

На правах рукописи

ДОЛЖИКОВА Елена Михайловна

РГБ - ОД

- 3 АПР 2000

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В
УРБОЛАНДШАФТАХ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**

11.00.11 - Охрана окружающей среды и рациональное использование
природных ресурсов (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов на Дону - 2000

Работа выполнена в Южно-Российском государственном техническом университете (Новочеркасском политехническом институте)

Научные руководители: доктор химических наук, профессор
Хентов Виктор Яковлевич,
доктор биологических наук
Приваленко Валерий Владимирович.

Научный консультант: доктор технических наук, доцент
Надтока Иван Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Угольницкий Геннадий Анатольевич,
кандидат технических наук
Земченко Галина Николаевна.

Ведущая организация: Новочеркасский межрайонный комитет по охране
окружающей среды.

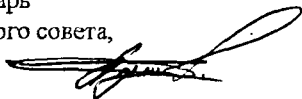
Защита состоится 10 марта 2000 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета К 063.64.04 в Ростовском государственном строительном университете по адресу: 344022, г.Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая, 162, РГСУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета.

Два экземпляра отзыва на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному выше адресу.

Автореферат разослан 8 февраля 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Сергей Леонардович ПУШЕНКО

Н 82 - 027, 0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Контроль качества среды относится к важнейшей функции природоохранной деятельности, поскольку он призван создать надежное информационное обеспечение для планирования и осуществления эффективных мер по защите окружающей среды. Проведение исследований по экологическому мониторингу сопряжено с такими проблемами как большой объем аналитических работ, значительные финансовые затраты, несовершенное методическое обеспечение по оцениванию экологической ситуации, обработка банка многомерных данных и др.

Необходимость разработки новых природоохранных мероприятий и повышения качества среды обитания особенно актуальна для урбанизированных территорий, как правило, являющихся развитыми промышленными центрами и, следовательно, зонами повышенного экологического риска. Город, представляя собой промышленную и коммунально-бытовую структуру, образует обширные аномалии загрязняющих веществ в составе как природных соединений, так и соединений техногенного происхождения. Построение карты зон повышенных или пониженных по сравнению с фоновыми или нормативными концентрациями контролируемых соединений, осуществляется по результатам опробования преимущественно депонирующих (накапливающих) сред. Для получения объективной оценки экологической ситуации в числе других сведений необходима информация о пространственном и временном варьировании концентраций токсичных соединений в среде. Выделение наиболее информативных параметров мониторинга среды играет важную роль для характеристики тенденций формирования аномалий загрязняющих веществ, а также для определения необходимого и достаточного перечня показателей, требующих систематического контроля. В связи с этим, все возрастающую роль в экологических исследованиях играет многомерный анализ данных, использующий для изучения взаимовлияния исходных величин вероятностный подход.

Цель работы заключается в оптимизации системы мониторинга экологических сред на основе многомерного моделирования распределения загрязняющих веществ в урбандиафтах.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследования:

1. Изучить специфику накопления и проблемы обработки экологической информации в городах Нижнего Дона. Проанализировать существующие методы оценивания урболандшафтов с точки зрения вероятностно-статистического исследования. Выбрать оптимальный метод анализа для оценки и классификации распространения загрязняющих веществ в депонирующих средах.

2. Разработать математическую модель для описания распределения многомерных полей загрязнения урболандшафтов. Выявить пространственные и временные закономерности распределения загрязняющих примесей в различных экологических средах.

3. Разработать метод классификации и снижения размерности пространства параметров экологического контроля (загрязняющих веществ и контрольных пунктов отбора проб).

4. Разработать методические рекомендации по анализу, классификации и снижению размерности многомерного пространства результатов мониторинга урболандшафтов, позволяющие оптимизировать систему природоохранных мероприятий.

Научная новизна. На сегодняшний день геохимический метод оценки состояния окружающей среды признан ведущим, благодаря возможности изучения сложной структуры урбанизированных зон путем подробного картографирования аномалий загрязняющих примесей. В качестве математической обработки геоэкологической информации используются элементарные статистики, корреляционный анализ и сопоставление фактических концентраций загрязнителей с предельно-допустимыми или фоновыми значениями. В диссертационной работе впервые:

1. Предложено использование многофакторного метода главных компонент в экологическом мониторинге урболандшафтов.

2. Предложена математическая модель для классификации контролируемых токсичных металлов и точек опробования в экологических средах, включая сопредельные, на основе метода главных компонент.

3. Исследованы динамические свойства факторов распределения концентраций токсичных металлов в течение 10-ти лет геохимического мониторинга.

4. Разработаны методические рекомендации по оптимизации экологического мониторинга урбандиафтов на основе многофакторного метода главных компонент.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена корректным применением математических методов исследований, экспериментальной проверкой теоретических положений и применением на всех этапах работы стандартных методов и нормативов контроля качества окружающей среды.

Основу диссертационной работы составляет многофакторное исследование результатов контроля содержания 8 тяжелых металлов в пробах почв и растений в 22 контрольных точках г.Новочеркасска, выполненных Новочеркасским городским центром экологической информации и мониторинга в 1996г. и результатов эколого-геохимического мониторинга 9 тяжелых металлов по пробам, отобраным в порядка 2000 литохимических и 100 атмосферических контрольных точках г.Ростова-на-Дону, выполненных Ростовским территориальным геоэкологическим центром «Ростовгеомониторинг» в период 1989-1998 г.г.

