

*На правах рукописи*



**Мовсесова Виктория Валерьевна**

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
ГОРОДОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

Специальность  
25.00.36 – геоэкология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону  
2004

**Работа выполнена на кафедре физической географии, экологии и охраны природы геолого-географического факультета Ростовского государственного университета**

**Научный руководитель:** доктор географических наук, профессор  
**Ю.А. Федоров**

**Официальные оппоненты:** доктор географических наук, профессор  
**Ю.В. Ефремов**  
кандидат географических наук  
**Д.Ю. Шишкина**

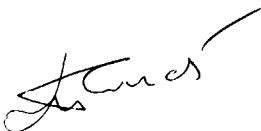
**Ведущая организация:** Белгородский государственный университет

Защита состоится «19» сентября 2005 г. <sup>13</sup> в час. на заседании диссертационного совета Д.212.208.12 при Ростовском государственном университете по адресу: 344090, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, геолого-географический факультет, ауд. 210, факс 8(863)222 57 01.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГУ по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан «15» сентября 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. геогр. наук, доцент



Т.А. Смагина

**Актуальность темы.** Одной из важных проблем крупных городов является все возрастающее загрязнение атмосферы тяжелыми металлами (ТМ), представляющими опасность для живых организмов. Токсичность ряда ТМ, их участие в биогеохимических процессах и значительный антропогенный приток в атмосферу обусловили ведущее место ТМ среди загрязняющих веществ, подлежащих наблюдению и контролю.

Эта проблема злободневна и для территории Ставропольского края, поскольку здесь располагаются курорты федерального масштаба. Систематические исследования содержания в воздушном бассейне края ТМ практически отсутствуют. По предварительным исследованиям, проводимым ранее сотрудниками Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, на одном из стационарных опорных постов (ПНЗ), приоритетной группой загрязнителей атмосферного воздуха в регионе являются свинец, марганец, медь, кадмий, железо, цинк.

Важное методологическое значение для организации системы мониторинга состояния окружающей среды имеют результаты исследований роли эколого-географических факторов в формировании уровней загрязнения и переноса вредных веществ, а также их перераспределения между средами. Города Ставропольского края вследствие особенностей физико-географических условий являются типичными селитебными зонами, где орографические и климатологические факторы определяют степень загрязнения атмосферы. В связи с этим особую актуальность приобретают работы по эколого-географической оценке качества атмосферного воздуха в городах.

**Объектом исследования** является атмосферный воздух городов Ставропольского края и их экологическое состояние.

**Предмет исследования** – тяжелые металлы в атмосферном воздухе городов края.

**Цель работы** – изучение пространственно-временной изменчивости содержания ТМ в атмосферном воздухе городов Ставропольского края, определение степени воздействия физико-географических условий на накопление и рассеивание элементов, а также оценка современного состояния воздушного бассейна.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- 1) изучить современное состояние и динамику основных источников загрязнения атмосферного воздуха в Ставропольском крае;
- 2) определить приоритетную группу токсикантов на ПНЗ в городах Ставропольского края;
- 3) оценить пространственно-временную изменчивость уровня содержания ТМ в воздушном бассейне;



4) выявить степень влияния метеорологических условий (направление и скорость ветра, количество осадков, туманов) на перенос, осаждение и накопление ТМ в атмосферном воздухе.

**Исходные материалы и методы исследования.** Основу работы составляют материалы, полученные нами с 1999 по 2002 год во время проведения полевых работ. Было отобрано более 750 проб, содержание ТМ в которых определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) в эколого-аналитическом центре РГУ под руководством зав. лабораторией Е.В. Максименко.

В качестве дополнительных источников информации использовались фондовые материалы ГУПР по Ставропольскому краю; Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; Ставропольского государственного университета (картографические источники).

В работе применялись стандартные методы, принятые в экологии, геоэкологии, географии, а также научные методы: физико-химический анализ, эколого-географическое картирование и районирование, функциональное зонирование, математическое моделирование на основе статистических моделей с применением ЭВМ. Исследования проводились в соответствии с действующими постановлениями, руководствами и методическими указаниями. Математическая обработка результатов анализа велась с использованием прикладного пакета MS-Excel. Для построения карт и схем использовались программы MapInfo (версия 6.5) и 3D Field.

**Научная новизна исследования** заключается в том, что:

- получены методом атомно-абсорбционной спектрометрии статистически достоверные данные о содержании свинца, кадмия, цинка, марганца, железа, меди в атмосферном воздухе городов Ставропольского края;
- исследована сезонная и суточная динамика уровней содержания ТМ в воздушной среде;
- рассчитан метеорологический потенциал самоочищения атмосферы, а также коэффициент самоочищения атмосферного воздуха в пределах городской среды;
- проведено сопоставление содержания ТМ в почве с содержанием в атмосферном воздухе;
- изготовлен комплект карт, графически отражающих влияние топографических особенностей и морфотипов жилой застроенности на распределение ТМ в условиях территории города.

Все материалы диссертации хранятся в электронном виде, что облегчает доступ к ним, обработку и использование. Созданные подпрограммы позволяют обновлять и расширять имеющуюся информационную базу

и использовать ее в качестве основы для мониторинга загрязнения ТМ территории Ставропольского края, в том числе г. Ставрополя.

На основании проведенных исследований сформулированы и **выносятся на защиту следующие положения:**

1. Воздушная среда селитебных районов городов Ставропольского края содержит аэрозоли ТМ, среднесуточные концентрации которых не превышают ПДК с.с.

2. Содержание ТМ в воздушном бассейне городов края подвергается межгодовой и внутригодовой изменчивости под влиянием метеорологических факторов и физических процессов.

3. Корреляционная зависимость между содержанием свинца, цинка и пыли в атмосферном воздухе - отрицательное, в то время как для марганца и железа она положительна, что объясняет поступление последних золотым путем из верхних слоев почв.

4. Дифференциация городов Ставропольского края по способности атмосферы к самоочищению от загрязнений выявлена в результате расчета метеорологического потенциала атмосферы.

**Практическая значимость** исследования. Материалы, полученные в результате полевых и лабораторных исследований, дают возможность определить общие тенденции и динамику изменения геохимической среды, их можно использовать для пополнения информационной базы по экологии городской территории.

Результаты исследования используются также в процессе подготовки специалистов в области географии, экологии и природопользования, в том числе на географическом факультете Ставропольского государственного университета в рамках таких дисциплин, как «Геоэкология», «Прикладная экология» и «Экологический мониторинг».

**Апробация результатов.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры физической географии и охраны окружающей среды РГУ, кафедры экологии и природопользования СГУ в 2002 – 2003 гг.; на международных конференциях: «Новые технологии и современные физико-химические методы изучения объектов окружающей среды» (г. Ростов-на-Дону, 2001–2003), «Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов» (г. Пятигорск, 2003); региональных конференциях «Наука — Северному Кавказу», г. Ставрополь, 2000; межвузовских конференциях аспирантов и соискателей РГУ (2001-2002 гг.); заседаниях школы молодых ученых (г. Ростов-на-Дону, 2000-2002), научно-методических конференциях СГУ «Университетская наука – региону» (г. Ставрополь, 2003; 2004).

