

Министерство природных ресурсов и экологии РФ

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт
(ФБГУ «СибНИГМИ»)

УДК 502.175-027.21
№ ГР 01201179229
Инв. №



УТВЕРЖДАЮ:
Директор института

В.Н.Крупчатников

« 5 » декабря 2013 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме 1.4.3.15

**РАЗРАБОТАТЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
АТМОСФЕРЫ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

(заключительный)

Зав ОПРКАВ, к.т.н.

А.П. Быков

Руководитель темы, к.г.н.

Т.С. Селегей

Новосибирск, 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, к.г.н.



Т.С. Селегей

Исполнители:

Зав. ОПРКАВ, к.т.н.



А.П. Быков

Старший научный сотрудник



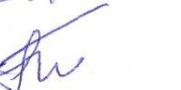
Н.Н. Филоненко

Старший научный сотрудник



Т.А. Суслина

Ведущий инженер



Т.Н. Ленковская

Техник 1 категории



Е.С.Тарасова

Нормоконтролер



Т.П. Панькова

РЕФЕРАТ

Отчет 131 с., 26 таблиц, 35 рисунков, 73 источника.

**РАЗРАБОТАТЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
АТМОСФЕРЫ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ).**

Ключевые слова: *атмосферный воздух, загрязняющие вещества, концентрации примесей, уровень загрязнения, комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы, коэффициент теплообеспеченности, коэффициент ветра, коэффициент осадков, Западная Сибирь.*

Объектом исследования является метеорологическая способность атмосферного воздуха территории Западной Сибири по рассеиванию загрязняющих веществ в период 1986-2010 гг.

Цель работы – районирование территории Западной Сибири по усовершенствованному комплексному показателю рассеивающей способности атмосферы, влияющему на формирование уровня загрязнения в городах Западной Сибири.

Рассчитан метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (МПЗА) по 196 метеостанциям Западной Сибири за период 1986-2010 гг, основанный на использовании повторяемостей: скоростей ветра 0-1 м/с, скоростей ветра ≥ 6 м/с, дней с туманом и дней с осадками $\geq 0,5$ мм. Установлены четкие границы для выделения зон по степени их предрасположенности к аккумуляции загрязняющих веществ: МПЗА $< 0,8$ (зона с благоприятными условиями для рассеивания примесей); $0,8 \geq \text{МПЗА} \leq 1,2$ (буферная зона, в которой с одинаковой вероятностью могут наблюдаться процессы, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и ее самоочищению); МПЗА $> 1,2$ (зона с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей); МПЗА $> 2,4$ (зона с крайне неблагоприятными условиями для рассеивания примесей). Построены карты распределения МПЗА по территории Западной Сибири за 1986, 2010гг и в среднем за период.

Показано, что за прошедший период метеорологические условия для рассеивания примесей ухудшились практически на всей территории Западной Сибири за счет резкого увеличения числа случаев со слабым ветром 0-1 м/с и одновременным уменьшением числа случаев с ветром ≥ 6 м/с и более, что связывается с зарастанием метеоплощадок.

В среднем за рассматриваемый период большая часть территории Западной Сибири имела хорошие условия для рассеивания примесей. Зоны с неустойчивой метеорологической обстановкой, где с одинаковой вероятностью могли наблюдаться условия, как способствующие загрязнению атмосферного воздуха, так и рассеиванию примесей, наблюдались на западной и восточной перифериях региона. Неблагоприятные условия отмечались устойчиво лишь на юго-востоке региона (Кемеровская область, восточные районы Алтайского края, республика Алтай). Такие же условия наблюдались в междуречье Оби и Иртыша (территория Васюганских болот).

Проведенный анализ показал, что МПЗА является преимущественно функцией ветровых характеристик местности (соотношения повторяемостей скоростей ветра $0-1$ м/с и ≥ 6 м/с). Доказано, что влияние туманов на его величину минимально (не более 3-5%), а учет осадков не отражает территориальных особенностей их выпадения.

Тем не менее, найденные зависимости между МПЗА и среднегодовыми концентрациями загрязняющих веществ, показали наличие значимых ($r \geq 0,5$) связей для большинства городов региона. Показано, что МПЗА, как ветровой показатель, подтвердил свою жизнеспособность и может в дальнейшем использоваться при планировании и размещении новых производств, а также при обосновании изменения среднегодовых примесей.

МПЗА является аналогом ПЗА (потенциалом загрязнения атмосферы), применяемым в РФ для описания климатических особенностей территорий с точки зрения их рассеивающей способности атмосферы. Корреляционная связь между МПЗА и ПЗА составляет 0,98. Если для расчета ПЗА требуются данные аэрологического зондирования и сложные математические расчеты, то преимущество предлагаемого показателя МПЗА состоит в его простоте расчета и использовании метеорологической информации, которая имеется на любой метеорологической станции.

На базе обоснования предикторов, заложенных в показатель МПЗА, разработан новый усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (УМПА), учитывающий теплообеспеченность территорий (Kt), режим ветра (Kv) и режим осадков ($Kосад.$). Найдено количественное выражение для каждого коэффициента и УМПА в целом. Проведено районирование территории Западной Сибири по новому показателю в среднем за 25-летний период.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- АВ - атмосферный воздух;
- ЗВ - загрязняющие вещества;
- ГГО - главная геофизическая обсерватория;
- ПЗА - потенциал загрязнения атмосферы;
- МПА - метеорологический потенциал атмосферы;
- ТПК - территориально-производственный комплекс;
- КАТЭЖ – Канско-Ачинский теплоэнергетический комплекс;
- МПЗА - метеорологический потенциал загрязнения атмосферы;
- ПДК_{мр} - предельно допустимая максимально разовая концентрация, мг/м³;
- ПДК_{сс} - предельно допустимая среднесуточная концентрация, мг/м³;
- ВОЗ - Всемирная организация здравоохранения;
- ИЗА₅ - индекс загрязнения атмосферы, который рассчитывается по 5-и самым высоким значениям среднегодовых концентраций;
- ИЗА₄ - индекс загрязнения атмосферы, рассчитанный по 4-м основным примесям (взвешенным веществам, сернистому ангидриду, оксиду углерода и диоксиду азота);
- Q_{ср} - среднегодовая концентрация примеси, мг/м³ ;
- K_t - коэффициент теплообеспеченности территории;
- K_v - коэффициент ветра;
- K_{осад.} - коэффициент осадков;
- УМПА - усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы;

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РФ (аналитический обзор)	10
2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АТМОСФЕРЫ ПО МЕТОДУ Т.С. СЕЛЕГЕЙ (ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ МЕТОДА, ЕГО ИНТЕРПРЕТАЦИИ).....	23
3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД ОБЩЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА (1986-2010 гг).....	28
4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	49
5. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ОТ ЕГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА	75
6. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ	85
7. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ	99
7.1. Коэффициент теплообеспеченности территории	99
7.2. Коэффициент ветра	108
7.3 . Коэффициент осадков	111
7.4. Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	123
СПИСОК ПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	126

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный воздух относится к категории неисчерпаемых ресурсов и как физическое тело практически неисчерпаем. Однако, его состав в результате выбросов вредных веществ в атмосферу, качественно претерпевает изменения и нуждается в постоянном контроле и возобновлении.

Природа сама обладает огромным потенциалом для самоочищения и поддержания своего равновесия и это самоочищение происходит непрерывно и протекает в связи с круговоротом веществ в природе.

Наиболее распространенный вид самоочищения атмосферного воздуха (АВ) – это смыв и рассеивание потоками воздуха пылевых и газообразных загрязняющих веществ, выбрасываемых промышленными предприятиями и автотранспортом. Очищение атмосферного воздуха происходит также в результате фотохимических реакций, превращающих токсичные загрязняющие вещества в безвредные нейтральные соединения. Интенсивность разложения органических загрязняющих веществ зависит от количества ультрафиолетовой радиации, наличия окислителей и температуры воздуха, при увеличении которой процессы самоочищения атмосферы происходят быстрее и интенсивнее. Очень сильное влияние на самоочищение атмосферы оказывают циркуляционные процессы. Господствующие в условиях антициклональной погоды нисходящие потоки воздуха приводят к накоплению загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы, циклоническая же деятельность способствует очищению атмосферного воздуха. К процессу самоочищения атмосферы относится и гравитационное осаждение аэрозолей на землю, и наличие растительного покрова, который адсорбирует и фильтрует на своей поверхности значительное количество пыли и газа. Относительная устойчивость атмосферы к самоочищению зависит также от наличия гидроксильного радикала (НО), уровень которого практически не меняется из года в год, что было доказано международной группой исследователей Национального управления по исследованию океанов и атмосферы NOAA [1]. Радикал участвует в формировании и распаде поверхностного озона и загрязнителей, вступает в реакцию и разрушает метан, углеводороды, угарный и сернистый газы, но не может удалять углекислый газ, закись азота и фторхлоруглеводороды.

Т.е. в природе есть достаточно механизмов для поддержания своего равновесия и до 50-60 –х годов прошлого столетия это равновесие практически соблюдалось. Однако бурное послевоенное строительство промышленных предприятий с большими выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и стремительный рост автотранспортных

средств пробили брешь в способностях природы к самоочищению. Наступил момент, когда неконтролируемый поток выбросов вредных веществ в атмосферу привел к формированию высоких концентраций примесей, особенно в районах с суровыми климатическими условиями. Для изучения этого вопроса американские ученые в 60-х годах прошлого столетия ввели понятие **метеорологического потенциала загрязнения атмосферы**, под которым подразумевался комплекс метеорологических условий рассеивания или накопления примесей, их диффузию и оседание, вымывание осадками и химические превращения. Это было необходимо для того, чтобы уже на стадии планирования и размещения промышленного предприятия, имеющего значительные выбросы вредных веществ в атмосферу, как можно рациональнее использовать природный потенциал местности.

В одних из первых работ [2] под высоким потенциалом загрязнения воздуха принималось сочетание следующих условий: скорости приземных ветров < 4 м/с; скорости ветра на уровне поверхности 500 гПа < 12 м/с; нисходящих движений воздуха ниже поверхности 600 гПа при продолжительности таких условий около 36 ч. В других работах [3] потенциал загрязнения атмосферы определялся по высоте основания приподнятых температурных инверсий и средней скорости ветра в слое инверсии или по высоте слоя перемешивания и средней скорости в слое перемешивания и т.д. В [4] предлагался метод определения потенциала загрязнения атмосферы в зависимости от высоты слоя перемешивания и средней скорости ветра для 8 типов атмосферных циркуляций для центральных месяцев каждого сезона по двум срокам наблюдений. Для каждого типа циркуляций были построены графики связи горизонтальной дисперсии и высоты слоя перемешивания. Анализ таких графиков показывал, что каждый тип циркуляции характеризуется своим потенциалом загрязнения.

В бывшем СССР первые такие разработки появились в конце 70-х годов и использовались в основном санитарной службой. В 80-х годах к этому процессу подключилась Гидрометслужба страны. В ГГО им. А.И. Воейкова под руководством Э.Ю. Безуглой был разработан комплексный показатель, учитывающий климатические особенности территории России, так называемый **потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА)**, который и до настоящего времени используется во всей официальной документации Росгидромета [5].

Комплексные показатели такого типа позволяют выбирать оптимальные места для размещения проектируемых промышленных предприятий, а, если место для вновь строящегося объекта уже выбрано и этот выбор продиктован социально-экономическими обстоятельствами, то, зная климатические условия для рассеивания примесей данной

территории, можно заранее планировать перечень природоохранных мероприятий и вносить ограничения на мощность объекта, высоту его труб и т.д..

Однако, за последние десятилетия применение ПЗА при решении практических задач стало затруднительным, как за счет произошедшего потепления климата и изменившихся в связи с этим природным ресурсом атмосферного воздуха, так и за счет перехода к новым формам хозяйствования и появлению новых нормативных и законодательных актов в сфере охраны окружающей среды и в частности атмосферного воздуха.

Поиск других моделей количественной оценки метеорологического потенциала загрязнения на сегодняшний день является крайне актуальным, т.к. от адекватной оценки природного потенциала атмосферного воздуха зависит экологическая безопасность РФ и каждого региона в отдельности.

В предлагаемом отчете проводится анализ наиболее распространенных методик по определению метеорологического потенциала загрязнения атмосферного воздуха в России, анализируются их достоинства и недостатки, а также предлагается новый показатель для определения рассеивающей способности атмосферы, учитывающий влияние ветра, осадков и температуры воздуха.

1. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РФ (аналитический обзор)

Поскольку состояние атмосферы претерпевает как внутри, так и межгодовые изменения, различают климатический и метеорологический потенциал загрязнения атмосферы. Климатический ПЗА отражает среднюю за многолетний период повторяемость метеорологических характеристик и является стабильной величиной. Метеорологический потенциал загрязнения (МПА) определяется конкретными метеоусловиями и постоянно изменяется.

Из первых работ по оценке влияния климатических условий на загрязнение атмосферного воздуха необходимо отметить разработки В.В. Крючкова [6], который предлагал оценивать способность территорий к самоочищению по средней за год скорости ветра, повторяемости штилей и годовому количеству выпадающих осадков. Предполагалось, что при среднегодовой скорости ветра менее 3 м/с, повторяемости штилей 75-50% и сумме осадков менее 300 мм самоочищения атмосферы практически не происходит. Средняя способность к самоочищению проявляется при скорости ветра 5-3 м/с, повторяемости штилей 50-30% и количестве выпавших осадков 450-300 мм в год; хорошая способность – при среднегодовой скорости ветра более 5 м/с, повторяемости штилей 0-30% и годовой сумме осадков свыше 450 мм.

Предложенная В.В. Крючковым оценка отличается простотой и в первом приближении может применяться для оценки метеорологического потенциала атмосферы на качественном уровне. Однако, недостатком данной методики является произвольность выбранных граничных условий, а также неполнота учета метеорологических факторов, влияющих на процессы рассеивания и накопления примесей в атмосфере. Кроме того, возникает неясность, как оценивать способность атмосферы к самоочищению, если по отдельным метеопараметрам она попадает в различные классы самоочищения.

Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), предложенный Э.Ю.Безуглой [5], основан на использовании климатической информации. Он показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, обусловленный реальной повторяемостью метеорологических условий, будет выше, чем в условном при заданных выбросах. За условный район принимается район с минимальными выбросами.

$$\text{ПЗА} = g_i/g_o, \quad (1.1)$$

где: g_i – средняя концентрация примесей в конкретном районе; g_o – средняя концентрация примесей в условном районе.

Формула для расчета ПЗА, выведенная с помощью физико-статистического метода оценки влияния метеорологических условий на содержание примесей в атмосфере, принимает вид:

$$\text{ПЗА} = 2,54 \exp\left[\frac{0,04}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0,4z_1}{z_2 - z_1}\right]$$

Параметры z_1 и z_2 определяются через аргументы интеграла вероятности:

$$\Phi_z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt,$$

при котором значения $\Phi(z)$ связаны с P_1 и P_2 соотношениями:

$$\Phi(z_1) = 1 - 2P_1 \quad \text{и} \quad \Phi(z_2) = 1 - 2P_2,$$

при этом:

$$P_1 = P_{ин} + P_{сл} - P_3 + P_m \quad (1.2)$$

$$P_2 = P_3 + P_m, \quad (1.3)$$

где: $P_{ин}$ – повторяемость приземных инверсий температуры, $P_{сл}$ – повторяемость скорости ветра 0-1 м/с, P_3 – повторяемость застоя воздуха, P_m – повторяемость туманов (вычисляется как отношение числа часов с туманом к общему числу часов в год).

Для условного района выбираются минимальные значения P_1 и P_2 , равные соответственно 0,10 и 0,05.

Как видно, приведенные для расчета ПЗА формулы используют метеорологические параметрами, которые можно получить только в том случае, если в условном месте имеются данные радиозондирования атмосферы. Однако, сеть аэрологических станций на территории РФ очень малочисленна, поэтому повторяемость инверсий ($P_{ин}$) и застоев (P_3) атмосферы в большинстве случаев рассчитываются по эмпирическим формулам, которые могут быть различны для разных климатических зон страны. Для континентальных районов РФ связь между $P_{сл}$ и $P_{ин}$ выражается по данным [7] следующим уравнением регрессии:

$$P_{ин} = 31,4 + 0,29 * P_{сл} \text{ и т.д.} \quad (1.4)$$

Зависимость между P_3 и $P_{сл}$ по данным того же источника может определяться по формуле:

$$P_3 = 0,73 P_{сл} - 3,6. \quad (1.5)$$

Различают низкий, умеренный, повышенный, высокий и очень высокий ПЗА. Средние годовые значения климатических параметров, определяющих ПЗА по зонам, представлены в таблице 1.1.

Расчет ПЗА был выполнен по данным 198 метеорологических станций бывшего СССР. По этим данным была построена карта распределения ПЗА по территории СССР и произведено районирование с выделением пяти зон по степени предрасположенности атмосферы к загрязнению, рисунок 1.1. Наилучшие условия для рассеивания примесей имеет Европейская территория страны. Вся Западная Сибирь (кроме южных горных районов Алтая) попадает в зону умеренного и повышенного ПЗА, т.е. в этих зонах в различные периоды года в приземном слое воздуха создаются примерно одинаковые условия как для рассеивания, так и накопления вредных примесей. Территория Восточной Сибири имеет повышенный, высокий и очень высокий потенциал загрязнения, т.е. вся территория находится в условиях низкой рассеивающей способности атмосферы. Именно по этой причине загрязнение воздуха здесь всегда выше, чем в Европейской части РФ.

Таблица 1.1 - Средние годовые значения климатических параметров, определяющих ПЗА по зонам

ПЗА	Значения ПЗА	Приземные инверсии			Повторяемость, %		Высота слоя перемешивания, км	Продолжительность туманов, ч
		Повторяемость, %	Мощность, %	Интенсивность, °С	Скорость ветра 0-1 м/с	Застоев воздуха		
Низкий	<2,4	20-30	0,3-0,4	2-3	10-20	5-10	0,7-0,8	80-350
Умеренный	2,4-2,7	30-40	0,4-0,5	3-5	20-30	7-12	0,8-1,0	100-550
Повышенный: Континентальные районы Приморские районы	2,7-3,0	30-45	0,3-0,6	2-6	20-40	8-18	0,7-1,0	100-600
		30-45	0,3-0,7	2-6	10-30	10-25	0,4-1,1	100-800
Высокий	3,0-3,3	40-50	0,3-0,7	3-6	30-60	10-30	0,7-1,6	50-200
Очень высокий	>3,3	40-60	0,3-0,9	3-10	50-70	20-45	0,8-1,6	10-600

Значения ПЗА используются во всех нормативных документах для учета климатических факторов при строительстве промышленных объектов, разработке территориальных комплексных схем охраны окружающей среды и решении других атмосфероохранных задач.

К недостаткам ПЗА следует отнести его низкую разрешающую способность по территории. Показатель требует данных аэрологического зондирования, которых в стране мало. Поэтому проведенное районирование следует рассматривать как общий фон климатической обстановки страны без ее детализации для конкретной местности и без

учета межгодовой изменчивости метеорологических параметров. При размещении же промышленных предприятий на вновь осваиваемых территориях требуется подробная картина именно местных климатических условий. К недостатком ПЗА следует отнести и тот факт, что он учитывает лишь условия, способствующие накоплению вредных примесей в атмосфере и не рассматривает условия, способствующие их рассеивания. В оперативной работе его использование затруднено из-за сложности расчета.

В 1987 г А.В. Григорьяном [8] был предложен расчет ПЗА для районов со сложной орографией местности, основанный на данных радиационного баланса или градиентных температурных измерений и скорости ветра. Метод не получил широкого признания, т к непригоден для использования в оперативной работе из-за сложности расчетов входящих в него параметров и отсутствия необходимых данных.

В работах Т.С. Селегей [9,10] был предложен достаточно простой способ расчета метеорологического потенциала атмосферы, учитывающий факторы, способствующие как загрязнению, так и рассеиванию примесей в атмосфере. Метод разрабатывался в середине 80-х годов, когда происходило бурное освоение Сибири путем создания территориально-производственных комплексов (ТПК) таких, как Иркутско-Черемховский, Братско-Усть-Илимский, КАТЭК, Западно-Сибирский нефтегазовый и др. Оптимальное распределение техногенных нагрузок на окружающую среду было необходимым условием при реализации этих планов.

Суть метода заключается в следующем. Известно, что одним из основных метеорологических параметров, способствующих накоплению вредных примесей в приземном слое воздуха, является повторяемость малых скоростей ветра 0-1 м/с. Эффект накопления загрязняющих примесей в атмосфере усиливают туманы, в некоторых случаях при этом увеличивается и токсичность примесей. Именно эти параметры были взяты как факторы, способствующие загрязнению атмосферы. В качестве факторов, способствующих очищению атмосферного воздуха, предлагалось считать повторяемость дней с сильным ветром, способным вынести вредные примеси из очага загрязнения, а также повторяемость дней с осадками, которые путем вымывания очищают атмосферный воздух. Установлено, что скорость ветра, способная вынести вредные вещества из города, должна быть не менее 6 м/с. Это обусловлено тем, что в промышленном городе обычно существует два максимума роста концентраций загрязняющих веществ: один при ветрах 0-1 м/с за счет выбросов многочисленных низких источников, другой при ветрах 4-6 м/с за счет выбросов высоких источников. Для осадков, способных очистить атмосферу от загрязнения, предлагалась величина 0,5 мм в сутки. Предполагалось, что такое количество осадков уже способно осадить придорожную пыль и другие аэрозоли.

Метеорологический потенциал атмосферы рассчитывался по формуле:

$$\text{МПА} = (P_{сл} + P_m) / (P_o + P_v), \quad (1.6)$$

где P – повторяемость, %; $P_{сл}$ – скоростей ветра 0-1 м/с, P_m – дней с туманом, P_o – дней с осадками более 0,5 мм, P_v – скоростей ветра ≥ 6 м/с.

Чем больше по абсолютной величине МПА, тем хуже условия для рассеивания примесей в атмосфере. Если МПА меньше 1, то в рассматриваемый период времени повторяемость процессов, способствующих очищению атмосферы, преобладает над повторяемостью процессов, способствующих накоплению в ней вредных примесей. В этом случае создаются хорошие условия для рассеивания примесей в атмосфере. Если МПА больше 1 – наоборот, преобладает повторяемость процессов, способствующих накоплению вредных примесей.

По средним за многолетний период значениям метеорологических элементов был рассчитан метеорологический потенциал загрязнения атмосферы для 807 станций бывшего СССР. Как выяснилось, диапазон колебаний многолетних среднегодовых значений МПА оказался в пределах 0,1 – 5,0. Минимальное значение МПА было отмечено на леднике Федченко (0,1), максимальное в Фергане (5,0). По значениям МПА было проведено районирование территории СССР и выделено три зоны по способности к самоочищению (рисунок 1.2). Хорошими условиями для рассеивания примесей в атмосфере считались такие, при которых значения МПА были менее 1; условия, при которых МПА больше 1, принимались как неблагоприятные для рассеивания примесей, а при МПА больше 3 – как крайне неблагоприятные.

Предложенное районирование по МПА по сравнению с районированием по ПЗА лишь в отдельных деталях отличались друг от друга. Граница, отделяющая МПА > 1 (плохие условия для рассеивания примесей) в основном совпадала с внешней границей 1У зоны районирования по ПЗА, которая отделяла высокий потенциал загрязнения атмосферы от повышенного. Значения МПА > 2 соответствовали очень высокому ПЗА. Значения МПА < 1 (хорошие условия для рассеивания примесей) соответствовали низкому, умеренному и повышенному ПЗА (1, П, Ш зоны).

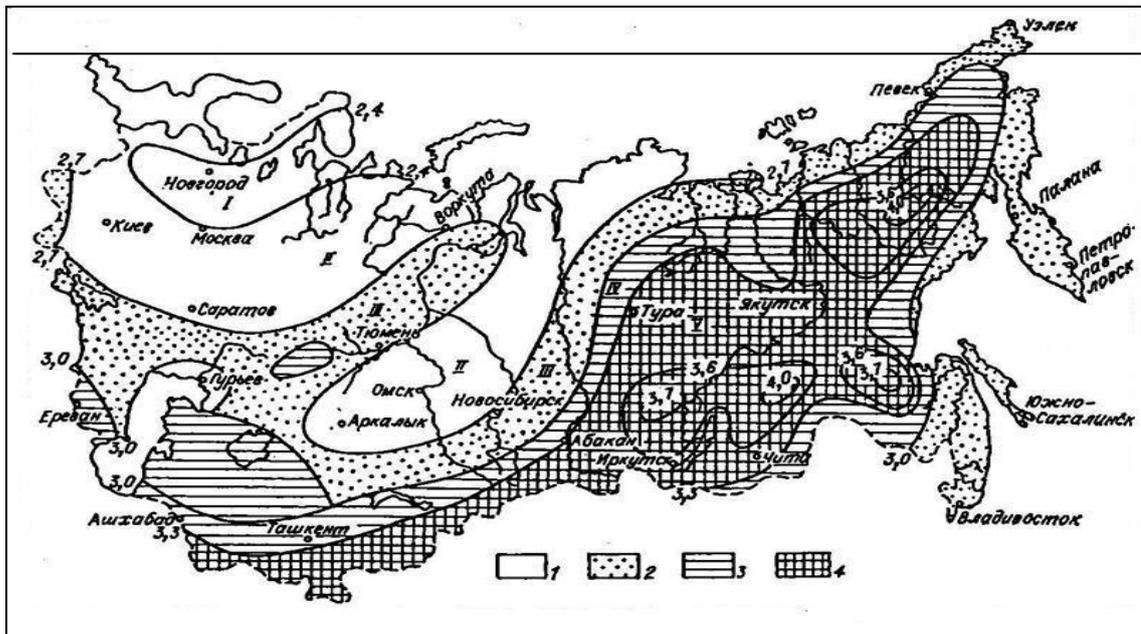


Рисунок 1.1 - Районирование территории СССР по потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА)

Условия для рассеивания примесей: 1 – низкий и умеренный; 2 – повышенный; 3 – высокий; 4 – очень высокий

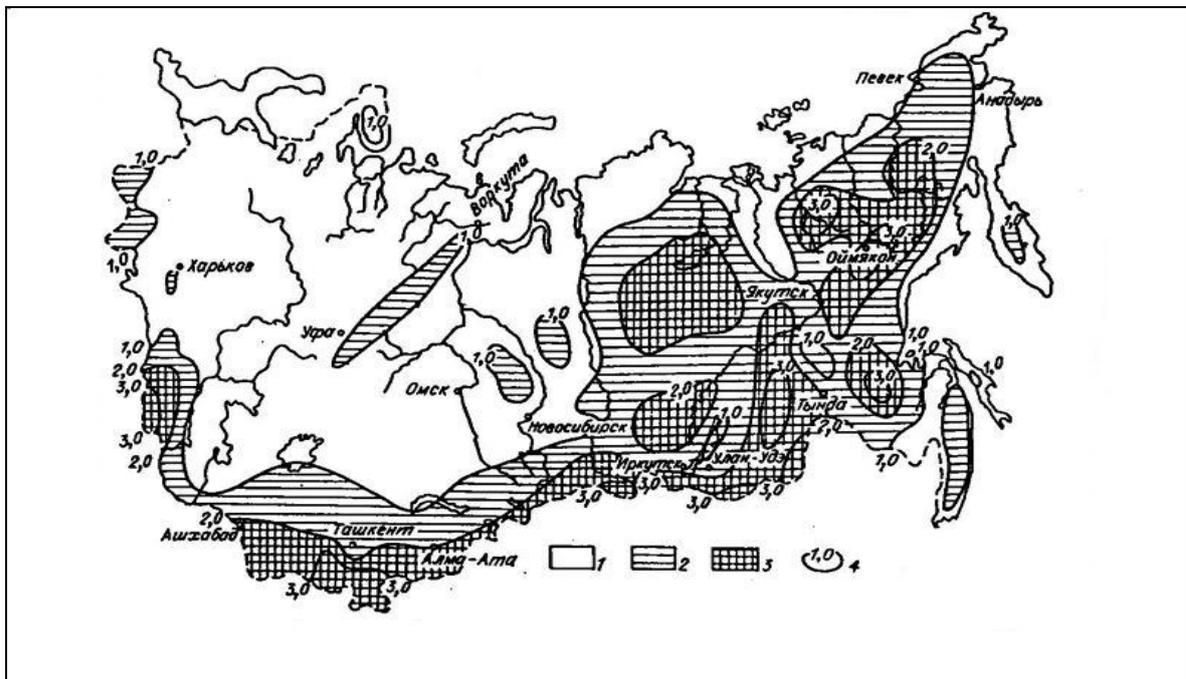


Рисунок 1.2 - Районирование территории СССР по метеорологическому потенциалу рассеивающей способности атмосферы (МПА)

Условия для рассеивания примесей: 1 – хорошие; 2 – способствующие накоплению вредных примесей; 3 – крайне неблагоприятные; 4 – показатель МПА.

Таким образом, формула 1.6 позволила на основе простой метеорологической информации рассчитывать метеорологический потенциал атмосферы с учетом факторов, способствующих как накоплению вредных примесей в атмосфере, так и ее самоочищению. Предлагаемый метод определения метеоемкости атмосферы, кроме применения в планировании и экспертизе природоохранных мероприятий, мог использоваться для оценки влияния метеорологических факторов на формирование уровня загрязнения атмосферы в любой временной ретроспективе.

Метод получил широкий отклик у специалистов-экологов [11,12 и др., где, помимо его признания и наличия связей с отдельными ингредиентами, высказывались замечания, которые будут обсуждаться в главе 2.

В 1994 г была опубликована статья Л.П. Сорокиной [13], где предлагалась методика региональной оценки условий формирования качества атмосферного воздуха, которая использовала подходы, аналогичные МПА, но с другими граничными условиями и набором метеоэлементов. В качестве факторов, способствующих накоплению примесей в атмосфере, принимались средние многолетние значения числа дней с туманами, относительной влажностью более 80% и штилем. Самоочищение атмосферы рассчитывалось по числу дней с сильным ветром (более 15 м/с) и осадками более 5 мм. Значения факторов нормировались на амплитуду относительно всего ряда наблюдений их значений в регионе. Отношение сумм нормировочных значений являлось величиной климатического потенциала самоочищения атмосферы (КПСА). КПСА зависел от определенного соотношения климатических параметров, так или иначе влияющих на загрязнение атмосферного воздуха. Значение КПСА на территории Сибири и Дальнего Востока изменялись от 0 до 4,5, но значения более 2,0 встречались крайне редко и были отнесены к максимальному потенциалу. Значения менее 0,1 отражали минимальные возможности климата для самоочищения атмосферы. Далее шкала была разделена через 0,5 единиц на градации, которые имели следующие характеристики: незначительный, слабый, умеренный, значительный КПСА.