Практическая значимость. Предложенный в работе алгоритм классификации и анализа факторов формирования контролируемых процессов загрязнения позволяет более точно оценивать и прогнозировать экологическую ситуацию в урбандиафтах, а также позволяет сократить количество необходимых для оценки точек отбора проб. Выводы, сделанные по результатам исследований, легли в основу разработки плана мероприятий по оптимизации мониторинга окружающей среды г.Новочеркасска и г.Ростова-на-Дону.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы использованы и внедрены:

- Новочеркасским городским центром экологической информации и мониторинга;
- Новочеркасским межрайонным комитетом по охране окружающей среды;
- Научно-производственным предприятием «Экологическая лаборатория» г.Ростова-на-Дону;
- Ростовским территориальным геоэкологическим центром «Ростовгеомониторинг»

Апробация работы.

Основы положения диссертации доложены и обсуждены на межвузовских научно-технических конференциях «Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды» РГАСХМ (г.Ростов-на-Дону, 1998-99г.г.), международной научно-технической конференции «Проблемы охраны производственной и окружающей среды» (Волгоград, 1997г.), международной научно-практической конференции РГСУ «Строительство-98» (г.Ростов-на-Дону, 1998г.), на научных семинарах молодых ученых и аспирантов ЮРГТУ(НПИ) (г.Новочеркасск, 1998-99г.г.). Результаты работы были представлены и положительно оценены на двух областных конкурсах работ студентов и аспирантов «Экология - Безопасность - Жизнь» ДГТУ (г.Ростов-на-Дону, 1998 и 1999 г.г.)

На защиту выносятся следующие положения диссертации:

1. Обоснование использования многофакторного метода главных компонент для математического моделирования распределения интенсивности загрязнения урболовдшафтов и снижения размерности пространства контролируемых параметров мониторинга окружающей среды.
2. Метод многофакторной классификации тяжелых металлов и контрольных точек отбора проб различных экологических сред в пространстве главных компонент.
3. Компонентная модель динамики распределения загрязняющих веществ в условиях периодичности экологического контроля среды.
4. Методические рекомендации по оценке и оптимизации мероприятий мониторинга депонирующих сред с использованием методов ортогонализации коррелированных параметров загрязнения среды.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 8 научных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложена на 120 страницах, включает 23 рисунков, 27 таблиц, список литературы из 102 наименований и приложения. Общий объем работы составляет 142 страницы.

Работа выполнена в ЮРГТУ(НПИ) на кафедре «Неорганической химии» в рамках научно-исследовательской работы университета по теме:

«Исследование и минимизация факторов техногенного загрязнения окружающей среды».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы, определяющая актуальность, цель и задачи исследования, научную новизну, практическую значимость разработанной методики, основные положения диссертации, выносимые на защиту и выходные данные диссертационной работы.

В первой главе дана краткая характеристика и анализ схем организации экологического мониторинга в городах Нижнего Дона. В Ростове-на-Дону, Каменске-Шахтинском, Таганроге и еще 4 городах Ростовской области экологический мониторинг организован на основе принципов геохимического картографирования примесей в урболодшафте. В отличие от них в г.Новочеркасске в программе мониторинга окружающей среды основным критерием оценки определены контроль воздушной среды, который производится по 16 опорным точкам наблюдения маршрутно-подфакельным методом. Анализируемые вещества представляют наиболее характерные примеси производственных выбросов городских предприятий. В качестве методов математической обработки результатов исследования используется расчет среднегодовых и среднемесячных концентраций примесей, кратность их превышения предельно допустимых концентраций, а также расчет комплексных индексов загрязнения для исследовательских пунктов. К недостаткам данной схемы контроля следует отнести низкую статистическую обеспеченность получаемой аналитической информации (недостаточное количество точек контроля) и условность построения модели поведения загрязняющих веществ в воздухе, ввиду высокой динамичности данной среды. Объем наблюдений водной среды охватывает 32 створа, характеризующих влияние сточных вод на качество гидросферы города.

Литохимические исследования осуществляются по таким параметрам экологического состояния почв как концентрация тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Cr, V), водно-физическим и химико-физическим свойствам. Обследование почвенного покрова производится по 22 контрольным участкам, на которых одновременно с пробами почвы отбираются пробы однолетней растительности.

Геохимический метод изучения миграции химических веществ, применяемый в экологическом контроле других городов области, основан на принципах экспрессного ландшафтно-геохимического картирования токсикантов без длительных стационарных наблюдений.

Функциональная схема объектов и методов геохимических исследований в рамках экологического мониторинга г.Ростова-на-Дону включает в себя следующие объекты. Мониторинг экологического состояния атмосферы осуществляется по 3-м направлениям: определение концентрации токсикантов в осадках, в пыли и непосредственно в воздухе зоны наблюдения. Количество отобранных литохимических проб одной геохимической съемки составляет порядка 2000. С 1989 года съемка проводилась с интервалом 3 года, соответственно в 1989, 1992, 1995 и 1998 г.г. В пробах почв анализируется содержание подвижных форм и валовое количество токсичных металлов: Cr, Pb, Cu, Ni, Co, V, Zn, Mn, Sr и других компонентов. Физико-химические свойства почв определяются по стандартным методам анализа водной вытяжки пробы.