По теме диссертации опубликовано 10 работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (138 наименований) и приложений. Объем рукописи составляет 139 страниц, в том числе 30 рисунков (включая 12 карт) и 30 таблиц.

Выражаем искреннюю благодарность д-ру геол.-минерал. наук, профессору [Ю П. Хрусталеву], научному руководителю д-ру геогр. наук, профессору Ю.А. Федорову, д-ру геогр. наук, профессору В.В. Браткову, канд. геогр. наук, профессору В.А. Шальневу, канд. хим. наук, доценту Н.И. Борисенко, зав. лаб. эколого-аналитического центра РГУ Е.В. Максименко и другим, чьи помощь, участие, советы и поддержка сделали возможным завершение данного исследования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечены научная новизна и практическая значимость выполненной работы, указаны основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Теоретические и методологические подходы к изучению атмосферного воздуха»** дается аналитический обзор исследований по оценке уровня загрязнения атмосферы. Приводятся основные понятия *эколого-аналитического мониторинга*, введенные классиком мониторинга природной среды в СССР и России Ю.А. Израэлем, как систематического наблюдения за загрязнением природных объектов. Примерно десятилетие назад программы мониторинга загрязнения атмосферы во многих странах включали измерение концентраций ограниченного числа вредных веществ, из которых традиционно лидирующее положение занимали сернистый газ и взвешенные частицы. Позднее проводились наблюдения за некоторыми наиболее распространенными вредными специфическими веществами, в том числе тяжелыми металлами.

Характеризуя загрязненность атмосферного воздуха ТМ в Ставропольском крае, следует отметить, что вплоть до 1989 года целенаправленные исследования не проводились. С 1989 года лабораторией мониторинга загрязнения окружающей среды Ставропольского центра по гидрометеорологии были начаты наблюдения на ПНЗ №4, расположенном в северо-западном районе города Ставрополя. В 1991 году в рамках научно-исследовательского проекта были проведены измерения максимально разовых концентраций ТМ на шести ПНЗ, действующих в то время, и дополнительно на магистральных участках города. Маршрутные измерения и исследования загрязнения атмосферы аэрозолями в городах региона Кавказских

Минеральных Вод проведены Институтом атмосферы РАН им. А.М. Обухова в 2000 г. Определены максимально разовые концентрации некоторых ТМ в районе Пятигорска (Цыганков, 2002); уровни концентраций ртути и свинца в атмосферных осадках в регионе КМВ (Федоров и др., 2003).

Систематические исследования уровней концентрации ТМ в атмосферном воздухе городов Ставропольского края проводились в 2001-2002 годах.

**Методика исследования загрязнения атмосферного воздуха Ставропольского края тяжелыми металлами.** Для выявления степени антропогенного воздействия на воздушную среду городов края и определения содержания в атмосферном воздухе ТМ нами были проведены исследования: в городах эколого-курортного региона Кавказских Минеральных Вод (КМВ) – Кисловодске, Железноводске; в районах интенсивного автотранспортного сосредоточения – городах Минеральные Воды, Пятигорск, пос. Иноземцево, а также в городах Лермонтове, Георгиевске. Более детальные исследования проводились в г. Ставрополе (рис. 1). Для характеристики распределения ТМ по городу пробы воздуха отбирались на трех ПНЗ,

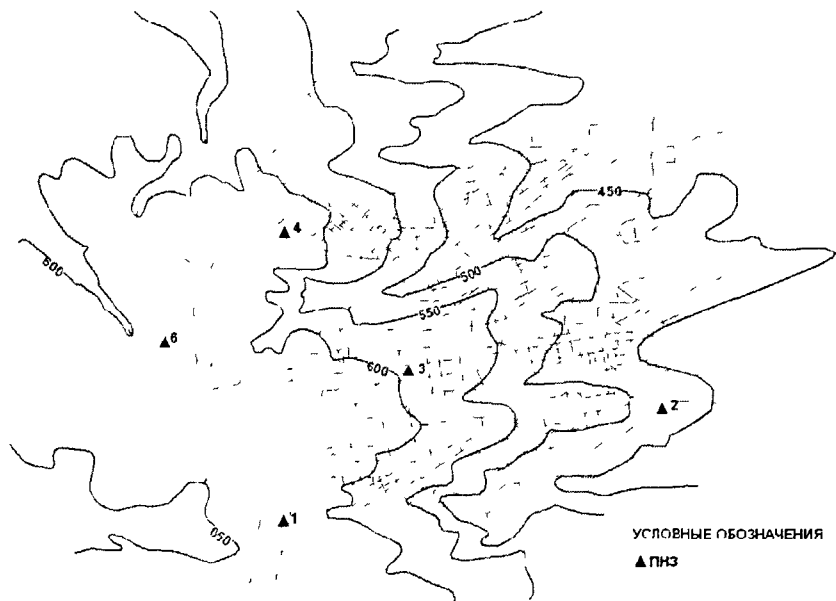


Рис. 1. Схема расположения ПНЗ на территории г. Ставрополя

дополнительно были организованы пункты наблюдений в двух районах города (ПНЗ №1, №2), находящихся в зонах влияния промышленности и автотранспорта. Расположение ПНЗ между жилыми массивами, в районах размещения основных промышленных объектов, в центре и на окраине города позволило получить интерполированные значения концентраций элементов в атмосфере между постами.

Эколого-аналитический контроль атмосферного воздуха в Ставропольском крае проводился на региональном уровне. Во временном аспекте осуществлялись динамические наблюдения на отдельных станциях и сети станций – «импактный» мониторинг. Программа исследования в городах Ставропольского края включала ряд этапов: 1) предварительное изучение материалов о функциональных особенностях территории (печатные и фондовые источники, общие и специальные карты и т.д.); 2) полевые исследования и отбор образцов атмосферного воздуха для последующего химического анализа; 3) обработка материалов полевых и лабораторных исследований.

В целях унификации способов наблюдений, химического анализа проб воздуха, статистического анализа информации и форм ее представления использовались методические указания и требования к отбору проб при общих и локальных загрязнениях, изложенные в РД 52.04.186 – 89. Пробы воздуха отбирались на фильтры марки АФА-ХП электроаспиратором ЭА-3 в течение суток с расходом 0,1 м<sup>3</sup>/мин. Лабораторная обработка образцов соответствовала методическим указаниям определения методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) в атмосферном воздухе: аэрозолей кадмия в диапазоне 0,002 – 0,24 мкг/м<sup>3</sup>; марганца, меди, цинка, железа в диапазоне 0,01 – 1,5 мкг/м<sup>3</sup> и свинца в диапазоне 0,06 – 1,5 мкг/м<sup>3</sup>.

Содержания в аэрозолях ТМ определялось методом «сухого озонения» фильтров в муфельной печи при температуре около 500° С в течение 1-1,5 ч, с последующим разложением кислотами. Для каждой серии проб осуществлялся холостой опыт, включающий все стадии определения, кроме аспирации воздуха через фильтр, не менее чем трехкратно, и его средний результат вычитался из показателя анализируемых проб.

