

УДК 551.509.3+551.510.42

**МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРЫ Г. БАЛХАША ДИОКСИДОМ СЕРЫ И ПЫЛЬЮ**

О.С. Галаева
М.Т. Ибрагимов
Канд. физ.-мат. наук О.Е. Семенов
Т.В. Худякова
А.П. Шапов

Предложен метод количественного прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша, основанный на прогностическом поле давления, расчете геострофического ветра и типовых полей загрязнения диоксидом серы и пылью, полученных с помощью модели рассеивания примеси ОНД-86 и программных средствах ПК ЭРА.

Для принятия административных мер по снижению воздействия выбросов вредных примесей загрязняющих воздух на население г. Балхаша необходимо разработать краткосрочный прогноз уровня его загрязнения диоксидом серы и пылью с заблаговременностью одни сутки. Количественных методов прогноза загрязнения атмосферы для городов Казахстана нет. Большинство имеющихся методов по другим городам и регионам сводятся к прогнозу неблагоприятных метеорологических условий (НМУ).

Разработанный прогноз загрязнения атмосферы построен на базе синоптического прогноза скорости и направления ветра и расчетов типовых карт полей концентрации сернистого ангидрида и пыли. В качестве расчетных моделей были использованы модели рассеивания примеси от высотных и площадных источников загрязняющих веществ, разработанные в Главной геофизической обсерватории, (ОНД-86) [6]. Для практических расчетов был использован программный комплекс ЭРА (версия 1.6) Новосибирской фирмы «Логос плюс», реализующий эту модель. Для расчета потоков пыли с хвостохранилища на территорию города были привлечены работы американских ученых из НОАА Д. Жилетта и Р. Паси по исследованию вертикального потока частиц с поверхности почв, подвергшихся дефляции. Это позволило создать достаточно простой количественный метод прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша. Прогноз делается на персональном компьютере, который выдает прогнозируемые поля кон-

центраций примеси после ввода направления ветра и градиента давления прогностического поля давления.

Для построения полей концентрации загрязняющих веществ в графическом редакторе PhotoShop была разработана электронная версия карты города, на которую были нанесены промышленный район, районы жилой застройки и основные улицы города (см. рис. 1 статьи «Роль метеорологических параметров в загрязнении атмосферы города выбросами Балхашского горнометаллургического комбината» в настоящем журнале). Эта карта в последующем была использована в качестве подложки в программе ЭРА–Лорд. В этой программе сделана привязка постов ПНЗ и основных источников загрязнения на территории БГМК в заводской системе координат.

Модель ветрового потока пылевого аэрозоля от хвостохранилища БГМК. В 2001 году экспедицией КазНИИМОСК проводились экспедиционные исследования выноса пыли с хвостохранилища БГМК [2]. Эта работа послужила основой для расчета полей концентрации пыли при выносе ее на город.

Как и в случае построения полей концентрации диоксида серы в г. Балхаше от выбросов БГМК, при определении полей концентрации пыли, приходится решать некорректную задачу, так как для создания модели выноса аэрозоля с хвостохранилища комбината мы не располагаем точной информацией о самом источнике пыления. Поверхность хвостохранилища постоянно претерпевает изменения, связанные как с производственной деятельностью комбината, так и меняющимися погодными условиями в течение года. Летом, во время осадков, и зимой, когда поверхность покрывается снегом, пыление прекращается. После схода снега и быстрого подсыхания незаливаемая водой часть хвостохранилища начинает пылить под воздействием ветра и работающей на ней техники. Площадь хранилища, заливаемая водой, так же неизвестна и меняется во времени. Сухие площади, не подвергающиеся ветровой эрозии, находятся в восточной его части и составляли в 2001 г., по нашей оценке, 10...12 км². Средний геометрический размер частиц на сухой части хвостохранилища изменялся в интервале 140...180 мкм, такой размер имеют и пески пустынь. Стандартное геометрическое отклонение логарифмов размеров частиц σ_{lgx} достигает значений 0,21...0,41, тогда как у закрепленных песков оно чаще всего близко к 0,2, а у незакрепленных песков – к 0,1...0,15. Такая большая дисперсия обусловлена значительным содержанием в ней алевритовых частиц размером от 10 до 50 мкм ($\geq 10\%$) и небольшого количества еще более

мелких частиц. Это приближает породу хвостохранилища к супесчаным почвам, но при полном отсутствии гумуса и глинистых частиц, вследствие чего размельченная порода хвостохранилища лишена связности и представляет раздельно-зернистую массу рыхлых и сыпучих частиц, лишь местами слабо цементированную, что характерно для песков. Наличие мелких алевритовых частиц приводит к интенсивному пылению поверхности, так же как у легких по механическому составу почв. Горная порода в сухом состоянии легко поддается дефляции и интенсивно пылит летом даже в условиях вынужденной конвекции в приземном слое атмосферы.

Для определения вертикального потока массы мелкодисперсных частиц q_w , которые участвуют в турбулентной диффузии и переносятся на значительные расстояния от источника, мы использовали экспериментальную зависимость q_w от динамической скорости потока, полученную американскими исследователями Д. Жиллетом и Р. Паси [16]. Поскольку прогноз динамической скорости ветра не делается, возникла необходимость пересчета этой зависимости для скорости ветра на высоте 10 м. Для этого использовался логарифмический профиль ветра в приземном слое

$$u_{10} = \frac{u_*}{\chi} \ln \frac{z_{10}}{z_0}, \quad (1)$$

где u_{10} – скорость ветра на высоте 10 м, u_* – динамическая скорость, $\chi = 0,4$ – постоянная Кармана, z_{10} – высота измерения скорости ветра на М Балхаш, равная 10 м, z_0 – параметр шероховатости.