Операции камеральной обработки показателей концентрации отдельных загрязнителей включают сопоставление подробных карт, расчет корреляционных связей концентраций токсикантов в сопредельных средах, расчет интенсивности загрязнения и комплексного индекса загрязнения среды.

Большинство параметров распределения загрязняющих компонентов носит случайный характер, поэтому исследование взаимосвязей между ними выполняется методами статистического анализа случайных величин. Из методов статистической обработки данных в геохимическом мониторинге применяются определение закона распределения, среднего значения, стандартного отклонения, коэффициента вариации, дисперсии и количества аномальных концентраций элементов.

Приведен обзор современных методов контроля экологического состояния урболовандшафтов, в котором показано, что метод геохимического опробования и картографирования загрязняющих веществ относится к наиболее обоснованным и результативным методам оценки качества среды. Теоретические и методические основы геохимических подходов в экологическом мониторинге разработаны Ю.Е.Саетом и его последователями в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ).

Во второй главе произведен выбор и составлен алгоритм статистического метода исследования накапливаемых результатов экологических наблюдений. Установлено, что данные контроля экологических сред, относятся к разряду многомерных, поэтому при математической обработке получаемой информации следует применять многомерные методы исследования, такие как множественный корреляционный анализ, регрессионный, дисперсионный, и др. Каждый из этих методов предусматривает вычисление корреляционной или ковариационной матриц с последующими преобразованиями. Но при этом матрицы исходных данных не разлагаются на ортогональные составляющие, несущие информацию об изменчивости изучаемых процессов. Поэтому результаты данных методов обладают пониженной устойчивостью в экстраполяционных условиях, а также в условиях незначительных изменений исходной информации. Применение факторных методов, также относящихся к разряду многомерных, позволяет избежать в большей мере указанных выше недостатков за счет построения решений на новых гипотетических переменных - факторах, обладающих свойствами большей информативности, устойчивости и взаимнезависимости. Интерпретация результатов статистических методов исследования корреляционных зависимостей данных основана на наличии взаимозависимости между объединением в почве химических элементов в различные группы и реакцией этих элементов на протекание геохимических процессов, обусловленных как природными, так и техногенными явлениями. Тем не менее, высокая пространственная неоднородность урболодшафтов, множество источников выбросов химических веществ, климатические условия и др. характеризует процессы распределения вредных веществ в среде как случайные. Выявить специфику распределения случайных параметров загрязнения можно одним из эффективных статистических способов исследования дисперсии концентраций токсичных веществ - многофакторным методом главных компонент.

Идея метода главных компонент (авторы К.Пирсон, Г.Хоттеллинг) сводится к поиску такого векторного подпространства переменных, которое оптимально отражает информацию, содержащуюся в исходных многомерных данных. Основываясь на положениях векторной алгебры, наилучшее представление свойств множества данных можно получить при проектировании его в системе евклидовых пространств, т.к. базисные вектора этих пространств обладают свойством ортонормированности. При проектировании n -мерных данных исход-

ной матрицы X ($n \times p$) (где n - количество исследуемых переменных, p - количество объектов исследования) на одномерное подпространство, обладающее свойством максимума информации, определяется собственный вектор u_1 , соответствующий наибольшему собственному значению λ_1 корреляционной матрицы $R(n \times n)$. Следовательно, проектирование множества данных в m -мерное подпространство ($m < n$) определяется m собственными векторами u_i ($i=1,2,\dots,m$), определяемыми m собственными числами λ_i .

При контроле содержания токсичных веществ в урболандшафте в качестве переменных могут рассматриваться анализируемые загрязнители, а в качестве объектов - контрольные точки отбора проб. Матрица исходных данных X может быть преобразована в матрицу центрированных Y (для концентраций загрязняющих веществ, выраженных в долях ПДК) или стандартизованных данных Z (для абсолютных значений концентраций). Элементы матриц Y и Z определяются соответственно:

$$y_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i \quad \text{и} \quad z_{ij} = y_{ij} / \sigma_i, \quad \text{где}$$

x_{ij} - элемент матрицы исходных данных X ($i=1,2,\dots, n; j=1, 2, \dots, p$);
 \bar{x}_i - среднее значение i -й переменной для p объектов;
 σ_i - стандартное отклонение i -й переменной.

Для матрицы Z вычисляется корреляционная матрица $R(n \times n)$, характеризующая линейную взаимосвязь концентраций загрязнителей:

$$R = Z \cdot Z^T / (p-1),$$

где Z^T - транспонированная матрица Z .

Для корреляционной матрицы $R(n \times n)$ вычисляется диагональная матрица собственных чисел Λ и матрица собственных векторов U из соотношения:

$$R \cdot U = \Lambda \cdot U.$$

Собственные числа λ_i и собственные векторы u_i симметричной матрицы R в работе определяются по методу Якоби.

В качестве критерия максимизации информации определяется собственный вектор u_1 , соответствующий наибольшему собственному числу λ_1 . Собственные числа λ_i располагаются в порядке убывания:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \dots \geq \lambda_i \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0.$$

Ранжирование собственных чисел позволяет упорядочивать дисперсии соответствующих им собственных векторов, и, следовательно, концентрировать

информационный вклад в первых компонентах, обладающих наибольшими значениями дисперсии.