Правильность используемой методики отрабатывалась на тестированных стандартных образцах, разработанных в АООТ «Уральский завод химических реактивов». Для контроля пробы воздуха, отобранные на ПНЗ №4 (г. Ставрополь) были проанализированы в лаборатории НПО «Тайфун» (г. Обнинск) и в лаборатории центра по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой (г. Ростов-на-Дону). По результатам метрологического исследования при определении в воздухе концентрации ТМ в вышеуказанных диапазонах суммарная погрешность не превышает ±25 %.

Относительная ошибка определения составила: Fe 0,2 – 2,27%; Zn 0,1 – 2,9%; Pb 0,6 – 18,3%; Cu 0,6 – 18,3%; Mn 1,2 – 17,7%; Cd 0,3 – 14,7%.

Вся математическая обработка результатов анализа велась с использованием пакетов прикладных программ ЭВМ, электронных таблиц MS-Excel. При анализе данных наблюдений и оценке состояния загрязнения атмосферы использовались широко распространенные статистические методы, позволяющие систематизировать, ранжировать и классифицировать полученные данные.

Во второй главе «Эколого-географические особенности Ставропольского края» дается характеристика особенностей природных условий Ставропольского края.

Физико-географическое положение местности формирует характерные условия погоды и с ответственностью влияет на степень чистоты воздуха. В настоящее время установлено, что связь между уровнем концентраций вредных веществ и метеорологическими факторами во многих городах имеет аналогичный характер. Поэтому можно выделить наиболее типичные зависимости уровня загрязнения воздуха от метеорологических условий: направление и скорость ветра, термическая устойчивость атмосферы, осадки, туманы, инерционный фактор. По данным Главной геофизической обсерватории (ГГО), Ставропольский край относится к зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы (Безуглая, 1986). При исследовании зависимости уровня загрязнения воздушной среды от метеословий многие авторы делают вывод о целесообразности использования не отдельных метеорологических элементов, а формализованных характеристик, соответствующих определенной метеорологической ситуации. Так, установлены климатические факторы, определяющие интенсивность выноса и аккумуляции продуктов техногенеза: состояние атмосферы, солнечная радиация, среднегодовая скорость ветра, средняя повторяемость штилей, количество дней с туманами, среднегодовое количество осадков. На основании указанных факторов (Селегей, 1989) предлагается понятие метеорологического потенциала самоочищения атмосферы (МПА), определяемого как отношение повторяемости условий, способствующих накоплению примесей, к повторяемости условий, способствующих удалению примесей из атмосферы:

$$\text{МПА} = (P_{\text{шт}} + P_{\text{т}}) / (P_{\text{о}} + P_{\text{в}}),$$

где  $P_{\text{шт}}$  – повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с,  $P_{\text{т}}$  – повторяемость дней с туманами,  $P_{\text{о}}$  – повторяемость дней с осадками  $\geq 0,5$  мм и  $P_{\text{в}}$  – повторяемость скоростей ветра  $\geq 6$  м/с.

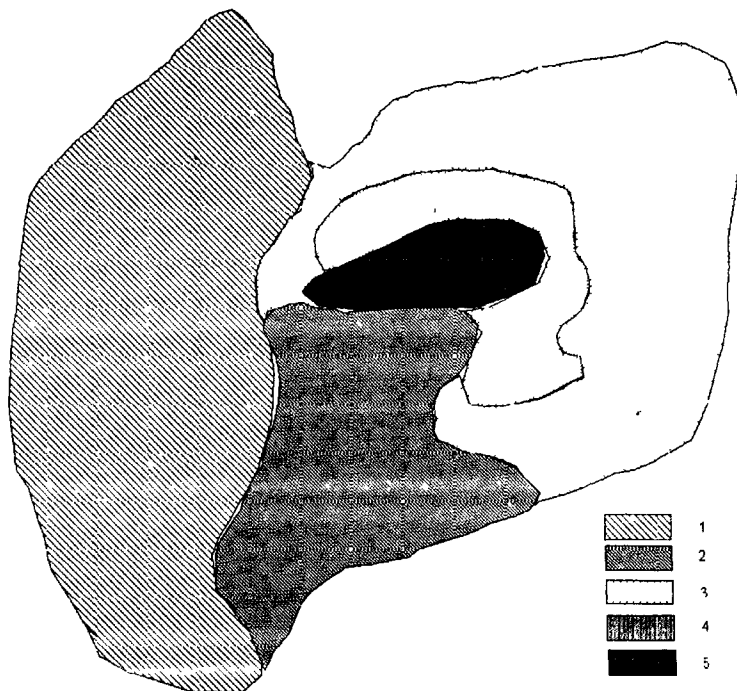
Исходными материалами для оценки метеорологического потенциала самоочищения атмосферы в городах Ставропольского края за период 2001-2002 гг послужили данные срочных наблюдений метеорологических станций Ставропольского края. На основании определения этого параметра сделан вывод, что в воздушной среде городов Кисловодск, Георгиевск возникает ситуация, крайне неблагоприятная для самоочищения атмосферы. Способность атмосферы к самоочищению наблюдается в городах Ставрополь и Минеральные Воды. Поскольку МПА характеризует условия накопления, а не рассеивания примесей, то был применен коэффициент самоочищения атмосферы  $K$ , обратный МПА, введенный Г.А. Пужляковой, Н.А. Фетисовой (2000 г.):

$$K=1/\text{МПА}.$$

С помощью коэффициента  $K$  произведена оценка метеорологического потенциала самоочищения атмосферы непосредственно на ПНЗ в исследуемых городах Ставропольского края. Этот коэффициент позволил оценить влияние метеорологических величин и явлений на формирование уровня загрязнения воздушного бассейна. Полученные данные показали, что в исследуемый период складывались условия, очень неблагоприятные для рассеивания примесей в атмосферном воздухе, в городах Кисловодск, Пятигорск. Несколько лучшая ситуация сформировалась в Ставрополе (ПНЗ-4), находящемся в зоне ветрового коридора. Сравнительный анализ коэффициентов самоочищения атмосферы, рассчитанного по данным метеостанций и по данным ПНЗ для городов, позволяет утверждать, что часто внутри города формируются условия, препятствующие рассеиванию вредных примесей, в то время как на метеостанции наблюдается достаточно благоприятная ситуация.

По значениям коэффициента самоочищения атмосферы произведено районирование города Ставрополя и построена соответствующая карта-схема (рис. 2).

В третьей главе «Оценка состояния атмосферного воздуха в городах Ставропольского края» дана оценка современного состояния воздушного бассейна Ставропольского края. Выявлены основные источники загрязнения атмосферного воздуха городов, которыми являются автотранспорт и промышленные предприятия. На основе результатов инвентаризации выбросов от стационарных источников проведен анализ количественных и качественных показателей выбросов, как по городам, так и по основным предприятиям-загрязнителям. На протяжении последних лет отме-



Условия для рассеивания примесей:

1 – благоприятные ( $K > 1,25$ ); 2 – относительно благоприятные ( $K > 0,8$ );

3 – относительно неблагоприятные ( $0,8 K > 0,4$ );

4 – неблагоприятные ( $0,4 K > 0,25$ ); 5 – крайне неблагоприятные ( $K < 0,25$ ).

