

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

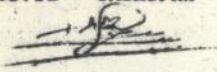
На правах рукописи

САЛИМ РУВАЙЯ САИД

УДК 551.510.42:519.2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА  
(НА ПРИМЕРЕ Г. ОДЕССЫ)

11.00.13 - экология



А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

ОДЕССА 1998



AB 34.687

Диссертация в виде рукописи.

Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель - доктор географических наук,

Лоева Инесса Дмитриевна

Официальные оппоненты: - доктор географических наук,

Тарнопольский Анатолий Григорович

- кандидат географических наук,

доцент

Ауров Валентин Валентинович


Ведущая организация: Одесский государственный университет,  
кафедра экономической и социальной географии, министерства просвещения,  
г. Одесса

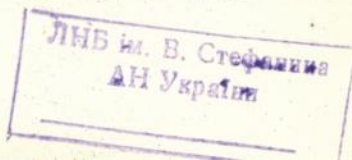
Защита диссертации состоится 30 мая 1996 года в 13<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета Д 05.02.02 в Одесском гидрометеорологическом институте по адресу: 270016, г. Одесса - 16, ул. Львовская, 15, ОГМИ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского гидрометеорологического института.

Автореферат разослан "29" апреля 1996 г.

Ученый секретарь

специализированного совета  Е.Г. Владимирова



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Развитие научно-технического прогресса привело в ряде стран мира к критическому состоянию природной среды, в том числе и воздушного бассейна. Ущерб, наносимый загрязнением атмосферы, придал этой проблеме также экономическую направленность. Все это заставляет правительства всех стран уделять проблеме охраны атмосферы большое внимание. Это связано с тем, что атмосферный воздух, с одной стороны, является источником дыхания человека, животных и растений, сырьем для многих производственных процессов, а, с другой стороны - это среда, куда выбрасываются многочисленные отходы жизнедеятельности человека и животного мира.

Важнейшей задачей, связанной с обеспечением чистоты воздушного бассейна, является предотвращение роста концентраций вредных примесей в воздухе в периоды неблагоприятных для рассеяния примесей метеорологических условий.

Одной из реальных возможностей улучшения состояния воздушного бассейна уже в ближайшее время является кратковременное снижение выбросов и концентраций примесей в периоды неблагоприятных метеорологических условий на основе их краткосрочного прогноза. Решение поставленных выше задач должно базироваться на двух основных условиях. Прежде всего необходимо разработать стратегию управления. Для этого надо определить, какие именно предприятия и насколько должны уменьшить выбросы того или иного вещества, чтобы фоновая концентрация его на территории города не превышала допустимого предела. Однако, если бы и существовала такая стратегия, то нельзя было бы достичь малой вероятности ошибки второго рода до тех пор, пока не будут разработаны эффективные методики прогноза загрязнения атмосферного воздуха.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью настоящей диссертационной работы является изучение статистической структуры полей концентраций  $\text{NO}_2$  при различных состояниях пограничного слоя атмосферы и на этой основе построение статистических моделей прогноза загрязнения воздушного бассейна г. Одессы ингр-диентом.

Одесса имеет существенные отличия от других городов с миллионным населением. С одной стороны, в городе расположено более трехсот промышленных предприятий, свыше 600 котелен, более половины из которых, работают на жидком и твердом топливе. В зимнее время добавляется множество частных отопительных систем, использующих в основном низкокачественное топливо. Огромный вклад в загрязнение атмосферы вносит многотысячный парк автомобильного транспорта, а также водный и воздушный транспорт. С другой стороны, Одесса расположена в зоне с потенциальным рекреационным ресурсом, что обусловило развитие в структуре города сети курортно-санаторных учреждений.

Физико-географическое положение Одессы, ее архитектура, специфика размещения на территории города промышленных зон, особенности развития в рассматриваемом регионе атмосферных процессов не способствуют быстрому рассеянию загрязняющих веществ. К процессам, обуславливающим накопление примесей в атмосфере в летний период относится бризовая циркуляция, имеющая большую повторяемость. Для холодного периода характерны туманы, температурные инверсии, которые также благоприятствуют накоплению вредных примесей в приземном слое атмосферы.