Согласно положениям метода главных компонент векторы z_i матрицы Z можно разложить по ортогональным составляющим f_i следующим образом :

$$Z = A \cdot F \quad \text{или} \quad z_i = A \cdot f_i,$$

где F - матрица новых ортогональных переменных (главных компонент) f_i для p объектов, факторная структура.

A - матрица факторных нагрузок, элементы которой определяются по формуле: $A = U \cdot \Lambda$. A - это также матрица коэффициентов парной корреляции между главными компонентами f_i и переменными z_i , поэтому с помощью элементов факторной структуры A определяются переменные z_i , наиболее тесно связанные с главными компонентами F .

Вклад i -той компоненты в общую дисперсию n компонент является нормой вектора a_i и равен собственному числу λ_i .

Определение главных компонент, как следует из формулы ортогонального разложения, осуществляется по формуле:

$$F = A^{-1} \cdot Z.$$

За счет перераспределения дисперсии, в сумме своей являющейся постоянной, можно отбросить несколько последних малозначащих компонент и тем самым снизить размерность исходного n -мерного пространство.

Преимуществами метода являются повышение точности анализа объективных взаимосвязей параметров исследования, ранжирование (классификации) объектов и наблюдений по нескольким обобщенным характеристикам, ортогонализация исходных параметров, сжатие многомерной информации и использование относительных показателей распределения наблюдений.

В третьей главе представлено методическое исследование многомерных данных анализа содержания токсичных металлов в сопредельных накапливающих экологических средах города методом главных компонент.

Матрица исходных данных по результатам литохимического мониторинга г.Новочеркаска описывает аналитическое исследование 22 контрольных точек отбора проб на содержание 8 тяжелых металлов. Для определения взаимосвязи между загрязняющими веществами была построена матрица исходных данных X_1 (8×22). После операций стандартизации и расчета корреляционной

матрицы $R_1(8 \times 8)$ были определены восемь собственных чисел и соответствующие им восемь собственных векторов анализируемых металлов.

В ходе ортогонального разложения стандартизованных векторов исходной матрицы переменных получили три главных компоненты f_1, f_2, f_3 , определяющие общие тенденции распространения в почвенном покрове всех рассматриваемых металлов (рис. 1).

Анализ распределения факторных нагрузок тяжелых металлов в 1996 г. по трем первым компонентам f_i для матрицы исходных данных в почве $X_1(8 \times 22)$ показал, что первая компонента f_1 описывает распределение в почве соединений металлов Co, Zn, Cu, Ni, вторая f_2 - Cr, V, Pb и третья f_3 - Mn.

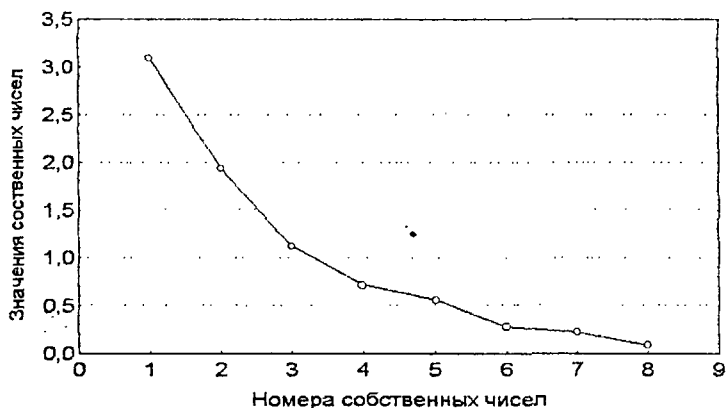


Рис. 1. График затухания собственных чисел корреляционной матрицы R_1 случайных величин концентраций металлов, содержащихся в почве г.Новочеркаска в 1996г.

Интервал варьирования коэффициентов факторных нагрузок указанных металлов составляет 0,67 - 0,95. Полученные компоненты позволили снизить 8-мерное пространство исходных переменных до 3-мерного с сохранением 77% общей изменчивости, характеризующейся дисперсией распределения концентраций металлов в контрольных точках (табл. 1).

Результаты классификации загрязняющих веществ целесообразно использовать при картографировании изотоксичных зон не отдельных загрязнителей, а их агрегированных показателей - главных компонент, т.к. при этом можно

определять условия формирования аномалий токсикантов в среде и планировать направленность природоохранных мероприятий.

Аналогичное исследование было проведено для данных содержания тех же металлов в образцах однолетних растений $X_2(8 \times 22)$.

Таблица 1.