Преимущества этого метода по отношению к МПА, как утверждает Л.П. Сорокина, состоит в нормировании, которое позволяет выявить и оценить роль каждого из факторов в их общем влиянии на загрязнение атмосферы. Недостатком метода можно считать техническую трудоемкость расчетов, которая, однако, окупается конкретностью и сравнимостью результатов.

Методика региональной оценки КПСА была апробирована для территорий Тывы и Иркутской области, а также для других территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Кроме того, Л.П. Сорокина и др. [13] попытались количественно оценить влияние орографии местности на формирование качества атмосферного воздуха в приземном слое Иркутско-Черемховской долины. Характеристики рельефа при этом оценивались через: абсолютную высоту над уровнем моря рассматриваемой территории и ориентацию форм рельефа по отношению к преобладающему переносу воздушных масс. Имеющаяся метеорологическая информация была представлена годовой амплитудой температуры воздуха (T), средней скоростью ветра (U), повторяемостью штилей ($Ш$), годовой суммой атмосферных осадков (O), числом дней с относительной влажностью более 80% (F) и качественной характеристикой условий образования приземных инверсий температуры. Соотношение всех этих параметров составлял мезоклиматический потенциал (МП) формирования качества атмосферного воздуха.

В зависимости от метеорологических условий местности была разработана шкала оценочных баллов (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Шкала оценочных баллов для определения потенциала атмосферы территорий со сложной орографией местности

Балл	$T, ^\circ\text{C}$	$U, \text{м/с}$	$Ш, \%$	$O, \text{мм}$	$F > 80\%$	Условия образования инверсий
1	<33,0	>3,0	1-14	>650	>40	Крайне неблагоприятные
2	34,0-36,9	2,5-2,9	15-24	550-649	40-49	Неблагоприятные
3	37,0-39,9	2,0-2,4	25-39	450-549	50-59	Хорошие
4	40,0-41,9	1,5-1,9	40-49	350-449	60-69	Благоприятные
5	>42,0	<1,5	>50	<350	>70	Весьма благоприятные

Низший балл (1) указывал на более благоприятные для самоочищения атмосферного воздуха климатические условия, а высший (5) – на менее благоприятные. Градации метеорологических показателей определялись диапазоном их изменения на рассматриваемой территории. Сопряженный анализ определенных ландшафтов позволил авторам рассчитать суммы баллов для них и определить пределы изменения МП для различных территорий Иркутской области, таблица 1.3

Таблица 1.3 - Мезоклиматические характеристики физико-географических выделений, балл

Выдел*	Ориентация,**	Метеорологические элементы						Сумма баллов
		Т	У	Ш	О	Ф	Условия образования инверсий	
1	А	3-4	3	2-3	4	4	3	20-21
	Б	5	4	4	4-5	3	4	24-25
П		3	2	2	3	5	3	18
Ш	А	3	4	4	1	3	4	19
	Б	3-4	5	5	1	3-4	5	22-23
1У		2-3	3-4	2	2	3-4	2	14-16
У		1-2	1-2	1	1	4-5	1	10-13
У1		1	3	2	2	5	5	18

1*- выровненные площадки (уклон 0-2°), широкие долины (более 10 км в поперечнике); П – холмистый рельеф с крутизной склонов 2-8°; Ш - горные долины шириной до 4 км; 1У – низкогорный рельеф с крутизной склонов 8-20°, Н=700 м; У – средне- и высокогорный рельеф с крутизной склонов 14-20°, Н>1000м; У1 – южное побережье оз. Байкал. ** - А – долины, ориентированные в направлении основного переноса воздушных масс; Б – долины, ориентированные перпендикулярно основному переносу.

Как видно из таблицы 1.3, в зависимости от физико-географических условий Иркутско-Черемховской долины, МП изменялся от 10 до 25 баллов. С учетом гипсометрической основы и карты крутизны склонов эта территория была дифференцирована по четырем градациям мезоклиматического потенциала: 10-13 баллов – оптимальный МП, 14-17 – средний, 18-21 – низкий и 22-25 – крайне низкий. Наиболее благоприятными условиями для формирования качества воздуха отличался средне- и высокогорный рельеф, самыми неблагоприятными – долины рек, ориентированные перпендикулярно основному переносу воздушных масс.

Подобные оценки, учитывающие факторы влияния ландшафтного строения территории на формирование качества атмосферного воздуха, представляются весьма перспективными, так как позволяют предусмотреть рациональное размещение промышленных объектов в сложных орографических условиях Сибири.

В работе [14] И. Н. Кузнецовой предложен метеорологический параметр загрязнения (МПЗ), основанный на учете метеопараметров в атмосферном пограничном слое в сочетании с наблюдающейся синоптической ситуацией для прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха Москвы. В таблице 1.4 приведены количественные характеристики и синоптическое описание метеорологического параметра загрязнения (МПЗ).

Первый тип МПЗ (слабое рассеивание) с баллом 0,5 отражает худшие условия для очищения атмосферного воздуха, определяемые неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ). МПЗ II типа (умеренное рассеивание) с баллами 1 и 2 – это условия, способствующие повышению уровня загрязнения до опасного за счет воздействия

городских выбросов, а МПЗ с баллами 3-7 описывает атмосферные условия между слабым и интенсивным рассеиванием примесей, при которых на большей части города содержание примесей в приземном слое повышается относительно фона, но не достигает критических уровней. МПЗ Ш типа (интенсивное рассеивание) с баллами 8-11 описывает условия очищения воздуха за счет интенсивного вертикального и горизонтального обмена, смены воздушных масс и вымывания примесей осадками.

Таблица 1.4 – Количественные характеристики и синоптическое описание метеорологического параметра загрязнения (МПЗ)

Характеристика интенсивности рассеивания (очищения)	Скорость ветра в приземном слое, м/с	Синоптическая ситуация: главные признаки	Термическая устойчивость, осадки, др. признаки	Балл МПЗ
<i>Поступление загрязненного воздуха из удаленных районов природных пожаров, крупных аварий и др. чрезвычайных событий, устанавливаемое по спутниковым изображениям, с помощью траекторного анализа переноса из зафиксированных очагов горения и др. информации</i>				0,5
I Слабое (НМУ)	Слабая в нижнем 1-1,5км слое $V_{(0-850)}=2-5$ Малоградиентное барическое поле, устойчивая стратификация		Инверсия температуры с нижней границей ≤ 150 м	1
			Близкая к изотермии стратификация температуры. Без осадков	2
II Умеренное	Умеренная в приземном слое $V_0 = 1-3$, в слое 0,5-1,5 $V_{(925-850)} = 6-7$	Малоградиентная периферия барического образования с выраженным направлением переноса. Возможно слабые непродолжительные осадки	Средний слой перемешивания не выше 300 м или близкая к изотермии стратификация в слое до 300 м	3
			Периферия антициклона	4
			Теплый сектор циклона, без осадков	5
			Периферия антициклона и слабые осадки (0,1-3,0 мм за 12 ч)	6
			Теплый сектор циклона, морозящие осадки	7
III Интенсивное	Сильная в слое 0,5-1,5 км $V_{(925-850)} \geq 8$	Градиентная периферия барического образования с выраженным направлением переноса, сменой воздушной массы или сильные осадки	Центр циклона со слабыми ветрами, средний слой перемешивания выше 300 м	8
			Резкая смена воздушной массы (на и.п. 925 гПа изменение температуры за 12 ч в холодный период $\geq 3^\circ\text{C}$, в теплый период $\geq 4^\circ\text{C}$)	9
			Зона атмосферного фронта, Умеренные или сильные осадки (больше 3мм/12ч)	10
			Средняя скорость в пограничном слое атмосферы более 10 м/с	11

Разработанная типизация МПЗ является основой для прогнозирования загрязнения воздуха в Москве и Московском регионе, т.е. имеет сугубо локальное применение.

Из публикаций, основанных на применении численных моделей ЗА, следует отметить работу украинских ученых [15], где на основе гауссовых стационарных моделей рассеивания примесей построена модель метеорологического потенциала загрязнения атмосферы с помощью преобразованного фактора разбавления примеси (МФР):

$$\text{МФР}_{(t)} = \frac{e^{-\lambda t} \cdot \delta t}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y(x) \cdot (u_z \cdot \delta t) \cdot H_m}, \text{ с/м}^3 \quad (1.7)$$

Для удобства анализа зависимости метеорологического фактора разбавления примеси от метеорологических условий авторы предлагают пользоваться обратной величиной от МФР, а именно потенциалом загрязнения, который выражается формулой:

$$\Phi = 2,5 \cdot \delta_y(x) \cdot ((u_z \delta t) \cdot H_m) \cdot e^{\lambda t}, \quad \text{м}^3 \quad (1.8)$$

где Φ – потенциал загрязнения, м^3 ; λ – постоянная, характеризующая скорость исчезновения примеси в диффундирующем облаке при наличии осадков; H_m – слой перемешивания примеси, м; δt – временной интервал, равный 20 мин, необходимый для определения разовой концентрации ($1,2 \cdot 10^3 \text{с}$); u_z – средняя в слое скорость ветра, м/с; $\delta_y(x)$ – горизонтальный масштаб переноса примеси.

Потенциал загрязнения атмосферы в данном случае можно интерпретировать как «объем воздуха, в котором при текущих погодных условиях равномерно распределен разовый единичный выброс примеси за интервал времени, необходимый для определения разовой концентрации». Следовательно, большие значения Φ будут свидетельствовать о высоких потенциальных способностях атмосферы рассеивать примесь, а малые – показывать наличие неблагоприятных погодных условий, ведущих к опасным уровням загрязнения атмосферы.

Объем воздуха, в котором равномерно будет распределен разовый единичный выброс примеси, можно представить как параллелепипед, размеры которого определяются составляющими Φ , а именно: длиной = $(u_z \delta t)$; шириной = $\delta_y(x)$, высотой = H_m . Для определения масштабов горизонтального и вертикального рассеивания в качестве классификации устойчивости пограничного слоя атмосферы была принята классификация GS (grade stability), адаптированная к условиям Украины.

В статье приводится таблица 1.5 значений Φ для теплого периода года (июнь-август) по данным аэрологической станции Киев.

Таблица 1.5 - Горизонтальный масштаб рассеяния, скорость ветра и фактор разбавления примеси, характерные для различных классов устойчивости по «GS» (июль, Киев)

Тип стратификации	Класс	$\delta_y(x)$, м	$u_z(GS)$, м/с	$H_m(GS)$, м	Φ , км ³
Сильная неустойчивость	1	368	1,5	2000	3,3
Умеренная неустойчивость	2	354	2,0	1800	3,8
Слабая неустойчивость	3	376	3,0	1200	4,0
Безразличное состояние	4	356	4,0	600	3,4
Слабая устойчивость	5	176	2,5	300	0,53
Умеренная устойчивость	6	82	1,5	100	0,074
Сильная устойчивость	7	42	1,0	50	0,006

Предлагаемая модель заслуживает внимания в плане учета стратификации атмосферы, но требует набора метеорологических данных, в том числе и аэрологических, которых в настоящее время Гидрометслужба в полном объеме предоставить не может.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что в исследованиях по количественному выражению загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от метеорологических факторов на современном этапе исследований, можно выделить три направления:

- исследования Э.Ю. Безуглой и предложенный ею потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), расчет которого основан на физико-статистическом методе оценки влияния климатических условий на содержание примесей в атмосфере;

- исследования Т.С. Селегей, Л. П. Сорокиной и др. (МПА, КПСА), основанные на применении простой метеорологической (климатической) информации, имеющейся на всей сети метеорологических наблюдений Гидрометслужбы;

- исследования И.Н. Кузнецовой, основанные на использовании синоптической ситуации для определенного региона;

- многочисленные исследования по определению потенциала загрязнения с помощью математических моделей.

Все чаще в экологических кругах высказывается мнение, что в связи с изменяющимися показателями климата и изменившимися подходами к охране атмосферного воздуха методика Э.Ю. Безуглой не отвечает новым запросам времени и ее дальнейшее применение трудоемко и неэффективно.

Математические модели по определению потенциала загрязнения атмосферного воздуха в будущем, очевидно, займут лидирующее место в практическом использовании, но в настоящее время система Гидрометслужбы не способна наполнить такие модели оперативными данными.

Поэтому все больший интерес представляют методики Т.С. Селегей, Л.П. Сорокиной и др., которые используют простую и доступную информацию и показывают неплохие корреляционные связи с отдельными загрязняющими веществами, а также могут быть адаптированы для любого региона.

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АТМОСФЕРЫ ПО МЕТОДУ Т.С. СЕЛЕГЕЙ (ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ МЕТОДА, ЕГО ИНТЕРПРЕТАЦИИ)

За прошедшие двадцать с лишнем лет со дня опубликования метода расчета метеорологического потенциала атмосферы, предложенного Т.С.Селегей [9] (журнал «География и природные ресурсы», 1990 г), он собрал довольно широкую аудиторию по своему использованию в практических целях с детальным анализом как положительных своих сторон, так и явных недостатков.

В работе [11] Ю.В. Русанов сопоставил средние месячные показатели загрязнения атмосферы диоксидом азота г. Томска с месячными значениями МПА и получил коэффициент корреляции, равный 0,69. Исходя из этого, он первый подтвердил обоснованность предложенного метода, но при этом несколько изменил граничные условия для его районирования. Он выделил 4 типа МПА: 1) $< 0,8$ (в атмосфере преобладают процессы, способствующие рассеиванию вредных примесей); 2) от 0,8 до 1,0 и 3) от 1,0 до 1,2 (здесь с одинаковой частотой могут происходить процессы, обуславливающие, как рассеивание, так и накопление примесей); 4) $> 1,2$ (преобладают процессы, способствующие накоплению вредных примесей). Ю.В. Русанов оценил вклад каждого метеорологического фактора в процессы самоочищения и накопления примесей в атмосфере. Вклад числа дней с осадками $> 0,5$ мм в процессы самоочищения в среднем за год составляет 40%, а скорости ветра более 6 м/с в зависимости от типа МПА – от 25 до 5%. Вклад в процессы накопления примесей в атмосфере скорости ветра 0-1 м/с в зависимости от типа МПА в среднем за год составляет 30-55% а числа дней с туманом – около 5%. Наибольший вклад в процессы самоочищения атмосферы вносят атмосферные осадки. Однако число дней с осадками $> 0,5$ мм изменяется в течение года незначительно, его изменчивость составляет 9%. Отсюда, делает выводы Ю.В Русанов, определяющим фактором в годовом цикле самоочищения и загрязнения атмосферы следует считать режим ветра.

О.С. Визенко [12] через МПА оценил возможность самоочищения атмосферного воздуха над котловиной Байкала и прилегающей к нему территории. Он отметил, что метеорологические параметры, заложенные в формулу расчета МПА, определены для высоты стандартного флюгера сети метеорологических станций и относятся к приземному слою воздуха с преобладанием конвективного перемешивания. Для территорий котловинного типа Байкала метод практически неприемлем, т.к. в таких орографических

образованиях определяющую роль играет инверсионно стратифицированная атмосфера, которая блокирует конвективную циркуляцию. Инверсионное распределение температуры воздуха в котловине Байкала, усугубленное горным окружением озера, препятствует выносу загрязнений за пределы котловины и затрудняет самоочищение ее воздушного бассейна.

В работе [16] высказана справедливая критика в отношении названия МПА. Чем выше значения МПА, тем должны быть хуже условия самоочищения атмосферы. Логичнее считать, что большие значения МПА должны характеризовать лучшие условия для рассеивания примесей. МПА характеризует условия накопления, а не рассеивания. Поэтому авторы предлагают рассчитывать коэффициент самоочищения атмосферы K , обратный МПА :

$$K = 1/\text{МПА} \quad (2.1)$$

Таким образом, коэффициент самоочищения атмосферы определяется как отношение повторяемости условий, благоприятствующих удалению примесей из атмосферы, к повторяемости условий, способствующих накоплению загрязнителей. Для тех районов, в которых число дней с туманами невелико, но значительна повторяемость приземных задерживающих слоев, при расчете K авторы предлагают учитывать вместо повторяемости туманов P_m , повторяемость инверсий $P_{ин}$. Тогда формула для расчета K принимает вид:

$$K = (P_v + P_o) / (P_{ш} + P_{ин}), \quad (2.2)$$

При этом авторы выделяют пять групп K : при $K > 1,25$ создаются благоприятные условия для рассеивания атмосферы, при $1,25 \geq K > 0,8$ – относительно благоприятные, при $0,8 \geq K > 0,4$ –относительно неблагоприятные, при $0,4 \geq K \geq 0,25$ неблагоприятные и при $K \leq 0,25$ – крайне неблагоприятные.

На наш взгляд, если замена МПА показателем K логична, то замена повторяемости туманов на повторяемость инверсий, делает формулу сугубо локальной, т. к. не во всех городах есть аэрологические наблюдения. Кроме того, как правило, на 80-85% инверсия сопровождается слабыми ветрами, поэтому в знаменателе присутствуют два равнозначных фактора. При этом в другой статье этих же авторов [17] написано, что повторяемость инверсий рассчитывалась по уравнениям линейной регрессии, приведенным в справочном пособии [7].Вообще, коэффициенты корреляции между повторяемостью случаев с ветром ≤ 1 м/с и приземной инверсией зимой, например, в условиях Западной Сибири по данным [18] составили для г. Новосибирска $0,87 \pm 0,02$, для Барабинска $0,93 \pm 0,01$ и для Колпашево $0,96 \pm 0,01$, т.е. в этих пунктах повторяемость слабых ветров ≤ 1 м/с учитывает и повторяемость приземных инверсий..

В работе [19] из-за невозможности осуществлять постоянный контроль за величиной ПЗА вследствие нерегулярности проводимых аэрологических наблюдений была предложена возможность использования коэффициента $K = 1/\text{МПА}$ для восстановления значений ПЗА. Зависимость между величинами ПЗА и K выражается уравнением регрессии:

$$\text{ПЗА} = 0,83 K + 1,95 \quad , \quad (2.3)$$

а коэффициент парной корреляции между значениями ПЗА и K получился равным 0,98.

Б.Б. Чебоненко [20], анализируя показатель МПА, указывала на то, что предлагаемый показатель МПА использует метеорологические характеристики, измеренные в приземном слое атмосферы, а следовательно характеризуют рассеивающую способность атмосферы от выбросов только низких источников. Когда речь идет о крупных энергетических объектах (ТЭС, КЭС, ТЭЦ) , выбросы которых поступают в пограничный слой, а иногда и за его пределы, где градиенты метеоэлементов существенно другие и даже процессы описываются разными формулами, важно оценивать интегральные потенциальные возможности слоя, в котором происходит рассеивание, т.к. именно от них зависят размеры и уровень загрязнения воздуха у земли, в результате этого оценки положительности или отрицательности загрязнения для высоких (выброс в пограничный слой) и низких (выброс в приземный слой) источников оказываются разными.

При малых скоростях ветра в пограничном слое резко возрастает начальный подъем факела выброса от горячих источников (ΔH), слой рассеивания также резко возрастает ($H + \Delta H$) и может составить h_0 – высоту пограничного слоя и тогда, обратно пропорционально квадрату высоты слоя, уменьшается концентрация примеси у земли. Если $H + \Delta H < h_0$, то при слабых ветрах и штилях объем разбавления примеси очень мал и у земли формируется поле высокого загрязнения воздуха. То есть модель предложенного МПА действует согласно логики и теории.

Другое дело, когда речь идет о скоростях ветра более 6 м/с, при которых создается наибольшее загрязнение от высоких источников. Если в пограничном слое скорости ветра большие, развивается активная турбулентность и факел более интенсивно прибавляется к земле. Отсюда следует, что чем больше скорость ветра , тем чаще наблюдаются плохие условия для высоких источников, в то время как по формуле (1.6) это приводит к более благоприятным условиям для рассеивания примесей. Таким образом, для высоких источников формула 1.6 не применима.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что концепция методики расчета метеорологического потенциала атмосферы с помощью МПА, в принципе, одобрена большинством пользователей. Высказанные замечания можно объединить в четыре проблемы:

- неприятие названия показателя. По Т.С. Селегей чем выше значения МПА, тем хуже условия для самоочищения атмосферы. Логичнее считать, что большим значениям МПА должны соответствовать лучшие условия для рассеивания примесей. Поэтому предлагалось рассчитывать не МПА, а $1/\text{МПА}$. В таком виде показатель будет представлять собой отношение повторяемости условий, благоприятствующих удалению примесей из атмосферы, к повторяемости процессов, способствующих накоплению загрязнителей.

- предложенные граничные условия районирования территорий по МПА не выделяют всю гамму имеющихся нюансов. Большинство авторов предлагают граничные условия изменить и выделить 3 типа МПА: $\text{МПА} < 0,8$ (хорошие условия для рассеивания примесей); МПА от 0,8 до 1,2 (при таких условиях с одинаковой частотой могут происходить процессы, обуславливающие как рассеивание, так и накопление примесей); $\text{МПА} > 1,2$ (преобладают процессы, способствующие накоплению вредных примесей).

- показатель не работает для высоких источников (более 100 м);

От себя мы можем добавить, что в показателе не учитывается влияние температурного фактора. При районировании территорий по МПА или ПЗА районы Крайнего Севера попадают в зону хорошей рассеивающей способности атмосферы в основном за счет большой повторяемости сильных ветров (более 6 м/с). Однако, как известно, районы Крайнего Севера имеют суровые природно-климатические условия за счет низких температур воздуха, малой продолжительности солнечного сияния и низких значений суммарной радиации. Все эти условия приводят к тому, что вегетационный период в северных районах очень недолог, что сказывается на формировании и продуктивности местной биоты, а растительность, как известно, является естественным поглотителем вредных загрязняющих веществ в атмосфере. Кроме того, при низких температурах замедляются процессы фотохимических реакций, а удлинение отопительного периода приводит к еще большему выбросу вредных веществ в атмосферу.

Целью дальнейших исследований является:

- на базе данных 1986-2010 гг рассчитать значения МПА по всем метеостанциям территории для выявления межгодовой изменчивости показателя, выяснения влияния

потепления климата на процессы рассеивания в атмосфере, а также для уточнения граничных условий районирования;

- на базе данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов региона, где осуществляется их мониторинг, исследовать зависимость этих показателей от МПА;

- на базе данных по температуре воздуха провести исследования влияния температуры воздуха на формирование уровня загрязнения атмосферы в количественном эквиваленте;

- разработать усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы с учетом влияния как скорости ветра, осадков, так и температуры воздуха;

- провести районирование территории Западной Сибири по новому показателю с обоснованием граничных условий для выделения зон с различным уровнем загрязнения.

3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД ОБЩЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА (1986-2010 гг)

Объектом исследования являлся обширный регион Западной Сибири, площадь которого составляет 2,43 млн. км², население около 15000 тыс. человек. В административном плане на этой территории располагаются Кемеровская, Новосибирская, Томская, Омская и Тюменская области; Алтайский край; республика Алтай ;Ханты- Мансийский и Ямало-Ненецкий а. о.

Комплекс метеорологических условий, способствующих загрязнению атмосферного воздуха (МПЗА) в период максимального потепления климата (1986-2010 гг), рассчитывался по той же формуле, что и ранее:

$$\text{МПЗА} = (P_{\text{сл}} + P_m) / (P_o + P_v), \quad (3.1)$$

где: в числителе учитывались факторы, способствующие загрязнению атмосферы, а в знаменателе – факторы, способствующие рассеиванию примесей. Чем выше по абсолютной величине МПЗА, тем хуже будут метеорологические условия для рассеивания примесей в атмосфере на данной территории. *Предыдущее название метеорологического потенциала атмосферы (МПА) заменено на МПЗА, что более соответствует его смыслу.*

За период с 1986 по 2010 гг для каждого года по формуле (3.1) были рассчитаны значения МПЗА по 196 метеорологическим станциям Западной Сибири. Для каждой метеорологической станции были получены средние за 25-летний период значения МПЗА, его среднеквадратичные отклонения, а также получены линейные тренды изменения величин МПЗА за рассматриваемый период, таблица 3.1.

Таблица 3.1 - Средние за 25- летний период (1986-2010 гг) значения МПЗА по метеорологическим станциям Западной Сибири

№	Метеостанция	МПЗА	1/ МПЗА	Сигма	Тренд
1	Александровск	0,31	3,22	0,31	0,18
2	Ванжиль-Кынак	1,51	0,66	0,26	
3	Напас	0,78	1,28	0,16	0,04
4	Прохоркино	0,66	1,52	0,21	0,58
5	Березовка	1,09	0,92	0,21	0,06

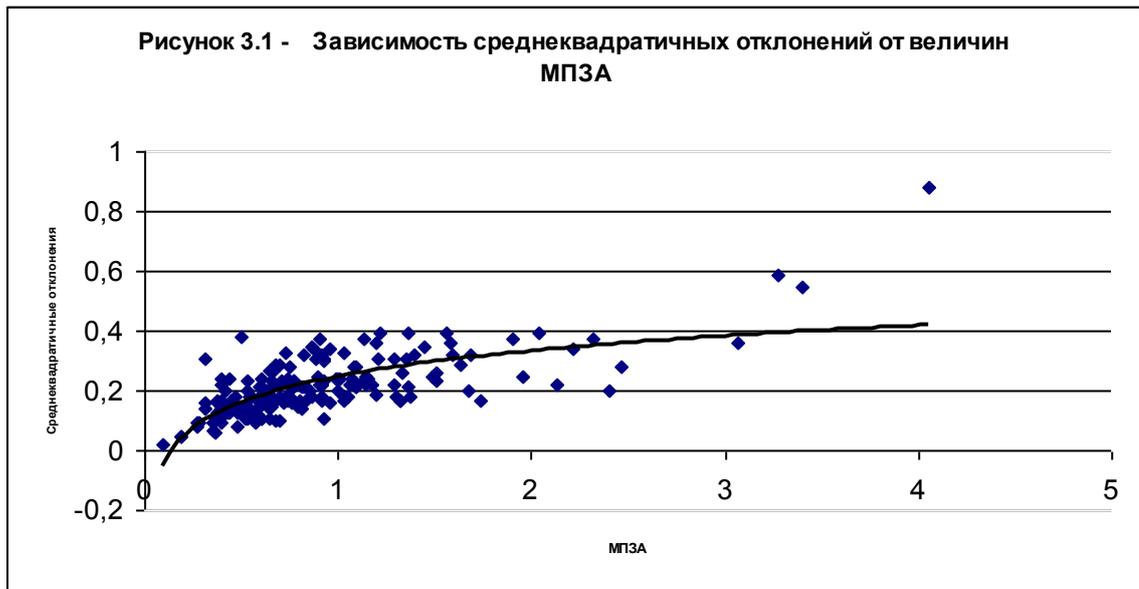
6	Средний Васюган	0,79	1,26	0,15	0,00
7	Каргасок	0,47	2,13	0,14	0,26
8	Ость-Озерное	0,92	1,09	0,31	0,72
9	Парабель	0,73	1,37	0,33	0,86
10	Новый Васюган	0,37	2,70	0,13	-0,11
11	Степановка	1,00	1,00	0,20	0,12
12	Колпашево	0,91	1,10	0,22	0,48
13	Старица	1,29	0,78	0,31	0,50
14	Майск	1,21	0,83	0,31	
15	Подгорное	0,35	2,86	0,07	-0,02
16	Багурино	0,81	1,23	0,14	0,13
17	Пудино	0,60	1,67	0,11	0,17
18	Молчаново	0,55	1,82	0,18	0,29
19	Тегульдет	1,14	0,88	0,25	0,60
20	Бакчар	0,48	2,68	0,08	0,10
21	Первомайское	1,09	0,92	0,21	0,43
22	Томск	1,51	0,66	0,23	0,57
23	Кожевниково	0,91	1,10	0,22	0,47
24	Кыштовка	0,53	1,89	0,20	-0,35
25	Северное	0,72	1,39	0,16	0,23
26	Крещенка	0,80	1,25	0,17	0,20
27	Венгерово	0,67	1,49	0,27	0,74
28	Болотное	1,05	0,95	0,18	0,34
29	Усть-Тарка	0,71	1,41	0,23	0,08
30	Чаны	0,44	2,27	0,13	-0,02
31	Барабинск	0,42	2,38	0,13	-0,21
32	Убинское	0,56	1,79	0,12	0,03
33	Колывань	0,39	2,56	0,17	0,44
34	Мошково	1,22	0,82	0,39	1,10
35	Татарск	0,63	1,59	0,15	0,16
36	Каргат	0,52	1,92	0,12	0,22
37	Тогучин	0,99	1,01	0,24	0,30
38	Чулым	0,45	2,22	0,17	0,26
39	Огурцово	0,58	1,72	0,12	0,23
40	Квашнино	0,50	2,00	0,14	
41	Коченево	0,77	1,30	0,23	0,46
42	Учебная при ГПТУ-7	1,36	1,74	0,39	-0,71
43	Обская ГМО	0,91	1,10	0,22	0,48
44	Чистоозерное	0,74	1,35	0,24	-0,09
45	Здвинск	0,31	3,22	0,16	0,41
46	Ужаниха	0,81	1,23	0,16	0,22
47	Искитим	0,96	1,04	0,16	0,24
48	Довольное	0,53	1,89	0,23	0,42
49	Остров Дальний	0,77	1,30	0,23	
50	Купино	0,36	2,78	0,11	-0,15
51	Ордынское	1,09	0,92	0,28	0,58
52	Кочки	0,59	1,69	0,15	0,34
53	Посевная	0,59	1,69	0,16	0,34
54	Маслянино	1,36	0,74	0,21	0,28
55	Баган	0,41	2,44	0,15	-0,23
56	Краснозерск	0,44	2,27	0,24	-0,10
57	Сузун	1,17	0,85	0,22	0,41
58	Карасук	0,52	1,92	0,14	0,30
59	Яя	0,85	1,18	0,20	0,17
60	Тайга	0,53	1,89	0,11	0,07
61	Мариинск	0,92	1,09	0,23	0,57
62	Тяжин	0,65	1,54	0,15	0,32
63	Тисуль	0,80	1,25	0,16	0,33
64	Юрга	0,75	1,33	0,28	0,72
65	Барзас	0,93	1,08	0,11	0,01
66	Топки	0,75	1,33	0,18	0,51
67	Кемерово, агро	0,90	1,11	0,22	0,61
68	Центральный рудник	0,57	1,75	0,09	0,04
69	Крапивино	1,30	0,77	0,18	0,31
70	Промышленная	1,29	0,78	0,22	-0,20
71	Красное	1,58	0,63	0,36	-0,02
72	Белово	0,70	1,43	0,22	0,52