В соответствии с поставленной целью исследования решались следующие задачи:

- изучить особенности статистической структуры поля концентрации  $\text{NO}_2$  в г. Одессе;
- изучить тенденции изменения уровня загрязнения в различных районах города при различных синоптических процессах;
- разработать принципы построения обучающих совокупностей;
- разработать статистические модели прогноза загрязнения атмосферного воздуха для различных типов атмосферных процессов.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Исходными данными для проведения исследования послужили результаты измерений концентрации двуокиси азота на сети контрольно-замерных постов (КЗП) ГИД ЧАМ г. Одессы за 14-летний период инструментальных наблюдений (1980-1993 гг.), а также сопутствующая информация наземных метеорологических и аэрологических наблюдений (ст. Одесса, обл.). При анализе использованы приземные синоптические и кольцевые карты погоды за упомянутый выше период

времени.

Указанные задачи решались методами математической статистики, в том числе: исследования однородности временных рядов концентраций с помощью непараметрических критериев; статистической структуры случайных (нестационарных) временных рядов; корреляционный и компонентный анализ случайных полей; регрессионный метод построения прогностических моделей. Достоверность статистических параметров и моделей оценивалась путем определения ошибок и проверки соответствующих статистических гипотез. Адекватность разработанных прогностических моделей подтверждается результатами численных экспериментов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Диссертационная работа является самостоятельной частью исследований, проводимых в ОГМИ по теме "разработать статистические модели анализа, прогноза и оптимального регулирования уровня антропогенной нагрузки на воздушный бассейн большого города юга Украины". Результаты исследований существенно уточняют и расширяют существующее представление о статистических методах прогноза загрязнения воздушного бассейна промышленного города. Выявленные закономерности распространения концентраций двуокиси азота и особенностей их пространственно-временного распределения могут быть использованы при разработке методов прогноза загрязнения воздушного бассейна для крупных городов Йемена.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В процессе диссертационного исследования лично авторам получены следующие новые научные результаты, представляющие предмет защиты:

- выделены районы города, однородные по уровню и динамике загрязнения атмосферы двуокисью азота;
- установлены особенности временной изменчивости концентрации двуокисью азота;
- определены законы распределения концентрации двуокиси азота и на их основе получены вероятности превышения различных уровней загрязнения атмосферы;
- с учетом направления переноса воздушных масс установлены особенности статистической структуры полей концентраций  $\text{NO}_2$  на территории города;
- разработана статистическая прогностическая модель, представляющая систему уравнений регрессии, которые дают воз-

возможность с полусуточной заблаговременностью предвычислить главные компоненты, а на их основе - поле концентрации ингредиентов.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ. Основные положения и отдельные вопросы диссертации докладывались на научных конференциях Одесского Гидрометеорологического института (Одесса, 1994, 1995 гг.). По теме диссертации опубликовано три научных работ.

КОНКРЕТНЫЙ ВКЛАД ДИССЕРТАНТА В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, КОТОРЫЕ ВЫНОСЯТСЯ НА ЗАЩИТУ. В диссертационной работе лично автором проведен статистический анализ полей концентраций  $\text{NO}_2$ , получены законы распределения концентраций ингредиента, вычислены вероятности превышения концентрации санитарно-защитных норм.

С использованием компонентного анализа и регрессионного анализа разработаны статистические модели прогноза полей концентраций с заблаговременностью 12 часов при различных направлениях переноса воздушных масс.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 118 наименований и приложения. Общий объем работы - 161 страниц, из них 95 страниц машинописного текста. Работа содержит 19 таблиц и 28 рисунок.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ обосновывается актуальность темы, излагаются цели и задачи диссертационной работы, кратко сформулированы основные положения, представляющие предмет защиты.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ содержится обзор литературы, посвященной изучению условий накопления и рассеяния вредных примесей в атмосфере. Анализируются метеорологические факторы, которые могут рассматриваться в качестве потенциальных предикторов.

Решению поставленной задачи предшествовал обзор существующих методов анализа и прогноза уровня загрязнения атмосферы, вредными веществами.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ представлена характеристика исходных данных, на основе которых выполнено исследование. Приводится расположение сети контрольно-замерных пунктов в городской черте и

размещение основных источников промышленных выбросов. Производится анализ синоптических ситуаций, которые оказывают влияние на рассеивание и накопление примеси.

С помощью непараметрического критерия Вилкоксона проведено исследование однородности временных рядов среднемесячных концентраций  $\text{NO}_2$ . Установлено, что территория города по уровню загрязнению диоксидами азота делится на два района: прибрежная зона (3 пост) и остальная часть города, где четко прослеживается увеличение концентрации  $\text{NO}_2$  по мере удаления от берега моря. Выявлены особенности распределения концентрации  $\text{NO}_2$  в том и другом районе города.