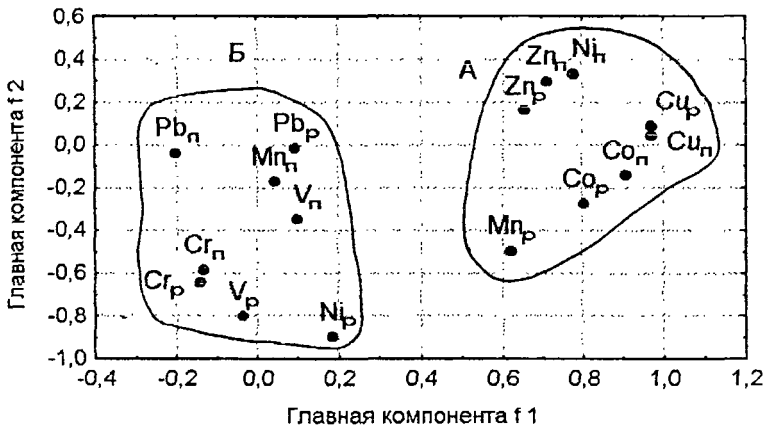
Результаты расчета собственных чисел матрицы R_1

Номер компоненты	Собственные числа	Доля дисперсии, %	Накопленные собственные числа	Накопленная дисперсия, %
1	3,09	38,65	3,09	38,65
2	1,94	24,21	5,03	62,86
3	1,12	14,05	6,15	76,91
4	0,71	8,91	6,87	85,82
5	0,56	6,98	7,42	92,80
6	0,27	3,42	7,70	96,22
7	0,22	2,77	7,92	98,98
8	0,08	1,02	8,00	100,00

Ортогональное преобразование исходного 8-мерного пространства показало следующую классификацию: первая компонента f_1 - соединения меди, кобальта, никеля, марганца; вторая f_2 - хрома, ванадия, никеля; третья f_3 - свинца. Интервал варьирования коэффициентов главных компонент составил (+0,63 ... +0,91). Размерность 8-мерного массива исходных показателей загрязнения была снижена до 3-мерного пространства главных компонент с сохранением 80% дисперсии от суммарной.

Путем совместного компонентного исследования распределения данных металлов в обеих средах, являющихся сопредельными и депонирующими, была решена задача установления стохастической взаимосвязи интенсивности в сопредельных средах. Для этого была проанализирована матрица $X_3(16 \times 22)$, переменными которой определены концентрации соединений исходных металлов в обеих депонирующих средах.

Графическое представление металлов в координатах первых двух компонент f_1 - f_2 показывает, что можно выделить два кластера А и Б (рис.2). Переменные, входящие в кластер А, характеризуются более высокими значениями компоненты f_1 и отражают закономерности распределения соединений цинка, меди, кобальта в сопредельных средах. В кластере Б распределение металлов определяется либо компонентой f_2 , либо - f_3 . Взаимосвязь распределения металлов в сопредельных средах выявлена для соединений хрома (характеризуемых компонентой f_2) и свинца (компонентой f_3).



Индексы переменных: п - содержание в почве, р - в растениях.

Рис.2. Диаграмма распределения в плоскости главных компонент f_1 - f_2 тяжелых металлов, содержащихся в сопредельных средах г.Новочеркасска.

Обратная задача многофакторного анализа заключается в представлении контрольных точек отбора проб в пространстве главных компонент f_1 - f_2 . На рис.3 показана кластеризация 22-х объектов исследования. В кластере А отражены контрольные точки, концентрации металлов в которых распределены достаточно однородно. В кластере Б выделены точки № 12 и № 21, расположенные в районе х.Татарка и п.Новоселовка. Высокие коэффициенты корреляции первой компоненты с этими точками контроля свидетельствуют о высоких концентрациях в них металлов, описываемых компонентой f_1 , что следует из отношения $z_i = A \cdot f_i$. В группе В выделены точки №16 (район школы №12) и №17

(ул. Просвещения). Данным точкам также соответствуют высокие концентрации металлов, характеризуемых главной компонентой f_2 .

Таким образом, методом главных компонент были структурированы факторы изменчивости загрязняющих веществ как отдельно в депонирующих средах, так и в сопредельных. Дополнительным преимуществом проведенной классификации распределения загрязняющих веществ является использование не абсолютных, а относительных показателей контроля, что позволяет учитывать систематическую погрешность методов исследования и повысить точность оценки наблюдений.

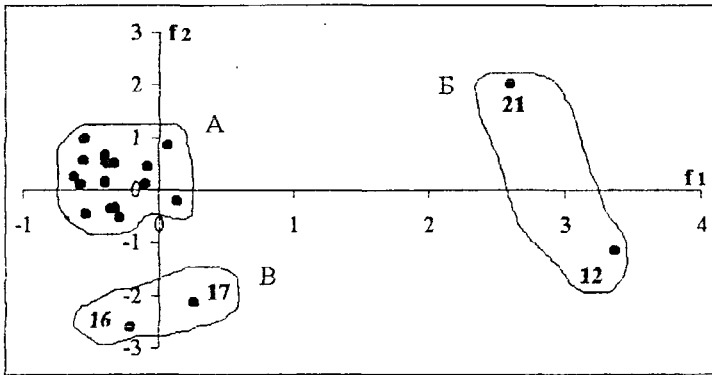


Рис.3. Диаграмма распределения контрольных точек в сопредельных средах: почва-растения г.Новочеркасска в плоскости главных компонент f_1 - f_2 .

В четвертой главе приведены результаты многофакторного исследования динамики параметров экологического мониторинга г.Ростова-на-Дону. Методом главных компонент исследовано содержание 10 токсичных металлов по результатам контроля 95 атмосферических ловушек.

Проведенный анализ показал, что распределение всех металлов характеризуется максимальными факторными нагрузками на первую главную компоненту, которая описывает 60% суммарной дисперсии, и в меньшей степени факторными нагрузками на вторую главную компоненту, описывающей 10% изменчивости (рис.4).