73	Киселевск	0,91	1,10	0,18	0,09
74	Новокузнецк	0,64	1,56	0,11	0,18
75	Междуреченск	1,74	0,57	0,17	0,19
76	Кузедеево	1,32	0,76	0,17	-0,14
77	Кондома	2,13	0,47	0,22	0,02
78	Таштагол	1,67	0,60	0,20	0,28
79	Усть-Кабырза	2,40	0,42	0,20	-0,06
80	Камень-на-Оби	0,86	1,16	0,35	0,82
81	Тальменка	1,68	0,60	0,32	0,53
82	Заринск	1,59	0,63	0,32	0,23
83	Хабары	1,15	0,87	0,24	0,32
84	Тогул	0,68	1,47	0,10	0,05
85	Шелаболиха	0,96	1,04	0,34	
86	Барнаул	1,14	0,88	0,25	0,58
87	Басво	0,62	1,61	0,20	
88	Ребриха	0,82	1,22	0,21	-0,01
89	Целинное	0,54	1,85	0,14	
90	Славгород	0,38	2,63	0,11	0,05
91	Троицкое	1,37	0,73	0,18	0,06
92	Благовещенка	0,39	2,56	0,22	0,52
93	Мамонтово	0,89	1,12	0,25	0,54
94	Бийск, зонал.	1,35	0,74	0,31	-0,41
95	Бийск	0,83	1,20	0,21	0,36
96	Кулунда	1,10	0,91	0,70	2,04
97	Родио	0,40	2,50	0,14	-0,01
98	Алейская	1,00	1,00	0,24	0,32
99	Усть-Чарышская пристань	1,03	0,97	0,17	0,12
100	Ключи	0,79	1,27	0,52	1,31
101	Шипуново	1,14	0,88	0,22	0,36
102	Усть-Калманка	0,70	1,43	0,18	0,30
103	Волчиха	0,40	2,50	0,09	0,12
104	Поспелиха	1,13	0,88	0,37	-0,15
105	Краснощеково	1,06	0,94	0,22	0,35
106	Солонешное	2,21	0,45	0,34	0,44
107	Рубцовск	0,36	2,78	0,06	0,08
108	Угловское	0,81	1,23	0,21	-0,18
109	Чарышское	2,32	0,43	0,37	0,56
110	Змеиногорск	1,03	0,97	0,18	0,24
111	Горняк	0,76	1,32	0,16	0,45
112	Турочак	1,95	0,51	0,25	
113	Горно-Алтайск	1,39	0,72	0,32	0,63
114	Кызыл-Озек	1,63	0,61	0,29	0,04
115	Яйлю	1,32	0,76	0,17	0,07
116	Чемал	1,90	0,53	0,37	0,94
117	Шебалино	1,49	0,67	0,25	0,63
118	Усть-Кан	3,27	0,31	0,59	0,58
119	Онгудай	3,40	0,29	0,55	-0,41
120	Усть-Кокса	2,46	0,41	0,28	-0,32
121	Катанда	3,07	0,33	0,36	-0,65
122	Кош-Агач	4,05	0,25	0,88	1,91
123	Кара-Тюрек	0,37	2,70	0,16	0,17
124	Ак-Кем	1,56	0,64	0,39	0,68
125	Газовск	0,19	5,26	0,05	0,05
126	Ныда	0,09	11,11	0,02	-0,01
127	Салехард	0,70	1,43	0,10	0,14
128	Новый Уренгой	0,19	5,26	0,05	0,15
129	Полуй	0,91	1,10	0,32	
130	Уренгой	0,39	2,56	0,15	0,39
131	Питляр	0,48	2,08	0,15	0,23
132	Пангоды	0,31	3,23	0,14	
133	Красноселькупск	0,37	2,70	0,17	0,31
134	Надым	0,28	3,57	0,09	0,00
135	Мужи	0,50	2,00	0,13	0,24
136	Тарко-Сале	0,45	2,22	0,15	
137	Толька	0,64	1,56	0,17	0,44
138	Халесовая	0,68	1,47	0,29	
139	Саранпауль	1,20	0,83	0,19	0,21

140	Березово	0,43	2,33	0,13	0,29
141	Сосьва	2,04	0,49	0,39	0,82
142	Казым	0,74	1,35	0,19	0,05
143	Юильск	0,68	1,47	0,22	0,15
144	Игрим	0,50	2,00	0,38	
145	Ноябрьск	0,35	2,86	0,09	
146	Октябрьское	1,33	0,75	0,26	0,44
147	Няксимволь	1,65	0,61	0,83	
148	Когалым	0,39	2,56	0,24	-0,61
149	Радужный	0,42	2,38	0,20	0,17
150	Вон-Еган	1,03	0,97	0,33	0,88
151	Корлики	0,83	1,20	0,17	
152	Сытомино	0,74	1,35	0,17	0,12
153	Ларьяк	0,64	1,56	0,19	0,14
154	Ханты-Мансийск	0,77	1,30	0,21	0,58
155	Нефтеюганск	0,27	3,70	0,08	0,02
156	Ваховск	1,04	0,96	0,42	
157	Нижневартовск	0,27	3,70	0,09	0,14
158	Угут	0,76	1,32	0,17	
159	Шаим	0,67	1,49	0,16	0,11
160	Алтай	0,90	1,11	0,37	
161	Салым	0,88	1,14	0,31	0,88
162	Кондинское	0,46	2,17	0,15	0,24
163	Леуши	0,61	1,64	0,19	0,52
164	Таурово	1,45	0,69	0,35	
165	Куминская	1,20	0,83	0,36	0,96
166	Демьянское	1,01	0,99	0,24	0,55
167	Уват	0,66	1,52	0,23	0,61
168	Тобольск	0,60	1,67	0,19	0,37
169	Вагайское	0,44	2,27	0,15	0,17
170	Ярково	0,90	1,11	0,22	0,33
171	Тюмень	0,86	1,16	0,18	0,32
172	Викулово	0,58	1,72	0,14	0,10
173	Ялуторовск	0,45	2,22	0,17	0,39
174	Гольшманово	0,87	1,15	0,34	0,59
175	Абатский	1,07	0,93	0,24	
176	Ишим	0,64	1,56	0,19	
177	Сладково	0,47	2,13	0,18	0,27
178	Усть-Ишим	0,60	1,67	0,11	0,08
179	Тевриз	0,52	1,92	0,11	0,04
180	Тара	0,76	1,32	0,22	0,50
181	Седельниково	0,82	1,22	0,32	0,80
182	Большие Уки	0,91	1,10	0,17	0,20
183	Большеречье	0,70	1,43	0,29	0,57
184	Тюкалинск	0,54	1,85	0,18	0,06
185	Назыревск	0,35	2,86	0,09	
186	Саргатское	0,59	1,69	0,21	0,30
187	Омск	0,93	1,08	0,30	0,87
188	Калачинск	0,60	1,67	0,24	0,48
189	Исилькуль	0,62	1,61	0,18	-0,05
190	Любимовка	0,48	2,08	0,13	0,20
191	Щербакуль	0,50	2,00	0,15	
192	Полтавка	0,53	1,89	0,15	0,04
193	Одесское	0,64	1,56	0,27	
194	Павлоградка	0,60	1,67	0,21	-0,16
195	Черлак	1,08	0,93	0,28	0,45
196	Русская Поляна	1,13	0,88	0,23	-0,04

Как видно из таблицы 3.1, средние значения МПЗА на территории Западной Сибири в период 1986-2010 гг колебались от 0,09 (Ныда, Ямало-Ненецкий а.о.) до 4,05 (Кош-Агач, Республика Алтай), хотя в отдельные годы минимальные значения МПЗА опускались в Ныде до 0,06 (2002 г.), а максимальные в Кош-Агаче поднимались до 5,93 (2002 г.).

Для районирования территории Западной Сибири по величине МПЗА необходимо было вначале определиться с граничными условиями, определяющими процессы накопления и рассеивания примесей. В первоначальном варианте [9] таким граничным барьером считалась величина, равная 1, что вызывало справедливую критику у потребителей, т.к. эта граница была слишком условной. Для решения этой задачи были проанализированы значения среднеквадратичных отклонений МПЗА во всем диапазоне изменения самого показателя, рисунок 3.1.



Как видно, среднеквадратичные отклонения (σ) МПЗА изменяются по логнормальному закону, т.е. увеличиваются с ростом показателя. Для МПЗА = 1 межгодовая его изменчивость составляет $\pm 0,2$; при МПЗА = 2 - σ возрастает до $\pm 0,3$; при МПЗА = 3 - $\sigma = \pm 0,4$. Картирование значений среднеквадратичных отклонений по территории Западной Сибири (рисунок 3.2) показало, что наиболее стабильными территориями по МПЗА ($\sigma = \pm 0,0 - 0,2$) является центральная часть Западно-Сибирской низменности, протянувшаяся от крайних арктических широт до южных районов Тюменской и Омской областей. Очевидно, эти территории за рассматриваемые годы имели стабильные синоптические процессы, которые не способствовали резким колебаниям метеорологических показателей, влияющих на загрязнение атмосферного воздуха. Самыми нестабильными территориями региона были районы Васюганских болот, расположенные между средним течением Оби и Иртыша, а также районы Северного Урала и предгорные и горные районы Алтайского края, Кемеровской области и республики Алтай. Здесь среднеквадратичные отклонения МПЗА колебались в диапазоне $\pm 0,3 - 0,4$.

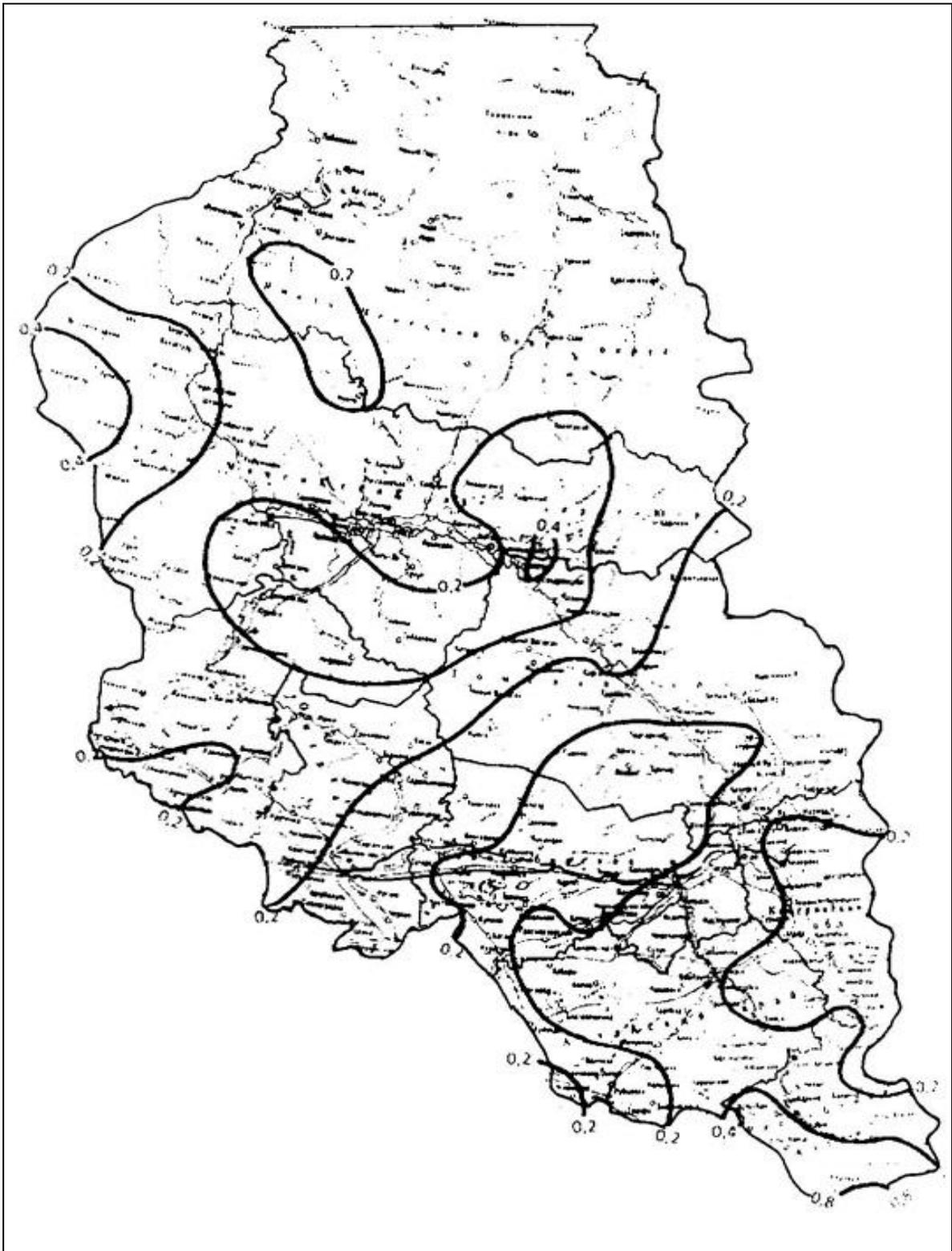


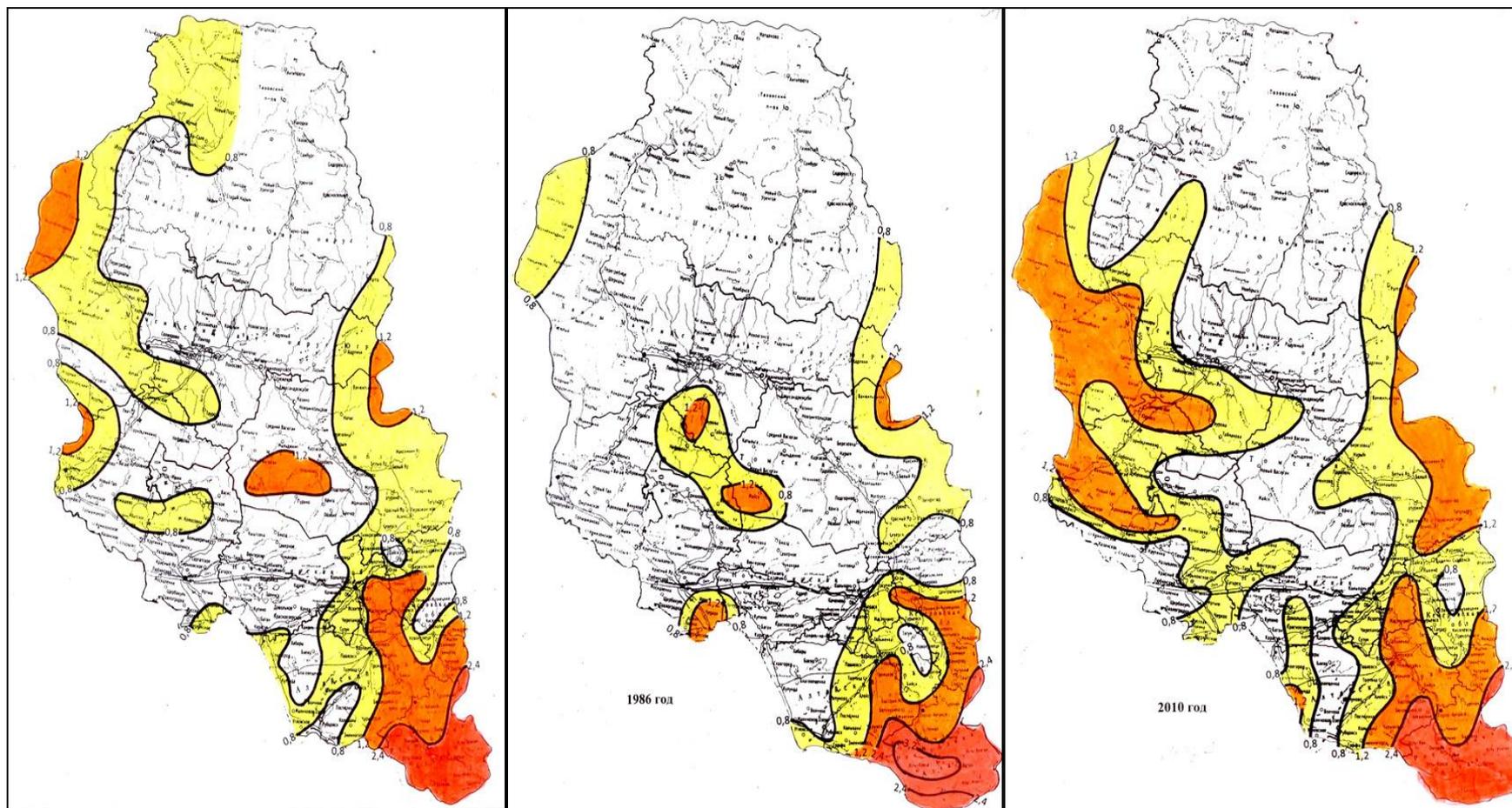
Рисунок 3.2 - Распределение среднеквадратичных отклонений МПЗА по территории Западной Сибири, 1986-2010 гг

Исходя из значений среднеквадратичных отклонений МПЗА, предлагаются следующие граничные условия для выделения территорий по степени их предрасположенности к накапливанию или рассеиванию примесей:

- МПЗА < 0,8 - зона с благоприятными условиями для рассеивания примесей;
- $0,8 \geq \text{МПЗА} \leq 1,2$ - буферная зона или зона риска, в которой с одинаковой вероятностью могут наблюдаться процессы, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и ее самоочищению;
- МПЗА > 1,2 - зона с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей;
- МПЗА > 2,4 - зона с крайне неблагоприятными условиями для рассеивания примесей;

Распределение средних за 25-летний период значений МПЗА по территории Западной Сибири с районированием его значений по новым граничным условиям (рисунок 3.3 а) показало, что большая часть региона за прошедшие годы имела хорошие условия для рассеивания примесей. Это территория Западно-Сибирской низменности, ограниченная с запада предгорьями Урала, с востока Красноярским краем, а с юго-востока Алтайским краем, Новосибирской и Томской областями. Неблагоприятные условия для рассеивания примесей в атмосфере (МПЗА > 1,2) складывались на северном Урале, а также на большей территории Алтайского края, республики Алтай и юга Кузбасса. Однако, если сравнивать картину распределения МПЗА на начало периода (1986 г, рисунок 3.3 б) и его конец (2010 г, рисунок 3.3 в), то видно, что за последние годы произошло резкое сокращение территорий региона, где отмечались благоприятные условия для рассеивания примесей. Эта территория сузилась как с западной, так и с восточной стороны региона, сократившись на 300 -500 км (по изолинии МПЗА=0,8).

Значения 25-летнего тренда МПЗА показаны на рисунок 3.4. тридцателетний тренд МПЗА (условия для рассеивания примесей улучшались) наблюдался лишь на арктической территории Ямало-Ненецкого а.о. между Надымом и Яр-Сале и вытянулся узким языком до Сургута и Нефтеюганска. На территории средней Оби он перекрывался положительным трендом, а далее еще более узким коридором уходил к южным границам региона. Отдельные небольшие по площади очаги с отрицательным трендом наблюдались также в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях, Алтайском крае и республике Алтай. Вся остальная территория за последние 25 лет ухудшила свои метеорологические условия для рассеивания примесей, причем в некоторых районах почти в 2-3 раза. Самое печальное состоит в том, что ухудшение условий для рассеивания примесей коснулось промышленно развитых районов Западной Сибири. В таблице 3.2 показаны величины линейного тренда МПЗА за



а) средние

б) 1986 год

в) 2010 год

Рисунок 3.3 - Районирование территории Западной Сибири по МПЗА

Условные обозначения: □ - благоприятные условия для рассеивания примесей; □ - буферная зона; □ - неблагоприятные условия для рассеивания примесей;

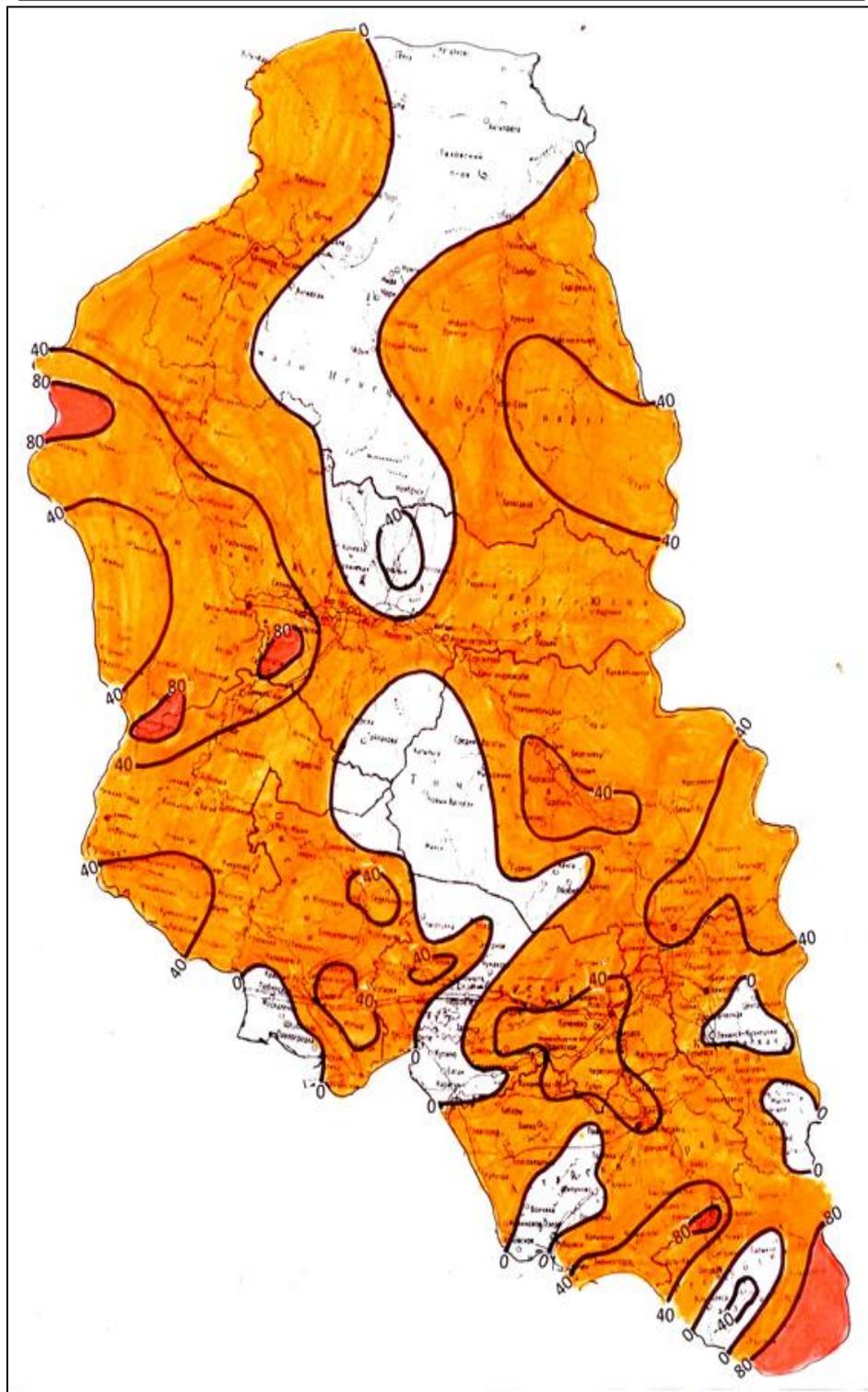


Рисунок 3.4 - Распределение 25-летнего линейного тренда МПЗА по территории Западной Сибири

Условные обозначения: □ - районы с отрицательным трендом, ■ - районы с положительным трендом (условия для рассеивания примесей ухудшились)

последние 25 лет для городов, где проводятся наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха.

Таблица 3.2 – Линейный тренд МПЗА за 1986-2010 гг по городам, где проводились наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха

Город	Тренд	Город	Тренд
Барнаул	0,58	Омск	0,87
Бийск	0,36	Тюмень	0,32
Заринск	0,23	Тобольск	0,37
Кемерово	0,61	Нефтеюганск	0,02
Новокузнецк	0,18	Нижневартовск	0,14
Прокопьевск	0,09***	Ханты-Мансийск	0,58
Искитим	0,24	Березово	0,29
Куйбышев	-0,21*	Белоярский	0,05
Новосибирск	0,23**	Радужный	0,17
Томск	0,57	Салехард	0,14

Метеоданные взяты по: * Барабинску, ** Огурцово, *** Новокузнецку

Погодичный ход МПЗА за рассматриваемый 25 - летний период для ряда городов региона, поименованных в таблице 3.2, показан на рисунке 3.5.

Кроме того, анализ изменения величин МПЗА в 25-летней ретроспективе выявил ряд станции, у которых тренд оказался неоправданно завышенным по сравнению с близлежащими районами. К таким станциям прежде всего были отнесены Кулунда, у которой тренд составил 2,04, Ключи (1,34) и Мошково (1,10).

О влиянии городской застройки на величину МПЗА можно судить по г. Новосибирску, на территории которого расположены три метеостанции: Огурцово, учебная при ГПТУ-7 и Обская ГМО. Учебная при ГПТУ-7 находится во внутриквартальной застройке Кировского района. Среднее значение МПЗА составило здесь 1,36 (условия, способствующие накоплению примесей в атмосфере), в то время как метеостанция Огурцово находится на окраине города и имеет среднее значение МПЗА за тот же промежуток времени, равный 0,58, т.е. хорошие условия для рассеивания примесей. Город и пригород отличаются по метеорологическому потенциалу атмосферы в 2,3 раза. Метеостанция при Обской ГМО дала значение МПЗА=0,91, т. е. промежуточное между городом и пригородом. Самое интересное, что даже 25 - летние тренды МПЗА в различных частях города имеют разный знак. Если в самом городе (учебная при ГПТУ-7) наметилась устойчивая тенденция увеличения повторяемости метеорологических условий, способствующих рассеиванию примесей (тренд = -0,71), то в пригородах, наоборот, увеличилась повторяемость условий, способствующих загрязнению атмосферного воздуха (Обская ГМО + 0,48; Огурцово + 0,23).

Для того, чтобы определить, какие метеорологические факторы за прошедшие 25 лет определяли величины комплексного метеорологического показателя загрязнения

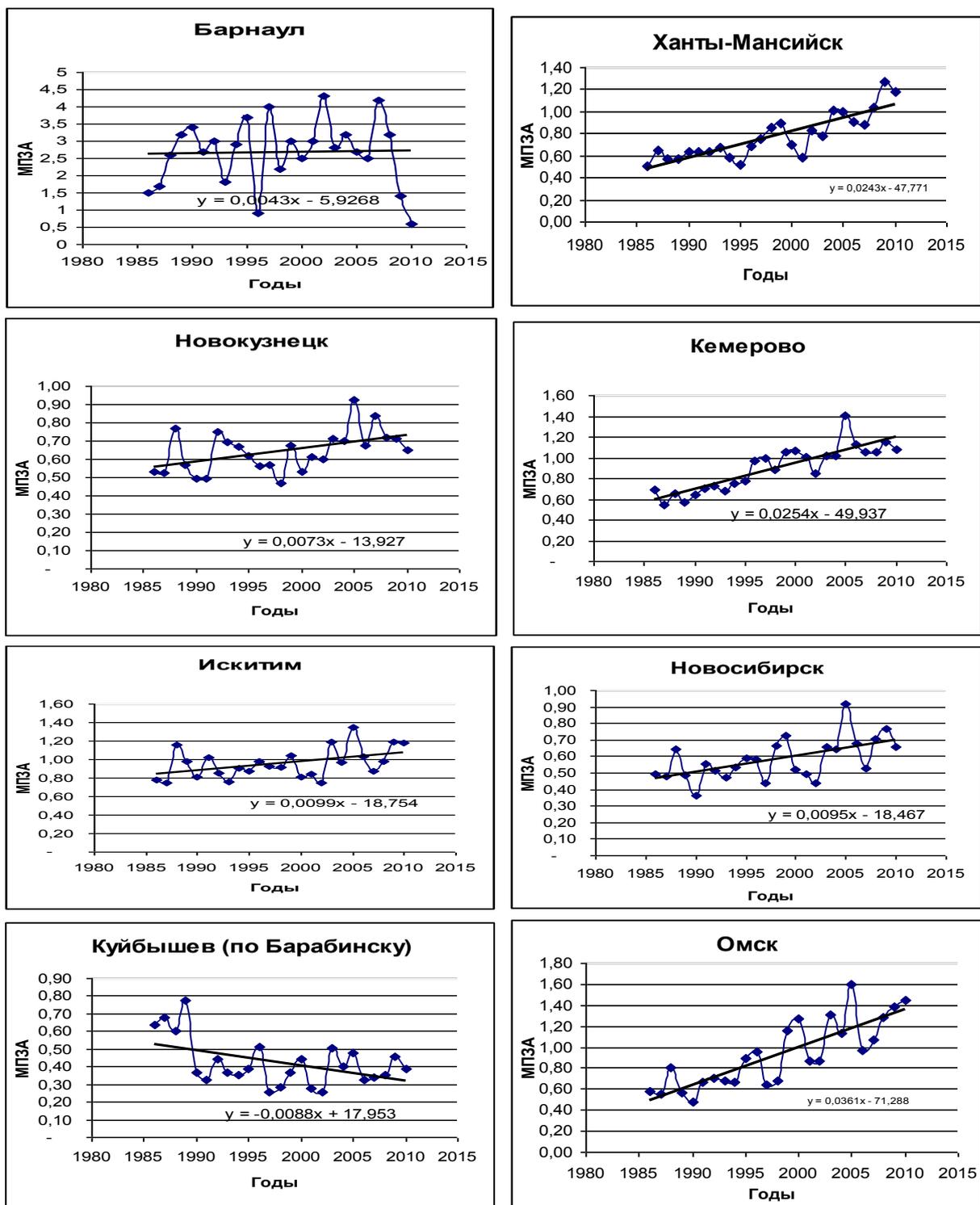


Рисунок 3.5 – Ход метеорологического потенциала загрязнения атмосферы за период 1986-2010 гг. в городах, где проводятся наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха

атмосферы, были найдены коэффициенты корреляции между МПЗА и метеоэлементами, входящими в формулу по его расчету: $P_{0.1}$; P_m , $P_{\geq 6}$ и P_o

. Наибольшие коэффициенты корреляции соответственно 86,5% и -64,0% получились для ветра повторяемостью 0-1 м/с (P_{0-1}) и сильного ветра 6 м/с и более ($P_{\geq 6}$). Корреляция между МПЗА и повторяемостью туманов оказалась на уровне 15,9 %, а между МПЗА и повторяемостью дней с осадками более 0,5 мм в сутки на уровне -50,0 % .

