и 21 час, а также минимальную и максимальную температуру на станциях Восточная и Центральный или используем прогностические значения АТ-925 и АТ-850 мб. С полученными данными входим в графики, определяя будет ли инверсия сохраняться на 9 утра и на 15 часов. Ведется контроль за состоянием внутрикарьерной атмосферы по разности температур воздуха на водозаборе Коашвинского карьера и станции Рудная. При градиенте  $g \leq 0$  и ослаблении ветра на станции Рудная менее 3 м/с переходят на ежедневные наблюдения, а при дальнейшем увеличении градиента (в абсолютном значении) проводят отбор проб воздуха в тупиковых забоях и в забоях с наибольшим скоплением дизельной техники и осуществляют последующий химический анализ. Энергия неустойчивости оценивается по данным станций Восточная и Центральный. Если разница температур воздуха на них больше 7°C, т.е. на Центральном холоднее, то энергия неустойчивости положительна, чем больше разница температур воздуха, тем лучше развита конвекция. Если разница меньше - энергия неустойчивости отрицательна, конвективная деятельность ослаблена. Для района Расвумчоррского и Центрального рудников данный критерий составляет 5,5°C, зависимость та же. Прогноз конвективной деятельности осуществляется по прогнозным данным температур воздуха на точках или с помощью прогностических карт.

Для Оленегорского карьера ОАО "Олкон" расчетная методика составления прогноза после определения типа синоптической ситуации заключается в определении вертикального градиента температуры воздуха в атмосфере карьера по формуле:

$$g = 0,8(T_{60} - T_{180}) \cdot 10^{-2},$$

где  $T_{60}$  - температура воздуха на гор. +60 м;

$T_{180}$  - температура воздуха на гор. +180 м.

При градиенте  $g \leq 0$  и ослаблении ветра на гор. +180 м менее 3 м/с также переходят на ежечасные наблюдения, а при дальнейшем его увеличении осуществляют контроль газового состояния атмосферы карьера.

Для карьера "Железный" ОАО "Ковдорский ГОК" основой прогноза (после определения типа синоптической ситуации), послужила статистическая обработка данных измерений метеорологических величин. Были получены эмпирические зависимости изменения температуры воздуха в нижнем слое карьера  $\Delta T_H$  от температуры во всем объеме карьера  $\Delta T_K$ :

$$g = 0,16 + 0,75\Delta T_K - 0,023\Delta T_K^2,$$

где  $\Delta T_K = T_d - T_n$ ,

$T_d$  - температура воздуха на дне карьера,

$T_n$  - температура воздуха на поверхности карьера,

$\Delta T_H$  - слой от 70 до 214 м.

Изменения температуры в верхнем слое карьера  $\Delta T_B$  от температуры во всем объеме  $\Delta T_K$  определяются по уравнению вида:

$$g = 0,02 + 0,15\Delta T_K + 0,02T_K^2,$$

где  $\Delta T_B$  - слой от 214 до 276 м.

При градиенте  $g \leq 0$  и ослаблении ветра на гор. +276 м менее 3 м/с проводятся те же мероприятия, что и в первых двух случаях. В последних двух карьерах энергия неустойчивости оценивается и прогнозируется на основании фактических и прогностических данных температур воздуха по нижним пунктам наблюдения в карьере и по данным с АТ-925 мб (400 м). Температурный критерий для обоих карьеров составляет 2.5°C.

Прогноз ветра в приземном слое, как и прогноз температуры воздуха (в том числе и минимальной), в районах расположения карьеров может осуществляться любым известным методом, наиболее подходящим для данного района.

Методика может применяться как специализированными прогностическими центрами, в этом случае есть возможность вносить корректировку в прогноз, штормпредупреждения, а также осуществлять оценку оправдываемости прогнозов, что позволит повысить их надежность, так и в упрощенном варианте непосредственно диспетчерским составом рудников.