Следовательно, в результате ортогонального разложения и сокращения размерности многомерной модели распределения атмосферных примесей была

получена одномерная модель, генеральным фактором формирования которой, вероятно, можно считать аэродинамические свойства и климатические особенности структуры урболоандшафта, выравнивающие соотношение концентрации токсичных металлов на данной территории.

С момента организации рассматриваемой схемы мониторинга в г.Ростове-на-Дону было проведено 4 литохимических съемки: в 1989, 1992, 1995 и 1998 годах. В качестве исходного объекта многофакторного исследования были рассмотрены результаты мониторинга по всем точкам отбора проб почвенного покрова города в виде 4-х матриц размерностью $n \times p$, где $n=9$ - количество контролируемых металлов, p - количество исследованных точек отбора проб.

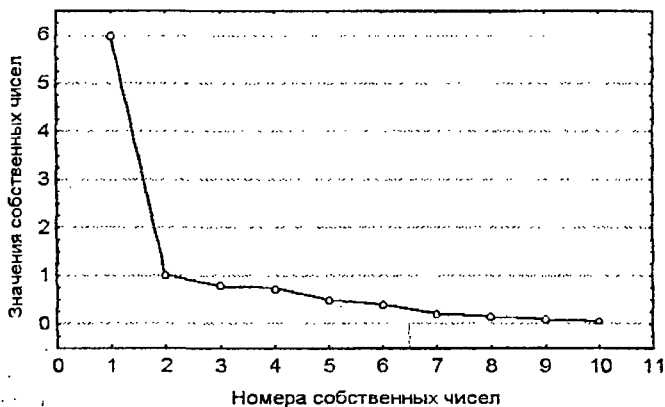


Рис. 4. График изменения собственных чисел корреляционной матрицы концентраций 10 металлов в 95 точках контроля атмосферы г.Ростова-на-Дону в 1992г.

В результате компонентного анализа данных матриц и графического представления переменных-металлов в пространстве главных компонент было обнаружено, что в течение рассматриваемого периода можно выделить следующие группы металлов. Элементы медь, цинк и свинец в большинстве случаев проявляют общие закономерности по степени нагрузки на одну из главных компонент (табл.2) и пространственную близость при отображении данных металлов в плоскости первых двух главных компонент

Аналогичная ситуация наблюдается для соединений металлов ванадий и кобальт. Однако, полученная классификация не достаточно четкая, т.к. данные группы металлов в разные годы проявляют максимальные величины факторной нагрузки на различные компоненты.

В связи этим, на территории города для исследований была выделена западная зона, отличающаяся от других более однородными признаками геологического строения и четкого разграничения функциональных зон.

С целью получения уточненных результатов классификации металлов в западном районе города рассматривались данные анализа точек контроля, регулярно посещаемых в течение 10 лет. В итоге были составлены 4 матрицы значений концентраций металлов размерностью 9×444 для каждого года исследования.

Таблица 2.

Распределение значимых факторных нагрузок металлов по 5-ти главным компонентам (ГК) на территории г.Ростова-на-Дону.

ГК	1989г.	1992г.	1995г.	1998г.
f_1	V, Sr, Co, Pb, Cr	Cu, Ni, Zn, Pb, Cr	Zn, Pb, Cu, Cr, V	Co, Cr, Sr, V
f_2	Zn, Ni, Pb, Cu	V, Ni, Co, Zn	Ni, Co, Mn, V	Ni, Pb, Zn
f_3	Mn	Mn	Sr	Zn, Sr, Cr
f_4	Cu	Sr	Cr, Mn	Mn, Cu
f_5	Cr	Mn	Mn	Cu

Анализ матриц факторных нагрузок этих данных показал следующее:

1. Первые пять главных компонент в 1989, 1992, 1995, 1998 г.г. составили, соответственно, 77%, 76%, 75% и 78% дисперсии от суммарной.

2. В каждой матрице наблюдается следующая классификация металлов: ванадий, кобальт, никель описываются первой компонентой; цинк, медь, свинец - второй компонентой; остальные металлы хром, стронций и марганец описываются отдельными главными компонентами, не повторяющимися по годам наблюдения. В таблице 3 в порядке убывания представлены наиболее значимые

коэффициенты главных компонент распределения токсичных металлов в западной части города.

Таблица 3

Распределение значимых факторных нагрузок металлов по 5-ти главным компонентам (ГК) в западной зоне г.Ростова-на-Дону.

ГК	1989г.	1992г.	1995г.	1998г.
f_1	V, Co, Cr, Ni	V, Co, Ni, Cr	Co, V, Ni, Mn	V, Co, Mn, Ni
f_2	Zn, Cu, Pb, Sr	Zn, Pb, Cu	Cu, Cr, Pb, Zn	Pb, Zn, Cu
f_3	Mn	Sr, Mn	Sr	Sr, Ni
f_4	Ni	Cr	Cr	Cu
f_5	Sr	Co	Mn	Co

3. Выполнена классификация 9 исследуемых металлов в пространстве главных компонент f_1 - f_2 . К кластеру А относятся металлы, обуславливаемые свойствами первой главной компоненты. Кластер Б объединяет металлы, описываемые остальными ортогональными компонентами (Рис.5).