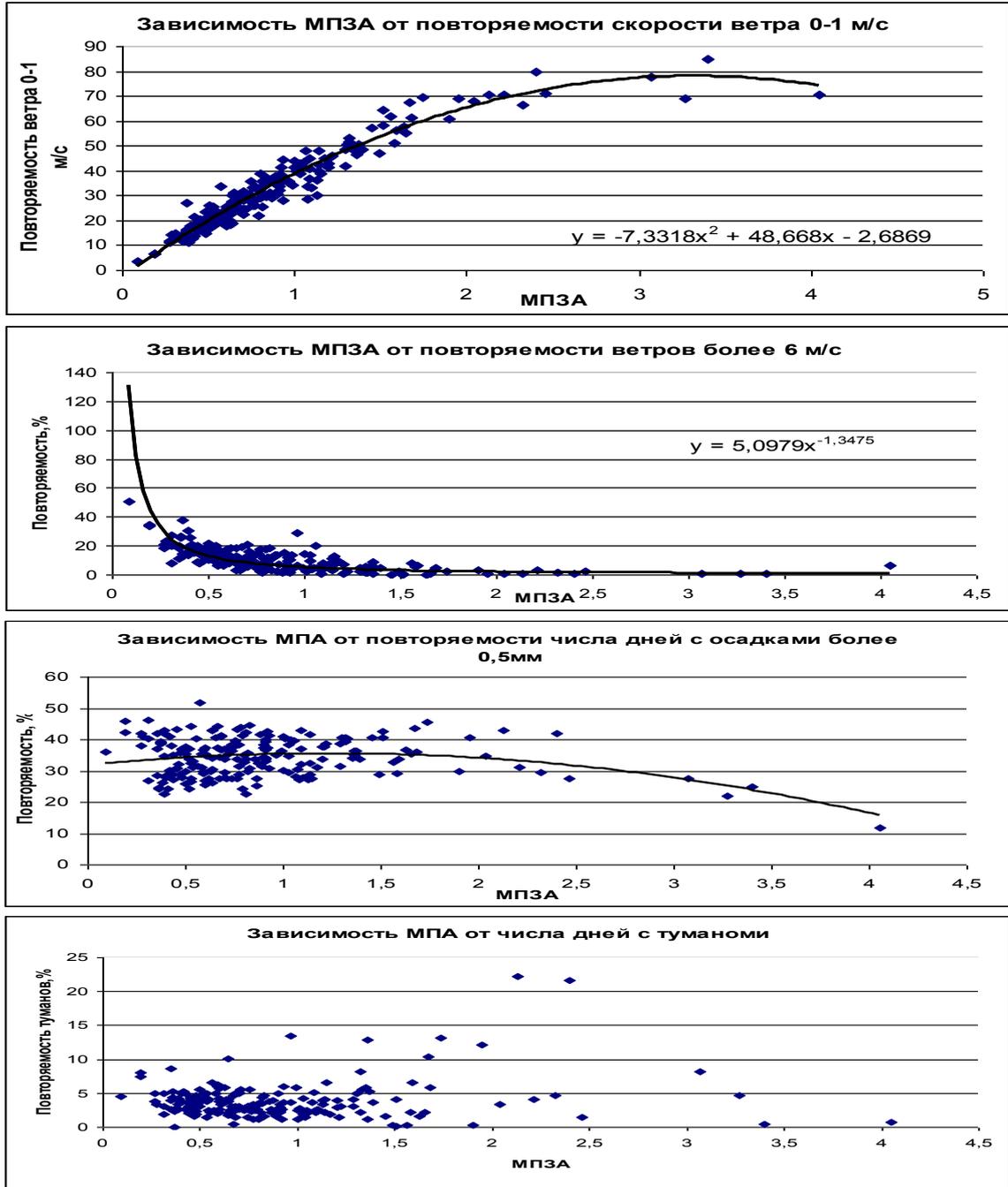
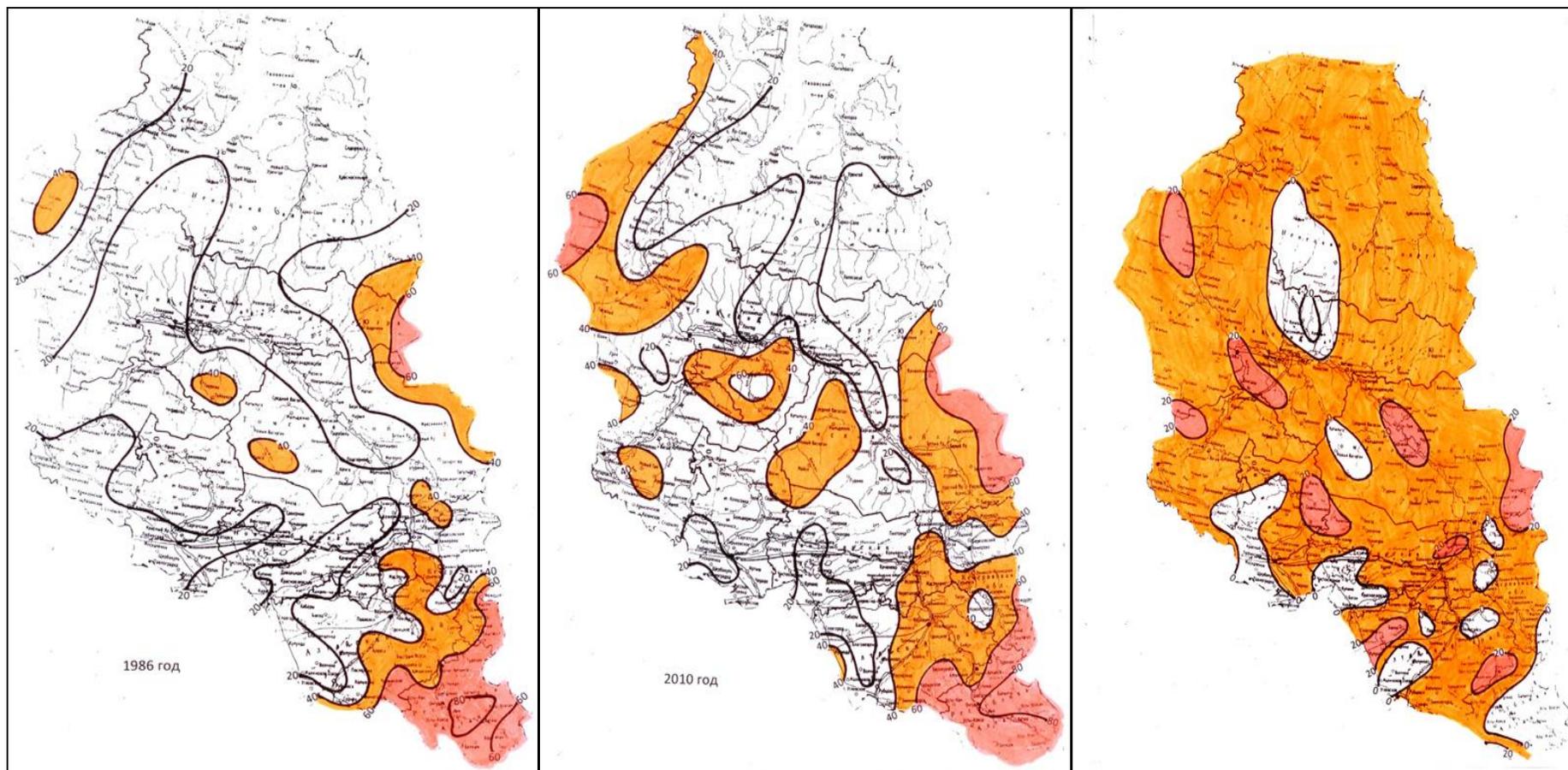


Рисунок 3.6 - Зависимость МПЗА от метеопараметров, входящих в формулу по его расчету

Для более подробного анализа зависимости МПЗА от его составляющих, вначале были рассмотрены метеопараметры, способствующие загрязнению атмосферы, т.е. повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с и повторяемость числа дней с туманом.

На рисунке 3.7 *а, б, в* показано распределение *повторяемости слабых ветров 0-1 м/с* по территории Западной Сибири: на момент 1986 года (*а*), на момент 2010 года (*б*) и среднего за 25 лет линейного тренда этого метеорологического параметра (*в*). Как видно, в 1986 г повторяемость ветров 0-1 м/с изменялась в широком диапазоне от 3-4% в северных арктических широтах до 80-90% на юго-восточной окраине региона. Наилучшие условия для рассеивания примесей ($P_{0-1} < 20\%$) наблюдались на территории Ямало-Ненецкого а.о., распространяясь узким клином на юго-восток по долине среднего течения р. Оби от Сургута до Колпашево, захватывая южные районы Алтайского края, Новосибирской и Омской областей, что определялось хорошей продуваемостью этой территории, как при северных полярных вторжениях, так и при юго-западном переносе воздушных масс. Ситуации, когда повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с наблюдалась более чем в 40% случаев за год (неблагоприятные условия для рассеивания примесей), были характерны для восточных районов Томской области, а также для южных предгорных районов Кемеровской области, Алтайского края и республики Алтай. К 2010 году (рисунок 3.7 *б*) область с хорошими условиями для рассеивания примесей ($P_{0-1} < 20\%$) сузилась как с северной, так и с южной стороны. На рисунке 3.7 *в* нанесены линейные тренды повторяемости скорости ветра 0-1 м/с, рассчитанные по всем метеостанциям рассматриваемого региона за рассматриваемый промежуток времени. Как видно, практически вся территория Западной Сибири показала положительный линейный тренд скорости ветра 0-1 м/с, за исключением небольших локальных очагов, разбросанных по всей ее территории. На отдельных метеостанциях величины линейного тренда скорости ветра 0-1 м/с достигали 30 и более процентов: Ключи 32%; Мошково 36%; Парабель 34%; Кулунда 58%, рисунок 3.8.

Такое резкое увеличение повторяемости слабых ветров вызвало обоснованное недоверие, которое потребовало изучение паспортов отдельных метеостанций. Анализ месторасположения станции Кулунда показал, что начиная с 2004 г в паспорте станции инспекторами постоянно отмечалось нехарактерное ее расположение относительно окружающей местности, так как метеоплощадка оказалась закрытой как с северной (подрастающие древесные породы высотой 3-4 м), так и с южной стороны (трехэтажное здание высотой 15 м). В Ключах возможно произошло закрытие горизонта за счет постройки в 2008 году двухэтажного здания на расстоянии 250 м от метеоплощадки; в



1986 (а)

2010 (б)

тренд (в)

Рисунок 3.7 – Распределение повторяемости ветра скоростью 0-1 м/с и его 25-летнего тренда

Условные обозначения: ■ – территории с повторяемостью скоростей ветра 0-1 м/с более 40% и территории с положительным трендом

Мошково за счет окружающих деревьев высотой 10-12 м. Хотя по двум последним станциям инспекторами не было отмечено не репрезентативность их расположения окружающей местности. Такие результаты ставят под сомнение всю повсеместно произошедшую картину увеличения повторяемости слабых ветров, которая, возможно, явилась результатом не только метеорологических процессов, связанных с потеплением климата и особенностями циркуляционных процессов, а, скорее всего, обусловлена зарастанием метеоплощадок. Этот вопрос требует совершенно иных исследований и окончательный вердикт должен быть оглашен Росгидрометом. Например, в [21] отмечается, что на территории России с 1936 по 2000 гг повсеместно происходит уменьшение среднегодовых скоростей ветра и градаций ветра более 6 м/с. В качестве причин такого явления авторы выдвигают увеличение закрытости метеоплощадок вследствие застройки окружающей территории и уменьшения градиентов давления. Эти же авторы пишут, что особенности циркуляции атмосферы не являются причиной уменьшения скоростей ветра.

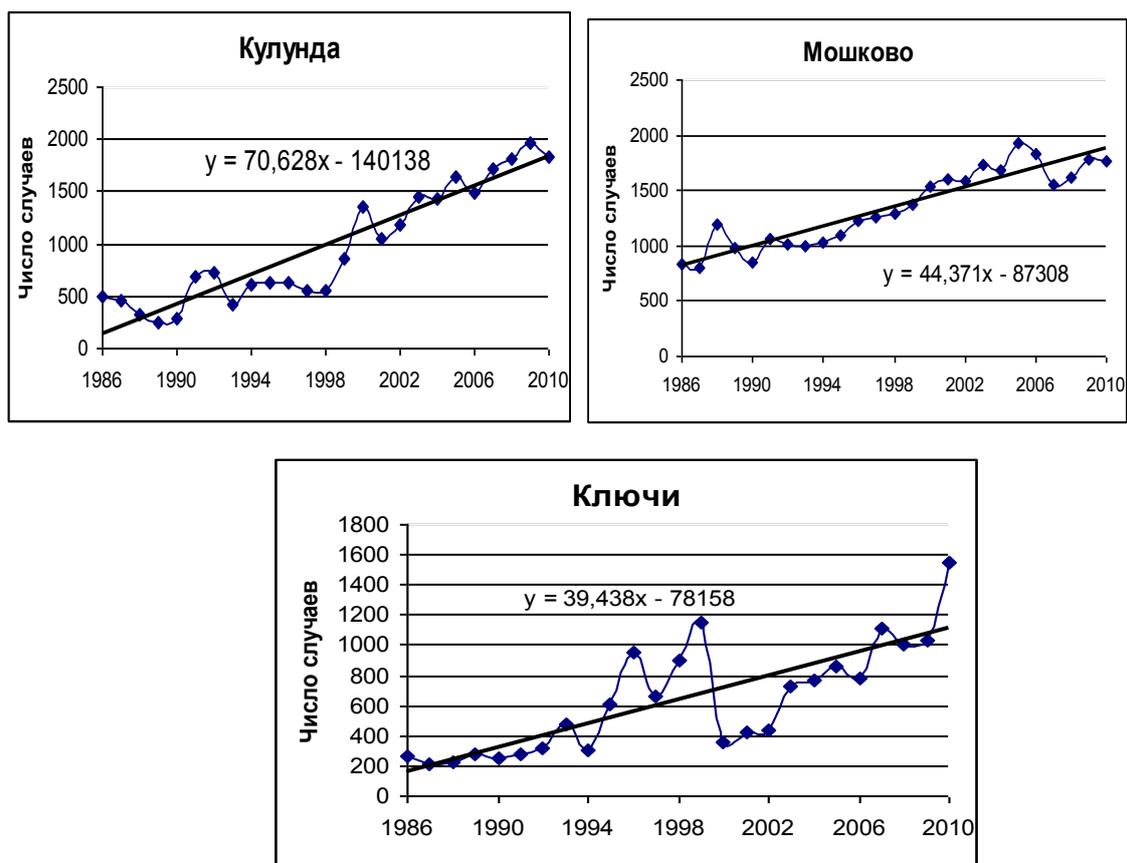


Рисунок 3.8 - Динамика числа случаев со слабым ветром 0-1 м/с для метеостанций с самым большим трендом

Накопление примесей в атмосфере усиливается при наличии *туманов*. Влияние туманов на содержание примесей в воздухе носит сложный характер. Примеси частично поглощаются водяными каплями, при их растворении иногда образуются новые, более токсичные вещества. Рост концентраций примесей происходит пропорционально продолжительности или устойчивости туманов, т.е. чем продолжительней туман, тем интенсивнее загрязнение атмосферного воздуха. На рисунке 3.9 показано районирование территории Западной Сибири по среднему за период числу дней с туманами. Как видно, четкого зонального распределения числа дней с туманом по территории Западной Сибири не наблюдается. Оно колеблется в среднем от 5 до 20 дней. Причем, очаги с количеством дней более 20 наблюдаются как на крайних северных, так и на южных территориях. Если в Заполярье туманообразованию способствует циклонический тип погоды в теплое полугодие, то избыточное увлажнение при малых скоростях ветра способствует туманообразованию в средней части Западной Сибири. В отдельных южных районах отмечается увеличение числа дней с туманом до 40 и выше, связанное с пониженными формами рельефа, которые способствуют возникновению радиационных туманов в зимнее время года (в основном). К таким местам можно отнести Маслянино и др. В горных районах Западной Сибири отмечается очень сложная картина распределения числа дней с туманом. В закрытой мало продуваемой Кузнецкой котловине наблюдается самое высокое число дней с туманом, достигающее 79-81 дней. Эти туманы также связаны с радиационным выхолаживанием. За прошедшие 25 лет число дней с туманом незначительно увеличилось как на севере рассматриваемой территории, так и на ее южных границах (Кузбасс и восточные районы Новосибирской области). На остальной территории количество дней с туманом уменьшилось в среднем на 5-10 дней. Если переводить число дней с туманом в повторяемость процесса, то в среднем она для всего региона составила 3,8% и только для 8 метеостанций, расположенных в закрытых горных котловинах или пониженных формах рельефа она увеличивалась до 10% и выше (Новокузнецк 10,1%; Таштагол 10,4%; Турочак 12,1%; Маслянино 12,9%; Междуреченск 13,1%; Шелаболиха 13,4%; Усть-Кабырза 21,5%; Кондома 22,2%). В целом можно отметить, что повторяемость числа дней с туманом вносит небольшой вклад в сумму повторяемостей факторов, способствующих загрязнению атмосферы. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев условия затишья сопровождаются туманами, т.е. частично фактор наличия туманов входит в повторяемость скоростей ветра 0-1 м/с и априори в какой-то степени уже учтен. Об этом же пишется в [22], где для условий Усть-Каменогорска 85% туманов наблюдаются при штиле и 15% при скоростях ветра 1-3 м/с.

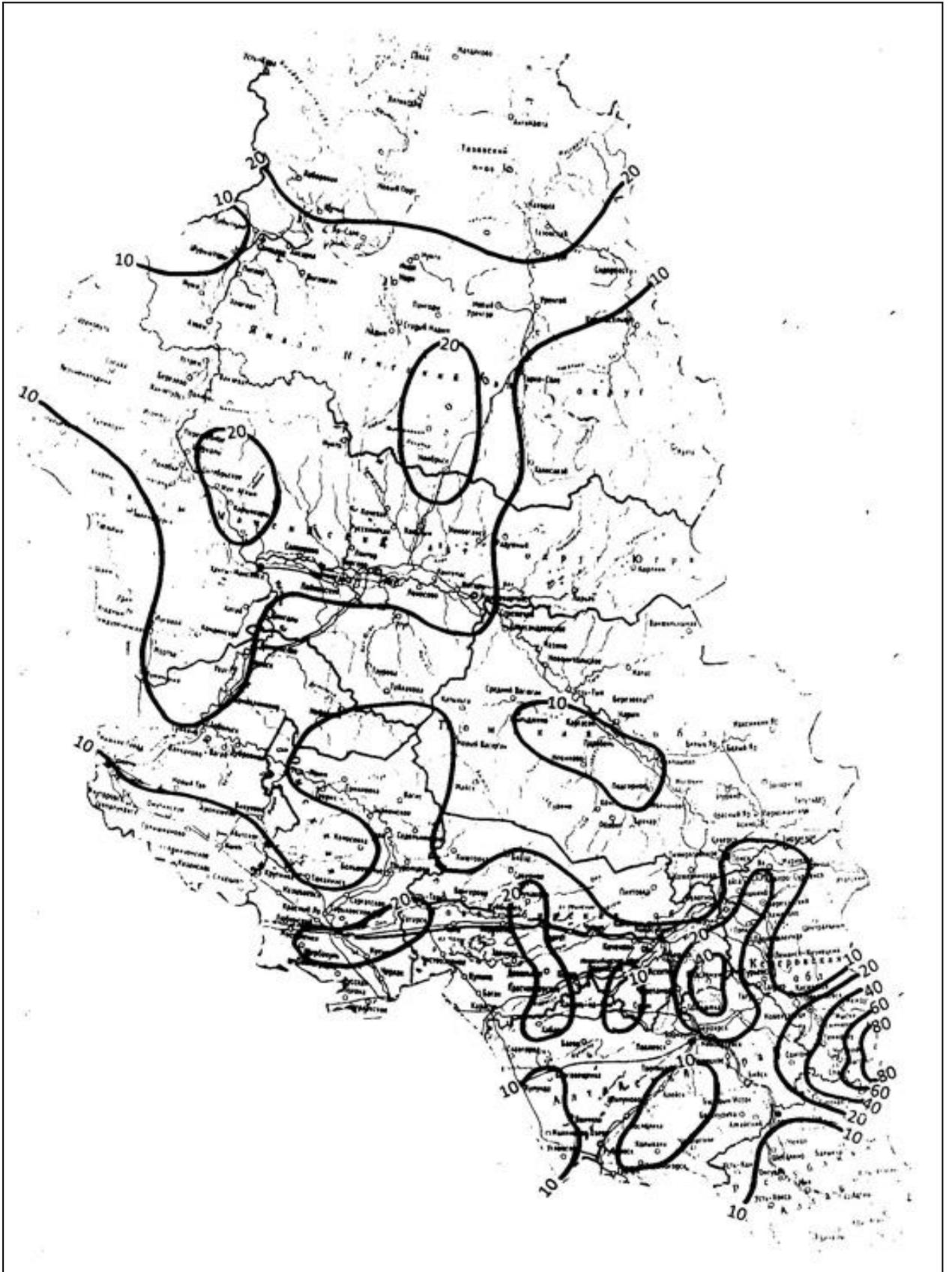


Рисунок 3.9 - Распределение среднегодового числа дней с туманами на территории Западной Сибири (1986 – 2010 гг.)

Факторы, способствующие рассеиванию загрязняющих веществ, включают в себя повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с и более ($P_{\geq 6}$) и повторяемость дней с осадками $\geq 0,5$ мм и более за сутки (P_o).

На рисунке 3.10а показано распределение **повторяемости ветров ≥ 6 м/с и более** на территории Западной Сибири на период 1986 года. Наиболее часто сильный ветер наблюдался в северных арктических широтах, достигая в отдельных пунктах (Новый Уренгой) до 44,7% случаев за год. С продвижением на юг в средние широты Сибири повторяемость сильного ветра уменьшалась до 1-5% за год, а затем снова увеличивалась до 15-25% на территориях Тюменской, Омской областей, западных районах Новосибирской области и Алтайского края. В горных районах Республики Алтай повторяемость ветра ≥ 6 м/с и более наблюдалась на уровне 1-5%, исключая горные перевалы. Средняя за прошедшие 25 лет повторяемость сильных ветров практически на всей рассматриваемой территории упала на 5-10%, а в отдельных местах и ниже (Новый Уренгой на 19,1%; Мужы 18,5%; Парабель 18,2%; Юрга 18,2%, а в Колыване даже на 23,4%), рисунок 3.10 в. Является ли это явление следствием особенностей циркуляционных процессов, или это методический просчет в измерениях скоростей ветра – вопрос остается открытым. В результате к 2010 году (рисунок 3.10б) практически на всей территории Западной Сибири сильный ветер скоростью более 6 м/с наблюдался крайне редко в 1-10% случаев за год, за исключением крайнего Севера и некоторых районов Омской, Новосибирской областей и Алтайского края.

Другим метеорологическим показателем, способствующим очищению атмосферного воздуха от загрязняющих веществ, являются **осадки**, влияние которых учитывается через повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм и более за сутки (P_o). Предполагалось, что такое количество осадков уже способно осадить придорожную пыль и другие аэрозоли. Установлено, что вклад числа дней с атмосферными осадками $\geq 0,5$ мм в сутки в процессы самоочищения в среднем на территории Западной Сибири составляет 34-35%. За рассматриваемый 25-летний период этот показатель колебался от года к году в диапазоне 0,5%, т.е. практически не менялся. Средняя картина распределения P_o показана на рисунке 3.10. Эта величина на территории Западной Сибири изменяется в незначительных пределах от 25% на ее южных границах до 45% в центральных и северных районах региона.

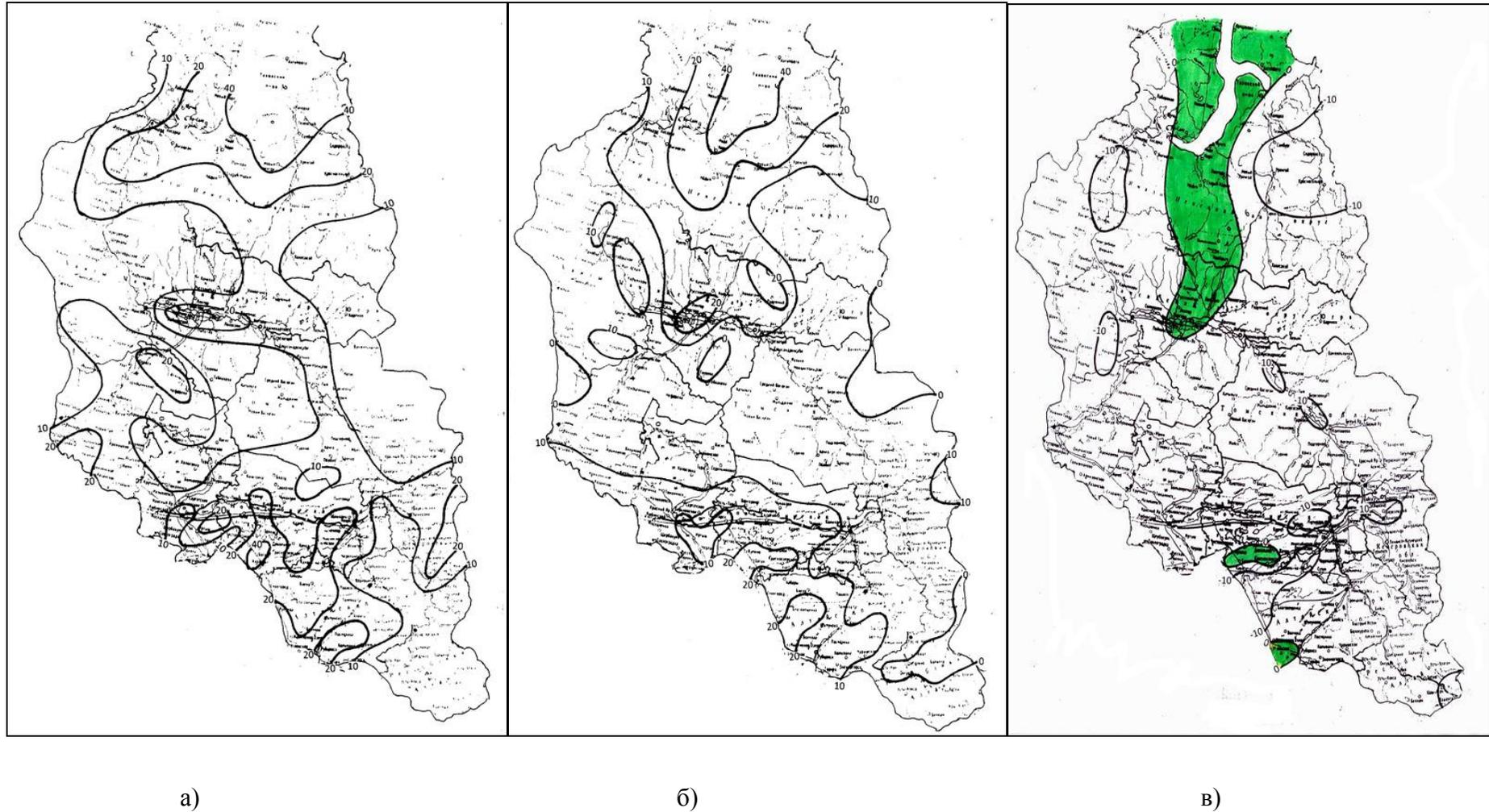


Рисунок 3.10 – Распределение повторяемости скорости ветра ≥ 6 м/с (*a* – 1986 г; *б* – 2010 г), *в* – ее линейного тренда

Условные обозначения : ■ - территории с положительным трендом



Рисунок 3.11 - Распределение среднегодовой повторяемости (%) числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм по территории Западной Сибири (1986 – 2010 гг.)

Осадки хоть и вносят наибольший вклад в процессы самоочищения атмосферы, однако межгодовая и территориальная изменчивость P_0 незначительна и в целом в таком виде не характеризует влияние осадков на рассеивающую способность атмосферы. Очевидно, это влияние необходимо выражать другим показателем, который должен выявлять локальные особенности увлажнения территорий и учитывать величину выпавших осадков.

Если подвести итог всему выше проведенному анализу, можно сделать вывод, что метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (МПЗА) практически является функцией только соотношения ветровых характеристик: слабого ветра 0-1 м/с, который характеризует условия застоя атмосферного воздуха с накоплением загрязняющих веществ в нем, и сильного ветра 6 и более м/с, который способствует проветриваемости территорий. Влияние числа дней с туманами на территории Западной Сибири незначительно и учитывается в величинах повторяемости ветров 0-1 м/с. Влияние числа дней с осадками 0,5 и более мм за сутки практически является постоянной добавкой к повторяемости процессов, способствующих рассеиванию вредных примесей в атмосфере, так как она слабо меняется как территориально, так и в годовой ретроспективе.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Западная Сибирь раскинулась от берегов Северного Ледовитого океана до границ с Казахстаном, меняя, продвигаясь на юг, климатические пояса от полярного до континентального, а орографию - от низменности до горных отрогов Алтая и Саян. Рассматриваемая территория богата разнообразными полезными ископаемыми.