### **Контроль состояния атмосферы и управление организацией работ в карьере при опасных метеорологических ситуациях**

Для контроля состояния внутрикарьерной атмосферы предлагается использовать программу автоматизированного расчета уровня чистоты атмосферы в различных зонах при естественной аэрации карьерного пространства. По данной программе для любого карьера рассчитываются по стадиям отработки и фактическом положении горных работ схемы зон естественной аэрации для всех направлений и возможных скоростей ветра. Осуществляется это следующим образом. В зависимости от направления ветра и геометрических параметров карьера возможны различные схемы естественной аэрации- схемы воздухообмена, при которых появляются зоны с обратным направлением и замкнутой циркуляцией воздушных потоков (зоны рециркуляции). От величины этих зон и количества единиц техники, находящейся в такой зоне, с учетом скорости и направления ветра зависит эффективность выноса вредных примесей. При ветре, набегавшем на карьер, в зависимости от его скорости и направления определяется схема естественной аэрации карьера, характер и размер зоны. По размерам и характеру этих зон и количеству работающей в них техники программа рассчитывает концентрации вредных примесей в атмосфере карьера и условия, при которых не будет превышения предельно допустимых концентраций. Имея такие схемы, в конкретных метеоусловиях, остается определить в какой зоне какая и сколько техники работает, чтобы оценить вероятность загрязнения рабочих зон выше нормативов и принять организационные решения по недопущению ухудшения санитарного состояния атмосферы карьера. Расчет зон аэрации (их тип и размер) производится для всех направлений и скоростей ветра. На основании соответствующей конкретному карьере розе ветров определяется вероятность преобладания той или иной зоны аэрации в данном карьере.

Программа позволяет проводить прогнозную оценку уровня чистоты атмосферы карьера при проектировании и планировании горных работ на основе многолетних метеорологических данных, а также рассчитывать состояние уровня загрязнения атмосферы карьера по текущим метеорологическим данным или краткосрочному прогнозу (изложенному в пункте два) в процессе работы карьера. При решении первой задачи задаются многолетние метеоданные за необходимый период и геометрия карьера на определенные периоды его работы, а для решения второй задачи необходимо задавать текущую информацию о состоянии погоды и горных работ в карьере.

Метеорологические мероприятия по контролю состава воздуха в карьере состоят из контроля метеорологического режима и прогнозе состояния атмосферы карьера. На основе этой информации проводятся организационные

мероприятия: оптимизация схем транспортных потоков, сокращение количества дизельной техники в карьере, перевод части ее на ремонт, ТО, прекращение работ на нижних горизонтах, применение средств индивидуальной защиты (в кабинах горной техники использование кондиционеров с фильтрующими элементами), для постоянных пунктов (водоотлив) создание помещений с подачей чистого воздуха, сокращение числа работающего персонала на открытом воздухе в карьере (маркшейдера, геологи, взрывники и т.д.), для тех, кого нельзя вывести использование гермошлемов и масок с избыточным давлением.

Предлагаемые меры позволяют осуществлять контроль за состоянием атмосферы карьера после массового взрыва, оценивать уровень загрязнения воздушной среды на промплощадке рудников и их взаимовлияние, оценивать общую нагрузку на окружающую среду с учетом реальных объемов выбросов. Обработка и анализ получаемой информации приведет к созданию перспективных, более надежных методов прогноза и рекомендаций вплоть до рекомендаций заводам-изготовителям дизельных двигателей и газоанализаторного оборудования, а также герметизации кабин и разработок газопоглощающего, нейтрализующего оборудования и индивидуальных средств защиты. Использование прогноза позволит перераспределить рабочих по сменам, перенести сроки взрывных работ, изменить оперативное планирование по автоперевозкам, улучшит экономические показатели, повысит надежность использования механизмов и оборудования, обеспечит безопасность проведения работ. При оценке экономической эффективности мероприятий по нормализации состава атмосферы в карьере необходимо учитывать не только прямые доходы, связанные с сокращением простоев, повышением производительности труда, уменьшением профзаболеваний, но также социальные и психологические аспекты, неподдающиеся экономическому учету, хотя, безусловно, значительно влияющие на деятельность горного предприятия в целом.