Как известно, z_0 над дефлируемой поверхностью является функцией среднего геометрического размера частиц x_0 и динамической скорости потока u_* [10].

$$z_0 = \frac{1}{30} x_0 \left(\frac{u_*^2}{g x_0} \right)^2, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения.

Используя (1) и (2) был выполнен пересчет зависимости вертикального потока массы частиц q_w от поверхности хвостохранилища для скорости ветра измеряемой на М Балхаш. Зависимость представлена на рис. 1.

В дальнейшем эта зависимость использовалась для вычисления потока аэрозолей с сухой площади хвостохранилища F в программном комплексе (ПК) ЭРА.

ПК ЭРА оперирует с плоскостными источниками прямоугольной формы, кроме того, в программе есть ограничение по площади источника, поэтому хвостохранилище представлено нами в виде семи источников прямоугольной формы с одинаковой площадью и суммарной площадью, равной площади пылящей части хвостохранилища. При расчетах выбросы от этих источников аддитивно складываются, образуя на карте поле, как от единого источника.

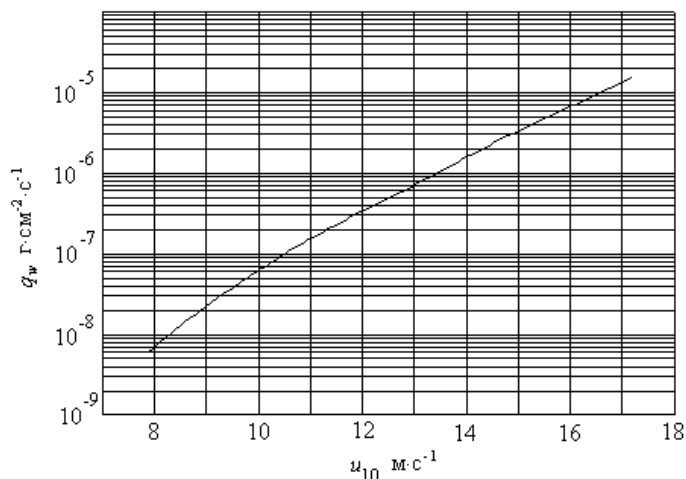


Рис. 1. Зависимость вертикального потока массы аэрозоля (вертикального твердого расхода q_w) от скорости ветра на высоте 10 м.

Расчеты полей концентрации пыли были выполнены для скоростей ветра 6, 10 и 15 м/с. Скорость ветра 6 м/с является начальной для процесса выветривания частиц и до скорости ветра 10 м/с явление переноса идет в виде песчаного поземка. Концентрация пыли при этой скорости ветра за счет ее выноса с хвостохранилища на большей части территории города составляет 1...3 ПДК. При скорости ветра 10 м/с начинается пыльная буря и увеличивается вынос аэрозоля, концентрация его в городе возрастает до 3...5 ПДК. При особо опасных пыльных бурях (скорость ветра ≥ 15 м/с) концентрация пыли над большей частью города равна или больше 5 ПДК.

Моделирование полей концентрации диоксида серы и пыли в г. Балхаше от выбросов БГМК. Существует два способа получения полей концентраций загрязняющих веществ в атмосфере населенных пунктов. Первый – эмпирический, когда поля строятся на основе одновременных измерений концентрации в различных частях города. Для г. Балхаша такой метод неприменим, так как на его территории работает всего три ПНЗ.

Второй способ получения полей загрязнения заключается в математическом моделировании диффузионного рассеивания примесей от высотных или наземных источников. Он наиболее пригоден для использования в условиях г. Балхаша, где загрязнение воздуха, в основном, определяется работой БГМК – одним, хотя и рассредоточенным, источником выбросов. Это упрощает процесс математического моделирования, и мы остановились на этом варианте получения типовых полей загрязнения для заданных метеорологических параметров атмосферы.

Были определены требования к математической модели расчета. Это должна быть мезомасштабная детерминированная модель, основанная на теории турбулентной диффузии, имеющая достаточно хорошее приближение к опытным результатам измерений. Из четырех основных типов детерминированных моделей («клубка», «факела», «ящика» и конечно-разностного типа) для наших целей оперативного количественного прогноза загрязнения воздуха наиболее подходящей является модель «факела», которая к настоящему времени наиболее изучена и широко используется в проектной практике для расчетов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятий.

Имеется достаточно большое число модификаций моделей этого типа, реализованных для расчетов на персональных компьютерах. Был сделан выбор программного комплекса ЭРА (версия 1.6) Новосибирской фирмы «Логос плюс», сертифицированного Главной геофизической обсерваторией им. Воейкова. Программный комплекс ЭРА создан на базе Общесоюзного нормативного документа ОНД-86 Госкомгидромета СССР, принятого и на территории СНГ в качестве РД. Методы расчетов, заложенные в ОНД-86, прошли длительную проверку и находят широкое применение [1, 5].