Северная территория Западной Сибири занята крупнейшими месторождениями природного газа и нефти. Эта территория является самой крупной в стране топливно-энергетической базой, т. к. в ее недрах находится 70% нефти и конденсата и 78% газа от разведанных запасов страны. Месторождения нефти и газа сосредоточены в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком а. о., а также на севере Тюменской, Новосибирской и Томской областей. Среди месторождений нефти как супергигантское можно назвать Саматлорское. Наиболее крупные месторождения природного газа сосредоточены, в основном, на территории Ямало-Ненецкого а. о. в зоне суровых климатических условий (Медвежье, Уренгой, Ямбург, Хара-Савей и др.). Основными источниками загрязнения окружающей среды при этом являются скважины, факела для сжигания попутного газа, нефтегазопроводы, водоводы высокого давления и другие производственные объекты. До сих пор добыча нефти сопровождается сверхнормативным сжиганием попутного газа. Уровень утилизации попутного газа очень низкий или практически отсутствует (на мелких месторождениях). Эти потери по данным [23, 24] ежегодно составляют 6-7 млрд м³. При этом одна тонна сгоревшего газа образует в среднем 50-79 кг различных вредных веществ, наибольшее количество которых приходится на оксид углерода (СО). Сжигание попутного газа в факелах формирует обширные шлейфы аэрозольного загрязнения с небольшими концентрациями химических веществ. Однако их негативное воздействие усиливается наличием мелкодисперсных продуктов неполного сгорания выбрасываемой в большом объеме сажи. Аэрозольное загрязнение может распространяться на десятки и даже сотни км от источника выброса, сливаясь в единое сажевое пятно [25].

Проблема утилизации попутного газа одна из наиболее актуальных для Западной Сибири и даже вошла в климатическую доктрину РФ.

На юго-восточной окраине Западной Сибири расположен Кузбасс с залежами каменного угля. Кузбасс, занимающий 85% территории Кемеровской области, является основной угольной базой страны. Запас каменных углей всех марок в Кузбассе оценивается в 905 млрд тонн [23]. Однако, в настоящее время запасы качественных

углей истощаются, происходит увеличение объемов добычи низкосортных, наиболее экологически вредных углей. Кроме угля, Кузбасс располагает богатыми месторождениями железных, марганцевых, медных и свинцо-цинковых руд. Железорудные ресурсы в сочетании с углями Кузбасского месторождения послужили основой для создания и функционирования огромных металлургических комбинатов (г. Новокузнецк).

Богатство Западной Сибири являются основным источником ее экологического неблагополучия, когда жизнь людей и природы вполне сознательно приносится в жертву промышленной целесообразности.

К бедам Западной Сибири относится и то, что 25% ее территории занята болотами. Одно только Б. Васюганское болото, расположенное на Обь-Иртышском водоразделе, занимает центральную часть Западно-Сибирской равнины, имеет площадь 475 тыс.км². Из болот идет в атмосферу естественная эмиссия метана и диоксида углерода (СО₂). Эти эмиссии рядом исследователей [26] оцениваются огромной величиной, составляющей примерно 2-10 мг/м³ в час метана. Выделения метана возрастает в условиях потепления климата. Эта проблема в научной литературе получила даже название «метановой бомбы». К этому добавляется эмиссия метана антропогенного происхождения в результате добычи и переработки углеводородов, которые трансформируясь, образуют ряд высокотоксичных соединений, таких как озон и формальдегид. И хотя эти процессы происходят медленно, при определенных метеорологических условиях вновь образованные более токсичные загрязняющие вещества могут переноситься на большие расстояния до 300-500 км, захватывая своим присутствием огромные площади региона. Об этом явлении указывается в работе [27]. Проблема эта очень серьезная, т.к. адвекции формальдегида, сажи и озона могут подвергаться города и поселки, где отсутствуют промышленные предприятия, а парк автомобилей незначителен.

В 2005 г на официальном уровне впервые прозвучало подтверждение, что экология Сибири серьезно нарушена [28]. Соответствующий доклад был подготовлен Департаментом госконтроля и перспективного развития в сфере природопользования и охраны окружающей среды Минприроды РФ. В нем говорится, что в Сибири следствием загрязнения окружающей среды является снижение плодородия почв, деградация и опустынивание земель, гибель растительного и животного мира, ухудшение качества атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод. В результате все это приводит к исчезновению с лица Земли целых экосистем и биологических видов, а высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, наблюдаемый в течение десятков лет, вкупе с низким качеством воды подавляющего большинства водных объектов приводит к ухудшению

здоровья и уменьшению продолжительности жизни сибиряков по сравнению с общероссийскими показателями [29].

Как известно, уровень загрязнения атмосферного воздуха формируется под влиянием , в основном, двух факторов: выбросов вредных веществ в атмосферу и метеорологических условий местности. Поэтому при нахождении влияния метеорологических факторов на формирование среднегодовых концентраций отдельных примесей, необходимо учитывать и влияние эмиссий этих примесей.

К сожалению, в настоящее время утерян научный подход к государственному учету вала выбросов вредных веществ в атмосферу, что не позволяет использовать данные по эмиссиям при анализе формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в том или ином городе региона. История этого вопроса такова: с момента проведения первой всесоюзной инвентаризации источников выбросов в 1981 г и до 1988 г госучет эмиссий от промышленности и автотранспорта осуществляла Гидрометслужба СССР. Она создала единую государственную систему учета вала выбросов вредных веществ в атмосферу городов страны, основанную на применении единых методик и единого для города списочного состава отчитывающихся промпредприятий, который ежегодно строго соблюдался. Данные эмиссий ежегодно печатались и рассылались во все публичные библиотеки страны и смежные организации, а также предоставлялись административно-хозяйственным структурам. В этих Ежегодниках [30] проводился анализ увеличения (уменьшения) концентраций примесей в конкретном городе в связи с увеличением (уменьшением) вала выбросов в атмосферу. В 1989 г было создано Министерство природы СССР (затем РФ), которое за прошедшие годы несколько раз меняло свое название и статус и претерпевало бесчисленное количество всяческих реорганизаций. В 2008 г оно окончательно было определено как «Министерство природных ресурсов и экологии РФ». Этому Министерству были переданы функции государственного учета вала выбросов вредных веществ в атмосферу. В 1991-1995 гг составление Ежегодника по выбросам в атмосферу по поручению Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов в соответствии с Федеральной Целевой комплексной научно-технической программой «Экологическая безопасность России» осуществлялось ГГО им. А.И. Воейкова совместно с НИИ «Атмосфера». В период 1996-1999 гг подготовку Ежегодника осуществлял НИИ «Атмосфера». В 1999 году в Российской Федерации вышел последний Ежегодник по выбросам вредных веществ в атмосферу городов страны [31].

В дальнейшем функции государственного учета вала выбросов вредных веществ в атмосферу были переданы в Госкомстат РФ, что сразу понизило доверие к данным, т.к.

эта организация обобщает выбросы только тех предприятий, которые вовремя предоставляют статистические отчеты по форме №2-ТП (воздух). Это привело к тому, что суммарная величина вала выбросов в конкретном городе стала колебаться от года к году в зависимости от количества отчитавшихся предприятий. В добавок ко всему обобщение вала выбросов осуществляется не по всем загрязняющим веществам, а только по ограниченному списку примесей. Кроме того, Госкомстат РФ не обрабатывает и не предоставляет данные о выбросах автотранспорта, что ранее определялось и публиковалось.

Учет выбросов автотранспорта требует особого пояснения. За прошедшие годы методики расчета вала выбросов вредных веществ в атмосферу от автотранспорта менялось несколько раз [32-35], и с каждым разом менялись не только удельные показатели для выбрасываемых примесей, но и учитывался различный набор выбрасываемых загрязняющих веществ. В 2003 г была введена упрощенная методика определения вала выбросов в атмосферу от автотранспорта, в которой удельные показатели выбрасываемых примесей были дифференцированы в зависимости от количества автотранспорта, зарегистрированного в городе органами ГИБДД. При этом весь городской транспорт подразделялся на легковой, грузовой и автобусы отдельно с бензиновыми и дизельными двигателями [35]. Эта методика применяется до настоящего времени.

На примере нескольких городов (рисунок 4.1) видно, как менялся на протяжении рассматриваемого промежутка времени годовой вал выбросов от автотранспорта в зависимости от применяемой методики. Опираясь на такие данные, конечно, нельзя. Если характеризовать общую картину загрязнения атмосферного воздуха территории Западной Сибири по валу выбросов, то по данным [36] в 1986 г в ее атмосферу было выброшено 3909,4 тыс.тонн вредных веществ, что составляло 11,2% от общероссийских. Следует отметить, что этот вал выбросов включает в себя лишь выбросы городов, но не учитывает выбросы от горящих факелов крайнего Севера, животноводческих комплексов, авиационного, железнодорожного, речного и морского транспорта, личного автотранспорта и т.д. и т.п. К 1999 г вал выбросов Западной Сибири снизился до 2530,8 тыс.тонн, но из-за общего спада производства составлял все те же 11,6% от общероссийских. По данным [28] на 2005 год выбросы вредных веществ в атмосферу Западной Сибири составляли уже 24% от общероссийских. По данным этого же источника происходит ежегодное увеличение объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в среднем на 15%. Причем, если в Новосибирской, Кемеровской и Омской областях прирост выбросов составляет 10%, то в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком

а.о. - 30%. С такими выводами трудно согласиться если проанализировать рис. 4.2, где показана динамика выбросов от промышленного производства для ряда крупнейших городов Западной Сибири.

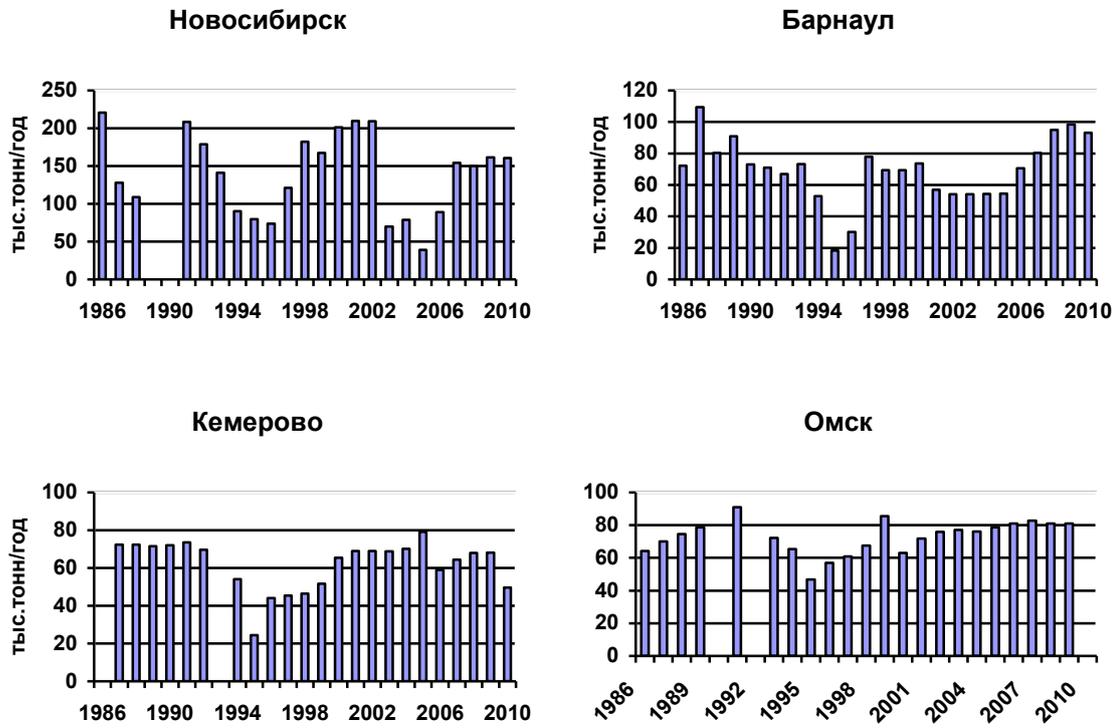
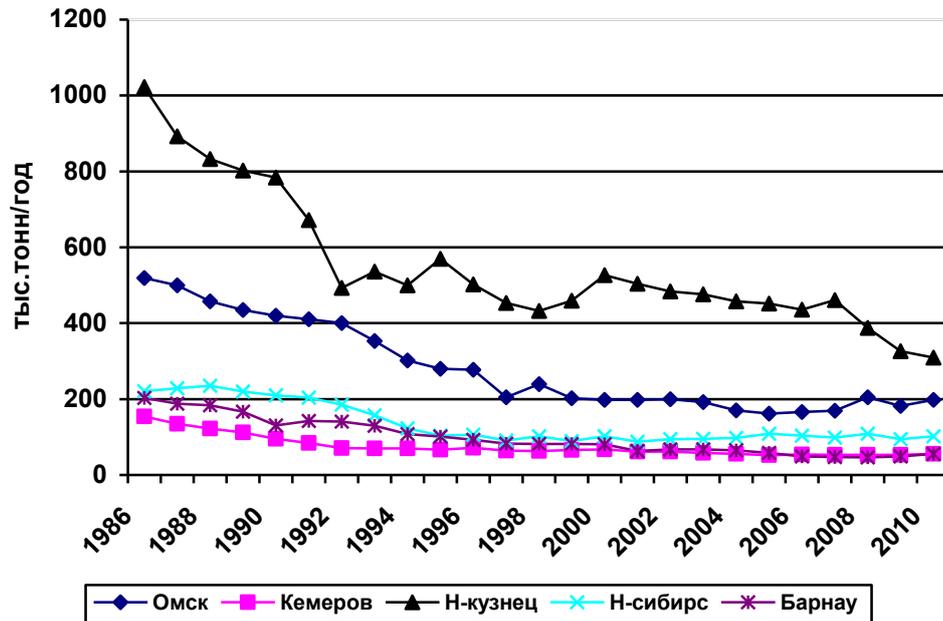


Рисунок 4.1 - Динамика выбросов вредных веществ в атмосферу от автотранспорта для ряда городов Западной Сибири

Если в Барнауле, Кемерово и Новосибирске после резкого спада, начатого в середине 90-х годов, и массового закрытия нерентабельных и убыточных производств выбросы вредных веществ в атмосферу в последнее десятилетие несколько стабилизировались, то в Новокузнецке продолжается их спад до сего времени. Только в отдельных городах отмечается незначительный и не стабильный рост вала выбросов вредных веществ в атмосферу, составляющий за последние пять лет примерно 10%.

Рисунок 4.2 - Динамика вала выбросов вредных веществ в атмосферу от промышленности



В целом к количественным показателям эмиссий как от промышленных предприятий, так и от автотранспорта в городах РФ следует относиться с определенной долей скептицизма, хотя общую тенденцию они в какой-то степени улавливают. Такие данные не пригодны для нахождения количественных показателей, характеризующих связи между эмиссиями и формируемыми ими концентрациями. Для дальнейшего анализа в какой-то степени можно использовать данные только по выбросам пыли (взвешенных веществ) и сернистого ангидрида, в то время как по веществам, выбрасываемым автотранспортом (CO, NO₂, NO, углеводороды) такой анализ невозможен.

Государственный контроль за состоянием загрязнения атмосферного воздуха в городах РФ осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Территория Западной Сибири входит в сферу деятельности двух управлений Росгидромета: Обь –Иртышского УГМС (Омская, Тюменская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий а.о.) и Западно-Сибирского УГМС (Новосибирская, Кемеровская, Томская области, Алтайский край и республика Алтай).

Для характеристики изменения уровней загрязнения атмосферного воздуха в городах Западной Сибири были использованы данные наблюдений за концентрациями вредных веществ, опубликованные в « Ежегодниках состояния загрязнения атмосферного воздуха

на территориях деятельности Обь-Иртышского и Западно-Сибирского УГМС за период 1986-2010 гг» [37-38]. На основании этих данных была составлена таблица средних и максимальных концентраций измеряемых примесей в долях соответствующих ПДКсс и ПДКмр отдельно по пятилеткам на начало периода (1986-1989гг) и его конец (2006-2010 гг), а также проведен анализ состояния сети наблюдений.

В начале рассматриваемого периода (1986-1989 гг) сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха охватывала 27 городов региона. В 90-х годах произошло резкое сокращение этой сети. Из-за финансовых трудностей прекратились наблюдения в Славгороде, Анжеро-Судженске, Белово, Киселевске, Ленинск-Кузнецком, Осинниках, Юрге, Оби, Называевске. К сожалению, эта тенденция продолжается и в настоящее время. В 2009 г прекратились наблюдения в Куйбышеве НСО по той же причине (отсутствие финансирования). Справедливости ради нужно отметить, что в 2002-2003 гг были открыты посты наблюдений в трех поселках городского типа Ханты-Мансийского а.о. (Березово, Белоярский, Радужный), что было очень важно для характеристики состояния загрязнения атмосферного воздуха северных районов, рисунок 4.3.

Произошло сокращение не только городов, где проводились наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, но и количество постов наблюдений на оставшейся сети в больших городах (Новосибирск, Кемерово, Омск), а также и количество измеряемых примесей в них. Кроме того, из-за недостаточного финансирования контроль за отдельными ингредиентами стал осуществляться не на всех постах города, а лишь на нескольких из них, что не позволяет сделать статистически достоверный анализ картины загрязнения атмосферного воздуха на территории одного города, не говоря уже о сравнительном анализе городов региона.

На период 2006-2010 гг сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха Западной Сибири охватывала 22 города, в которых проживало 7061,1 тыс. человек, или 48% всего населения региона. В каждом городе оставшейся сети наблюдений повсеместно контролируется лишь пять основных ингредиентов (взвешенные вещества, сернистый ангидрид, оксид углерода, диоксид азота и оксид азота), таблица 4.1. Эти ингредиенты являются основными продуктами горения всех видов топлива и присутствуют в атмосферном воздухе всех городов. В последнее время увеличилось количество городов региона, где ведутся наблюдения за такими специфическими примесями, как формальдегид, фенол и бензапирен. Остальные вещества контролируются в тех городах, где этого требует специфика базирующегося производства.

Такой подход к выбору загрязняющих веществ, подлежащих контролю, оправдан местными интересами и экономически выгоден, но совершенно не подходит для регионального уровня, так как не позволяет проводить унифицированную оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха, применимую ко всем городам не только Сибири, но и страны в целом. Об этой проблеме много говорилось, но ничего до сего времени не изменилось.

В табл. 4.2 показано количество примесей, по которым среднегодовые концентрации превышали ПДКсс в начале и конце рассматриваемого периода.

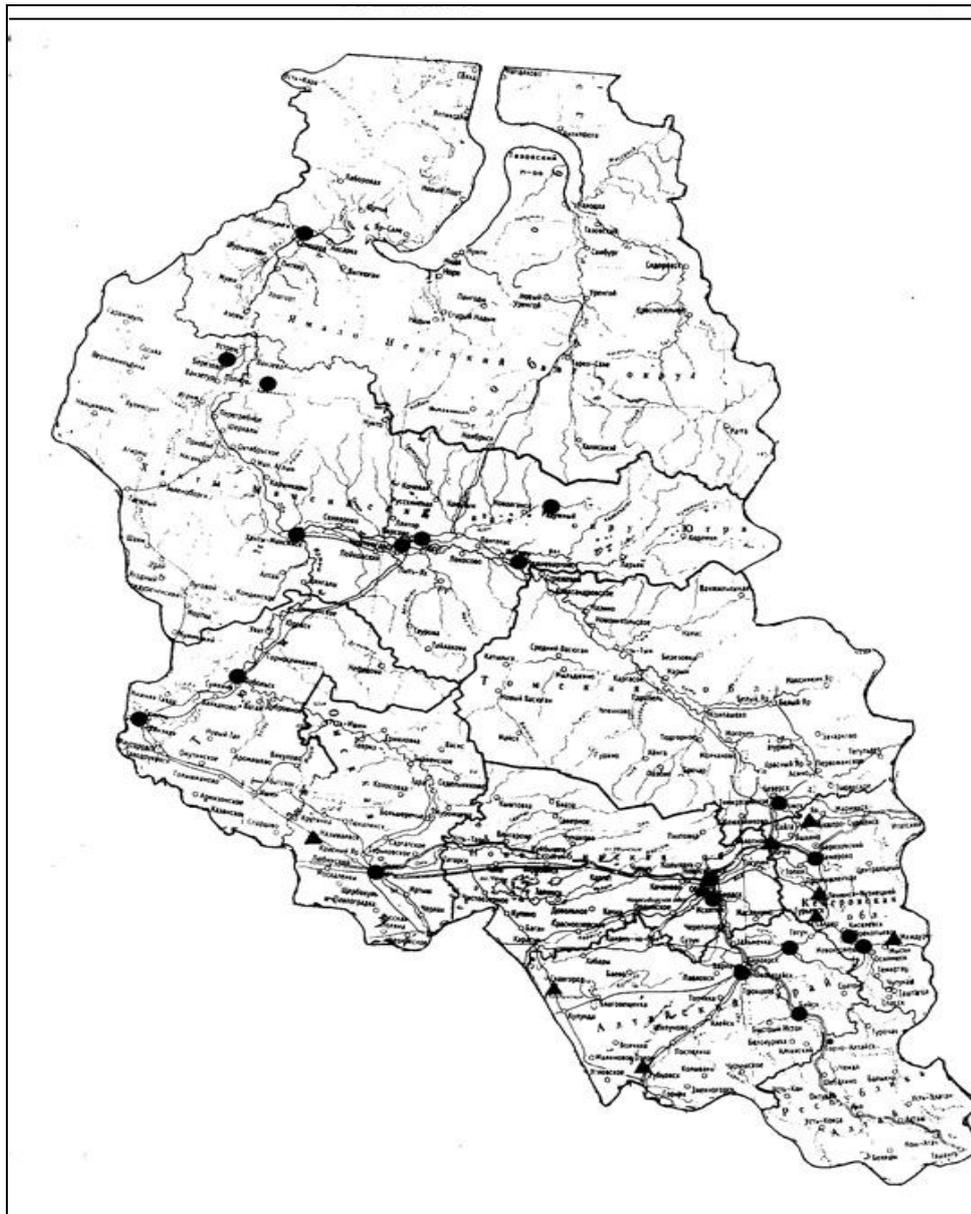


Рисунок 4.3 - Сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в городах Западной Сибири по состоянию на 2010 год.

Условные обозначения: ● - действующие станции; ▲ - закрытые станции.

Таблица 4.2 - Количество примесей со среднегодовыми концентрациями выше ПДКсс
отдельно по пятилетиям

№	Город	Количество загрязняющих веществ $Q_{cp} > \text{ПДКсс}$		Тенденция	Примечание
		1986-1989	2006-2010		
1	Омск	10	2	+	По 9 примесям наблюдения прекращены
2	Новокузнецк	9	5	+	
3	Барнаул	6	4	+	По сероводороду наблюдения прекращены
4	Тюмень	5	5	0	
5	Новосибирск	5	6	-	
6	Прокопьевск	5	3	+	
7	Бийск	4	3	+	
8	Кемерово	5	4	+	
9	Томск	4	3	+	
10	Бердск	4	2	+	
11	Тобольск	3	1	+	По бензапирену наблюдения прекращены
12	Искитим	3	3	0	
13	Заринск	3	2	+	
14	Салехард	1	2	-	Ввели наблюдения за формальдегидом
15	Сургут	1	2	-	Ввели наблюдения за формальдегидом
16	Нефтеюганск	1	1	0	
17	Ханты-Мансийск		2	-	Ввели наблюдения за формальдегидом
18	Белоярский		1		
19	Березово		1		
20	Куйбышев		2		
21	Радужный		1		
22	Нижневартовск	3	2	+	

Анализ таблицы 4.2 показал, что только в одном городе региона (Ханты-Мансийске) в 1986-1989 гг среднегодовые концентрации ни по одной из наблюдаемых примесей не превышали ПДКсс. К 2006-2010 гг и Ханты-Мансийск за счет организации наблюдений за формальдегидом ушел из категории «чистых» городов. В остальных сибирских городах загрязнение атмосферного воздуха хотя бы по одной примеси, но было выше установленных стандартов качества чистоты атмосферного воздуха как в начале периода, так и в его конце. Если в 1986-1989 гг самыми грязными городами Западной Сибири были такие города, как Омск (превышение среднегодовых концентраций выше ПДКсс наблюдались по 10 веществам), Новокузнецк (9), Барнаул (6), то к 2006-2010 гг список самых грязных городов региона возглавил Новосибирск (6 примесей с превышением среднегодовых концентраций выше ПДКсс). В то же время в остальных городах Западной Сибири отмечалась положительная тенденция, т.е. происходило сокращение количества примесей со среднегодовыми концентрациями выше ПДКсс. Казалось бы, такое оздоровление атмосферы произошло из-за общего спада промышленного производства,

однако при более детальном анализе становится очевидным, что положительная тенденция возникла не из-за уменьшения высоких концентраций, а за счет прекращения наблюдений за ними. Это прежде всего относится к Омску, Барнаулу и Тобольску.

Делать какой-либо определенный вывод об общей тенденции загрязнения атмосферного воздуха городов Западной Сибири крайне сложно. Формально положительная тенденция $cQ_{g_{cp}} > ПДК_{сс}$ отмечается у большинства городов региона, но прекращение наблюдений за каким-либо загрязняющим веществом или, наоборот, начало наблюдений за ним ставят оптимистическую картину под сомнение. Оптимистическому выводу не способствует и тот факт, что ежегодно в список самых грязных городов РФ периодически попадают такие города Западной Сибири, как Бийск (формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота), Барнаул (бензапирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота), Новосибирск (бензапирен, формальдегид, диоксид азота), Новокузнецк (формальдегид, взвешенные вещества, фтористый водород, диоксид азота), Кемерово (сероводород, аммиак, формальдегид, сажа), Омск (формальдегид, ацетальдегид, сажа), Тюмень (взвешенные вещества, формальдегид) и др [39]. Чаще всего атмосферный воздух городов Западной Сибири выше нормы загрязнен формальдегидом и бензапиреном.

В таблице 4.3 показаны среднегодовые концентрации ряда контролируемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Западной Сибири, осредненные в целом по всей территории региона на начало периода и его конец. Как видно, по взвешенным веществам, сернистому ангидриду, фенолу и саже за прошедшее время произошло уменьшение среднегодовых концентраций, а сами концентрации соответствовали средним значениям по территории РФ [40]. По диоксиду азота, оксиду азота и оксиду углерода произошло незначительное увеличение среднегодовых концентраций к концу периода, но их средние значения не выходят за рамки средних по России на период 2010 года. По бензапирену произошло уменьшение среднегодовых концентраций к концу периода, но средние концентрации по территории Западной Сибири превышают средние по стране в 1,2 раза. И только по формальдегиду за прошедшие 25 лет произошло резкое увеличение концентраций, которые стали превышать средние по стране в 1,3 раза, таблица 4.4.

Таблица 4.3 - Средние по пятилетиям концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Западной Сибири (в долях ПДКсс): 1 – (1985-1989 гг), 2 – (2006-2010 гг)

Город	Плотность населения тыс./км ²	Пыль		SO ₂		CO		NO ₂		NO		Фенол		Формальдегид		Бензапирен		Сажа		HF		NH ₂		Сероуглерод	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Анжеро-Судженск		0,7	-	0,2	-	0,7	-	1,2	-									0,4	-			0,5			
Барнаул	2,01	1,3	1,2	0,1	0,1	0,3	0,6	0,8	1,5	0,3	0,2	1,0	0,8	2,7	3,5	5,4	3,0	1,4	0,8						2,0
Белово		0,7	-	0,2	-	0,3	-	1,2	-			1,0	-					0,8	-			2,8	-		
Белоярский	0,28	-	0,4	-	0,1	-	0,1	-	0,6	-	0,3	-	0,7		8,0			-	0,1						
Бердск	1,49	1,3	1,3	0,1	0,3	0,7	0,7	1,0	0,9							2,0	1,9	1,0	0,6						
Березово	0,36	-	0,6	-	0,1	-	0,1	-	0,6	-	0,3	-	0,7	-	6,3			-	0,1						
Бийск	1,49	2,0	0,6	0,2	0,2	0,3	0,8	1,2	1,1	0,3	0,1			-	4,3	6,2	2,0	1,0	0,7						
Заринск	0,99	0,7	0,4	0,1	0,2	1,0	0,8	0,8	1,7			1,3	1,8	-	4,7							1,7	-		
Искитим	1,74	2,0	1,2	0,1	0,3	0,3	0,9	0,8	1,1	0,2	0,4					4,1	2,8	1,2	0,8						
Кемерово	1,76	0,7	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	1,5	0,5	0,7	1,0	0,3	4,0	1,6	5,4	2,8	0,8	0,9			2,0	1,3		
Куйбышев	0,54	-	0,3	-	0,2	-	-	-	0,5	-	0,2	-	0,6	-	3,0			-	0,5			-	1,3		
Л-Кузнецкий		1,3	-	0,8	-	0,7	-	1,0	-			2,7	-					1,8	-			2,5	-		
Называевск		-	-	0,8	-	-	-	1,5	-			2,0	-	3,3	-							2,0	-		
Нефтеюганск	0,78	0,7	0,5	0,4	0,1	0,7	0,1	1,5	0,7	-	0,3	-	0,7	-	2,7			-	0,1						
Нижневартовск	0,93	6,0	0,6	1,4	0,1	0,3	0,3	1,8	1,0	0,7	0,4	-	0,6	-	2,5			-	0,1						
Новокузнецк	1,33	2,0	1,5	0,5	0,3	0,3	0,4	1,2	1,2	0,3	0,4	1,7	0,7	2,7	3,7	11,6	5,0	1,8	0,3	2,6	1,5	1,2	0,1		
Новосибирск	3,05	1,3	1,4	0,2	0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	0,3	0,7	0,7	1,0	3,7	3,2	4,0	2,5	1,2	0,3		0,7	0,5	1,1		
Обь		2,7	-	0,2	-	0,3	-	1,0	-									1,4	-						
Омск	2,16	0,7	0,6	0,2	0,1	0,7	0,6	1,0	0,6	0,8	0,3	1,0	0,3	3,0	3,1	2,2	2,2	0,4	0,2			3,2	0,4		
Осинники		1,3	-	-	-	0,3	-	0,8	-			1,3	-												
Прокопьевск	0,99	2,0	2,2	0,5	0,2	0,3	0,5	0,8	2,1	0,3	0,6	0,3	-	1,7			8,2	2,9	1,2	0,6			2,5	-	
Радужный	0,34	-	0,6	-	0	-	0,0	-	0,6	-	0,2	-	0,1	-	5,3			-	0,7						
Салехард	1,64	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3					-	6,3	3,3	2,2								
Славгород		1,3	-	0,3	-	0,4	-	0,4	-																
Сургут	1,44	0,7	0,8	0,3	0,1	0,6	0,5	0,7	0,8	-	0,4	-	0,7	-	3,1	-	1,7								
Тобольск	0,44	0,7	0,1	0,8	0,1	0,7	0,3	0,5	0,4	0,2	0,1	2,0	0,3	-	1,6	4,8	-								
Томск	2,07	1,3	0,7	0,2	0,1	0,3	0,6	0,8	1,0	0,2	0,4	0,7	0,3	1,7	3,6	2,9	2,2	0,8	0,1			1,5	0,2		
Тюмень	2,47	2,0	1,3	0,2	0,1	0,3	0,7	1,0	1,3	0,5	1,7	1,0	0,7	3,7	4,4	5,0	2,9								
Ханты-Мансийск	0,30	0,7	0,5	0,4	0,1	0,3	0,1	0,2	0,8	-	0,3	-	0,5	-	1,7			-	0,1						
Юрга		1,3	-	0,1	-	0,3	-	1,0	-			0,7	-					0,8							
Сумма		35,5	17,2	8,8	3,1	11	9,8	24,7	21,9	4,6	8,0	18,4	10,8	26,5	72,6	65,1	34,1	16,0	7,0			20,4	4,4		
Число случаев		25	22	25	22	25	21	26	22	12	19	15	17	9	19	13	13	15	17	1	2	11	6		
Средняя		1,42	0,78	0,35	0,15	0,44	0,47	0,95	1,00	0,38	0,42	1,23	0,64	2,94	3,82	5,0	2,6	1,07	0,41	-	-	1,85	0,73		
Средняя по РФ			0,77		0,14		0,47		1,00				0,67	2,00	3,0		2,2		0,62	-	-		0,65		

Таблица 4.4 -Осредненные по территории Западной Сибири среднегодовые концентрации загрязняющих веществ (в долях ПДКсс) отдельно по пятилетиям

Примесь	Период наблюдений		Динамика роста средних годовых концентраций	Средняя по городам РФ, 2010 г	Соответствие средним по городам России, 2010г
	1986-1989гг	2006-2010гг			
Взвешенные вещества	1,42	0,78	Уменьшение	0,77	Соответст.
Сернистый ангидрид	0,35	0,15	Уменьшение	0,14	Соответст.
Оксид углерода	0,44	0,47	Незнач. увеличение	0,47	Соответст.
Диоксид азота	0,95	1,00	Незнач. увеличение	1,00	Соответст.
Оксид азота	0,38	0,42	Незнач. увеличение	0,60	Ниже, чем по РФ
Фенол	1,23	0,64	Уменьшение	0,67	Соответст.
Сажа	1,07	0,41	Уменьшение	0,62	Ниже, чем по РФ
Формальдегид	2,94	3,82	Увеличение	3,0	Выше, чем по РФ
Бензапирен	5,00	2,6	Уменьшение	2,2	Выше, чем по РФ

Ниже дана подробная характеристика динамики среднегодовых концентраций для большинства загрязняющих веществ, поименованных в таблицах 4.3 и 4.4.