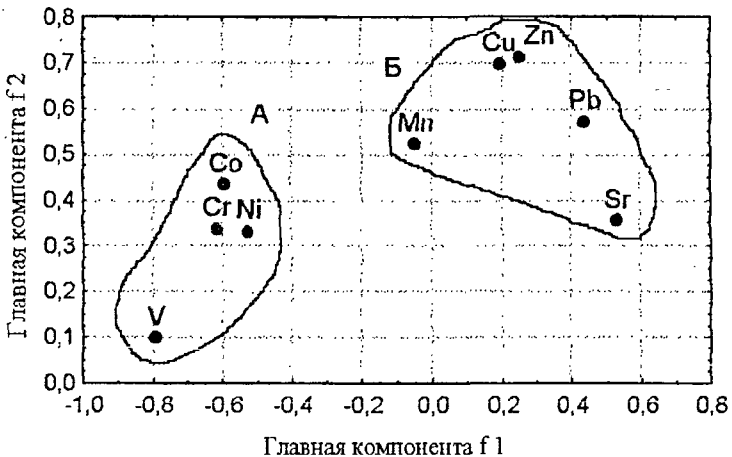


Рис.5. Классификация соединений 9 металлов в плоскости главных компонент, определяемых по 444 контрольным точкам западной зоны г.Ростова-на-Дону.

4. Устойчивое разделение первых двух групп металлов во времени и пространстве позволяет выявить наиболее характерные контрольные параметры загрязнения территории и планировать последующие наблюдения с меньшими затратами.

Сравнивая полученную классификацию с имеющейся рекогносцировочной информацией по формированию ореолов загрязнения, можно сделать следующие выводы:

- 1) Происхождение аномалий соединений металлов первой группы имеет преимущественно техногенную природу;
- 2) Распределение соединений металлов второй группы обусловлено действием как техногенных, так и природных факторов;
- 3) Элементы хром, марганец и стронций обладают индивидуальными характеристиками распределения в урбандиапазоне, при этом источники аномалий хрома относятся преимущественно к антропогенным, аномалий марганца и стронция - к смешанным антропогенно-природным.

Анализируя свойства полученных в ходе расчета главных компонент можно выделить уровень значимой факторной нагрузки, что позволило разработать схему дальнейшего исследования контрольных точек. С этой целью в матрицах коэффициентов факторной нагрузки были выделены наименее значимые коэффициенты, сокращение которых дает возможность уменьшить количество контрольных точек опробования.

Для 444 контрольных точек, описывающих поведение токсичных металлов в западной зоне, в результате редукции матриц коэффициентов факторной нагрузки были получены новые матрицы данных, содержащие 354 исходных точки, при этом характеристики главных компонент новых матриц остались практически неизменными. На рисунке 6 представлено графическое отображение металлов редуцированной матрицы X-89-354 в плоскости первых двух главных компонент. Сравнение рисунков 5 и 6 показывает, что взаимное расположение кластеров А и Б, а также взаимное расположение переменных (металлов) внутри кластеров практически не изменилось. Следовательно, редукция объектов экологического контроля в данном случае возможна.

Картографирование первых 3-х главных компонент каждого года наблюдения показало, что в результате их влияния формируется наиболее экологиче-

ски неблагоприятный район в юго-западной зоне города. Для уменьшения воздействия факторов накопления вредных примесей необходимо уменьшить нормативы предельно-допустимых выбросов для предприятий данной зоны и скорректировать направленность природоохранных мероприятий.

Исследование временного варьирования главных факторов формирования загрязняющих потоков проводили по исходным данным опробования западной зоны города. При определении параметров главных компонент и их графическом представлении в плоскости f_1 - f_2 было обнаружено, что для распределения соединений металлов кобальт, никель, ванадий, описываемого первой главной компонентой, интервалы изменения координат по различным периодам идентичны. Аналогичную, но менее четкую закономерность поведения проявляют соединения металлов, описывающие распределение второй главной компоненты.

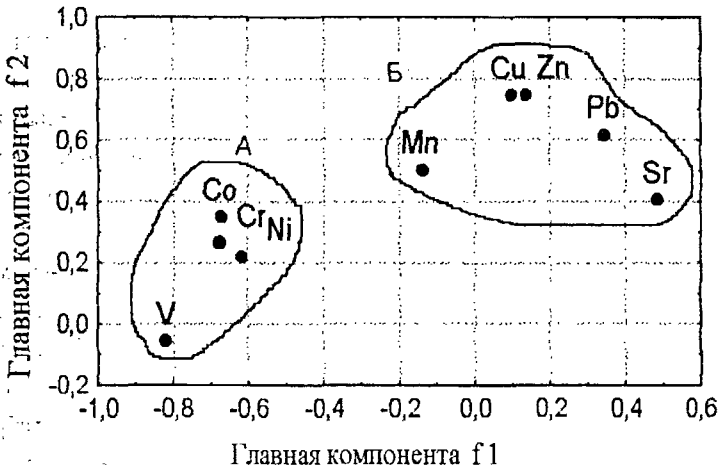


Рис.6. Классификация 9 металлов в плоскости главных компонент, определяемых по 354 контрольным точкам западной зоны г.Ростова-на-Дону.

Проведенные исследования составили основу методических разработок по компонентному анализу результатов геохимического контроля урбандиаф-

тов, что позволяет повысить качество оценки мероприятий экологического мониторинга и уменьшить затраты на их осуществление.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ методов контроля и прогнозирования экологического загрязнения, на основе которых определены общие подходы к построению более эффективной модели описания параметров мониторинга окружающей среды.