В качестве входных параметров модели расчетов используются характеристики источников выбросов: высота трубы H , диаметр устья трубы d , вертикальная скорость истечения газа из трубы u , объем выбрасываемых газов V и их температура T , количество загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу в секунду. Указанные параметры основных источников выбросов БГМК представлены в [4]. Из метеорологических параметров используется скорость и направление ветра на высоте 10 м и температура воздуха.

При освоении программного комплекса ЭРА был выполнен большой объем численного моделирования. Выяснялось влияние температуры воздуха на изменение конфигурации полей концентрации. Для этого были построены карты полей загрязнения атмосферы г. Балхаша диоксидом серы

для скоростей ветра 0,5 и 5 м/с юго-западного направления при температуре воздуха -25°C и 25°C , а так же аналогичные карты для средней годовой температуры. Анализ полученных полей показал, что влияние температуры приземного слоя воздуха незначительно. Различия в температурах приводит к некоторому смещению зоны с повышенной концентрацией по потоку. При низкой температуре воздуха (-25°C) и скорости ветра 0,5 м/с (т.е. практически при штиле) зона с повышенным загрязнением ≥ 5 ПДК смещена по потоку примерно на 800 м дальше, чем при температуре $+25^{\circ}\text{C}$. Конфигурация зон, ограниченных изолиниями 0,5 ПДК и 1 ПДК, в обоих случаях одинаковы. Сдвиг зоны и точки с максимальной концентрацией объясняется увеличением высоты подъема струи при увеличении разности ее температуры с температурой окружающего воздуха. При скорости ветра 5 м/с влияние температуры воздуха на поля приземной концентрации диоксида серы еще менее заметно – произошло увеличение максимальной концентрации при высокой температуре с 25,1 ПДК до 25,9 ПДК.

Незначительное влияние температуры воздуха на формирование полей приземной концентрации диоксида серы позволило нам при разработке метода количественного прогноза отказаться от прогнозируемой температуры и использовать в дальнейшем среднюю годовую температуру воздуха в г. Балхаше. Это может приводить при выдаче прогноза в условиях слабого ветра ≤ 2 м/с к пространственной ошибке местоположения зоны повышенного загрязнения (> 5 ПДК) на несколько сот метров, что не должно влиять на принятие административных решений о сокращении выбросов в атмосферу при неблагоприятных метеорологических условиях.

Моделирование рассеивания выбросов позволило выявить угловой сектор, при котором дымовой шлейф проходит над территорией города Балхаша. Это происходит при направлении ветра в секторе Ю...СЗ (180° ... 315°). Для ветров этого сектора направления в дальнейшем строились прогностические карты полей загрязнения города – Ю (180°), ЮЮЗ ($202,5^{\circ}$), ЮЗ (225°), ЗЮЗ ($247,5^{\circ}$), З (270°), ЗСЗ ($292,5^{\circ}$) и ССЗ (315°).

При получении поля загрязнения каждого румба d_i расчет проводился в угловом секторе $d_i \pm 10^{\circ}$. Это сделано с учетом флуктуации направления ветра и точности его прогноза. Получаемые более широкие зоны загрязнения города позволяют получать их размеры ближе к наблюдаемым, так как мы не учитывали вращение вектора ветра с высотой, что приводит к размыванию геометрических размеров шлейфа при опускании

его на другие высоты переноса, а так же, в какой-то степени, учитывать изменение направления ветра в течение суток.

Для проверки точности полученных расчетных значений концентраций примеси было проведено их сравнение с наблюдаемыми на ПНЗ. Для нахождения коэффициента связи измеренных и расчетных концентраций SO_2 и пыли, существующие в базе данных значения концентрации SO_2 и пыли из mg/m^3 были переведены в значения ПДК. Затем была сделана выборка измеренных значений концентраций для направления ветров $220...270^\circ$. Следующим этапом этой работы был расчет полей концентраций в ПК ЭРА для ветров этих же направлений. Снятые с карты рассчитанные данные в единицах ПДК в районе ПНЗ так же вносились в базу данных. Далее отбирались случаи с концентрацией ≥ 1 ПДК и строились корреляционные связи расчетных и измеренных величин.

Полученные статистические зависимости показывают, что масштабы рассчитанных средних значений концентраций примерно вдвое выше измеренных. Это позволило ввести нам этот уточняющий коэффициент для приближения рассчитываемых значений к измеряемым на ПНЗ. Следует заметить, что экспериментальных проверок согласования рассчитанных средних концентраций примесей от высотных источников выбросов с реальными измеренными приземными концентрациями не проводилось.

Берлянд [1] приводит данные проверок для максимальных значений приземных концентраций. Он пишет, что Мартин и Барбер при сравнении измеренных максимальных концентраций SO_2 вблизи тепловой электростанции с расчетными данными по схеме Пэксвилла получили качественное согласование и отметили количественное расхождение примерно в два раза. Проверка по схеме расчета ГГО (ОНД-86) максимальных концентраций так же показала наличие значительных расхождений. Чем можно объяснить такие расхождения? Самой некорректной постановкой задачи, когда выброс предприятия считается постоянной величиной, хотя он может изменяться как в течение года, так и в суточном масштабе времени при изменении технологических процессов.