Взвешенные вещества (ПДКсс = 0,15 мг/м³, ПДКмр= 0,5 мг/м³, вещество третьего класса опасности)[41].

Взвешенные вещества – это разнородная смесь органических и неорганических соединений. Подразделяются на грубую и мелкодисперсную фракции: ВЧ₁₀ и ВЧ_{2,5}.

ВЧ₁₀ – грубая фракция с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 10 мкт (поднятая ветром пыль при обработке почвы, пыль с голых участков земли и дорог без дорожного покрытия или от горнодобывающих предприятий. Сюда же относятся брызги морской воды, пыльцевые зерна, плесневые споры, частички растений и насекомых и пр.).

ВЧ_{2,5} – формируется из газов, состоят из частичек летучей золы, сульфатов, нитратов и пр.

В зависимости от фракции время жизни взвешенных веществ в атмосфере составляет от нескольких минут до 22 суток [42].

Взвешенные вещества по современным оценкам Европейской секции ВОЗ наряду с озоном представляет основную опасность для здоровья населения [43]. Как известно,

крупные и мелкие по размерам частицы оказывают различное влияние на здоровье человека. Если первая группа аэрозолей проникает только в область верхних дыхательных путей через рот или нос, то вторая, как правило, проникает в легкие и осажается в нижних слоях дыхательного тракта. Поэтому степень риска возникновения заболеваний от поступления в человеческий организм вдыхаемых частиц аэрозоля будет зависеть от их фракций.

В Западной Сибири наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха пылью ведутся без разграничения грубодисперсной и мелкодисперсной фракций. Измеряются так называемые «взвешенные вещества», которые включают в себя весь спектр твердых частиц (почвенную пыль, золу, сажу, сульфаты, нитраты и т.д. и т.п.), а также все другие мелкие частицы, относящиеся к разряду твердых.

Исходя из данных таблицы 4.3, видно, что в 1986-1989 гг почти в 60% городов Западной Сибири среднегодовые концентрации пыли превышали ПДКсс. Наиболее загрязненным пылью был Нижневартовск (6,0 ПДКсс). В два раза превышался допустимый уровень по пыли в Бийске, Искитиме, Новокузнецке, Прокопьевске и Тюмени. К 2006-2010 гг количество городов с загрязнением атмосферного воздуха пылью выше допустимых пределов снизилось до 32%, но все же в 7-и городах региона отмечались среднегодовые концентрации выше ПДКсс (Барнаул 1,2 ; Искитим 1,2 ; Бердск 1,3 ; Тюмень 1,3 ; Новосибирск 1,4 ; Новокузнецк 1,5 ; Прокопьевск 2,2). В настоящее время самым грязным по пыли городом региона является Прокопьевск, в котором расположено множество открытых угольных терриконов, с поверхности которых пыль поступает в атмосферу. На рисунке 4.4 показан ход среднегодовых концентраций пыли и годового вала выбросов этого вещества по г. Прокопьевску. Видно, что в начале

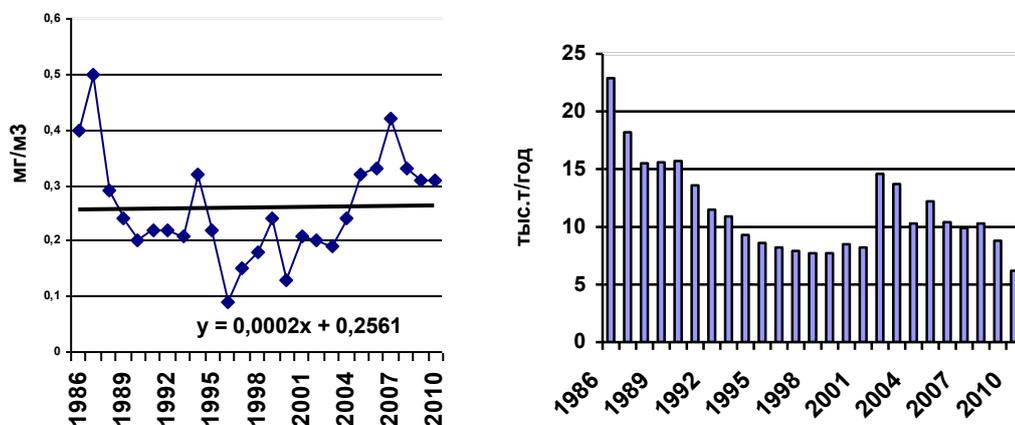


Рисунок 4.4 - Динамика изменения среднегодовых концентраций ($\text{мг}/\text{м}^3$) и годового вала выбросов пыли ($\text{тыс.т}/\text{год}$) в г. Прокопьевске

периода вплоть до 2000 г просматривалась взаимосвязь между этими параметрами, т.е. уменьшению вала выбросов соответствовало уменьшение среднегодовых концентраций пыли. Начиная с 2000-2002 гг эта взаимосвязь нарушилась: вал выбросов уменьшался, а концентрации пыли увеличивались. Возможно, это произошло из-за большего влияния метеорологических факторов. Такую же картину показали графики для г. Новосибирска, т.е. полное отсутствие взаимосвязей между эмиссиями пыли и формируемыми среднегодовыми концентрациями, рисунок 4.5.

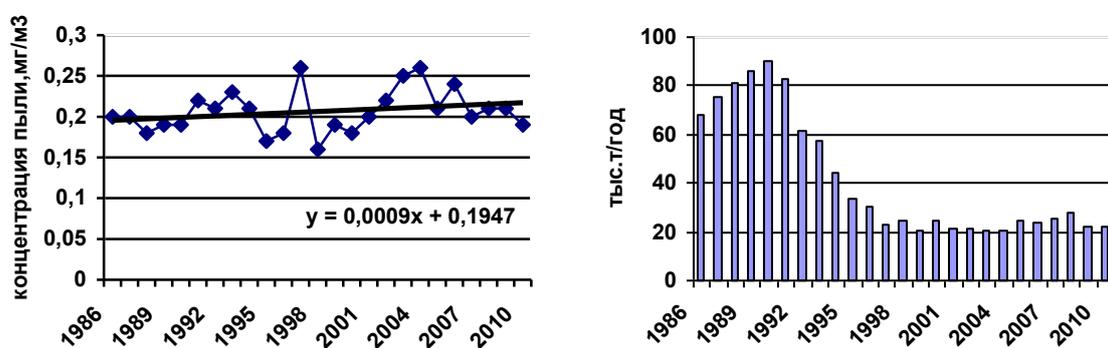


Рисунок 4. 5 - Динамика изменения среднегодовых концентраций и вала выбросов пыли в г. Новосибирске

Отсутствие взаимосвязи между среднегодовыми концентрациями пыли и годовым валом выбросов этой примеси в атмосферу можно объяснить и тем, что в последнее время ответственность за достоверность вала выбросов вредных веществ в атмосферу возложена на статуправления, которые без предварительного анализа накапливают эти данные, не придерживаясь единого списочного состава промышленных предприятий, подлежащих государственной отчетности со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Если анализировать тенденцию уменьшения среднегодовых концентраций пыли от начала периода до его конца, то для подавляющего большинства городов она отрицательная, т.е. произошло уменьшение концентраций пыли, кроме Прокопьевска и Новосибирска, где просматривается, наоборот, незначительная тенденция увеличения загрязнения атмосферного воздуха .

Средняя по городам Западной Сибири концентрация пыли составляла в 1986-1989 гг 1,4 ПДКсс, к 2006-2010 гг она снизилась до 0,78 ПДКсс. По данным [40] средняя по городам РФ концентрация пыли была равна 0,77 ПДКсс , т.е. города Западной Сибири по

загрязнению атмосферного воздуха пылью находятся на одном уровне с городами Российской Федерации.

Сернистый ангидрид (диоксид серы, SO_2 , ПДКсс = 0,05 мг/м³, ПДКмр = 0,5 мг/м³, вещество третьего класса опасности) [41] .

Бесцветный газ с острым запахом и кислым вкусом. Выбрасывается в атмосферный воздух в больших количествах в основном от предприятий черной и цветной металлургии при обработке сернистых руд, а также от предприятий теплоэнергетики в процессе сгорания серосодержащего топлива (угля, мазута, дизельного топлива) и напрямую зависит от процента содержания серы в руде и топливе. Практически не выделяется при сгорании дров и газа, за исключением тех газов, в состав которых входят серосодержащие соединения.

Загрязненный сернистым ангидридом воздух вызывает у человека нарушение дыхательных путей и слизистых оболочек, что приводит к увеличению различных болезней носоглотки, трахеи, бронхов, сопровождающихся кашлем, хрипотой и болью в горле.

Время жизни в атмосфере составляет от 1,5 до 7 суток [42] .

Сернистый ангидрид является причиной очень многих негативных явлений, происходящих в природной среде. Он в числе других серосодержащих является основным загрязняющим веществом, который примерно на 70% формирует кислотность выпадающих осадков. Кислотные осадки в свою очередь вызывают гибель лесных массивов и омертвление фауны озер и других водоемов. Другими словами, сернистый ангидрид – это ассимиляционный яд, действие которого вызывает необратимые физиологические и метаболические нарушения и гибель растений.

Среднегодовые концентрации сернистого ангидрида в подавляющем большинстве городов Западной Сибири в начале периода находились в пределах 0,1-0,8 ПДКсс при среднем их значении в целом по территории региона 0,35 ПДКсс. Исключение из общего правила составил Нижневартовск, в котором среднегодовая концентрация сернистого ангидрида составляла 1,4 ПДКсс. В конце периода (2006-2010 гг) среднегодовые концентрации сернистого ангидрида на территории Западной Сибири были зафиксированы на уровне 0,15 ПДКсс, т.е. ниже в 2,3 раза по сравнению с началом периода и соответствовали средней по стране 0,14 ПДКсс [40] .

Исходя из этого, можно с уверенностью сказать, что для территории Западной Сибири не характерно загрязнение атмосферного воздуха сернистым ангидридом, т.к. предприятия топливно-энергетического комплекса здесь сжигают в основном газ, а если используют угли, то они имеют малую сернистость по сравнению с углями,

используемыми на Европейской территории РФ. Так сернистость кузнецких углей составляет 0,4-0,8%, в то время как подмосковных и донецких 3-6% [36].

Диоксид азота (NO_2 , ПДКсс= 0,04 мг/м³, ПДКмр= 0,20 мг/м³, вещество третьего класса опасности) [41].

В феврале 2006 года для диоксида азота было изменено значение ПДКмр с 0,085 мг/м³ на 0,20 мг/м³, а также класса опасности вещества со второго на третий [44] . Такое решение Роспотребнадзора приблизило стандарты качества атмосферного воздуха РФ к показателям качества ВОЗ.

Время жизни в атмосфере по данным [45] составляет 7-10 часов, а по данным [42] до 4 суток.

Диоксид азота - красно-бурый газ с неприятным запахом, вызывает головную боль, бессонницу, поражает слизистые оболочки глаз, дыхательных путей.

Диоксид азота – одно из основных веществ, которое наряду с пылью и сернистым ангидридом, присутствует в атмосферном воздухе любого города. Основными источниками выбросов диоксида азота являются предприятия теплоэнергетики, а также автотранспорт, парк которого увеличивается из год в год. Чем крупнее город, тем больше необходимо топлива для его обогрева и тем больше единиц автотранспорта в нем присутствует. Поэтому считается, что чем крупнее город, тем больше его атмосферный воздух должен быть загрязнен диоксидом азота. Однако, практика показывает, что и в малых городах с населением менее 100 тыс.человек, среднегодовые концентрации диоксида азота могут быть даже выше, чем в крупных городах. Возможно это связано с тем, что в малых городах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха осуществляются всего на одном посту, который может располагаться в не репрезентативном для города месте. Возможно, причина кроется в чем - то другом.

Так как концентрации диоксида азота играют очень важную роль в фотохимических процессах, протекающих в атмосфере, особенно в районах с высокой интенсивностью солнечной радиации, контроль за содержанием этой примеси осуществляется во всех городах Западной Сибири, где развернута сеть мониторинга окружающей среды.

По данным таблицы 4.3 видно, что в 1986-1989 гг из 26 городов, охваченных наблюдениями за диоксидом азота, в 14 из них среднегодовые концентрации были выше или равны ПДКсс. Самая высокая среднегодовая концентрация диоксида азота была зафиксирована в Нижневартовске и составляла 1,8 ПДКсс. Средняя концентрация диоксида азота по городам Западной Сибири составила 0,95 ПДКсс.

К концу рассматриваемого периода (2006-2010 гг) в 11 городах региона среднегодовые концентрации диоксида азота продолжали оставаться выше ПДКсс, при средней

концентрации для всей территории Западной Сибири 1,00 ПДКсс, что соответствовало средней по РФ (1,00 ПДКсс). Самые высокие среднегодовые концентрации диоксида азота были зафиксированы в Прокопьевске и составили 2,1 ПДКсс.

Интерес к значениям концентраций диоксида азота вызван тем, что во всех городах (малых и больших) региона идет бурный прирост как личного, так и общественного транспорта. Например, в г. Новосибирске с 1990 по 2010 гг общее количество автотранспортных единиц увеличилось в 4 раза, при этом легковых в 4,5 раза, грузовых в 18 раз, автобусов в 33 раз. Такое увеличение парка автомобилей за последние 20 лет должно было вызвать значительное повышение концентраций NO_2 , о чем непрерывно говорят с экранов телевидения и пишут в различного рода статьях на экологические темы. На самом деле картина с концентрациями диоксида азота не такая однозначная, как это освещается в средствах массовой информации. Тщательный анализ показал, что из 22 городов Западной Сибири, где имеются сведения о концентрациях за весь рассматриваемый период, только в 10 из них произошел рост концентраций NO_2 , в семи - их уменьшение и в одном (Новокузнецке) они остались без изменения. Наибольший прирост концентраций диоксида азота произошел в Прокопьевске – на 1,3 ПДКсс, затем в Заринске – на 0,9 ПДКсс, в Барнауле и Кемерово – на 0,7 ПДКсс, в Ханто-Мансийске на 0,6 ПДКсс, в остальных десяти городах увеличение не превышало 0,1-0,4 ПДКсс, рисунок 4.6.

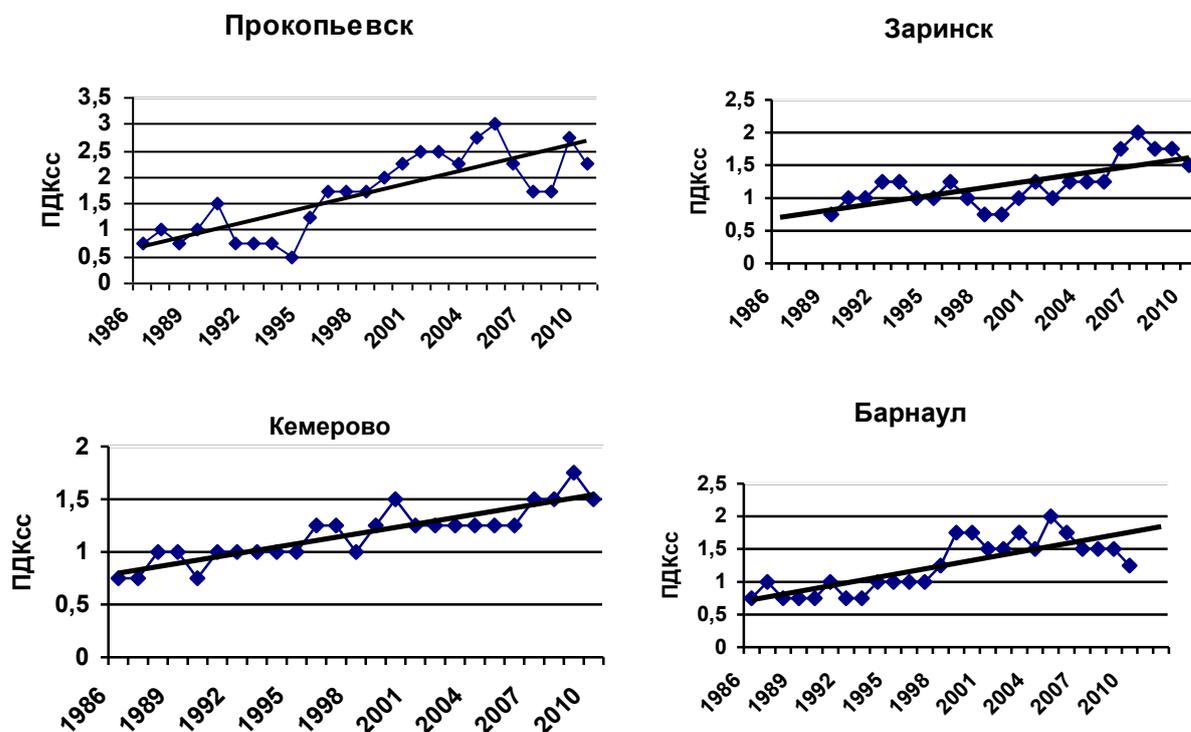


Рисунок 4. 6 - Ход среднегодовых концентраций диоксида азота в городах, где произошло их значительное увеличение

Оксид азота (NO , ПДКсс = 0,06 мг/м³, ПДКмр = 0,4 мг/м³, вещество третьего класса опасности) [41].

Бесцветный газ, на воздухе немедленно окисляется до диоксида азота. При всех процессах горения выбрасывается прежде всего оксид азота, который затем в воздухе окисляется до диоксида азота. Чем выше температура горения, тем интенсивнее идет образование окислов азота. Сочетание NO и NO_2 принято называть оксидами азота NO_x . Оксид и диоксид азота играют важную роль в фотохимических процессах, происходящих в атмосфере под влиянием солнечной радиации и являются причиной образования фотохимического смога и высоких концентраций озона и формальдегида.

Оксид углерода (угарный газ, CO , ПДКсс= 3,0 мг/м³, ПДКмр = 5,0 мг/м³, вещество четвертого класса опасности) [41].

Оксид углерода представляет большую опасность для здоровья людей, так как связывает белок крови – гемоглобин, переносящий кислород к тканям организма. При длительном вдыхании CO у людей наступает смерть.

Оксид углерода представляет собой первичное загрязняющее вещество. Его концентрации не находятся в прямой зависимости от атмосферных химических реакций, в результате которых образуются вторичные загрязнители. Основными типами химических реакций, в которых участвует CO , являются реакции присоединения и восстановления. Окисляется гидроксилем до CO_2 . Оксид углерода практически не вымывается из воздуха осадками. Его содержание в атмосфере регулируется в основном условиями переноса и рассеивания.

Вещество, которое наряду с окислами азота выбрасывается в атмосферу топливно-энергетическими предприятиями, предприятиями черной и цветной металлургии, а также на 90% определяется выхлопами различного рода автотранспорта. За счет повсеместного прироста автотранспорта уровень загрязнения оксидом углерода в атмосферном воздухе также должен повышаться, в то время как мониторинг этой примеси в городах Западной Сибири показывает разноречивую картину. В целом, ни в одном городе региона в течение рассматриваемых лет не наблюдались концентрации оксида углерода выше ПДКсс, хотя к концу периода подросли на 0,03 ПДКсс и соответствовали уровню загрязнения этой примесью атмосферного воздуха городов России. В 10 городах Западной Сибири отмечался слабый рост концентраций CO (в среднем 0,1-0,5 ПДКсс), не выходящий за пределы установленных нормативов для этой примеси., таблица 4.3.

Выделяются города северо-западных районов региона, где среднегодовые концентрации СО остаются без изменения или значительно уменьшаются. Это тем более удивительно, что в районах газонефтедобывающего комплекса происходит сжигание попутного газа в факелах, от которых в огромных количествах происходит поступление СО в атмосферу. Как он дальше распространяется и выводится из атмосферы в условиях сурового климата – остается загадкой. При том, что оксид углерода является очень устойчивым газом поскольку он инертен в атмосфере, а продолжительность его жизни по сравнению с другими газами велика и по различным оценкам составляет от 2-4 месяцев до 5 лет [42].

Если рассматривать динамику изменения среднегодовых концентраций оксида углерода совместно с динамикой изменения среднегодовых концентраций диоксида азота, то видно (таблица 4.5), что в ряде городов (Барнаул, Кемерово, Новосибирск, Прокопьевск, Томск, Тюмень, Искитим) она устойчиво положительна по обоим примесям. В других городах (Нефтеюганск, Омск, Тобольск) она устойчиво отрицательна, т.е. происходит уменьшение среднегодовых концентраций диоксида азота и оксида углерода, независимо от роста выбросов автотранспорта. В остальных городах региона она противоречива – по одной из рассматриваемых примесей среднегодовые концентрации увеличиваются, по другой уменьшаются или остаются неизменными (Бердск, Бийск, Заринск, Нижневартовск, Новокузнецк, Салехард, Сургут, Ханты-Мансийск), рисунок 4.7.

Таблица 4.5 - Изменение среднегодовых концентраций NO₂ и СО в городах Западной Сибири за 1986-2010 гг (+ увеличение, - уменьшение, 0 –без изменения)

Город	Примесь	
	NO ₂	СО
Барнаул	+	+
Бердск	-	0
Бийск	-	+
Заринск	+	-
Кемерово	+	+
Нефтеюганск	-	-
Нижневартовск	-	0
Новокузнецк	0	+
Новосибирск	+	+
Омск	-	-
Прокопьевск	+	+
Салехард	-	+
Сургут	+	-
Тобольск	-	-
Томск	+	+
Тюмень	+	+
Ханты-Мансийск	+	-
Искитим	+	+

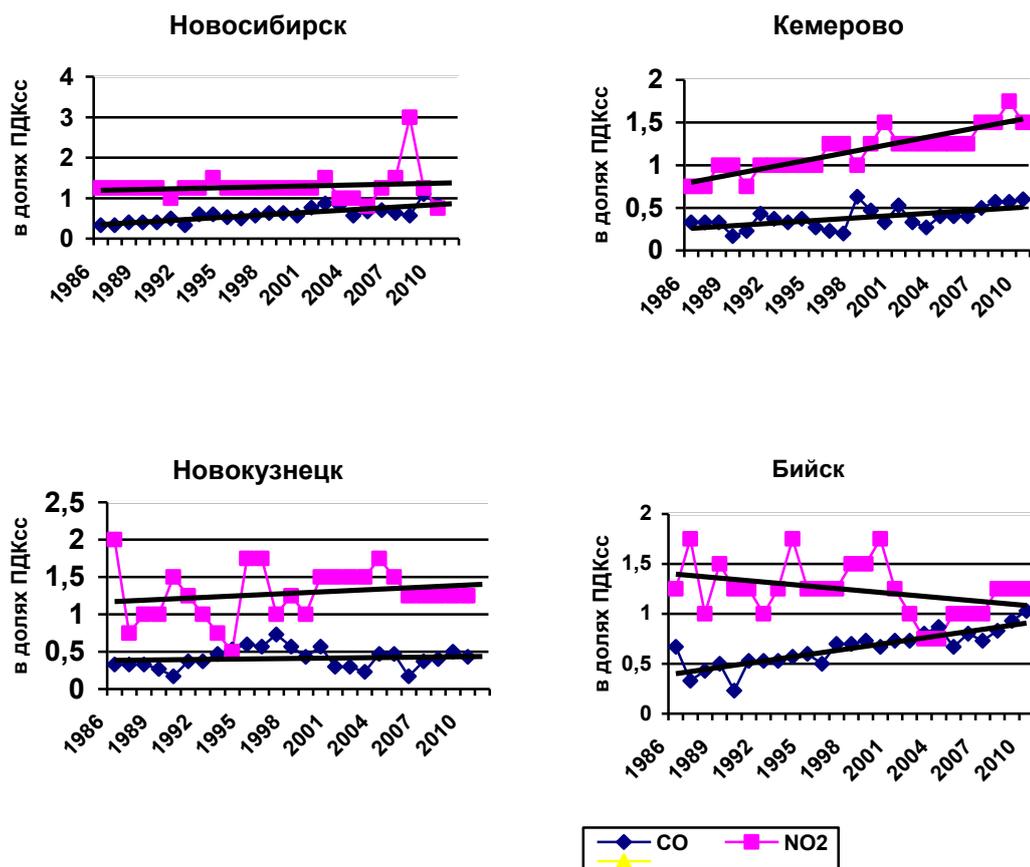


Рисунок 4. 7 - Изменение среднегодовых концентраций CO и NO₂ для некоторых городов Западной Сибири

По двум загрязняющим веществам – *бензапирену и формальдегиду* – атмосферный воздух в городах Западной Сибири загрязнен больше, чем в городах Российской Федерации.

Бенз/а/пирен (1,2-бензпирен, C₂₀H₁₂, ПДКсс = 0,000001 мг/м³, вещество первого класса опасности) [41].

Химическое вещество с ярко выраженным канцерогенным действием. Является индикатором наличия в воздухе целого класса канцерогенных ароматических углеводородов. Как правило, в атмосферу поступает с частицами сажи и пыли, которые выделяются при сгорании нефтяного мазута, сланцевых и каменноугольных смол. Кроме того, бензапирен образуется при низкотемпературных процессах термической переработки органического сырья; на предприятиях, использующих каменноугольные

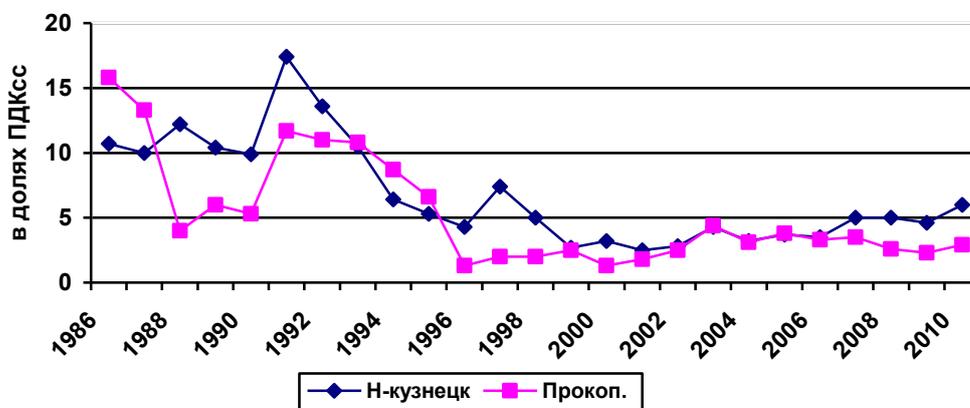
пеки, битумы, масла; при производстве резинотехнических изделий и т.п. Особенно большое его количество попадает в атмосферу от сжигания твердого топлива на мелких котельных за счет его неполного сгорания. Как утверждается в [46] , поступление бензапирена в атмосферный воздух от мелких котельных происходит гораздо больше, чем от крупных ТЭЦ или ГРЭС при одинаковом количестве сжигаемого топлива. Большое количество бензапирена в атмосферный воздух поступает и от автотранспорта [47]. По данным [48] наиболее высокие концентрации бензапирена в атмосферном воздухе устанавливаются в городах с крупными заводами по производству алюминия.

Время жизни бензапирена в атмосфере по [49] составляет 7 суток.