**Рис. 2 . Карта-схема районирования г. Ставрополя по метеорологическому потенциалу самоочищения атмосферы в 2001-2002 гг.**

чается снижение валовых выбросов загрязняющих веществ, что объясняется резким спадом производства на большинстве предприятий городов края (рис. 3). Среди наиболее опасных в экологическом отношении отраслей можно назвать электроэнергетику, топливную и химическую промышленность. На долю этих отраслей в общей сложности приходится более 70% всех вредных выбросов промышленности.

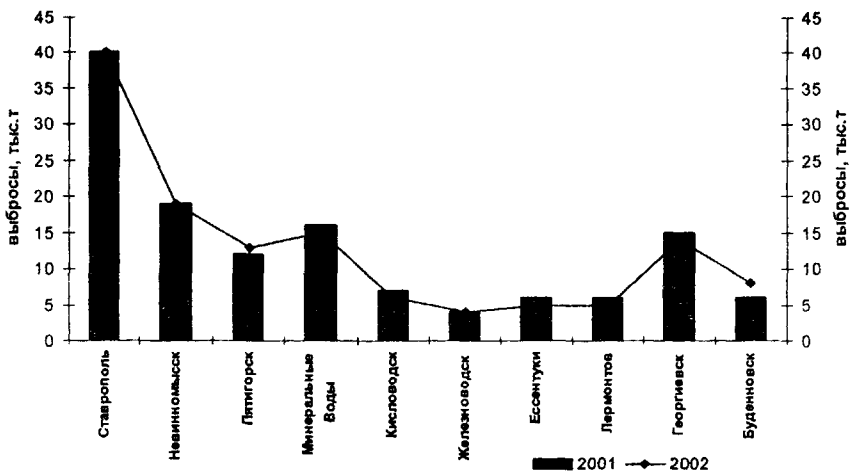


Рис. 3. Выбросы вредных веществ в атмосферу по городам края в 2001 – 2002 гг.

Одновременно отмечается рост валового выброса вредных веществ от автотранспорта, преимущественно за счет автомобилей личного пользования. На долю автотранспорта приходится 77,3 % всех выбросов в атмосферный воздух.

В этой же главе обсуждаются особенности пространственного распределения ТМ в атмосферном воздухе региона КМВ. Поступление загрязняющих веществ в воздушный бассейн городов КМВ происходит на региональном и локальном уровнях в зависимости от местной циркуляции атмосферы, геоморфологических и климатических особенностей территории. В регионе КМВ наибольшие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу производятся автотранспортом, машиностроительными и электроэнергетическими предприятиями городов – Пятигорска, Ессентуков, Кисловодска, Минеральных Вод. В результате наблюдения за уровнем содержания ТМ в атмосферном воздухе на ПНЗ в городах региона выявлены следующие показатели (табл).

Для определения связей между содержанием ТМ и пыли в воздухе были рассчитаны парные коэффициенты корреляции на ПНЗ (Пятигорск, Кисловодск, Минеральные Воды). Прослеживается слабая корреляция между содержанием железа, цинка и пыли. Наблюдается пренебрежительно малая корреляция между содержанием свинца и пыли, что указывает на поступление элемента преимущественно от автотранспорта.

**Параметры распределения ТМ в атмосферном воздухе городов  
региона КМВ в 2001 г.**

Населенные пункты	максимальная, мкг/м <sup>3</sup>				средняя, мкг/м <sup>3</sup>			
	Zn	Pb	Fe	Cu	Zn	Pb	Fe	Cu
<b>Пятигорск</b>	0,086	0,020	0,09	0,014	0,032	0,011	0,08	0,011
<b>Кисловодск</b>	0,052	0,018	0,08	0,018	0,019	0,012	0,05	0,011
<b>Минеральные Воды</b>	0,045	0,013	0,01	0,016	0,023	0,009	0,007	0,009
<b>Георгиевск</b>	0,019	н/о	0,1	0,012	0,015	н/о	0,06	0,06
<b>Железноводск</b>	0,06	0,009	0,1	0,008	0,016	0,007	0,06	0,006
<b>Лермонтов</b>	0,056	0,015	0,1	0,009	0,031	0,009	0,07	0,005
<b>Иноземцево</b>	0,06	0,009	0,1	0,008	0,029	0,006	0,06	0,007

Примечание «н/о» – элемент не обнаружен

Интенсивность внутригодового поступления и распределения элементов определила некоторые особенности их поведения. В 2001 г. просматривалось увеличение содержания Cu, Fe, Pb и Zn в июле и сентябре, минимальные концентрации отмечались для всех элементов в марте и августе. В 2002 г. зарегистрировано увеличение свинца, при этом содержание меди зафиксировано только в зимние месяцы. Накопление железа и цинка не оценивается однозначно. Содержание элементов в воздушной среде практически не меняется, наоборот, наблюдается уменьшение железа в 2 раза. Удельный вес поступления тяжелых металлов в атмосферный воздух городов региона Кавказских Минеральных Вод представлен на рисунке 4. Коэффициент вариации для Cu составляет 17,3%; Zn – 0,6%; Fe – 46%; Pb – 60,0%.

Наибольшие концентрации ТМ обнаружены в приземном слое атмосферного воздуха городов Лермонтов, Пятигорск и пос. Иноземцево. Относительно высокие уровни содержания ТМ наблюдались в городах Георгиевске, Железноводске и Кисловодске. Минимальный уровень накопления ТМ в воздушной среде отмечен в г. Минеральные Воды, поскольку город расположен в вытянутой депрессии вдоль господствующих ветров, что способствует усилению скорости ветра и перемещению ТМ в восточном направлении. Оценку контрастности ТМ в атмосферном воздухе проводили сопоставлением полученных результатов с данными по содержанию ТМ в фоновых районах (Михайлов В.А., 1980). Для Ставропольского края выявить региональный фон довольно сложно, что объясняется существованием плохо исследованных региональных полей загрязнения атмосферного

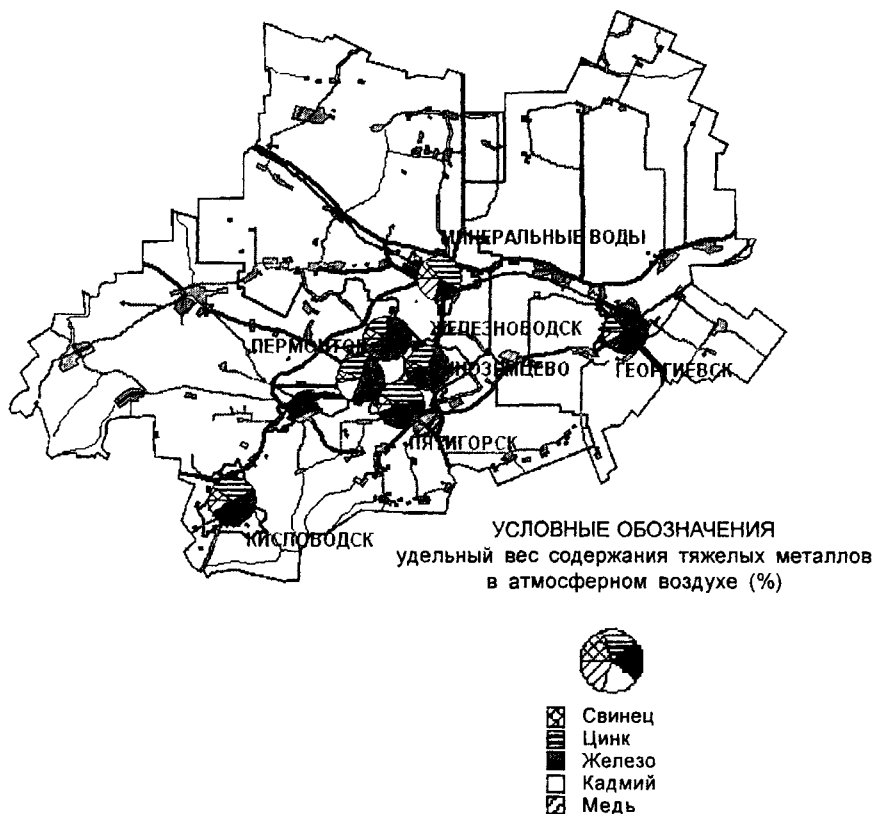


Рис. 4. Удельный вес содержания ТМ в атмосферном воздухе городов региона Кавказских Минеральных Вод в 2001 году