Учитывая довольно низкую согласованность расчетов и измерений, мы приняли градации изолиний на расчетных прогностических картах полей концентрации примесей (пыль, SO_2), равными одному, трем и пяти ПДК и отказались от прогноза максимальных значений загрязнения воздуха. Это позволило получить на картах зоны загрязнения воздуха в городе с концентрациями: < 1 ПДК, $1...3$ ПДК, $3...5$ ПДК и >5 ПДК. Типо-

вые поля концентрации примесей строились для следующих значений скорости ветра: 0,5; 1; 2; 6; 10; 15 м/с.

Сделав необходимые коррективы к входным параметрам моделей мы приступили к созданию типовых полей загрязнения атмосферы г. Балхаша для семи названных выше румбов ветра и выбранных значений скорости потока. Всего было построено 94 карты типовых полей загрязнения. Из них – 37 карт полей концентрации сернистого ангидрида в приземном слое. Для условий, когда работают только высотные источники БГМК построено 36 карт. Они используются далее в прогнозе полей концентрации пыли, когда хвостохранилище мокрое, влажное, закрыто снегом или замерзшее. Для условий, когда скорость ветра равна или превышает 6 м/с (критическая скорость) и поверхность хвостохранилища суха (в это время пыль в атмосферу города поступает как от высотных источников, так и от хвостохранилища), построена 21 карта. Расчеты полей концентрации и их графическое построение на карте-подложке выполнялось в ПК ЭРА.

Методика количественного прогноза загрязнения атмосферы в г. Балхаше. В ранее выполненных исследованиях [9] показано, что резкое увеличение загрязнения воздуха часто наблюдается в передней части ложбины циклона, при прохождении холодного фронта. В этом случае уровень загрязнения воздуха увеличивается, независимо от выпадения осадков и скорости ветра, так как при этом направление ветра западных румбов сохраняется. Это направление само по себе является достаточным, чтобы прогнозировать высокое загрязнение, так как основной источник загрязнения – БГМК находится на ЮЗ города.

Блок-схема алгоритма количественного прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша приведен на рис. 2.

Прогноз загрязнения воздушного бассейна г. Балхаша составляется в четыре этапа. Вначале анализируются синоптические условия, ожидаемые на период прогноза. Как показали исследования казахстанских синоптиков [9] высокий уровень загрязнения в г. Балхаше наблюдается зимой при следующих типах синоптических ситуаций, представленных в табл. 1. Как видно, наиболее частые случаи высокого загрязнения бывают в городе, когда он находится на периферии антициклона (34 %) или в ложбине циклона (39 %).

Летом число синоптических ситуаций, при которых наблюдаются неблагоприятные метеорологические условия для рассеивания выбросов и увеличения концентрации загрязняющих веществ в приземном слое города увеличивается. Эти типы синоптических ситуаций даны в табл. 2.

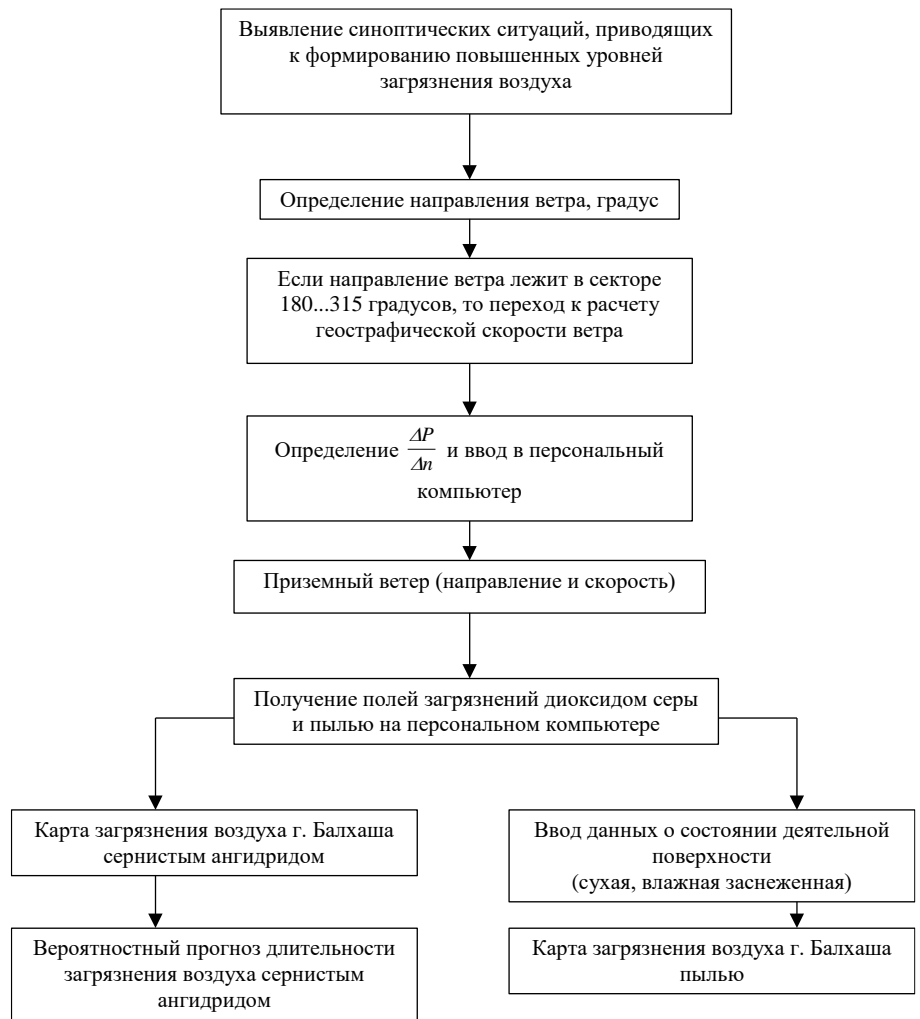


Рис. 2. Блок-схема количественного метода прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша диоксидом серы и пылью.