Статистически однородные временные ряды среднемесячных концентраций  $\text{NO}_2$  представили возможность сформировать выборки данных для каждого из районов, что позволило, во-первых, существенно увеличить объем выборки для второго района, во-вторых, получить общие закономерности, для распределений ингредиента.

Показано что, для выделенных районов характерно значительное различие в уровне загрязнения воздушного бассейна. Средние месячные значения концентрации  $\text{NO}_2$  во втором районе в 1.3 раза больше чем в прибрежной зоне, где они лишь незначительно превышает ПДК<sub>СС</sub>. Такая же закономерность характерна и для среднеквадратического отклонения. Временные ряды среднемесячных концентрации  $\text{NO}_2$  обоих районов обладают положительной асимметрией.

Для аппроксимации эмпирических распределений среднемесячных концентрации  $\text{NO}_2$  использованы функции распределения семейства кривых Пирсона, которые позволяют описать основные закономерности случайного процесса. Выявлено, что для успешной аппроксимации эмпирических распределений концентрации  $\text{NO}_2$  наиболее предпочтительными являются распределения Пирсона типа II и III. Функции распределения концентраций  $\text{NO}_2$  дают возможность найти вероятность превышения некоторых предельных значений  $q_n$ , в качестве которых рассматривались: средняя концентрация  $q$ , модальное значение концентрации  $q_m$ , предельно допустимая среднесуточная концентрация ПДК<sub>СС</sub> и предельно допустимая максимально разовая концентрация ПДК<sub>МР</sub>. В прибрежной курортной зоне города концентрации  $\text{NO}_2$  равны или превышают ПДК<sub>СС</sub> в 70-90%

случаях. В центральном и промышленном районах города в 34% случаев среднемесячные концентрации  $\text{NO}_2$  превышают даже ПДК<sub>мр</sub>.

Закономерности распределения концентрации  $\text{NO}_2$  в атмосфере г. Одессы хорошо прослеживаются по полям средних и модальных значений концентраций и их вероятностей, которые были построены с учетом направления переноса воздушных масс.

Анализ полей средних концентрации  $\text{NO}_2$  показал, что при всех направлениях переноса характер распределений средних значений концентрации  $\text{NO}_2$  аналогичен по конфигурации их полей. Зона наибольшего среднего значения концентрации двуокиси азота смещена в западные районы города, где находятся основные промышленные предприятия и автомагистрали с интенсивным движением транспорта. Уровень загрязнения воздушного бассейна города  $\text{NO}_2$  уменьшаются в направлении от северо-западной промышленной зоны к береговой части. Лишь при малоградиентных барических полях область наибольших средних значений концентрации  $\text{NO}_2$  перемещается в юго-западные районы города.

Характер распределения модальных значений по территории города существенно различается. Так, при северо-восточном и восточном переносах конфигурация поля модальных значений концентрации  $\text{NO}_2$  соответствует направлению переноса, и ложбина изолиний концентраций ориентирована к юго-западной части города. Поле модальных значений при втором типе переноса не отражает направление потока. При ЮЗ, В переносах поле модальных значений концентрации  $\text{NO}_2$  вытянуто по направлению ветра к востоку. Изолинии поля модальных значений концентраций при северо-западных и северных переносах располагаются меридианально вдоль моря. Что касается Б-ого типа переноса (малоградиентное поле), то поле модальных значений концентрации  $\text{NO}_2$  характеризуется наличием хорошо выраженного гребня, ориентированного с северо-запада на юго-восток. Анализ показал, что при всех типах переноса наибольшие модальные значения концентрации  $\text{NO}_2$  располагаются в северо-западных и центральной частях города. Анализ вероятностей модальных значений показывает, что при всех направлениях переноса они растут с уменьшением модальных значений.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что многомерный статистический анализ концентраций  $\text{NO}_2$ , равно как и

построение прогностических моделей, необходимо производить с учетом направления переноса воздушных масс.

**ТРЕТЬЯ ГЛАВА** содержит особенности статистической структуры полей концентрации  $\text{NO}_2$  с учетом направления переноса воздушных масс, характерных для рассматриваемого региона. Исследована временная изменчивость загрязнения атмосферы в различных районах города.