Наблюдения за содержанием бензапирена в атмосферном воздухе, как в начале, так и конце рассматриваемого периода, проводились в 13 городах Западной Сибири. Во всех этих городах среднегодовые концентрации бензапирена были выше ПДКсс и в среднем по региону составляли в 1986-1989 гг 5 ПДКсс, а в 2006-2010 гг уменьшились почти в два раза и наблюдались на уровне 2,6 ПДКсс, превышая средний российский уровень в 1,2 раза, таблица 4.4. Снижение среднегодовых концентраций бензапирена наблюдалось во всех городах региона, за исключением г. Омска, где он оставался на том же уровне 2,2 ПДКсс, таблица 4.3.

Наиболее загрязнен атмосферный воздух бензапиреном в двух городах Кузбасса – Новокузнецке – центре черной и цветной металлургии, и в Прокопьевске – шахтерском городе, рисунок 4.8.

Рисунок 4.8 - Динамика изменения среднегодовых концентраций бензапирена



Столь значительное уменьшение концентраций бензапирена, очевидно, связано с газификацией ряда городов Западной Сибири. Использование для отопления в 1986-1989 гг огромного количества твердого топлива, которое давало значительную эмиссию бензапирена, сменилось на постепенное увеличение доли газа даже в отоплении частного жилого сектора. Возможна и другая причина уменьшения загрязнения атмосферного воздуха бензапиреном, связанная с общим потеплением климата, за счет чего произошло сокращение продолжительности отопительного периода. Нельзя сбрасывать со счетов и общий спад производства и уменьшение вала выбросов этой примеси.

Формальдегид (муравьиный альдегид, метаналь, CH_2O , ПДКсс = 0,003 мг/м³, ПДКмр = 0,035 мг/м³, вещество второго класса опасности) [41].

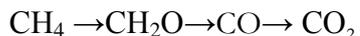
Газообразное бесцветное вещество с резким неприятным запахом. Хорошо растворяется в воде и эффективно выводится из атмосферы осадками.

При поступлении формальдегида в организм человека он проникает практически во все органы и ткани, действуя губительно на центральную нервную систему и поражая слизистую оболочку глаз и дыхательные пути. Высокие концентрации формальдегида с высокой вероятностью приводят к возникновению раковых заболеваний.

Средняя продолжительность жизни формальдегида в атмосфере существенно зависит от погодных условий. На 30° с.ш. она равна 3 часам, но может быть длительной при высокой солнечной интенсивности и меньше при облачности [50]. По другим оценкам [51] время жизни формальдегида в атмосфере составляет зимой 8,6 ч, летом 3,8 ч.

Основными источниками поступления формальдегида в атмосферный воздух являются выбросы промышленных предприятий и автотранспорта, которые делятся на первичные и вторичные. Первичные источники – это выбросы формальдегида в «чистом виде» непосредственно от предприятий ряда отраслей промышленности: нефтехимии, угольной, производства пластмасс, лаков, красок, деревообработки и др. Но преобладающим поставщиком формальдегида в атмосферу из этой группы источников являются установки сжигания топлива – теплоэлектростанции, котельные, мусоросжигающие заводы и автотранспорт. Выделение формальдегида автотранспортом велико и по некоторым оценкам [47] составляет около половины его присутствия в городской среде. В качестве вторичных источников поступления формальдегида выступает процесс фотоокисления органических соединений, поступающих в атмосферу от первичных углеводородов (метана, этана, этилена, пропилена, изопрена, толуола, метанола, стирола и многих других), из которых при фотоокислении образуется формальдегид. Фотохимические реакции усиливаются в атмосфере при высокой солнечной радиации в летние месяцы.

Окисление самого распространенного на территории Западной Сибири углеводорода – метана (CH₄)- в атмосфере протекает через стадию образования формальдегида и оксида углерода через реакции по [42]:



Более подробная последовательность реакций при окислении метана в атмосфере приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Последовательность реакций при окислении метана в атмосфере [42]

Номер	Реакция
1	$\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
2	$\text{CH}_3 + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{CH}_3\text{O}_2 + \text{M}$
3	$\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{CH}_3\text{O} + \text{NO}_2$
3а	$\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OOH} + \text{O}_2$
3б	$\text{CH}_3\text{OOH} + h\nu \rightarrow \text{CH}_3\text{O} + \text{OH}$
4	$\text{CH}_3\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCHO} + \text{OH}_2$
5	$\text{HCHO} + \text{OH} \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2\text{O}$
5а	$\text{HCHO} + h\nu \rightarrow \text{HCO} + \text{H}$
6	$\text{HCHO} + h\nu \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$
7	$\text{HCO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{HO}_2$
8	$\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$

Интерес к формальдегиду вызван тем, что в последние годы произошло резкое увеличение его концентраций как на территории всей России, так и на территории Западной Сибири. Можно сказать, что прошедшее двадцати пятилетие прошло под эгидой роста содержания этой примеси в атмосферном воздухе городов, что Э.Ю. Безуглая [52] связывает с возрастанием химической активности атмосферы за счет общего потепления климата.

Анализ данных о концентрациях формальдегида в городах Западной Сибири показывает, что они являются в основном вторичной примесью, образованной в процессе фотоокисления огромного количества углеводородов, выбрасываемых на территории региона в результате промышленного освоения Севера, а также в результате больших площадей, занятых болотами.

Средняя концентрация формальдегида в атмосферном воздухе городов РФ составляла в 1986-1989 гг 2,0 ПДКсс, к 2006-2010 гг она возросла до 3,0 ПДКсс. На этом фоне загрязнение формальдегидом атмосферы городов Западной Сибири составляло

соответственно 2,94 и 3,82 ПДКсс, т.е. было выше общероссийских в 1,5-1,3 раза, таблица 4.3.

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха формальдегидом в северо-западных городах региона были открыты лишь в 2002-2003 гг из-за сильного загрязнения этой территории на протяжении ряда десятилетий бесконтрольными выбросами углеводородсодержащего газа, состоящего на 90-95% из метана (CH_4), который под действием солнечной радиации и температуры воздуха разлагается с образованием формальдегида. Атмосферный воздух, очевидно, уже не способен переработать такое количество загрязнителей, что выражается в росте его среднегодовых и максимально-разовых концентраций. Повторяемость числа случаев с концентрациями формальдегида более ПДК_{мр} в таких городах как Салехард, Радужный, Омск достигала 30 и более процентов за год.

Таким образом, вопрос снижения загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в настоящее время актуален и требует дополнительных исследований.

На фоне общего роста среднегодовых концентраций формальдегида от начала периода до его конца в двух городах региона (в Кемерово и Новосибирске) произошло снижение его среднегодовых концентраций, рисунок 4.9. Это, возможно, произошло за счет закрытия или перепрофилирования ряда производств с выбросами углеводородсодержащих газов.

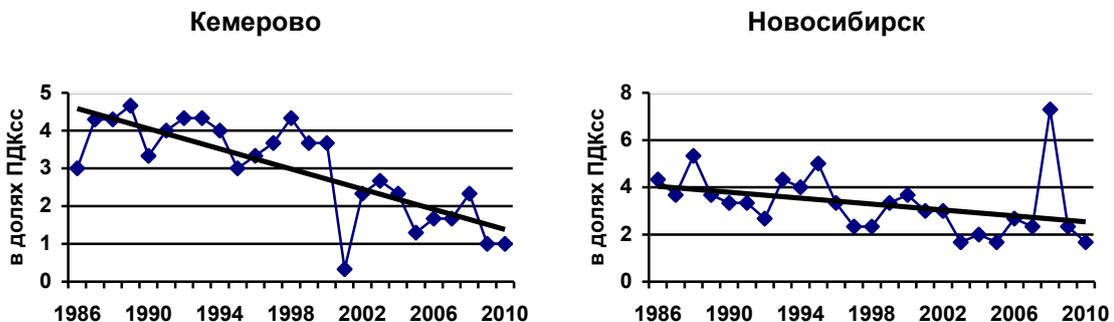


Рисунок 4.9 - Изменение среднегодовых концентраций формальдегида в Кемерово и Новосибирске

В заключение можно сказать, что в большинстве городов Западной Сибири в последние годы произошло снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха практически по всем измеряемым примесям, кроме формальдегида. При этом средние показатели загрязнения атмосферного воздуха по пыли, сернистому ангидриду, оксиду углерода, диоксиду и оксиду азота, фенолу и саже соответствуют общероссийским показателям. По бензапирену, хотя снижение среднегодовых концентраций и

наблюдается, но уровень загрязнения этой примесью атмосферного воздуха городов Западной Сибири в 1,2 раза превышает общероссийские показатели. И только по формальдегиду произошло увеличение среднегодовых концентраций в 1,3 раза (от начала до конца периода наблюдений), что выше на такую же величину общероссийских показателей.

Вторая особенность картины загрязнения атмосферного воздуха городов Западной Сибири заключается в том, что не во всех промышленных городах региона произошло увеличение среднегодовых концентраций NO_2 , NO и CO за счет стремительного и неконтролируемого роста числа автомобилей в рассматриваемый период.

5. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ОТ ЕГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Прежде чем анализировать зависимость между уровнем загрязнения атмосферного воздуха и комплексным метеорологическим показателем загрязнения атмосферы (МПЗА), необходимо предварительно дать оценку имеющейся информации как по загрязнению атмосферного воздуха, так и по метеорологическим наблюдениям, т.к. качество используемых данных определяют тесноту и достоверность связей.

В нашем распоряжении для характеристики загрязнения атмосферного воздуха имелись среднегодовые концентрации ряда примесей, контролируемых в 22 –х городах Западной Сибири за период с 1986 по 2010 гг и публикуемых в «Ежегодниках состояния загрязнения...» [37-38]. Среднегодовые концентрации примесей (Q_{cp}) являются статистически обоснованными характеристиками, т.к. получаются путем осреднения всех наблюдаемых концентраций за три срока по всем постам, расположенным в том или ином городе. Среднегодовые концентрации характеризуют состояние загрязнения атмосферного воздуха той или иной примесью, возникающее в результате взаимодействия множества источников выбросов от промышленных предприятий, автотранспорта, частного жилого сектора, а также адвекции загрязненного воздуха из других районов региона.

Анализ имеющейся информации по среднегодовым концентрациям примесей не внушает оптимизма. Прежде всего, как говорилось выше, набор контролируемых ингредиентов в каждом городе региона различен и его выбор определяется спецификой имеющегося производства, что делает невозможным осуществлять сравнительную оценку уровней загрязнения атмосферного воздуха городов. Даже пять основных ингредиентов (взвешенные вещества, сернистый ангидрид, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода) контролировались не в каждом городе. Отсутствовали наблюдения за окислами азота (NO) в Заринске и Бердске; за оксидом углерода в Куйбышеве, Прокопьевске (в отдельные годы), что заставляет выбраковывать эти города при нахождении корреляционных связей или ставить под сомнение полученные результаты. Кроме того, сами наблюдения за концентрациями загрязняющих веществ в некоторых городах региона желают быть лучше в смысле их достоверности. Примером тому служат Искитим и Бердск, где наблюдения осуществляются одной передвижной автомашиной без строгого соблюдения сроков наблюдений и места отбора проб воздуха. Если к этому добавить, что погрешность

анализа проб воздуха по ряду ингредиентов достигает $\pm 25\%$, то становится очевидным, что база данных по загрязнению атмосферного воздуха не всегда может быть адекватной фактическому положению вещей.

С другой стороны, для нахождения корреляционных связей между МПЗА и уровнем загрязнения атмосферного воздуха (Q_{cp}), необходимы метеорологические данные, характеризующие климат городской местности. Однако, из 22 городов, где проводятся наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, в Сургуте и Бердске отсутствуют метеорологические наблюдения. В Куйбышеве и Прокопьевске из-за отсутствия метеорологических станций, они были взяты по близлежащим (соответственно Барабинску и Новокузнецку). Ряд метеостаций за рассматриваемый период осуществили перенос метеоплощадок, тем самым прервав однородность ряда наблюдений. Так, метеоплощадка Ханты-Мансийска в 2006 г. была перенесена с улицы Менделеева на Тобольский тракт и т.д. Кроме того, из-за интенсивного строительства в пригородных районах городов происходит постепенная блокировка метеоплощадок высотными зданиями и другими объектами, что искажает воздушные потоки, увеличивая ситуации со слабыми ветрами.

Еще одна проблема, значительно влияющая на тесноту корреляционных связей между МПЗА и уровнем загрязнения атмосферного воздуха, связана с исключением влияния выбросов вредных веществ в атмосферу. Чтобы максимально исключить это влияние, рекомендуется [53] использовать ряд наблюдений не более 5 лет. Необходимость такого решения объясняется тем, что пятилетний период является оптимальным, т.к. быстро меняющийся антропогенный фактор может вызвать неоднородность ряда наблюдений (под антропогенным фактором здесь подразумевается ввод, закрытие, перепрофилирование промышленных предприятий, а также спад промышленного производства). Выбранный же нами 25- летний период наблюдений (1986-2010 гг) отличался резким спадом производства во всех городах региона с одновременным ростом количества автотранспорта. Если информация по выбросам вредных веществ в атмосферу от промышленных предприятий до 2000 г не вызывает нареканий, то в последующие годы ее достоверность снизилась, о чем писалось выше. Выбросы же от автотранспорта практически невозможно использовать ввиду их отсутствия. Поэтому в таблице 5.1 показано изменение вала выбросов вредных веществ в атмосферу в городах Западной Сибири за весь 25-летний период, а также за последние 10 и 5 лет только от промышленных предприятий.

Если рассматривать весь 25-летний период наблюдений, то из таблицы 5.1 видно, что спад промышленного производства привел к резкому сокращению выбросов вредных

веществ в атмосферу во всех городах Западной Сибири, за исключением Прокопьевска. Но и там спад наблюдался до 2001 г., затем произошел его небольшой рост, сменившийся в 2007 г. новым падением. В целом, за прошедшие 25 лет выбросы вредных веществ в атмосферу в городах Западной Сибири сократились в 2,8 раза. Наибольшее сокращение отмечалось в таких городах, как Новокузнецк, Омск, Барнаул, Бийск и Новосибирск, т.е. в наиболее развитых промышленных центрах.

Таблица 5.1 – Изменение вала выбросов вредных веществ в атмосферу от промышленных предприятий в городах Западной Сибири в различные временные периоды, тыс.т/год

Город	25- летний период			10- летний период			5- летний период		
	1986	2010	Δ	2001	2010	Δ	2006	2010	Δ
Новокузнецк	1021,9	309,6	-712,3	504,2	309,6	-194,6	435,5	309,6	-125,9
Бийск	161,6	28,4	-133,2	40,0	28,4	-11,6	32,2	28,4	-3,8
Барнаул	203,0	55,6	-147,4	63,2	55,6	-7,6	49,4	55,6	+6,2
Нижевартовск				22,6	16,6	-6,0	25,6	16,6	-9,0
Кемерово	154,5	55,4	-99,1	61,8	55,4	-6,4	53,6	55,4	+1,8
Прокопьевск	50,0	55,9	+5,9	64,8	55,9	-8,9	81,2	55,9	-25,3
Куйбышев	73,2	6,8	-66,4	12,1	6,8	-5,3	7,2	6,8	-0,4
Искитим	35,9	5,2	-30,7	7,6	5,2	-2,4	7,7	5,2	-2,5
Бердск	8,4	5,5	-2,9	9,1	5,5	-3,6	5,8	5,5	-0,3
Салехард	8,2	2,2	-6,0	6,2	2,2	-4,0	2,6	2,2	-0,4
Нефтеюганск							1,1	0,8	-0,3
Радужный							0,5	0,4	-0,1
Ханты-Мансийск	4,8	0,9	-3,9	1,0	0,9	-0,1	0,8	0,9	+0,1
Омск	518,7	198,2	-320,5	197,7	198,2	+0,5	166,1	198,2	+32,1
Тюмень	38,4	12,5	-25,9	11,6	12,5	+0,9	12,7	12,5	-0,2
Заринск				26,9	28,7	+1,8	28,3	28,7	+0,4
Тобольск	15,2	10,2	-5,0	8,0	10,2	+2,2	8,9	10,2	+1,3
Белоярский							11,5	12,2	+0,7
Томск	45,1	32,6	-12,5	24	32,6	+8,6	26,9	32,6	+5,7
Сургут	90,4	67,3	-23,1	60,0	67,3	+7,3	67,1	67,3	+0,2
Новосибирск	221,3	101,7	-119,6	87,6	101,7	+14,1	104,1	101,7	-2,4
Березово							34,0	47,7	+13,7
ИТОГО	2650,6	948,0	-1702,6	1208,4	993,3	-215,1	1162,8	1054,4	-108,4

Примечание: Δ - разность между валом выбросов в начале и конце периода

В последние 10 лет (2001-2010гг) наметилось замедление падения выбросов, хотя для большинства городов оно продолжалось, но не такими темпами, как в предыдущие годы. За эти десять лет выбросы от начала до конца периода сократились в 1,2 раза, а в таких городах как Омск, Заринск, Тюмень, Тобольск, Томск, Сургут и Новосибирск вал выбросов от промышленных предприятий стал даже несколько увеличиваться.

Последнее пятилетие (2006 -2010 гг) можно считать наиболее стабильным по изменению вала выбросов вредных веществ в атмосферу, хотя в отдельных городах региона и в этот период отмечались значительные колебания выбросов как в сторону их увеличения, так и уменьшения. К таким городам относится Новокузнецк (-29%), Прокопьевск (-31,1%) и Омск (+19,3%). Тем не менее, для нахождения корреляционных связей между МПЗА и уровнем загрязнения атмосферного воздуха был выбран период с 2006 по 2010 гг, когда влияние вала выбросов было минимальным.

По логике рассуждений комплексный метеорологический потенциал загрязнения атмосферы МПЗА должен сравниваться с неким обобщенным показателем качества воздуха, в роли которого могут выступать различные показатели (дальность видимости, количество проживающего населения, количество сожженного топлива и т.д. и т.п.), но предпочтение во все мире отдается фактически измеренным среднегодовым концентрациям примесей, нормированным на величины стандартов качества чистоты атмосферного воздуха, в роли которых в РФ выступают предельно допустимые среднесуточные (среднегодовые) концентрации (ПДКсс).

В РФ в качестве такого показателя используется так называемый индекс загрязнения атмосферы ИЗА₅, который рассчитывается по 5-и самым высоким значениям среднегодовых концентраций по формуле:

$$ИЗА_5 = \sum Q_{срi} (/ ПДК_{срi})^{k_i},$$

где m – количество учитываемых загрязняющих веществ (в нашем случае $m = 5$); $Q_{срi}$ – среднегодовая концентрация i –того загрязняющего вещества мг/м³; $ПДК_{срi}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация i –того загрязняющего вещества; k_i – безразмерная константа приведения степени вредности i –того загрязняющего вещества к веществам третьего класса опасности. Для веществ 4,3,2 и 1 класса опасности k_i соответственно равна 0,9; 1,0; 1,3 и 1,5 [54].

Основным недостатком ИЗА₅ является то обстоятельство, что набор пяти примесей с самыми высокими среднегодовыми концентрациями в каждом городе будет разным,

поэтому сравнивать уровень загрязнения атмосферы городов региона с помощью ИЗА₅ не совсем корректно. Нами для такого сравнения были рассчитаны индексы загрязнения атмосферы по 4 основным загрязняющим веществам (взвешенным веществам, сернистому ангидриду, диоксиду азота и оксиду углерода), наблюдения за которыми велись почти во всех городах Западной Сибири. Эти вещества присутствуют в атмосфере каждого города в результате сжигания любых видов топлива и составляют по массе до 80-90% городского вала выбросов.

В таблице 5.2 показаны коэффициенты корреляции между МПЗА и индексами загрязнения атмосферы – ИЗА₅ (набор пяти примесей с самыми высокими концентрациями) и ИЗА₄ (набор четырех основных примесей) за пятилетний период наблюдений.

Таблица 5.2 – Коэффициенты корреляции между МПЗА и индексами загрязнения атмосферы, 2006-2010 гг

Города	Индексы загрязнения атмосферы	
	ИЗА ₅	ИЗА ₄
Кемерово		
Барнаул	0,68	
Бийск		
Новокузнецк		
Тобольск		0,85
Тюмень		-0,69
Омск		0,66
Прокопьевск		0,53
Заринск		-0,92
Новосибирск		
Искитим		0,66
Томск	-0,90	0,53
Ханты-Мансийск		-0,95
Радужный		
Куйбышев		
Салехард		
Нефтеюганск		
Нижневартовск		0,58
Березово		-0,59

Примечание- пустые графы означают отсутствие значимых связей ($r < 0,50$)

В таблицу 5.2 из общего количества найденных коэффициентов корреляции были занесены только те, у которых $r \geq 0,50$ (значимые связи по Чеддоку). Коэффициенты корреляции с $r < 0,50$ (слабые связи) в таблицу 5.2 не заносились и в дальнейшем не анализировались, т.к. отсутствие заметных связей могло быть обусловлено множеством причин, индивидуальных для каждого города, о которых писалось выше.

Анализ таблицы 5.2 показал, что связь между МПЗА и ИЗА₅ с коэффициентами корреляции $r \geq 0,50$ практически отсутствует, за исключением Барнаула и Томска. Такой результат был предсказуем и логически обоснован. Связь между МПЗА и ИЗА₄ с $r \geq 0,50$

показали уже большее количество городов. Причем для ряда городов она оказалась высокой $r \geq 0,70$ и даже очень высокой $r \geq 0,90$.

Для большинства городов региона в период 2006-2010 гг коэффициенты корреляции между МПЗА и ИЗА₄ дали положительный знак, т.е. с ухудшением метеорологических условий рассеивания примесей (увеличением показателя МПЗА), увеличивался уровень загрязнения атмосферы, выраженный через ИЗА₄. Однако для четырех городов региона (Тюмени, Заринска, Ханты-Мансийска и Березово) связь между МПЗА и ИЗА₄ получилась отрицательной. Такое явление могло быть обусловлено рядом причин. Об одной из таких причин писала Б.Б.Чебоненко, высказывая свои замечания к МПЗА. Если в городе выбросы осуществляются в основном через низкие источники, МПЗА и ИЗА₄ работают в логической связке: чем больше по абсолютному значению МПЗА, тем выше в конкретном городе ИЗА₄. Если же выбросы осуществляются через источники с высотой труб более 100 м, то они за счет эффективной высоты подъема факела поступают не в приземный слой, а в пограничный и даже за его пределы. При скоростях ветра в пограничном слое больше опасной (6 м/с), развивается активная турбулентность и факел примеси прибавается к земле, увеличивая загрязнение атмосферного воздуха в приземном слое. Высокие трубы (высотой ≥ 100 м) присущи, в основном, теплоэлектростациям (ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС) и некоторым промышленным предприятиям. Через такие трубы выбрасывается, как правило, 80-90% городского вала загрязняющих веществ.

Чтобы проверить обоснованность влияния высоких труб на знак связи между МПЗА и ИЗА₄ необходимо иметь данные о высотах труб и вале выбросов из них хотя бы для нескольких городов региона. К сожалению, такие данные имеются только в тех городах, для которых были разработаны сводные тома предельно допустимых (ПДВ) вредных веществ в атмосферу. В нашем распоряжении было всего два таких документа – для г. Искитима и г. Томска [55,56].

В Искитиме труб высотой более 100 м обнаружено не было.

Для г. Томска из 3765 организованных источников выбросов вредных веществ в атмосферу насчиталось 11 труб высотой 100 м и более. Это: две трубы высотой соответственно 240 и 270 м «Томской ТЭЦ-3», две трубы высотой 255 м каждая «ЗАО Метанол», две трубы высотой 100 м «Томской ГРЭС-2», 4 трубы высотой 120 м, принадлежащие Томскэнерго и нефтекомбинату, и одна факельная установка высотой 131 м. Из каждой из этих труб был оценен вал выбросов, который показан в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Вал выбросов вредных веществ в атмосферу г. Томска, осуществляемый через трубы высотой ≥ 100 м, т/год

Предприятия	Загрязняющие вещества									
	NO ₂	NO	SO ₂	CO	б/п	маз. Зола	сажа	зола угля	Итого	
ТЭЦ-3	240м	406,1	66,0	4334,4	984,0	0,0032	17,2			
	270 м	4382,3	7122,0	28,3	5445,9	0,0070	0,115			
ГРЭС-2	100м	1553,8	252,8	1327,9	512,8	0,0020		271,9	8810,04	
	100м	3579,7	581,7	2980,3	1213,0	0,0033		143,3	0,2	
Томскэнерго	120м	14,1	2,3	12,8	66,3	0,0001	0,075	0,5		
	255м	0,39	0,06		3,2					
	255м	94,4	15,4		787,0			78,7		
Нефтехим.	120 м	1023,0	119,7		1758,1	0,0026				
	120м	436,5	70,9	510,7	464,4		1,0			
ЭП-300	120 м					0,0026				
Фак. уст-ка	131	10,2			68,3					
Итого от высоких труб		11500,5	1821,1	9194,4	11303,0	0,0208	18,39	494,4	8810,6	43142,4
От всех источников города		14478,1	2220,9	10059,5	17807,8	0,0234	20,7	857,4	16382,1	70200,7
% вала из высоких труб		79	82	91	63	89	89	58	54	61

Примечание: б/п –бензапирен.

Исходя из полученных результатов таблицы 5.3, через 11 высоких труб Томска выбрасывается 80-90% вала по окислам азота, сернистому ангидриду, бензапирену, мазутной золе и чуть более половины вала по окислам углерода, саже и золе угля. Такие условия по Б.Б. Чебоненко должны привести к уменьшению уровня загрязнения атмосферы при увеличении показателя МПЗА, т.е. корреляционные связи между МПЗА и ИЗА₄ должны быть отрицательными. В действительности коэффициент корреляции между МПЗА и ИЗА₄ для Томска равен 0,69, т.е. имеет положительный знак и теория Б.Б. Чебоненко не подтверждается на практике, хотя по данным одного города делать такие выводы преждевременно.

Более тщательный анализ отрицательных коэффициентов корреляции между МПЗА и ИЗА₄ для Березово, Заринска и Тюмени показал, что в этих городах отрицательная корреляция получается за счет главенствующей роли в составе ИЗА₄ – взвешенных веществ. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в этих городах определяется крупнодисперсной пылью. При усилении скорости ветра (уменьшению МПЗА)

увеличиваются концентрации пыли за счет не благоустроенности этих городов (большого количества грунтовых дорог, большого объема земляных работ и пр.).

В качестве еще одной гипотезы наличия отрицательных коэффициентов корреляции можно назвать адвекцию загрязняющих веществ из других городов или даже регионов, а также уменьшающихся выбросов вредных веществ в атмосферу, которые гасят влияние метеорологических факторов. К таким условиям предположительно можно отнести г. Ханты-Мансийск, в котором основной вклад в ИЗА₄ вносят оксиды углерода и диоксид азота. Эти вещества в большом количестве выделяются при сжигании попутного газа в северных газонефтедобывающих областях. При штилях (больших значений МПЗА) эти вещества не переносятся из очагов образования, в то время как при высокой повторяемости ветров более 6 м/с они устремляются из очагов образования на близлежащие города и поселки

Отсутствие тесных связей между МПЗА и среднегодовыми концентрациями загрязняющих веществ в атмосферу для Новокузнецка и Барнаула можно объяснить значительным изменением вала выбросов в рассматриваемый период, который соответственно составил – 125,9 тыс.т/год и +6,2 тыс.т/год.

Так как в настоящее время отсутствует единый показатель комплексной оценки загрязнения атмосферного воздуха, по величине которого можно было бы сравнивать уровни загрязнения атмосферного воздуха в пространстве и времени, необходимо искать зависимость не между МПЗА и ИЗА₄, а между МПЗА и среднегодовыми концентрациями отдельных измеряемых примесей, чтобы выявить какие вещества и в какой степени подвержены этой зависимости.

Для этих целей были найдены коэффициенты парные корреляции между МПЗА и среднегодовыми концентрациями для ряда наблюдаемых примесей, таблица 5.4.

Таблица 5.4 – Коэффициенты корреляции между МПЗА и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг

Город	Загрязняющие вещества								
	ВВ	SO ₂	CO	NO ₂	NO	фенол	сажа	формал.	б/п
Прокопьевск	0,93			-0,54					
Заринск	0,80	-0,61	-0,79	0,74	0,000000	-0,75			
Барнаул		-0,67	0,97			0,71	0,94		0,57
Бийск					0,64			0,55	
Томск			0,91	-0,79	-0,53	0,71		-0,88	-0,84
Куйбышев	-0,64			0,84				0,72	
Искитим		0,55	0,65				0,75		0,66
Кемерово	0,52				0,74			-0,61	
Новокузнецк				-0,92	-0,68			0,89	
Ханты-Мансийск	-0,93	0,86	0,53			0,86		-0,64	
Нефтеюганск							0,86		

Нижневартовск	-0,82	0,82	-0,65	0,72	0,75	0,94	-0,60		
Тобольск	-0,66	-0,78	0,60	0,85					
Тюмень				-0,89	-0,59				
Омск	-0,82			0,82					
Салехард		0,55						0,99	
Березово	-0,81			0,75	0,67	0,86	-0,69		
Радужный			0,52	0,56	0,80		-0,56	0,53	
Новосибирск,О			0,59						
Новосибирск,У	-0,64	0,53	0,58				-0,51		0,77

Примечание : ■ – наблюдения не проводились; в пустых графах $r \leq 0,50$; Новосибирск ,О – по метеостанции Огурцово; Новосибирск, У – по метеостанции Учебная ГПТУ-7; ВВ- взвешенные вещества.

По взвешенным веществам (ВВ) 10 городов дали значимые коэффициенты корреляции между МПЗА и среднегодовыми концентрациями, из них 4 города (Заринск, Нижневартовск, Омск и Березово) показали высокую зависимость ($r \geq 0,70-0,90$), а два города (Прокопьевск и Ханты-Мансийск) весьма высокую ($r > 0,90$). Обращает на себя внимание тот факт, что для большинства городов Западной Сибири (кроме Прокопьевска, Кемерово и Заринска) коэффициенты корреляции между МПЗА и среднегодовыми концентрациями ВВ имеют отрицательный знак. Это еще раз говорит о том, что уровень загрязнения атмосферного воздуха сибирских городов формируется, в основном, за счет придорожной пыли, которая при сильных ветрах поднимается вверх и загрязняет воздух. В этой ситуации большое значение имеет состояние благоустройства города (недостаточный полив улиц в летнее время и т.п.).