Таблица 1
Типы синоптических ситуаций, определяющие высокий уровень загрязнения воздуха (зима) в г. Балхаше

Типы синоптических ситуаций	%
Ложбина циклона с прохождением холодного фронта	28
Малоградиентное поле низкого давления	4
Ложбина циклона	11
Широтная фронтальная зона	12
Периферия антициклона	34
Стационарный антициклон	5
Малоградиентное поле высокого давления	6

Таблица 2

Типы синоптических ситуаций, определяющие высокий уровень загрязнения воздуха (лето) в г. Балхаше

Типы синоптических ситуаций	%
Ложбина циклона с прохождением холодного фронта	31
Малоградиентное поле низкого давления	2
Ложбина циклона	18
Широтная фронтальная зона	5
Циклон	4
Антициклон	11
Отрог антициклона	25
Малоградиентное поле высокого давления	5

Летом, так же как и зимой, наиболее часто наблюдается загрязнение атмосферы города, когда он находится в ложбине циклона (49 %) в антициклоне или его отроге (36 %). Указанные типы синоптических ситуаций согласуются с классификацией, предложенной Сонькиным. По его исследованиям высокие и экстремально высокие уровни загрязнения воздуха формируются в антициклонах, на перифериях антициклонов, а так же в зонах безградиентных барических полей [11, 12, 13].

В случае определения одного из указанных в таблицах типов синоптических ситуаций, переходят ко второму этапу составления прогноза – определяется направление ветра. В первом приближении ветер предсказывается в соответствии с прогнозом барического поля. Затем учитывается отклонение ветра от направления изобар (т.е. градиентного ветра) в сторону низкого давления на 30° . Если полученное направление ветра оказывается в угловом секторе $180...315$ градусов, то это указывает, что факел от высотных источников выбросов комбината будет находиться над городом или какой-либо его частью. После этого переходят к третьему этапу – вычислению значений приземной скорости ветра.

Определение геострофического ветра и геострофического коэффициента. Численный прогноз барического поля позволяет определять ветер в приземном слое атмосферы, если знать отношение u_{10}/u_g , где u_{10} скорость ветра на высоте 10 м, u_g – геострофический ветер. Большая изменчивость параметра шероховатости z_0 подстилающей поверхности суши требует знания отношения u_{10}/u_g для различных видов ландшафтов и его достаточно строгого учета при расчетах приземного ветра по прогнозируемому барическому полю [5, 7, 14]. Эта задача может решаться как теоретически в рамках различных моделей планетарного пограничного слоя атмосферы, так и эмпирически путем обобщения материалов измерений.

Оба подхода имеют свои недостатки. Теоретические модели не всегда обеспечивают необходимую точность определения $K_g = u_{10}/u_g$ и для их использования не всегда есть необходимый комплекс параметров. При эмпирическом подходе к определению K_g так же недостаточно строго учитываются все внешние параметры потока. Учитывая специфику развития метеорологии в Казахстане, где никогда не развивались теоретические исследования пограничного слоя атмосферы, и поэтому нет его моделей, мы остановились на эмпирическом подходе к определению $K_g = u_{10}/u_g$.

Как известно, геострофический ветер достаточно просто определяется по полю давления

$$u_g = \frac{l}{2\omega\rho \sin\phi} \frac{\partial P}{\partial n} \approx \frac{l}{l\rho} \frac{\Delta P}{\Delta n},$$

где $l = 2\omega \sin\phi$ – параметр Кориолиса, ω – угловая скорость вращения Земли, ϕ – широта местности, ρ – плотность воздуха. Для $\rho = 1,276 \text{ кг/м}^3$ и $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ и $\frac{\Delta P}{\Delta n}$ в гПа/100 км

$$u_g = \frac{5,4}{\sin\phi} \frac{\Delta P}{\Delta n}.$$

Город Балхаш расположен на широте $\phi = 47^\circ$ и $\sin \phi$ для него равен 0,73, поэтому окончательный вариант формулы для вычисления u_g здесь будет $u_g = 7,4 \frac{\Delta P}{\Delta n}$ при $\frac{\Delta P}{\Delta n}$ в гПа на 100 км. На практике градиент давления у нас определялся на расстоянии 300 км. Поэтому, так как $\frac{\Delta P}{\Delta n}$ изме-

рен для гПа/300 км, u_g рассчитывался по формуле $u_g = 2,46 \frac{\Delta P}{\Delta n}$.

Был проанализирован архив полей давления за 1986...1990 гг. для всех дат, когда наблюдалось превышающее ПДК загрязнение воздуха в городе хотя бы на одном из ПНЗ и по одному или обоим рассматриваемым нами ингредиентам. В таблице 4 приведены результаты вычисления u_g и отношения u_{10}/u_g .