Исследование пространственной структуры концентрации  $\text{NO}_2$  состояло в том, что по исходным рядам рассчитывались матрицы ковариаций и корреляций. На их основе строились поля корреляций концентраций  $\text{NO}_2$  с полюсом для всех пяти типов переноса в КЭП № 17. В качестве полюса корреляции этот КЭП выбран потому, что в его районе постоянно отмечается наибольший уровень загрязнения воздуха  $\text{NO}_2$ . Анализ полей корреляций показал, что при всех типах переноса поле корреляции  $\text{NO}_2$  вытянуто с северо-запада на юго-восток, причем максимальные значения корреляций располагаются в северо-западных районах города. Корреляционная связь между концентрациями ингредиента медленно убывает к югу и юго-востоку, так что в курортной зоне города корреляции составляют всего лишь 0,2-0,3. Такую структуру полей концентрации  $\text{NO}_2$  можно объяснить тем, что в северо-западной части города размещены основные источники промышленного загрязнения атмосферы, а основные автотранспортные магистрали ориентированы, главным образом, с юга на север или северо-запад.

В целях сжатия информации о пространственной и временной структуре полей концентрации  $\text{NO}_2$  произведено их разложение по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.). Е.о.ф. имеют то преимущество, что они позволяют выделить из исследуемых случайных полей главные компоненты, дисперсии которых исчерпывают большую часть суммарной дисперсии полей. Дисперсиями главных компонент являются соответствующие собственные значения.

Установлено, что дисперсия первой главной компоненты составляет 43-56% суммарной дисперсии поля. Для направления переноса с северной составляющей сумма первых трех главных компонент составляет 75% суммарной дисперсии поля концентраций  $\text{NO}_2$ , а для южных ветров и при малоградиентных полях давления сумма первых четырех главных компонент исчерпывает её 80%.

Конфигурации поля первой е.о.ф. практически одинаковы для

всех типов переноса... Это говорит о том, что при любом направлении переноса одинаковым образом формируется основная часть структуры поля концентрации ингрдиента. Таким образом, первая е.о.ф. отражает общий характер распределения концентрации  $\text{NO}_2$  по всему городу. При первом, третьем и пятом типах переноса характер распределения второй е.о.ф. одинаков, причем её максимальные значения отмечаются в западных и северо-западных районах города, т.е. в промышленной его зоне. Минимальные значения для первого и пятого типов обнаруживаются в юго-восточной (прибрежной зоне), для третьего типа - в центральной части города. Что касается второй е.о.ф. при втором и четвертом типах переноса, то в поле её значений наблюдается хорошо выраженный гребень, ориентированный с запада на восток. Отличительной чертой полей второй е.о.ф. является то, что прибрежная курортная зона находится в противофазе с остальной частью города. Поля третьей е.о.ф. для северо-восточного, восточного, юго-восточного и южного направлений переноса представляют собой пучности с несколькими гребнями. При остальных типах третья е.о.ф. характеризуется меридианальным расположением изолений, ориентированным с юго-юго-запада на северо-северо-восток. Из этого можно сделать вывод о том, что вторая и третья е.о.ф. характеризуют условия формирования в воздухе полей концентраций  $\text{NO}_2$ , обусловленные преобладающим переносом воздушных масс по отношению к промышленным источникам выброса. В поле четвертой главной компоненты для второго типа переноса максимальные значения располагаются в центральной части города, а минимальные - в юго-западной и прибрежной зонах. Указанный тип поля характерен для всех направлений переноса.

Поскольку исследуемые временные ряды являются нестационарными, они были подвергнуты процедуре сглаживания с целью выделения детерминированной основы процесса. Сглаживание осуществлялось с использованием в качестве фильтра тригонометрического полинома, а в качестве постоянной сглаживания выступала максимальная периодичность, скрытая в исследуемом процессе, определенная с помощью преобразования Фурье.

В соответствии с используемой методикой, выявление периодичностей, скрытых в исследуемых временных рядах, осуществлялось с помощью амплитудно-частотных характеристик. С вероят-

ностью 0.95 выявлено 4 периодичности. Наибольшая из них составляет 17 месяцев, наименьшая - 5 месяцев. Наибольшей амплитудой характеристики периодичность 12 месяцев, а самая малая амплитуда соответствует периодичностям 6 и 5 месяцев.

В результате скользящего осреднения, выделены детерминированные составляющие временных рядов среднемесячных концентраций  $\text{NO}_2$  для двух районов (прибрежная зона и основная часть города), характеризующихся однородными в статистическом смысле условиями загрязнения.