воздуха. По способности атмосферного воздуха накапливать ТМ изученные элементы образуют следующий ряд (Кс): Пятигорск, Минеральные Воды – Cu (0,3) > Zn (0,2) > Pb, Fe (0,1); Кисловодск – Zn (0,3), Pb, Fe (0,2) > Cu (0,1); Лермонтов – Cd (3,3) Pb (0,4) > Cu (0,2) > Zn, Fe (0,1); Железноводск, Иноземцево – Fe (0,5) > Cu (0,1) > Zn (0,06) > Pb (0,02); Георгиевск – Zn (0,4) > Cu (0,1) > Fe (0,05).

В целом, по результатам измерений, выполненных в 2001-2002 гг., можно сделать вывод, что в регионе уровни содержания ТМ в атмосферном воздухе ниже предельно допустимых.

В четвертой главе «Результаты эколого-геохимического исследования атмосферного воздуха г. Ставрополя» представлены результаты эколого-геохимического исследования с учетом физико-географических и климатологических особенностей территории города.

Ставрополь располагается в западной части территории края, на западных склонах Ставропольской возвышенности. Рельеф местности здесь сильно расчленен, наиболее высокая юго-западная оконечность города приподнята на 650 м над уровнем моря. К центру города и его северо-восточной окраине высота снижается до 430 м. Территорию города можно условно поделить на верхнюю (ПНЗ №1, №4, №6), центральную (ПНЗ №3) и нижнюю части (ПНЗ №2).

Аэрогенные ореолы рассеяния обусловлены распространением в атмосфере промышленных, энергетических и транспортных выбросов, то есть особенностями атохимических миграционных потоков. Характер этих потоков определяется структурой функционального использования городской территории и соответственно пространственными соотношениями между источниками выбросов (промзонами, шоссе), селитебными и рекреационными территориями (Сает, 1990).

По специфике пространственной функциональной структуры город Ставрополь относится к группе городов-центров, с многоотраслевой промышленностью, включающей разнообразные по составу и мощности источниками выбросов вредных веществ в атмосферу (высокие и низкие источники). По специфике размещения промышленных объектов город имеет порфировидную структуру. Промышленные объекты сгруппированы в промышленные зоны, составляющие около 20 % территории и разделяющиеся на северную, северо-западную, южную, юго-восточную и центральную (рис. 5).

По особенностям воздействия привноса поллютантов в пределах Ставрополя выделяются следующие зоны: парково-рекреационная и селитебная – преимущественно привноса (имиссии), определяемые местной миграцией поллютантов. Наименьшую атомехногенную нагрузку испытывают парково-рекреационные зоны, здесь велика роль биогенной миграции. Селитебные зоны служат механическим барьером на пути воздействия воздушных потоков и способствуют формированию техногенных аномалий, контрастность которых зависит от высоты строений. Для Ставрополя характерны селитебные территории с 1-2 этажной застройкой (слабая выраженность механических барьеров; преобладание латеральной воздушной миграции); от 3 до 9 и более этажей (контрастные механические барьеры, преобладание восходящих воздушных потоков).

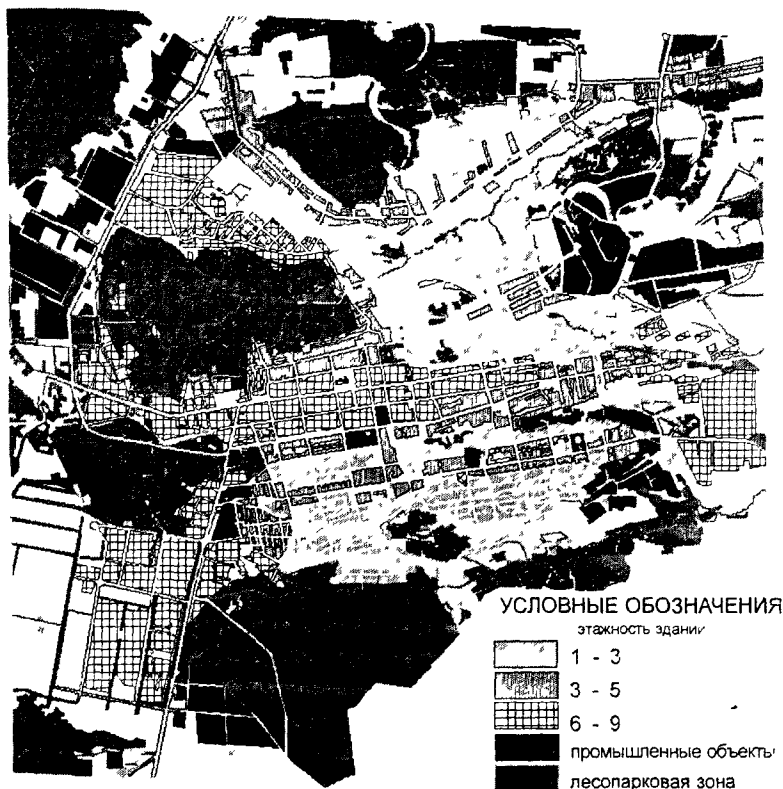
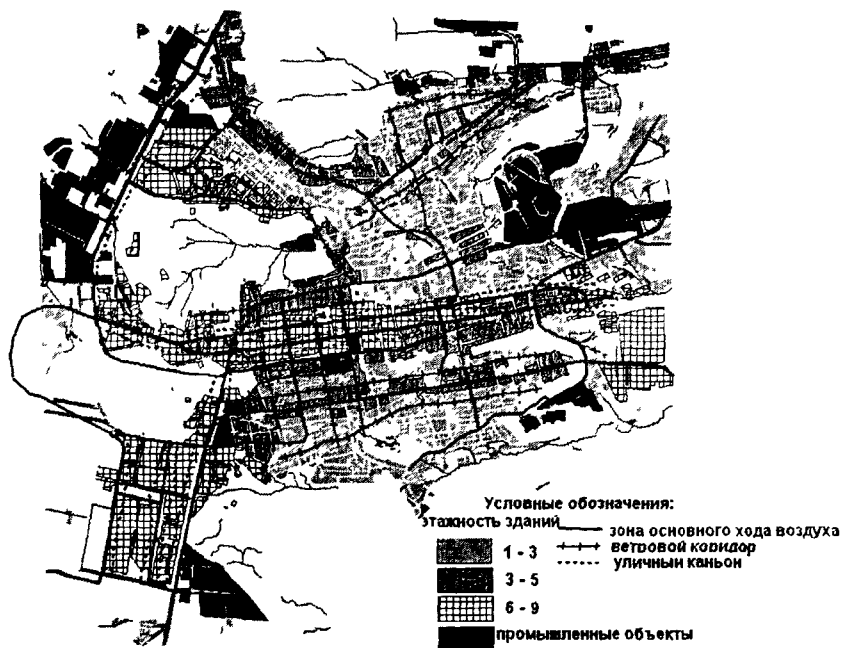