Анализ полученных отношений $K_g = u_{10}/u_g$ показал, что он изменяется в зависимости от направления потока воздуха: для ЮЗ – $K_g = 0,50$, для З – $K_g = 0,53$, СЗ – $K_g = 0,53$, С – $K_g = 0,56$, СВ – $K_g = 0,46$. Для расчетов было принято среднее значение $K_g = 0,53$.

Для расчета скорости ветра используется метод прогноза Е.П. Веселова [3, 8], уточненный для г. Балхаша. Для этого определяется барический градиент давления ΔP , выраженный в ГПа/300 км. Он измеряется с помощью линейки, соответствующей 300 км в масштабе данной карты приземного давления, по нормали к изобарам. С карты снимаются значения приземного давления на концах линейки, и определяется разность ΔP для расстояния 300 км. Далее переходят к расчетам, выполняемым на персональном компьютере в диалоговом режиме. После включения компьютера и входа в программу «Pollution Балхаш», полученное значение ΔP вводится в компьютер.

Затем прогноз скорости приземного ветра рассчитывается по формуле

$$U = K_g (2,46 \Delta P + \Delta U_r) + \Delta U_{откл} + \Delta U_{фр.},$$

где K_g – коэффициент, учитывающий в неявной форме влияние сил трения и других физико-географических особенностей региона.

При вычислении приземного ветра вводятся поправки ΔU_r (м/с) на кривизну изобар (табл. 3); $\Delta U_{откл}$ – поправка на усиление ветра при его больших отклонениях от изобар, близких к 90° (табл.4) и $\Delta U_{фр.} = 2$ м/с на усиление ветра при прохождении фронта.

Таблица 3

Поправка ΔU_r к скорости ветра (м/с) на кривизну изобар (по Е.П. Веселову), [3]

$\frac{\Delta P}{\Delta n}$, гПа/300км	Для φ в интервале 35...55° при циклонической кривизне изобар	Для φ в интервале 35...55° при антициклонической кривизне изобар
0...5	0,0...0,6	0,0...1,9
5...10	0,6...1,2	1,9...3,8
10...15	1,2...1,8	3,8...5,7
15...20	1,8...2,4	5,7...7,6
20...25	2,4...3,0	7,6...9,5
25...30	3,0...3,6	9,5...11,4

Таблица 4

Поправка $\Delta U_{откл}$ на усиление ветра при его больших отклонениях от изобар (близких к 90°)

	ΔP , (гПа/300 км)									
	1...10	11...12	13...14	16...17	18...19	20	21...22	23...24	25	
$\Delta U_{откл}$, м/с	3,0	3,5	4,0	5,0	5,5	5,5	6,5	7,0	7,5	

При небольших градиентах давления и циклонической кривизне изобар используется формула

$$U = 2,46K_g \Delta P.$$

После получения значений скорости и направления ветра и их ввода в компьютер переходят к последнему четвертому этапу – получение прогностических карт полей загрязнения г. Балхаша сернистым ангидридом и пылью. Для получения прогностической карты загрязнения города пылью дополнительно в компьютер вводятся данные о состоянии деятельной поверхности. После получения прогностических карт полей концентрации пыли и сернистого ангидрида дается вероятностный прогноз длительности в часах загрязнения воздуха сернистым ангидридом.

В районе ПНЗ №1 вероятность, что загрязнение продлится один час, равна 75 %, 2 часа – 40 %, 3 часа – 20 %. Вероятность, что этот период будет длиться более 9 часов очень мала и не превышает 1 %. В районе ПНЗ №3 вероятность указанных периодов времени несколько выше и составляет соответственно 80, 50, 30 и 5 %.

Поскольку наиболее важным параметром прогноза загрязнения атмосферы является направление ветра, в 2004 году было проведено его авторское испытание. Прогноз давался на каждый день для четырех центральных месяцев сезонов года. Оправдываемость прогноза оказалась следующей: для января – 79 %, апреля – 88 %, июля – 84 %, и октября – 97 %.

Программа прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша. Программа прогноза загрязнения атмосферы «Pollution Балхаш» для персонального компьютера разработана в IDE (интегрированной среде разработчика) Delphi 4.0. Блок схема программы «Pollution Балхаш» представлена на рис. 3.

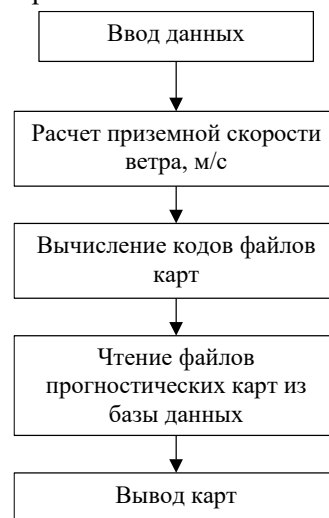


Рис. 3. Блок схема программы «Pollution Балхаш».

Общий вид главного окна программы показан на рис. 4.