Детерминированные составляющие позволили проанализировать динамику уровня загрязнения атмосферы г. Одессы за последний 14-ти летний период наблюдений. В течение рассматриваемого периода проявляется четкое увеличение загрязнения воздуха Одессы двуокисью азота. Резкое уменьшение концентрации двуокиси азота с 1991 г. до середине 1992 г. было обусловлено прежде всего сокращением производственной деятельности большинства промышленных предприятий в городе. С середины 1992 опять проявляется некоторое повышение концентрации  $\text{NO}_2$ . Это может быть объяснено увеличением интенсивности движения автотранспорта на магистрали города. В общем, загрязнения воздушного бассейна города двуокисью азота велико. Начиная с середины 1983 года, среднемесячная концентрация  $\text{NO}_2$  на всей территории города превышает  $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ , а в центральном и промышленном районах города в отдельные месяцы даже  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ .

На трендовые компоненты накладываются длиннопериодные колебания с максимумами, приходящими в основном на теплые месяцы года.

На основе квазистационарных временных рядов, выделенных путем вычитания из исходного ряда его детерминированной основы, рассчитаны спектральные плотности и корреляционные функции. Спектральные плотности концентрации  $\text{NO}_2$  являются узкополосными и имеют для первого и второго районов города по два максимума. Основные из них обусловлены годовым ходом  $\text{NO}_2$ , что связано с режимом работы отопительных систем и автотранспорта. Корреляционные функции, соответствующие приведенным выше спектральным плотностям, показывают, что корреляционная связь концентрации  $\text{NO}_2$  быстро падает и на временном интервале до 2 месяцев уменьшается почти линейно. Это свидетельствует о том,

что отфильтрованная часть временных рядов концентраций представляют собой некоррелированную случайную составляющую.

Четвертая глава посвящена разработке статистической модели прогноза поля загрязнения атмосферы г. Одессы двуокисью азота. Проведенный статистический анализ полей концентраций  $\text{NO}_2$  показал, что они не являются однородными и изотропными. Следовательно, статистические связи между концентрациями ингредиентов и метеорологическими параметрами, выступающими в качестве предикторов, будут существенно различаться в разных районах города. В связи с этим, для прогноза поля концентраций необходимо использовать целый ряд регрессионных моделей с существенно различающимися параметрами.

Более рациональным, однако, является подход, основанный на использовании в качестве предиктанта какие-либо обобщенные характеристики поля. Такие обобщенные характеристики полей концентраций, как осредненная по территории города среднеуточная концентрация ингредиента или фоновый показатель загрязнения атмосферы, являются недостаточно информативными. Как было показано в третьей главе, значительно большей информативностью обладают главные компоненты полей концентраций. Быстрая сходимость последовательных сумм соответствующих им собственных значений к суммарной дисперсии полей концентраций дает возможность сосредоточить информацию о поле в нескольких первых главных компонентах. Остальная информация относится к мелкомасштабным флуктуациям и шумам. Пренебрежение ею в прогностических моделях должно привести к увеличению тесноты корреляционных связей между главными компонентами и предикторами, повышению их устойчивости. Все это приводит к выводу о том, что использование главных компонент в роли предиктантов при прогнозировании полей концентраций является более предпочтительным. Преобразование спрогнозированных главных компонент в соответствующее поле концентраций осуществляется путем обратного ортогонального преобразования в базисе собственных векторов матрицы ковариаций.

Одним из важных этапов построения прогностических статистических моделей является формирование состава предикторов. В качестве потенциальных предикторов при построении статистических моделей следует рассматривать большое число метеорологи-

ческих величин, значения которых определяются путем метеорологических измерений и аэрологического зондирования атмосферы, а также некоторые расчетные характеристики. Из множества потенциальных предикторов необходимо отобрать систему статистически значимых предикторов.

Для построения прогностических уравнения была составлена обучающая совокупность. Она представляет собой матрицу векторов - предикторов, координатами которых являются метеорологические величины, характеризующие термодинамическое состояние пограничного слоя атмосферы в различные периоды времени. Обучающие совокупности векторов предикторов и предиктантов формировались для пяти типов переноса, поскольку, как показано в главе 3, при сложившейся промышленной ситуации в большом городе уровень загрязнения атмосферы в значительной степени зависит от направления переноса.