Рис. 5. Карта-схема функционального зонирования территории г. Ставрополя

По особенностям воздействия источников выноса (эмиссии) и местам частичной аккумуляции поллютантов выделены границы селитебно-транспортных и промышленных зон (рис. 6). В пределах селитебно-транспортных выделены отделы: по категории магистралей, интенсивности движения автотранспорта и загрязнения атмосферы (зоны основного хода воздуха, ветровые коридоры, уличные каньоны, переулки, автострады и автовокзалы).

В результате проведенных исследований выявлены основные закономерности распределения комплекса ТМ в атмосферном воздухе. Динамика среднесуточных концентраций ТМ в атмосферном воздухе (рис. 7)



**Рис. 6. Карта-схема районирования территории г. Ставрополя по условиям проветриваемости**

показывает, что на всех ПНЗ отмечены относительно одинаковые среднесуточные концентрации Fe и Mn. Для остальных элементов характерно увеличение и сосредоточение концентраций в зависимости от типа источника и орографических особенностей местности. Так, в районах с интенсивным движением автотранспорта наблюдались повышенные концентрации Zn и Cu (ПНЗ № 3, № 2, № 1, № 6). Содержание Pb в основном приурочено к пониженным участкам города, характеризующимся плотной застройкой территории и интенсивным движением автотранспорта в течение суток. Загрязнение Cd строго локализовано и было зафиксировано в юго-восточном районе (ПНЗ № 2), на основании чего можно считать, что элемент поступает с пылью со свалки, расположенной в юго-восточной части города.

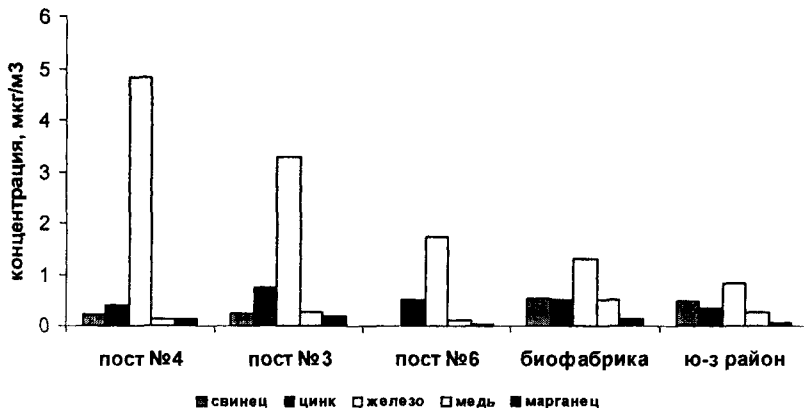


Рис. 7. Динамика среднесуточных концентраций тяжелых металлов в атмосферном воздухе г. Ставрополя в 2001 году

Анализ результатов наблюдений показал, что среднесуточные концентрации ТМ подвергаются межгодовой изменчивости. В отличие от 2001 года поступление Pb и Cu значительно сократилось, среднесуточные концентрации Fe и Mn практически не изменились.

Коэффициенты вариации для Pb, Cu, Fe, Mn составляют 69 %, 63,3 %, 60,4 %, 50,9 % соответственно, что подтверждается фактом поступления ТМ в атмосферу от различных источников. Плотность распределения источников загрязнения по городу настолько неоднородна, что приводит к увеличению хода концентрации ТМ в основном в пониженных территориях. Коэффициент вариации для Zn составляет 26,3 %, что свидетельствует о поступлении в воздушный бассейн от одного источника, в нашем случае отмечено влияние низких источников загрязнения (автотранспорта).

Транспортировка выбросов через атмосферу идет как в горизонтальном (под влиянием ветра), так и в вертикальном (под действием гравитационных сил) направлениях, что создает сложную картину атмосферных выпадений на поверхность земли. При сравнении пылевой нагрузки в различных районах города получены следующие результаты. Содержание пыли в атмосфере имеет четко выраженный годовой ход с максимумом в теплое время года. В центральных и юго-восточных районах, расположенных в пониженных

участках города и характеризующихся плотной застройкой и неблагоприятным ветровым режимом, содержание пыли выше, чем в других районах.

Для определения связей между содержанием в воздухе ТМ и пыли использовался корреляционный анализ. С этой целью были рассчитаны парные коэффициенты корреляции между пятью анализируемыми элементами и концентрациями пыли на двух ПНЗ (северо-западная и центральная части) В 2001 г. обнаружена отрицательная связь (-0,4) для Cu, Zn и пыли, слабая связь (0,15) для пыли и Pb, положительная (0,8) для Fe, Mn и пыли. Положительная корреляционная зависимость между содержанием Fe, Mn и пыли свидетельствует о том, что элементы поступают в атмосферу города в результате ветровой эрозии, что подтверждено в работах Рабиновича (1970), Федорова (1999) по изучению изотопного состава серы. Отрицательная связь указывает на поступление ТМ от антропогенных источников В 2002 г. обнаружена слабая связь между содержанием ТМ и пыли. Прослеживается высокая связь между варьированием Pb и таких металлов, как Zn, Cu, Fe, Mn (0,6-0,9).

Проведена оценка состояния воздушной среды с использованием комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА). Полученный индекс характеризуется невысокими значениями (0,2), а в отдельные месяцы – январе, июне (0,6), феврале (1,2) – повышенными показателями.

Для оценки степени насыщения атмосферного воздуха ТМ в общем использовался показатель (q), нормированная (безразмерная) концентрация примесей, осредненная по всему городу и по всем срокам наблюдений (Владимиров, Ляхин, 1991):

$$q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{q_{\text{ср сез}}}$$

где  $q_i$  – средняя за день концентрация на  $i$ -том пункте,  $q_{\text{ср сез}}$  – среднесезонная концентрация в том же пункте,  $N$  – число ПНЗ в городе.

Рассчитанный показатель  $q$  позволил оценить степень вклада каждого элемента в общее содержание в воздушный бассейн города по сезонам. Увеличение концентрации ТМ в атмосфере обычно наблюдается в теплое полугодие (лето – осень). На сезонные изменения содержания воздуха, кроме типа источников (низкие и высокие) и условий их рассеивания, большое влияние оказывают метеорологические условия (рис 8).