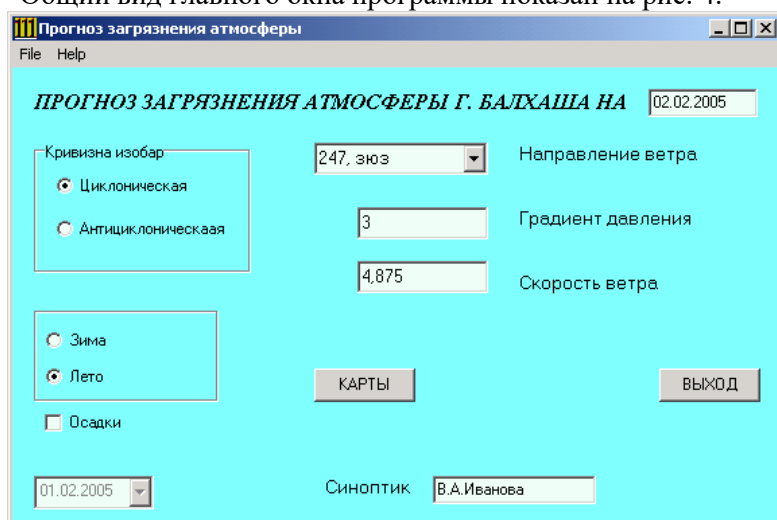


Рис. 4. Общий вид главного окна программы.

Для выполнения необходимых расчетов и последующего вывода прогностических карт следует ввести исходные данные. Дата, на которую составлен прогноз, равная текущей дате плюс один день вычисляется автоматически. При необходимости ее можно изменить, набрав необходимую дату в ячейке даты прогноза в правом верхнем углу. Для ввода спрогнозированного направления ветра нужно открыть список «направление ветра» и выбрать нужное.

Для вычисления скорости ветра следует ввести тип кривизны изобар, отметив курсором нужную, и градиент давления в гПа на 300 км, измеренный на приземной прогностической карте давления по нормали к изобарам, и нажать клавишу «Enter». В ячейке «скорость ветра» появится величина вычисленной скорости ветра. Если скорость ветра вычисляется вручную или по другой методике, ее величину можно ввести вручную.

Для оценки генерации пыли с хвостохранилища БГМК необходимы сведения об осадках. Осенью, при образовании устойчивого снежного покрова, включается кнопка «Зима» и остается включенной до таяния снежного покрова и высыхания поверхности весной. После этого включается кнопка «Лето». Летом, если в предыдущий прогнозируемому или в прогнозируемый день ожидаются умеренные или сильные осадки, включается кнопка «Осадки».

Если включена кнопка «Зима», кнопка «Осадки» становится неактивной. В конце вводится фамилия синоптика составившего прогноз.

В именах файлов типовых прогностических карт базы данных содержится информация о загрязняющем веществе, направлении и скорости ветра. Два первых символьных элемента содержат информацию о загрязняющем веществе: СА – сернистый ангидрид; ПЛ – пыль, источник БГМК + хвостохранилище; ПЗ – пыль, источник БГМК (при мокрой подстилающей поверхности). На докритических скоростях (< 6 м/с), когда хвостохранилище не пылит, карты групп ПЛ дублируют карты группы ПЗ. Три следующих цифры содержат информацию о направлении ветра. Две последних цифры показывают значение скорости ветра.

В соответствии с введенными данными программно формируется два имени файлов для SO_2 и пыли, например: СА21500 – SO_2 , направление ветра 215° , штиль; ПЛ27002 – пыль, подстилающая поверхность сухая, направление ветра 270° , скорость ветра 2 м/с.; ПЗ24710 – пыль, подстилающая поверхность влажная, направление ветра 247° , скорость ветра 10 м/с.

После включения кнопки «Карты» на экран выводятся две карты, расположенные одна за другой. Одна для сернистого ангидрида, другая для пыли. Эти карты можно распечатать и сохранить в файл. Для пересылки прогноза по электронной почте, карты необходимо сохранить в отдельный файл. Для этого в меню File нужно вызвать диалоговое окно «Save As...» ввести имя файла и указать директорию (портфель), где будет сохранен файл (по умолчанию $C:\backslash\text{ПрогнозПДК}\backslash\text{Пыль.bmp}$, $C:\backslash\text{ПрогнозПДК}\backslash\text{SO}_2.bmp$).

Для примера на рис. 5, 6 приведены карты прогноза загрязнения атмосферы для SO_2 и пыли.

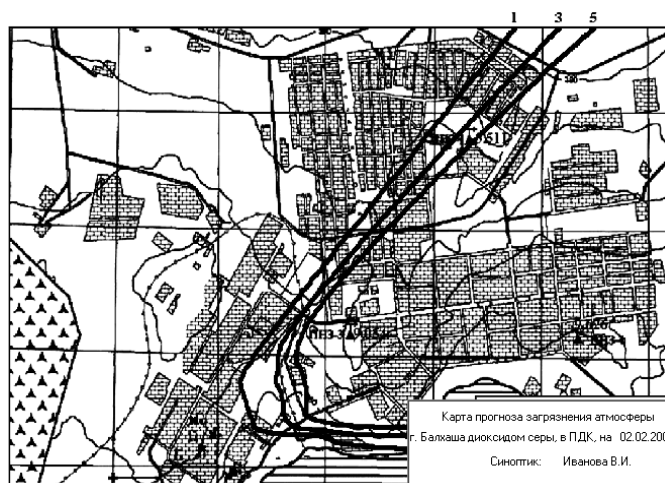


Рис. 5. Карта прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша сернистым ангидридом.