Обучающие совокупности предиктанта, т.е. первых трех-четырех главных компонент полей среднесуточных концентраций  $\text{NO}_2$  для каждого направления переноса, были получены путем ортогонального преобразования множества этих полей в базисе собственных векторов матриц ковариаций.

Каждому значению предиктанта (главной компоненте) был поставлен в соответствие вектор потенциальных предикторов - физических величин, характеризующих состояние пограничного слоя атмосферы в предшествующие прогнозу сроки и некоторым прогностическим метеорологическим величинам. В модель включались только те предикторы, гипотеза о статистической значимости которых не отвергалась на уровне значимости 0,05.

Отбор статистически значимых предикторов и определение коэффициентов уравнений регрессии осуществлялся с помощью метода пошаговой регрессии. Таким образом, была построена система уравнений регрессии для первых трех - четырех главных компонент для каждого из типов атмосферных процессов.

Поле концентрации ингредиента рассчитывается по уравнению

$$q = w\alpha,$$

где  $w$  - матрица собственных векторов размерность  $n \times n$  ( $n$  - количество КЗП в городе);  $\alpha$  - вектор компонент (первые три-четыре главные компоненты предвычисленные по уравнениям регрессии, а остальные координаты вектора  $\alpha$  приравнивались к нулю).

В построенных прогностических моделях, во-первых, при ветрах, имеющих северную составляющую, содержится три уравнения регрессии, а при ветрах с южной компонентой и при малоградиентных полях - четыре уравнения. Во-вторых, прогностические уравнения выключают от 1 до 9 предикторов, то есть пространства предикторов имеют сравнительно небольшую размерность. В-третьих, состав предикторов в каждом из уравнений модели является различным, т.е. выбор их является не формальным, а имеет физическую основу. Это означает, что различные главные компоненты обуславливаются различными метеорологическими факторами при различном характере атмосферных процессов.

Для проверки адекватности прогностических уравнений для каждого из типов атмосферных процессов составлены выборки независимых векторов-предикторов.

Прежде всего решался вопрос о том, насколько хорошо регрессионные модели воспроизводят главные компоненты полей концентраций. С этой целью рассчитаны коэффициенты корреляции между фактическими и предвычисленными главными компонентами. Показано, что между прогностическими и фактическими главными компонентами полей концентрации  $\text{NO}_2$  в большинстве случаев отмечается тесная линейная корреляционная зависимость. Наибольшее значение коэффициента корреляции отмечается для второго типа атмосферных процессов (0.88) а наименьшее значения коэффициента корреляции, равное 0.35, относится к прогностической модели третьей и четвертой главной компоненты для пятого типа атмосферных процессов. Для этой же модели характерна и наименьшее значение коэффициента множественной корреляции (0.35). Однако и эти коэффициенты корреляции являются статистически значимыми.

Построенные для каждого из типов атмосферных процессов и для каждого КП полигоны распределения фактических и спрогнозированных значений концентраций оказались достаточно близкими друг к другу, что свидетельствует о том, что регрессионные прогностические модели достаточно хорошо воспроизводят фактические поля концентраций.

Рассчитанные для всех направлений переноса коэффициенты корреляции между фактическими и предвычисленными значениями концентраций по зависимым и независимым материалам свидетель-

ствует о хорошей воспроизводимости поля концентраций на всех КЗП города. Средние квадратические ошибки предвычисления полей концентраций изменяются в пределах от 0.018 до 0.022 мг/м<sup>3</sup> для зависимой выборки и от 0.010 до 0.014 - независимой выборки, что свидетельствуют о хорошей адекватности построенных моделей.

В заключение приводятся основные выводы:

1. Путем проверки статистических гипотез об однородности временных рядов выявлена временная и пространственная однородность концентрации NO<sub>2</sub> в пределах основной части города. Статистически неоднородным является уровень загрязнения воздушно-го бассейна прибрежной части города (КЗП № 8) по отношению к основной части.