2. Предложена математическая модель, в которой использован многофакторный компонентный метод, для описания распределения загрязняющих веществ по их концентрации в контрольных точках отбора проб (прямая задача) и модель распределения точек отбора проб по концентрациям загрязнителей (обратная задача).

3. На основе модели метода главных компонент предложен алгоритм сокращения размерности многомерного пространства параметров экологического контроля, что имеет практическое применение для сокращения точек отбора проб или количества анализируемых загрязняющих веществ.

4. Разработан метод многофакторной классификации загрязнителей или точек наблюдения в пространстве главных компонент, который позволяет повысить точность учета влияния внешних факторов на экологическую ситуацию и оптимизировать систему природоохранных мероприятий.

5. Многофакторное моделирование распределения соединений тяжелых металлов в ландшафте г.Новочеркаска позволила выявить следующие закономерности:

– ортогональное преобразование 8-мерного пространства загрязняющих веществ в почвенном и растительном покрове приводит к выделению трех основных факторов формирования экологических аномалий в каждой из данных сред;

– ортогональное преобразование 16-мерного признакового пространства совместно рассмотренных исходных признаков (токсикантов) показало существование взаимосвязи распределения пяти контролируемых токсикантов из восьми. Классификация распределения признаков в сопредельных средах почве и растениях была получена в пространстве первых трех главных компонент;

– представление в плоскости первых главных компонент 22 исследуемых контрольных пунктов отбора проб показало, что в городе существует четыре

зоны образования литохимических аномалий, характеризующиеся распределением трех независимых факторов.

6. Многофакторное моделирование распределения соединений токсичных металлов в ландшафте г.Ростова-на-Дону в течение 10 лет позволило сделать следующие выводы:

- пространственная однородность воздушной среды обуславливает формирование генерального фактора распределения соединений десяти токсичных металлов, что подтверждает анализ матриц главных компонент атмосферических наблюдений 95-ти контрольных постов;
- выявлена классификация девяти контролируемых токсичных металлов в почвенном покрове западной зоны города на три кластера. Первый кластер составляют соединения элементов Co, Ni, V, объединяемые максимальной дисперсией распределения в среде. Второй кластер определяют металлы Pb, Zn, Cu, также характеризующиеся однородными признаками распределения в исследуемой зоне. В третью группу включены металлы Cr, Mn и Sr, обусловленные индивидуальными особенностями распределения, мало связанными с каким-либо из рассматриваемых металлов;
- многомерная классификация контрольных точек позволила редуцировать 444-мерное пространство контроля соединений металлов в западной зоне г.Ростова-на-Дону до 324-мерного путем выделения из множества рассчитанных коэффициентов главных компонент множества малоинформативных характеристик распределения металлов;
- исследование динамики интенсивности загрязнений почвенного покрова западной зоны г.Ростова-на-Дону показало, что наиболее стабильное распределение токсикантов характерно для металлов первого кластера Co, Ni, V, описываемых главной компонентой f_1 .

7. На основе теоретических положений метода главных компонент были разработаны методические рекомендации по компонентному анализу параметров мониторинга экологических сред, позволяющие повысить точность оценки поведения загрязняющих веществ и эффективность планирования природоохранных исследований.

Список опубликованных работ

1. Должикова Е.М., Надтока И.И., Хентов В.Я. Многофакторное моделирование экологических загрязнений на основе метода главных компонент. / Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч.тр. Вып.2 /РГАСХМ, Ростов н/Д., 1998, с.70.
2. Должикова Е.М., Надтока И.И., Хентов В.Я. Моделирование экологических параметров методами многомерного статистического анализа. // Тез.докл. - Ростов н/Д: Рост. гос. строит.ун-т, 1998, с.62.
3. Должикова Е.М., Хентов В.Я., Андреева Н.Н. Методические аспекты исследования атмосферы.// Проблемы охраны производственной и окружающей среды: Материалы междунар. науч. -техн. конф. Волгоград, 15-16 дек 1997 г. - Волгоград: ВолгГАСА, 1997, с.29.
4. Хентов В.Я., Должикова Е.М. Корреляция содержания тяжелых металлов в урболандшафте на примере г.Новочеркаска./ Изв.вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки.1998.№2, с.71-73.
5. Должикова Е.М., Хентов В.Я., Надтока И.И. Анализ главных компонент распределения тяжелых металлов в сопредельных экологических средах. / Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч.тр. Вып.3 /РГАСХМ, Ростов н/Д., 1999.
6. Должикова Е.М., Приваленко В.В., Надтока И.И., Хентов В.Я. Применение многофакторного компонентного метода в литохимическом мониторинге г.Ростова-на-Дону. // Материалы 7 Всеросс. семинара. Новороссийск, 13-18 сент 1999г.
7. Должикова Е.М., Надтока И.И., Хентов В.Я., Приваленко В.В. Анализ распределения тяжелых металлов в системе почва - растения методом главных компонент. // Материалы 7 Всеросс. семинара. Новороссийск, 13-18 сент 1999г.
8. Должикова Е.М., Хентов В.Я., Приваленко В.В., Надтока И.И. Методическое исследование многофакторного распределения загрязняющих веществ в урболандшафтах.//Изв.вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2000 №1.