Годовой ход содержания ТМ в атмосфере не всегда и не для всех элементов одинаков. Выделены районы, в которых преобладают определенные типы годовых концентраций ТМ в воздухе. Так, зимний максимум характерен

для нижней части города, он создается в результате повышенного сжигания топлива в зимний период и повышается за счет большой повторяемости неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий (повторяемость ветров 0-1 м/с). Летний максимум, особенно четко выраженный в промышленных районах города, наблюдается в условиях повышенного турбулентного обмена в приземном слое атмосферы, а также, в районах интенсивного движения автотранспорта. В летний период в городе увеличивается количество автомобилей, что способствует повышению концентрации тяжелых металлов в воздушном бассейне. Выявлена зависимость уменьшения плотности потока ТМ, наблюдаемая в пределах ПНЗ, по мере удаления от места наблюдения. Это уменьшение происходит медленнее в направлении преобладающих ветров, что четко прослеживается на территории города. Как правило, наибольшие концентрации ТМ характерны для наветренных склонов и водораздельных поверхностей, а подветренные склоны территории города менее насыщены элементами.

#### Обобщенный показатель загрязнения атмосферы (2001 год)

	железо	марганец	цинк	свинец	медь
зима	■	■	■	■	■
весна	■	■	■	■	■
лето	■	■	■	■	■
осень	■	■	■	■	■

#### Обобщенный показатель загрязнения атмосферы (2002 год)

	железо	марганец	цинк	свинец	медь
зима	■	■	■	■	■
весна	■	■	■	■	■
лето	■	■	■	■	■

□ -  $Q < 0,7$

■ -  $0,91 < Q < 0,97$

■ -  $1,01 < Q < 1,1$

■ -  $0,7 < Q < 0,9$

■ -  $0,97 < Q < 1,01$

■ -  $Q > 1,1$

Рис. 8. Обобщенный показатель загрязненности атмосферы в г. Ставрополе, по сезонам года (2001 – 2002 гг.)

Для оценки контрастности и экологической опасности ТМ в атмосферном воздухе использовался показатель Кс. Полученный коэффициент накопления ТМ в атмосферном воздухе составил следующий убывающий ряд. Юго-западный район (ПНЗ №1) – Pb (2,6) > Cu (0,6) > Zn (0,4) > Mn (0,2) > Fe (0,1); юго-восточный район (ПНЗ № 2) – Pb (6,2) > Cd (1,1) > Cu (0,6) > Mn (0,5) > Zn (0,2) > Fe (0,08); центральная часть (ПНЗ № 3) – Pb (5,8) > Cu, Mn (0,3) > Zn (0,2) > Fe (0,1); северо-западная часть (ПНЗ № 4) – Pb (5,4) > Mn (0,3), Fe (0,2) > Zn, Cu (0,1); район Ботанического сада (ПНЗ № 6) – Pb (0,4) > Mn (0,3) > Fe, Zn, Cu (0,1). Рассчитанный коэффициент (Кс) отражает интенсивность накопления ТМ в атмосферном воздухе, но не указывает непосредственно на его опасность. Для санитарно-гигиенической оценки использовался показатель ПДК с.с. Полученные концентрации ТМ в атмосферном воздухе ниже норм, а концентрации кадмия на уровне ПДК с.с.

В поступлении и перераспределении вредных веществ выделены две зоны: транзита и аккумуляции вещества. Первая зона – атмосфера города – непосредственно принимает выбросы, где происходит транспортировка и частичная трансформация загрязняющих веществ. Вторая зона – почвы – где происходит накопление и преобразование техногенных веществ. Изучение распределения химических элементов в почвах, находящихся в зоне влияния высоких и низких источников загрязнения (по данным Дегтяревой, 2003), позволило определить характер и степень загрязнения почвенного покрова за счет выпадений ТМ из атмосферы. Для большей части территории города характерно слабое, не опасное загрязнение почв ТМ ( $Z_c=8-16$ ). Аномалии среднего, умеренно опасного уровня ( $Z_c=16-32$ ) представлены тремя зонами: северо-западной, центральной, восточной, своей формой повторяющими расположение промышленных зон, находящихся в пределах территории ландшафта. Ассоциация Pb – Zn, в большей мере обусловленная выбросами автотранспорта, на территории города концентрируется вдоль улиц с интенсивным автотранспортным движением (юго-западный, центральный и восточный районы). Коэффициент накопления (Кс) в почвах в целом по городу образует следующий убывающий ряд: Cd (3,5) > Pb (3,3) > Zn, Cu, Co (2,6) > Ni (2,4) > Cr (1,4).

В работе представлена модель районирования городской территории по уровню комплексной антропогенной нагрузки на атмосферный воздух с выделением зон наблюдения различной степени напряженности экологической ситуации, складывающейся из показателей загрязнения воздушного бассейна, почвенного покрова, уровней шума, интенсивности движения транспортного потока.

В заключении сделаны выводы по всем основным аспектам исследования.

1 Проведенное регулярное наблюдение за состоянием атмосферы городов края позволило получить и статистически обработать массивы показателей, характеризующих содержание ТМ в атмосферном воздухе. Анализ распределения ТМ по функциональным зонам города позволяет говорить о зависимости содержания элементов от продолжительности и типов антропогенного воздействия того или другого источника.

2 Среди ТМ, накапливающихся в атмосферном воздухе городов Ставропольского края, преобладают Pb, Zn, Cu и Fe, которые приурочены к районам интенсивного движения автотранспорта, локализовано – к территориям промышленных зон. Коэффициент накопления элементов в атмосфере характеризуется низкими концентрациями, близкими к фоновым. Среднесуточные концентрации ТМ в воздушной среде городов не превышают ПДКс.с.

3 Такие показатели, как среднегодовая скорость ветра, средняя повторяемость штилей, число дней с туманами, среднегодовое количество осадков, являются определяющими факторами в механизме выноса и аккумуляции продуктов техногенеза. На основании изученных факторов рассчитан МПА. Данный параметр показал, что неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы возникают в воздушной среде городов Кисловодска, Георгиевска. Большая способность атмосферы к самоочищению наблюдается в городах Ставрополе и Минеральные Воды.

4. Рассчитанные индексы загрязнения позволили оценить степень вклада каждого элемента в общее загрязнение воздушного бассейна по сезонам года. Увеличение среднесуточной концентрации ТМ наблюдается преимущественно в теплый период. Обнаружена как положительная, так и отрицательная связь между содержанием железа, марганца и пыли. Установлена отрицательная связь между свинцом, цинком, медью и пыли.

5. Построены карты-схемы морфотипов жилой застроенности и условий проветриваемости г. Ставрополя. На их основе получены следующие результаты: атмосферный воздух города характеризуется высокой способностью к самоочищению от загрязнений. Этому способствуют магистральные участки, уличные каньоны и ориентировка зданий застроенности зданий параллельно преобладающему движению ветра.

6. Пространственная картина распространения техногенных потоков в условиях города наиболее четко устанавливается по изменению химического состава тех природных сред, которые надолго депонируют поступающие

загрязняющие вещества. По особенностям воздействия привноса и выноса поллютантов выделены следующие территории: парково-рекреационная и селитебная – зоны преимущественно привноса (имиссии), определяемые местной миграцией поллютантов; селитебно-транспортные и промышленные – зоны выноса.