2. Статистически однородные временные ряды среднемесячных концентраций NO<sub>2</sub> представили возможность сформировать выборки данных для каждого из районов. По этим совокупностям были рассчитаны основные статистические параметры, а также проведено исследование законов распределения концентрации двуокиси азота путем аппроксимации эмпирических распределений теоретическими кривыми. Выявлено, что для успешной аппроксимации эмпирических распределений концентрации NO<sub>2</sub> на уровне значимости 0.05, наиболее предпочтительными являются распределения Пирсона типа II и III. Полученные законы распределения дают возможность найти вероятности превышения некоторых предельных значений концентрации NO<sub>2</sub>, в качестве которых рассматривались: среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>сс</sub>) и предельно допустимая максимального разовая концентрация (ПДК<sub>мр</sub>). Получено, что в прибрежной части города в 70-90% случаях среднемесячные концентрации двуокиси азота равны или превышают ПДК<sub>сс</sub>. В центральных и промышленных районах города в 34% случаев среднемесячные концентрации NO<sub>2</sub> превышают даже ПДК<sub>мр</sub>.

3. Анализ полей средних концентрации NO<sub>2</sub> показал, что при всех направлениях переноса зона наибольшего среднего значения смещена в западные районы города, где находятся основные промышленные предприятия и автомагистрали с интенсивным движением транспорта.

4. Временные ряды концентрации NO<sub>2</sub> являются нестационар-

ными случайными последовательностями, которые можно рассматривать как аддитивную смесь трех составляющих: детерминированной основы, коррелированной и некоррелированной случайных составляющих. Детерминированная основа процессов содержит тренды и длинопериодные колебания. Тенденция загрязнения воздушного бассейна города  $\text{NO}_2$  нестабильна: с 1987 г. по 1989 г. отмечается повышение уровня загрязнения, а затем его уменьшение. На трендовые компоненты накладываются длинопериодные колебания с максимумами, приходящимися в основном на теплые месяцы года, и зимними минимумами. Они обусловлены изменением интенсивности движения автотранспорта от сезона к сезону.

5. В исследуемых временных рядах выявлено 4 периодичности с вероятностью 95%. Диапазон их довольно широк: от 3 до 17 месяцев. Получены квазистационарные временные ряды концентрации  $\text{NO}_2$  путем вычитания из исходного ряда детерминированной составляющей, и на их основе рассчитаны спектральные плотности и корреляционные функции. Спектральные плотности концентрации  $\text{NO}_2$  являются узкополосными и имеют для первого и второго районов по два максимума, обусловленных годовым ходом концентрации  $\text{NO}_2$ , что связано с режимом работы отопительных систем и автотранспорта.

6. Анализ полей корреляции концентрации  $\text{NO}_2$  показал, что при всех типах переноса воздушных масс практически во всех районах города поле корреляций вытянуто с северо-запада на юго-восток, причем максимальные значения располагаются в северо-западных районах города. Это можно объяснить тем, что в этой зоне размещаются основные источники загрязнения. Коэффициент корреляции загрязнения прибрежной части города с промышленной составляет всего 0,2-0,3.

7. Компонентный анализ полей концентрации  $\text{NO}_2$  позволил сконцентрировать основную информацию о структуре поля в первых трех-четыре главных компонентах. Общая дисперсия первой главной компоненты составляет около 43-55% суммарной дисперсии поля. Для ветров, имеющих северную составляющую, сумма первых трех главных компонент составляет 75 и 70% суммарной дисперсии поля концентраций  $\text{NO}_2$ , а при ветрах с южной составляющей и в малоградиентном поле сумма первых четырех главных компонент исчерпывают 78, 79, и 75% соответственно. Таким образом, поля

первых естественных ортогональных функций отражают основные особенности статистической структуры поля концентраций  $\text{NO}_2$ .

В. Исходя из физических соображений определен состав потенциальных предикторов распространения  $\text{NO}_2$  в атмосфере г. Одессы. В его число включались 50 физических параметров, характеризующих предысторию процесса накопления  $\text{NO}_2$  в атмосфере, а также состояние пограничного слоя атмосферы. Отбор статистически значимых предикторов осуществлялся методом пошаговой регрессии. В модель включались только те ее параметры, гипотеза о статистической значимости которых не отвергалась на уровне значимости 0.05. Разработаны регрессионные модели прогноза уровня загрязнения атмосферы города, которые позволяют предвычислять поля концентраций  $\text{NO}_2$ .