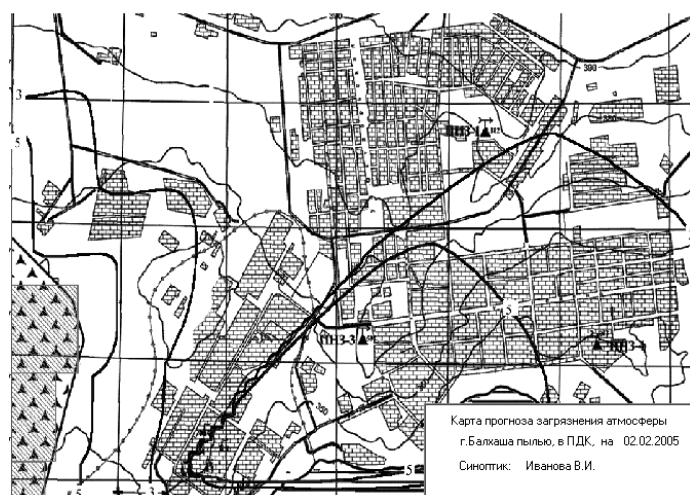


Рис. 6. Карта прогноза загрязнения атмосферы г. Балхаша пылью.

В меню Help помещены два элемента: Помощь и About. В первом приведен порядок выполнения расчетов, во втором – сведения о программе. Для завершения работы с программой нужно включить кнопку «Выход» или File–Exit в основном окне. Для определения вероятности продолжительности загрязнения сернистым ангидридом нужно в папке «Pollution Балхаш» открыть файл «Вероятность» и определить продолжительность явления. Полученные заказчиком файлы с картами можно распечатать с помощью любого графического редактора (PhotoEdit, ACDSee 32, Paint и др.).

Метод прогноза передан для оперативного использования в Гидрометцентр РГП «Казгидромет». Оценка его оправдываемости представляет определенную трудность, так как в г. Балхаше измерения загрязнения воздуха проводятся на ограниченном числе пунктов и всего три раза в сутки. Тогда как для проверки прогноза поля загрязнения атмосферы города требуется частая сеть пунктов измерения и непрерывная регистрация содержания загрязняющих веществ в воздухе. Ведь длительность периодов с повышенным загрязнением атмосферы в городе не превышает 1 часа в 80 % случаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. –Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
2. Бельгибаев М.Е., Бурлибаев М.Ж., Галаева О.С., Семенов О.Е., Шапов А.П. Исследование ветрового выноса аэрозоля с хвостохранилища Балхашского горно-металлургического комбината // Гидрометеорология и экология. – 2003. – №2. – С. 9 – 30.

3. Веселов Е.П. К расчету скорости ветра у поверхности Земли и на высотах // Тр. Гидрометцентра СССР. – 1971. – Вып. 90. – С. 113 – 120.
4. Галаева О.С., Шапов А.П. Роль метеорологических параметров в загрязнении атмосферы города выбросами Балхашского горно-металлургического комбината // См. настоящий сборник.
5. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. / Изд-ие 2-ое переработанное, Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 68 с.
7. Орленко Л.Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 271 с.
8. Практикум по синоптической метеорологии / Под ред. В.И. Воробьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 288 с.
9. Разработать метод краткосрочного прогноза загрязнения атмосферы для региона: Отчет о НИР/Гидрометцентр Казгидромета. – Алма-Ата, 1990. – 53 с. – Исполн. А.С. Садирова, В.В. Валькова, Г.Н. Ананьина, Г.Б. Лугиня.
10. Семенов О.Е. Сопротивление подвижной песчаной поверхности при бурях. // Гидрометеорология и экология. – 2002. – № 1. – С. 14 – 28.
11. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 224 с.
12. Сонькин Л.Р., Николаев В.Д. Синоптический анализ и прогноз загрязнения атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1993. – №5. – С.14 – 19.
13. Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах Российской Федерации / Рекомендации по прогнозу экстремально высоких уровней загрязнения воздуха. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 43 с.
14. Справочник авиационного метеоролога / Под ред. А.В. Костюченко. – М.: Воениздат, 1977. – 304 с.
15. Федоров А.Г. Delfi 3.0 для всех. / 3-е изд-ие. – М.: Компьютер пресс, 1998. – 543.
16. Gillette D.A., Passi R. Modeling Dust Emission Caused by Wind Erosion. // Journal of Geophysical Research. Vol. 93, november 20, 1988. – P. 14233 – 14.242.

Казахский научно исследовательский институт экологии и климата
Гидрометеорологический центр РГП Казгидромет

**БАЛҚАШ ҚАЛАСЫ АТМОСФЕРАСЫНЫҢ КҮКІРТ ДИОКСИДІ ЖӘНЕ
ШАҢМЕН ЛАСТАНУЫН САНДЫҚ БОЛЖАУ ӨДІСІ.**

Физ.- мат. ғылымд. канд. О.С. Галаева
М.Т. Ибрагимов
О.Е. Семенов
Т.В. Худякова
А.П. Шапов

ОНД-86 шаң қоспаларының таралуы моделі және ЭРА ПК бағдарламалық құралы көмегімен қысымның болжау алаңы, гео-строфикалық желді есептеу, күкірт диоксиді және шаңмен ластанудың типтік алаңын есептеу негізінде Балқаш қаласы атмосферасының ластануын сандық болжау әдісі ұсынылған.