**Основные результаты и выводы** диссертационной работы сформулированы в заключении и сводятся к следующему:

- на Кольском полуострове преобладают приземные инверсии;
- нарушение естественного воздухообмена обусловлено инверсионным состоянием атмосферы карьеров, наибольшая продолжительность которых наблюдается в течение пяти месяцев, с ноября по март, включительно;
- с углублением карьеров происходит еще большее обособление внутрикарьерной циркуляции от общеатмосферной, увеличивается количество застойных зон в карьерах. Выявлено наличие в чаши карьера застойной области, препятствующей интенсивному естественному воздухообмену;

- распространение вредных примесей от внутрикарьерных источников носит волновой (волна газов распространяется до тех пор, пока температура их не сравняется с температурой окружающего воздуха), дискретный (массовые взрывы - разовый выброс, техника работает в разном режиме), блуждающий (т.к. техника перемещается) характер;

- определены типы синоптических процессов, способствующих ослаблению естественного воздухообмена в карьерах Кольского полуострова;

- разработан прогноз состояния атмосферы карьера на основе синоптической ситуации и развития вертикального температурного градиента в атмосфере карьера, автоматизированная программа расчетов параметров загрязнения атмосферы карьеров при естественной аэрации;

- предложен комплекс мер по нормализации атмосферы карьеров.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Совершенствование методики прогнозирования состояния атмосферы глубоких карьеров [Текст]: Тез. докл. Физико-технические проблемы управ. воздухообменом в горных выработках больших объемов. Всесоюз. научно-техн. симпозиум, 27-30 июня 1983 г., Ленинград: ЦПНТГО, 1983. - 132 с.

2. Погодные условия, определяющие естественный воздухообмен в карьерах, и методика их прогнозирования [Текст]: Тез. докл. Всесоюзная конференция, 23-25 сентябрь 1985 г., Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1985. - С.44-45.

3. Особенности микроклиматических условий и состояние атмосферы в карьере "Железный" Ковдорского ГОКа [Текст]: Тез. докл. Всесоюзная конференция, 23-25 сентябрь 1985 г., Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1985. - С.55-56.

4. Использование вскрывающей траншеи для улучшения естественного воздухообмена в карьерах [Текст]: Тез. докл. Всесоюзная конференция, 23-25 сентябрь 1985 г., Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1985. - С.106-107.

5. Методика метеонаблюдений при испытании вентиляционных установок в карьере "Железный" [Текст]: Тез. докл. Всесоюзная конференция, 23-25 сентябрь 1985 г., Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1985. - С.162-163.

6. Влияние климатических условий на разработку полезных ископаемых в горной местности [Текст]: Тез. докл. Всесоюзное совещание по горной метеорологии, 19-21 нояб. 1985 г., Киев: ГКГМиКПС, 1985. - 10 с.

7. Нормализация атмосферы глубоких карьеров [Текст] / А.Е.Алоян [и др.]. - Л.: Наука, 1986. - 295 с.

8. Природные условия Хибинского учебного полигона [Текст] / С.М.Мягков [и др.]. - М.: Изд. Московского университета, 1986. - 169 с.

9. Зорин, А.В. Исследование метеоусловий в районе карьеров Коашвинский и Ньоркпахский [Текст] / А.В.Зорин // Горн. журн. - 2002. - № 4. - С.90-91.

10. Аристотелевское понимание метеорологии как науки о физике (природе) атмосферы [Текст]: Тез. докл. Материалы итоговой сессии Ученого совета, 27-28 январь 2003 г., Санкт-Петербург: РГГУ, 2003. - С.100-102.

11. Зорин, А.В. Оценка загрязнения снежного покрова в карьерах горнодобывающих предприятий и районах их расположения [Текст] / А.В.Зорин // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия. Проблемы экологии: сб. научн. тр. - Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. - С.58-66.

12. Зорин, А.В. Оценка загрязнения промышленной зоны путем химического анализа снежного покрова [Текст] / А.В.Зорин // Материалы гляциологических исследований / Ин-т географии РАН. - 2003. - № 94. - С.153-156.

13. Зорин, А.В. Комплекс мероприятий по нормализации атмосферы промышленных зон [Текст] / А.В.Зорин // Современные экологические проблемы Севера. Ч.2. Материалы Международной конференции. - Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. - С.13-14.