7. Содержание среднесуточных концентраций ТМ в атмосферном воздухе ниже ПДКс.с., что позволяет считать качество атмосферного воздуха в городах края удовлетворительным.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Мовсесова В.В., Кравченко Н.А. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: Материалы IV региональной научно-технической конференции. – Ставрополь, 2000. – С. 103-104.

2. Мовсесова В.В. Загрязнение воздушной среды Ставропольского края (на примере городов Ставрополя и Невинномысска). // Научная конференция аспирантов и соискателей (тезисы докладов, 2000г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001. – С.51-53.

3. Мовсесова В.В., Хрусталеv Ю.П., Борисенко Н.И. Эколого-аналитический контроль загрязнения атмосферного воздуха ТМ (на примере г. Ставрополя) // Новые технологии и приложения современных физико-химических методов (ядерно-магнитный резонанс, хроматография/масс-спектрометрия, ИК-Фурье спектроскопия и их комбинации) для изучения окружающей среды, включая секции молодых ученых Научно-образовательных центров России: Материалы международной конференции. – Ростов-на-Дону, 25-28 сентября 2001г. – С. 122-123.

4. Мовсесова В.В. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в Ставропольском крае // Труды аспирантов и соискателей Ростовского государственного университета. Т. 8. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001. – С. 99-101.

5. Мовсесова В.В. Геоэкологические проблемы региона КМВ // Эколого-географический вестник юга России. – Ростов-на Дону: Изд-во РГУ, 2002. №1. – С. 79-83.

6. Мовсесова В.В., Борисенко Н.И. Эколого-аналитический контроль загрязнения атмосферного воздуха ТМ на примере г. Ставрополя // Материалы VI Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография и экология). – г. Ростов-на-Дону, 2002. – С. 229-231.

7. Мовсесова В.В., Кравченко Н.А. Экологическая обстановка в регионе КМВ // Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральные ресурсы курортно-рекреационных регионов: Материалы III Международной конференции. – Кисловодск, 2003. – С. 30-31.

8. Мовсесова В.В., Борисенко Н.И. Загрязнение атмосферного воздуха тяжелыми металлами на примере города Ставрополя // Новые технологии и приложения современных физико-химических методов (ядерно-магнитный резонанс, хроматография/масс-спектрометрия, ИК-Фурье спектроскопия и их комбинации) для изучения окружающей среды, включая секции молодых ученых Научно-образовательных центров России: Материалы II Международной конференции. – Ростов-на-Дону, 15-21 сентября 2003 г. – С. 124-125.

9. Мовсесова В.В. Метеорологический потенциал загрязнения воздушного бассейна г. Ставрополя // Ставрополь: социально-экологические проблемы городской среды: Материалы научно-практической конференции. – Ставрополь: Энтропус, 2004. – С.17-18.

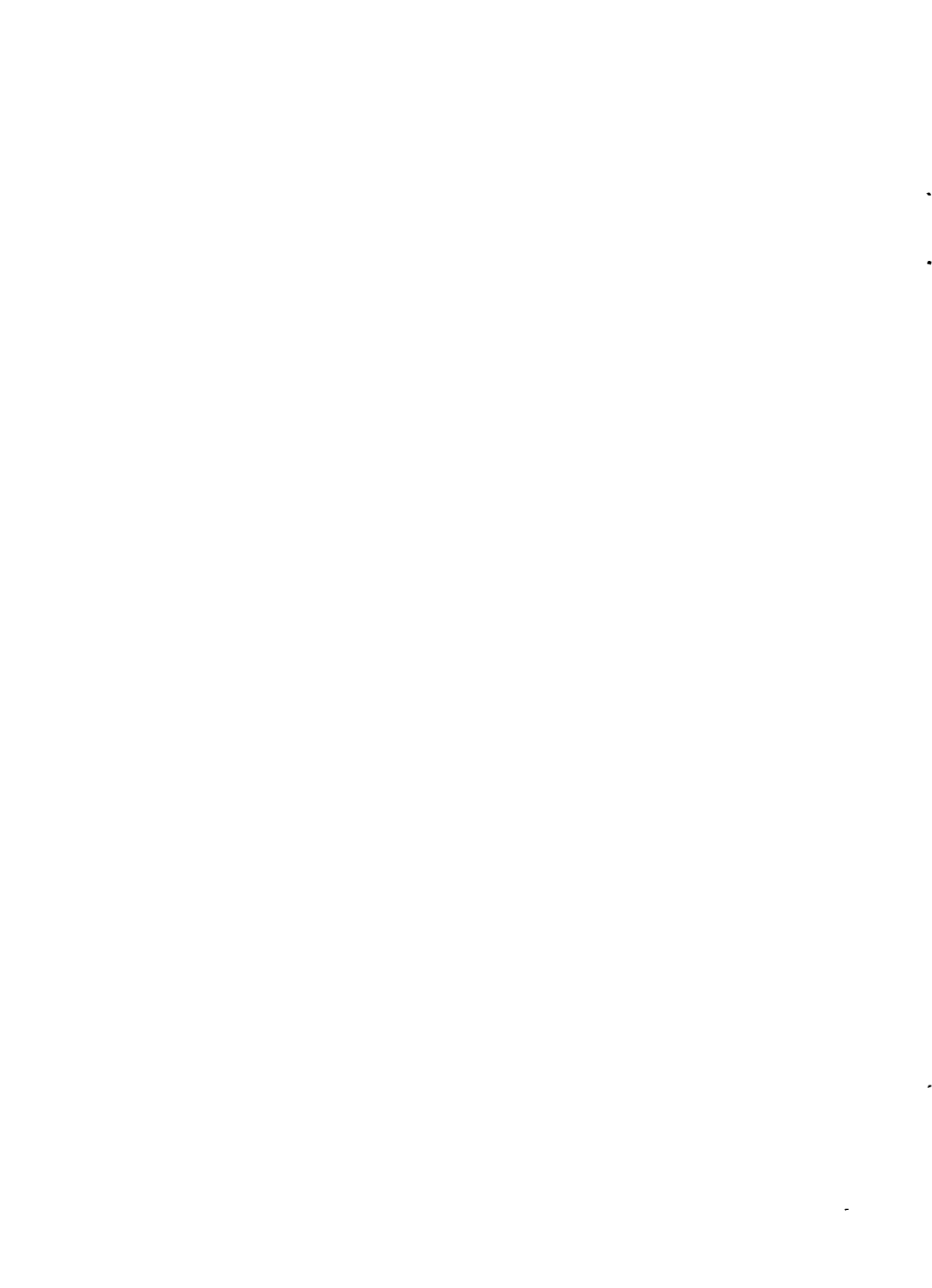
10. Мовсесова В.В. Эколого-аналитический контроль загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами в регионе КМВ // Вопросы физической географии: Материалы 48 научно-методической конференции «Университетская наука - региону» (апрель 2003г.). – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2004. Вып. 2. – С.106-112.

---

Изд. лиц.серия ИД № 05975 от 03.10.2001	Подписано в печать 14 12 2004	
Формат 60×84 1/16	Усл.печ.л. 1,45	Уч.-изд л. 1,21
Бумага офсетная	Тираж 100 экз.	Заказ 285

---

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе  
Ставропольского государственного университета  
355009, Ставрополь, ул.Пушкина, 1



r

!

b

,

№ 27114

РНБ Русский фонд

2006-4

827