Регрессионную модель прогноза поля концентраций  $\text{NO}_2$  целесообразно строить на главных компонентах, поскольку дисперсии первых трех-четырех главных компонент исчерпывают существенную долю суммарной дисперсии поля. Прогностическая модель представляет собой систему трех-четырех множественных уравнений регрессии, предиктантами в которых выступают указанные главные компоненты. Численные эксперименты показали, что, во-первых, прогностические модели при ветрах, имеющих северную составляющую, состоят из трех уравнений регрессии, а при ветрах с южными компонентами и малоградиентных полях прогностические модели включают четыре уравнения. Во-вторых, в прогностические уравнения включаются от 1 до 9 предикторов, то есть пространство предикторов имеет сравнительно небольшую размерность. В третьих, состав предикторов в каждом из уравнений модели является различным, и выбор их является не формальным, а имеет физическую основу: Это означает, что главные компоненты обуславливаются различными метеорологическими факторами при различном характере атмосферных процессов.

9. Степень адекватности разработанных моделей оценена на зависимом и независимом материалах. Показано, что отмечается тесная линейная зависимость между фактическими и предвычисленными главными компонентами. Конфигурации полей концентраций двуокиси азота, построенных по измеренным значениям, хорошо согласуются с предвычисленными по регрессионной модели. Рассчитанные для всех направлений переноса коэффициенты корреляции

ЛИБ им. В. Стефанька  
АН України

между фактическими и предвычисленными значениями концентраций на зависимых и независимых материалах свидетельствуют о том, что прогностические модели хорошо воспроизводят реальные поля концентраций, даже если оценку производить для каждого из КЗП города. Средние квадратические ошибки прогноза поля концентрации  $\text{NO}_2$ , полученные по зависимым и независимым выборкам, имеют порядок, сопоставимый с точностью измерения концентраций.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Прогноз поля загрязнения воздушного бассейна города Одессы двуокисью азота. // Метеорология, климатология и гидрология, вып. 32, 1995, с. 108-113. (в соавт. с И. Д. Лоевой).
2. Особенности распределения концентраций двуокиси азота в атмосфере г. Одессы. // Метеорология, климатология и гидрология, вып. 32, 1995, с. 114-117. (в соавт. И. Д. Лоевой).
3. Статистическая модель прогноза поля загрязнения воздушного бассейна города Одессы двуокиси азота. Деп. в ГНТЕ Украины 05.02.1996, № 432-Ук.96, 25 с. (в соавт. И. Д. Лоевой).
4. Природные условия и экологическое состояние Украинского Причерноморья. // Сборник материалов межрегиональной научно-практической конференции "Проблемы комплексного освоения и целевого использования Азовского и Черноморского побережья Украины" Одесса 1996 г. (в соавт. с И. Д. Лоевой).

## І Н Н О Т А Ц І Я

САЛИМ РУБАЯЯ САМД.

Статистическая модель прогноза загрязнения воздушного бассейна промышленного города (на примере г.Одессы).

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.13 - экология. Одесский гидрометеорологический институт. Одесса, 1996.

Для исследования полей концентраций  $\text{NO}_2$  и построения прогностической модели применен комплекс статистических методов. Проведено восстановление распределений концентраций  $\text{NO}_2$  с использованием кривых Пирсона типов III и II и на этой основе найдены вероятности превышения концентрации санитарно-защитных норм. Произведено разложение полей концентраций  $\text{NO}_2$  в базисе собственных векторов матриц ковариаций и выделены главные компоненты полей. Последние выступали в роли предиктантов при построении регрессионных прогностических моделей.

В заключении приведены основные выводы по диссертации.

### ABSTRACT

Salem Rubaya Saeed

Statistical model for pollution's prediction of the aerial basin of industrial town (Odessa as an example).

The desertation is presented in the from of manuscript to claim the academic degree of a candidate of geographical sciences speciality 11.00.13 - Ecological. Odessa Hydrometeorological institute, Odessa, 1996.

Used the statisticals methods fore studying fields of  $\text{NO}_2$  concentrations and constructing predictions models.

Conducting restoration of  $\text{NO}_2$  concentration's distributions using persunal's cure of II and III types, on these bases found the probability of concentration's exoceeding permit norms. Made decomposition of  $\text{NO}_2$  field's concentrations on property vectors of covoration's matrix, and excreted the main components. The last has operated as pridictants when cons-tructing the regressive predictions models.

In conclusion produced the main inferences of the thesis.

Ключові слова: забруднення, повітряного басейну, двоокисі азота, статистичні моделі, прогнозу поля.

Ав.34.681

**Ав 34.681**

Подп. к печати 25.04.96г. Формат 60x84 1/16.  
Сб"ем 0,7уч. изд. л. I, Оп. л. Заказ № 186/3. Тираж 100 экз  
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.  
Ришельевская 47.