Восемь городов показали значимые коэффициенты корреляции между МПЗА и сернистым ангидридом, 9 городов - с оксидом углерода, 11 - с диоксидом азота и т.д. Коэффициенты корреляции имеют, в основном, положительные значения. Отрицательные значения коэффициентов корреляции требуют специальных исследований для каждого города в отдельности. Например, отрицательные значения коэффициентов корреляции для г. Новокузнецка по оксидам азота связаны с продолжающимся в рассматриваемое пятилетие сокращением производства, а следовательно и выбросов вредных веществ в атмосферу. Это сокращение ослабило влияние метеорологических факторов на формирование уровней загрязнения атмосферного воздуха рядом примесей. Отрицательные коэффициенты корреляции по формальдегиду для Томска, Кемерово и Ханты-Мансийску обусловлены, возможно, адвекцией этой примеси из северо-западных нефтегазодобывающих районов. Отрицательные коэффициенты для саже дали, в основном, северные города региона, такие как Нижневартовск, Березово, Радужный. В результате неполного сгорания топлива на факельных установках из них выбрасывается сажа. Выбросы сливаются в единое западносибирское сажевое пятно, которое распространяется на значительное расстояние от источников. Об этом сказано в [25] при

оценке воздействия нефтегазодобычи на состояние лесоболотных комплексов Западной Сибири.

В таблице 5.4 коэффициенты корреляции между МПЗА и среднегодовыми концентрациями наблюдаемых примесей для г. Новосибирска показаны по данным двух метеостанций: Огурцово и Учебная ГПТУ-7. Метеостанция Огурцово расположена в пригороде Новосибирска, в то время как Учебная при ГПТУ-7 в жилых кварталах города. Воздушный поток, попадая в город, меняет свою скорость движения, изменяет направление ветра и т.д., т.е. происходит его трансформация. Поэтому метеостанция Учебная при ГПТУ-7 более адекватна метеообстановке в городе, что и выражается через большее количество примесей со значимыми коэффициентами корреляции между МПЗА и Q_{cp} по сравнению с метеостанцией Огурцово. Отсюда вытекает вывод о важности использования репрезентативных метеорологических данных при исследованиях такого плана.

Таким образом, комплексный метеорологический показатель загрязнения атмосферы (МПЗА) подтвердил свою жизнеспособность и может и в дальнейшем применяться при обосновании изменения уровней загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от метеорологических условий как по отдельным ингредиентам, так и в целом по ИЗА₄, рассчитанным по четырем основным примесям (ВВ, сернистому ангидриду оксиду углерода и диоксиду азота). При этом нужно помнить, что зависимости между МПЗА и среднегодовыми концентрациями получаются значимыми в условиях стабильного состояния выбросов вредных веществ в атмосферу и отсутствии адвекции из других регионов.

6. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Температура воздуха является основным климатообразующим фактором, который влияет на все сферы биоты, в том числе и на загрязнение атмосферного воздуха. В летний период температура воздуха определяет интенсивность испарения летучих веществ и может привести к повышению их концентраций в атмосфере. Низкие значения температуры зимой приводят к увеличению сжигаемого топлива и также к увеличению загрязнения атмосферы.

В бывшем СССР, а также в РФ исследования прямого влияния температуры воздуха на уровень загрязнения атмосферы немногочисленны. В основном такое влияние объяснялось изменением количества сжигаемого топлива, а следовательно и уровня загрязнения атмосферы. В других работах температура воздуха учитывалась в прогностических моделях в качестве второстепенного предиктора в прогностических схемах.

Чтобы понять, какими тепловыми ресурсами обладает Западная Сибирь в период интенсивного потепления климата, были найдены и проанализированы средние за 25 лет (1986-2010 гг) значения среднегодовых температур воздуха по 196 метеостанциям, расположенным на ее территории. Картирование среднегодовых температур воздуха (рисунок 6.1) показало, что их изменение подчиняется закону географической широтной зональности с некоторым ее нарушением на западной периферии региона, прилегающей к Уралу, где наблюдается продвижение теплого воздуха в северные районы. Самые низкие среднегодовые температуры воздуха были отмечены в Тазовском (восточное побережье Обской губы) и составляли $-8,1^{\circ}\text{C}$, самые высокие $4,4^{\circ}\text{C}$ в Яйлю (побережье Телецкого озера) и Чемале (долина р. Катунь). Обе эти станции находятся в Горном Алтае и подвержены влиянию теплых фенів. Изотерма 0°C проходила по северной территории Томской области, поднимаясь к южным границам Ханты-Мансийского а.о. по линии: Тегульдет– Колпашево - Новый Васюган - Демьянское – Урай . Положительные среднегодовые температуры воздуха более или менее стабильно наблюдались лишь в южных районах Западной Сибири. Это наиболее обжитая и промышленно развитая часть региона занимает примерно одну треть ее территории. На остальном пространстве среднегодовые температуры воздуха имели отрицательные значения и суровость климата

возрастала с продвижением на север, проходя все климатические пояса Сибири от континентального до субарктического и арктического.

Чтобы убедиться, что в рассматриваемый период времени действительно произошло потепление климата, необходимо было посмотреть, в каких величинах выражается это потепление и какие районы подвержены такому процессу. Для этих целей по всем метеостанциям региона были найдены пространственно-временные линейные тренды изменения среднегодовых температур воздуха за 25-летний период. Значения этих трендов были нанесены на карту (рисунок 6.2) и проанализированы. Оказалось, что не вся территория Западной Сибири была подвержена потеплению климата. Процесс потепления не коснулся территорий Томской и Кемеровской областей, восточных районов Новосибирской области, восточных районов ХМАО, а также центральной части Ямало-Ненецкого а.о. На этих территориях среднегодовая температура воздуха понизилась в среднем на $-0,1-0,2^{\circ}\text{C}$, хотя в отдельных пунктах отрицательный тренд достигал даже $-0,6-0,7^{\circ}\text{C}$ (Искитим, Юрга, Ванжиль-Кынак), а в Березовке Томской области отрицательный тренд был отмечен рекордной величиной и составил $-1,5^{\circ}\text{C}$, рисунок 6.3. На остальной территории среднегодовые температуры воздуха действительно повысились в среднем на $+0,4-0,5^{\circ}\text{C}$ и выше. Изолиния тренда $+0,5^{\circ}\text{C}$ проходила по среднему Уралу, опускалась до Тобольска, уходила на Барабинск, Славгород и Кулунду. Самый максимальный положительный тренд был выявлен в п.Октябрьском ХМАО и составил $1,6^{\circ}\text{C}$, рисунок 6.3. Территория, где осуществляется газонефтедобыча, попала в зону как потепления, так и похолодания климата. Если смотреть на общую картину потепления климата, то оно шло с северо-запада на юго-восток, очевидно, за счет особенностей повторяемости циркуляционных процессов рассматриваемого периода.

Для оценки устойчивости трендов среднегодовой температуры воздуха был рассчитан показатель Херста, характеризующий персистентность временных рядов по всем 196 метеостанциям региона. Показатель рассчитывался по формуле:

$$H = \lg (R/\sigma) / \lg (n/2),$$

где R - размах отклонения значений метеопараметра от среднего значения в рассматриваемом ряду ($x_{n\max} - x_{n\min}$), σ - среднее квадратическое отклонение, n - длина (число лет) ряда.

Традиционная трактовка показателя Херста заключается в том, что при превышении $H > 0,5$ ряд с большой вероятностью сохранится и дальше выявленная тенденция, а если $H < 0,5$ то с большой вероятностью тенденция переменится, т.е. ряд неустойчив [57].

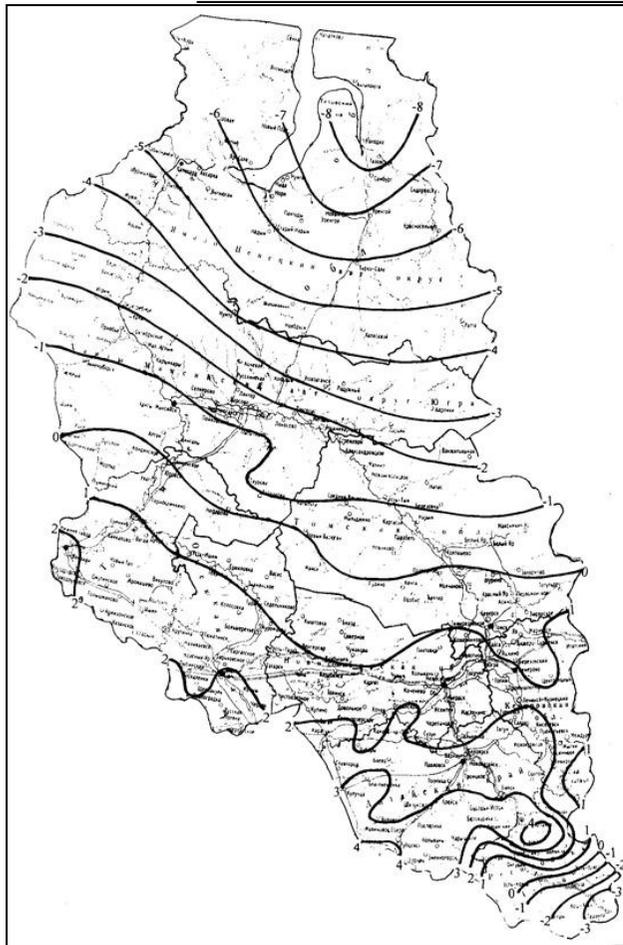


Рисунок 6.1 - Распределение среднегодовых температур воздуха, 1986-2010 гг

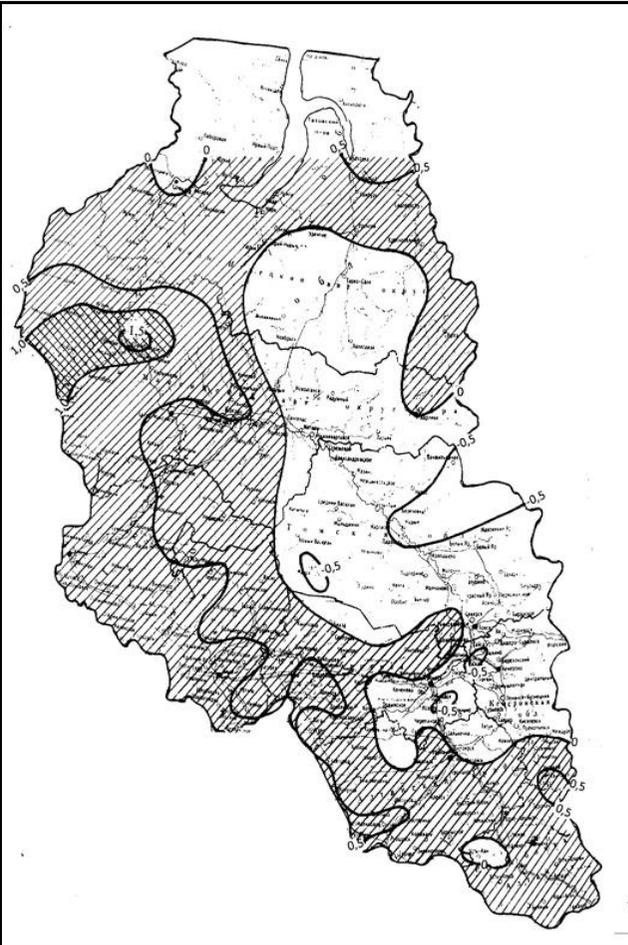


Рисунок 6.2 – Распределение значений линейного тренда среднегодовых температур воздуха за тот же период

Условные обозначения:  - положительный тренд,  - отрицательный тренд.

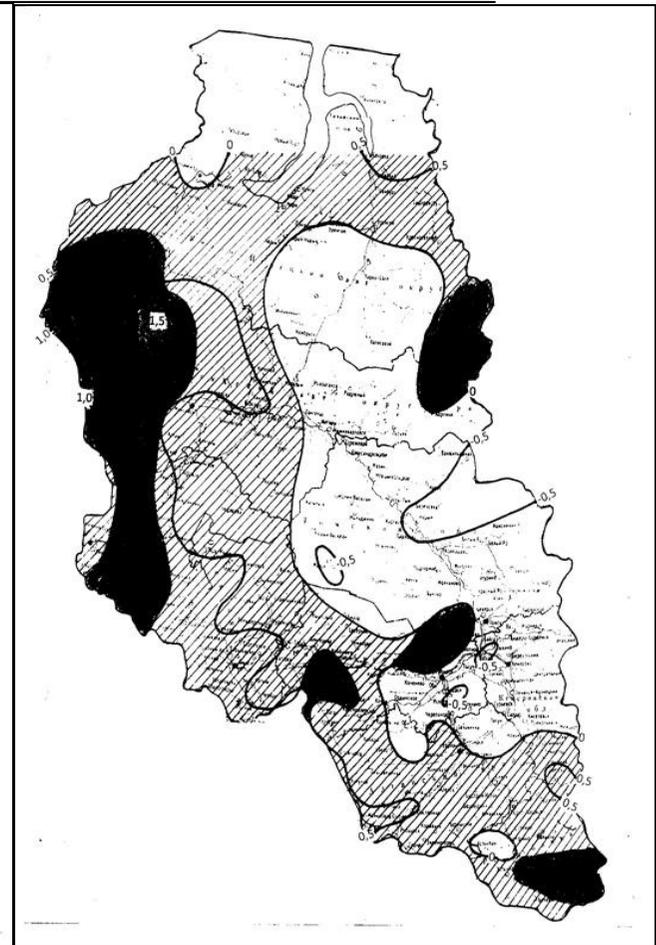


Рисунок 6.2 а – Районы с неустойчивым трендом среднегодовой температуры

Условные обозначения:  - неустойчивый тренд.

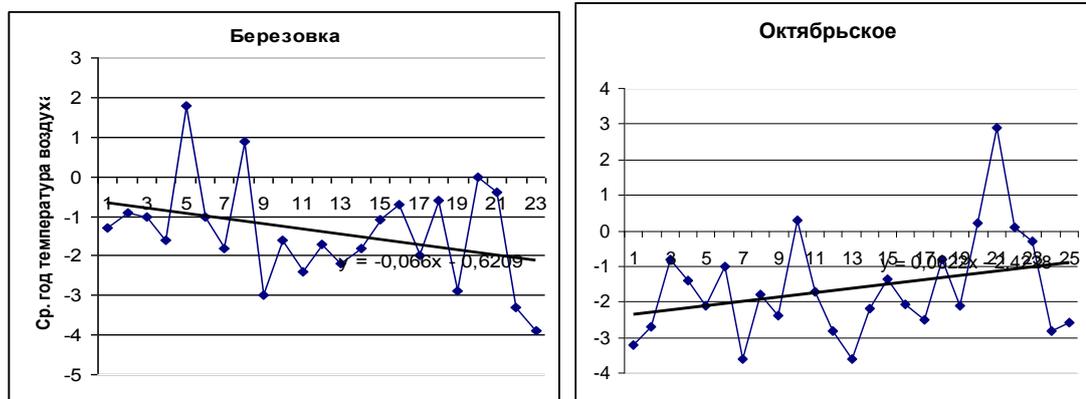


Рисунок 6.3 – Экстремальные тренды среднегодовой температуры воздуха на территории Западной Сибири

Для анализируемых временных рядов показатель Херста изменялся в диапазоне от 0,47 (Вон-Еган) до 0,69 (Ноябрьск). Неустойчивые тренды с $H < 0,5$ показали территории Урала и Зауралья, а также некоторые южные территории региона. Эти территории выделены на рисунке 6.2а отдельной маркировкой. Тренды среднегодовой температуры воздуха на остальной территории региона по показателю Херста устойчивы, т.е. на этих территориях будет сохраняться еще некоторое время выявленная тенденция и дальше.

В последнее время появились работы [58-60], которые связывают потепление климата с увеличением химической активности атмосферы, т.е. с ее способностью гораздо быстрее перерабатывать поступающие в нее продукты выбросов. Химическую активность атмосферы авторы [Э.Ю. Безуглая и др.] предлагают выражать через коэффициент трансформации (КТ), который представляет собой отношение вторичного продукта (NO_2) к исходному продукту ($\text{NO}_x = \text{NO}_2 + \text{NO}$). Авторы отмечают, что коэффициент трансформации КТ является важной характеристикой, такой же как комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы. По их данным величины КТ претерпевают под влиянием многочисленных факторов значительные колебания от нулевых значений до 0,6-0,7. В качестве таких факторов выступают: концентрации NO , виды промышленности, параметры выбросов предприятий, метеорологические и физико-географические условия местности и т.д.. Чем больше коэффициент трансформации, тем больше химическая активность атмосферы. Как отмечается, за последние годы значения среднего КТ возросли на 10 – 60%, что указывает на то, что атмосфера «как бы усилила свою защиту от загрязнения». Связь между

индексом загрязнения атмосферы (ИЗА) и коэффициентом трансформации (КТ) носит обратный характер с коэффициентом корреляции 0,55 .

Для выяснения состояния химической активности атмосферы в условиях Западной Сибири за период 1986-2010 гг были найдены коэффициенты трансформации для группы городов, расположенных на юго-восточной ее окраине (Томск, Новосибирск, Новокузнецк, Барнаул, Бийск, Искитим). Расчет КТ производился через перевод концентраций NO_2 и NO из гравометрической размерности мг/м^3 в объемную млн^{-1} по формуле:

$$\text{мг/м}^3 = \text{млн}^{-1} M / 22,4 ,$$

где M – молекулярная масса загрязняющего вещества; 22,4 – объем в литрах 1 моля газа при 25°C и 760 мм рт.ст.

В таблице 6.1 показаны линейные тренды среднегодовой температуры воздуха, коэффициентов трансформации (КТ) и среднегодовых концентраций ряда примесей. Как видно, средние значения КТ для этой группы городов колебались от 0,50 до 0,71. Линейные тренды изменения КТ за прошедшие 25 лет имели как положительные, так и отрицательные значения, которые напрямую зависели от тренда среднегодовой температуры воздуха, что показано на рисунке 6.4.

Таблица 6.1 - Линейные тренды (Δ): среднегодовой температуры воздуха ($\Delta t, ^\circ\text{C}$), коэффициента трансформации ($\Delta\text{КТ}$) и среднегодовых концентраций примесей (Δg), 1986-2010 гг

Город	КТ	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\Delta\text{КТ}$	$\Delta Q, \text{мг/м}^3$	$\Delta Q, \text{мг/м}^3$	$\Delta Q, \text{мг/м}^3$
				NO_2	NO	ФМГ
Томск	0,69	-0,4	-0,36	0,0	0,8	0,010
Новосибирск	0,59	-0,1	-0,10	0,01	1,5	-0,005
Искитим	0,50	-0,6	-0,23	0,01	1,3	
Кемерово	0,49	-0,1	0,06	0,03	0,8	-0,010
Новокузнецк	0,58	0,0	-0,07	0,01	0,2	0,008
Барнаул	0,65	0,1	0,24	0,04	-0,1	0,005
Бийск	0,71	0,3	0,18	-0,01	1,6	0,002

Примечание: ФМГ - формальдегид

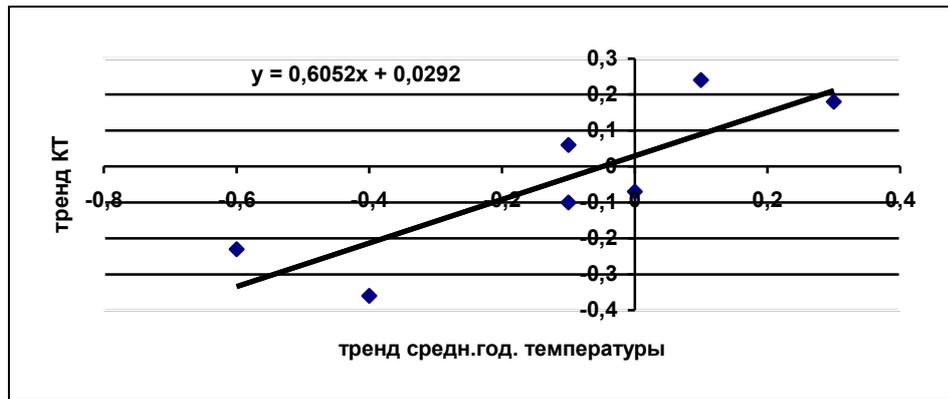


Рисунок 6.4 - Зависимость тренда КТ от тренда среднегодовой температуры воздуха

Как видно, химическая активность атмосферы увеличивалась в городах, попавших в зону положительного тренда среднегодовых температур воздуха. В городах, где произошло похолодание, такая активность уменьшалась. При этом увеличение химической активности атмосферы действительно привело к уменьшению среднегодовых концентраций диоксида азота, а уменьшение химической активности атмосферы, вызванное похолоданием, способствовало их увеличению, что видно на рисунке 6.5. Изменений среднегодовых концентраций оксида углерода и формальдегида от колебаний химической активности атмосферы не выявлено. Полученные выводы требуют дальнейших исследований, так как основаны на незначительном количестве данных, но и эти данные показывают состоятельность выдвигаемой авторами [58-60] гипотезы по объяснению причин отсутствия резкого роста концентраций диоксида азота при значительном приросте автотранспортных средств в городах РФ. К этому можно добавить небольшую поправку: такое явление присуще только в условиях потепления климата. В городах, где произошло похолодание, отмечается рост концентраций диоксида азота.

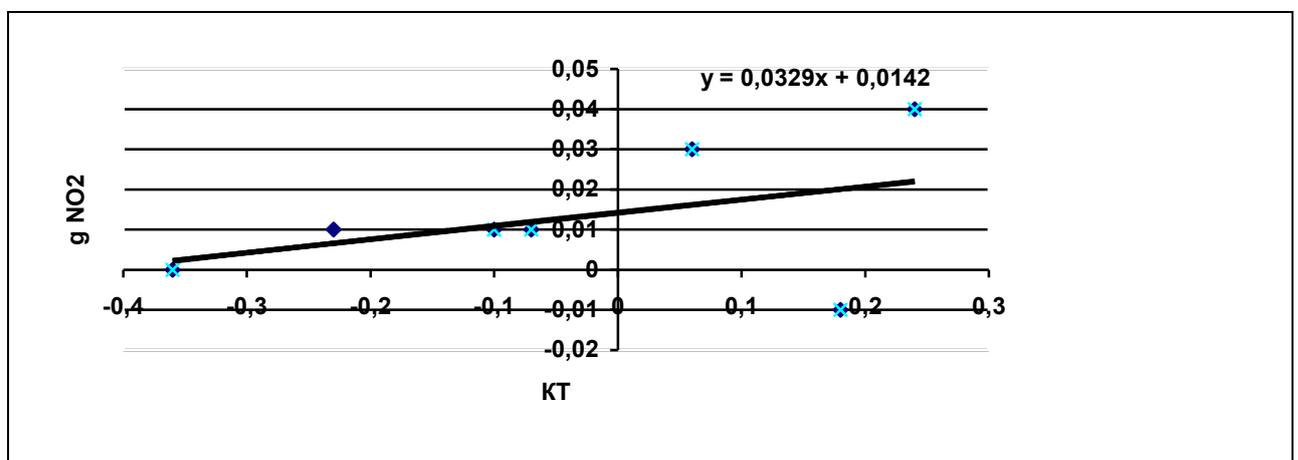


Рисунок 6.5 – Изменение среднегодовых концентраций диоксида азота от тренда химической активности атмосферы

Прямое влияние температуры воздуха на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха носит очень сложный характер, вычленив который из сопутствующих факторов чрезвычайно затруднительно.

Исторически сложилось так, что влияние температуры воздуха на формирование уровня загрязнения атмосферы прежде всего связывают с ее вертикальной и горизонтальной стратификацией, а именно с «городскими островами тепла» и приземными - приподнятыми инверсиями, которые наблюдаются в условиях устойчивой стратификации атмосферы. При инверсиях происходит увеличение температуры воздуха с высотой, что создает задерживающий слой, который препятствует рассеиванию примесей по вертикали. Приземные инверсии простираются от поверхности земли до некоторой высоты; приподнятые характеризуются тем, что повышение температуры воздуха начинается от некоторой высоты над земной поверхностью. В случае приземных инверсий происходит интенсивное загрязнение атмосферы выбросами от низких источников. При приподнятых инверсиях, нижняя граница которых расположена над источниками выброса, происходит интенсивное загрязнение атмосферы высокими источниками. Если слой приподнятой инверсии находится ниже устья трубы, поступление выбросов вредных веществ в приземный слой будет ограничено.

Эти теоретические выкладки неоспоримы и подтверждены многочисленными исследованиями. Однако, утверждение о том, что инверсия температуры воздуха является одним из приоритетных и определяющих факторов в формировании высоких уровней загрязнения атмосферы все чаще в специальной литературе встречают критику. Например, в работе [61] отмечается, что выявить какую-либо ощутимую закономерность появления высокого загрязнения атмосферного воздуха сернистым ангидридом в зависимости от температурной стратификации в условиях сибирских городов не удалось. Японские ученые [62], исследовавшие появление высоких концентраций взвешенных веществ в Цукубе и Токио обнаружили, что оно слабо зависит от вертикального распределения температуры воздуха. Главенствующую роль в этом процессе они отдали скорости ветра. Для городов Монголии, находящихся в условиях резко континентального климата, выявлен эффект уменьшения концентраций примесей при формировании мощных и интенсивных инверсий [63]. И это происходит в результате того, что в более мощных инверсиях чаще всего наблюдаются небольшие градиенты температуры (менее 1°C). Даже зимой в условиях Западной Сибири только четвертая часть, а летом лишь десятая часть всех мощных инверсий имеют градиенты выше 1°C [18]. Но и для инверсионных слоев небольшой мощностью с малым перепадом температур воздуха в

зимнее время выбросы вредных веществ в атмосферу могут легко пробивать инверсионные слои и не приводить к увеличению загрязнения атмосферного воздуха у земли. О том, что величины концентраций примесей больше зависят от скорости ветра, нежели от наличия инверсий, писал еще Р. Эльмер [64] в далекие 60-ые годы прошлого столетия.

В настоящее время зависимость загрязнения атмосферного воздуха в условиях устойчивой атмосферы (увеличения температуры воздуха с высотой) рекомендуется исследовать в совокупности со скоростями ветра, а не в «чистом» виде. При этом, условно, многие исследователи выделяют, в основном, три типа сочетания инверсий со скоростью ветра:

- загрязнение воздуха в наибольшей степени зависит от температурной стратификации только при очень слабых ветрах 0-1 м/с. При таком сочетании скорости ветра и устойчивости атмосферы и происходит, в основном, увеличение концентраций примесей в атмосферном воздухе;

- при умеренных ветрах силой 4-6 м/с даже с усилением устойчивости атмосферы (увеличение мощности и интенсивности инверсий) загрязнение воздуха снижается;

- при сильных ветрах более 6 м/с связь между загрязнением воздуха и атмосферной устойчивостью практически отсутствует.

Остров тепла наблюдается практически во всех малых и больших городах и определяется разностью температур между центром города и его окрестностями ($\Delta T = T_{\text{центр}} - T_{\text{окр.}}$). Теплый воздух, концентрируясь в центре города, поднимается вверх, перенося вредные вещества, затем распространяется в стороны и опускается вниз на окраины города. При расширении воздух охлаждается и от окраин движется в приземном слое по направлению к центру. Образуется самоподдерживающаяся система городской циркуляции, которая разрушается сильным ветром. Такая циркуляция очищает центральную часть города и переносит ЗВ на окраины.

Термический фактор значительно влияет также на годовой ход загрязнения атмосферного воздуха. В летний период температура воздуха определяет интенсивность испарения летучих веществ и может привести к повышению их концентраций. Зимой при отрицательных температурах воздуха в условиях Западной Сибири происходит увеличение сжигаемого топлива, а следовательно выбросов продуктов их сгорания (оксида углерода, сернистого ангидрида, оксидов азота, золы угля), что в свою очередь приводит также к повышению загрязнения атмосферы. Такое влияние температуры воздуха можно проследить по годовому ходу среднемесячных концентраций различных примесей, который имеет различный вид, рисунок 6.6.

В условиях Западной Сибири выделяются два основных класса ингредиентов по наступлению максимальных значений концентраций в годовом цикле. У одних максимальные концентрации наблюдаются зимой в период отопительного сезона а также большой повторяемости неблагоприятных условий для их рассеивания в приземном слое воздуха; у других – летом за счет химической и фотохимической активности атмосферы, а также за счет повышенной испаряемости при наступлении высоких температур воздуха. Есть еще ингредиенты, у которых максимальные среднемесячные концентрации наблюдаются в переходные периоды – весной или осенью.

В таблице 6.2 приведены списки ингредиентов, принадлежащие к тому или иному классу по наступлению максимальных среднемесячных концентраций в годовом ходе.

Таблица 6.2 - Классы загрязняющих веществ по признаку наступления максимальных среднемесячных концентраций в условиях континентального климата Западной Сибири

Максимум в холодный период (1 класс)	Максимум в теплый период (2 класс)
Сернистый ангидрид Оксид углерода Диоксид азота Оксид азота Сажа Бензапирен И т.д.	Взвешенные вещества Формальдегид Фенол Озон Хлористый водород Аммиак Фтористый водород Сероводород и т.д.

Как видно из таблицы 6.2, для таких веществ как сернистый ангидрид, оксид углерода, диоксид и оксид азота, сажа, бензапирен максимальные концентрации наблюдаются, как правило зимой, а минимальные летом, т.е. с увеличением температуры воздуха происходит уменьшение среднемесячных концентраций. Эти вещества были условно объединены в один класс (первый). Для других загрязняющих веществ (формальдегид, фенол, озон и т.д.) максимальные концентрации наблюдаются летом, т. е. с увеличением температуры воздуха происходит увеличение среднемесячных концентраций. Эти вещества были отнесены ко второму классу. Причем, в список веществ 2 класса входит гораздо большее количество примесей, как правило, специфических, у которых эмиссии незначительны, но сами вещества наиболее опасны для здоровья населения, хотя время их жизни в атмосфере незначительно и колеблется от нескольких минут до нескольких часов (формальдегид – 3-8 часов по [51], аммиак почти сразу трансформируется в ионы аммония по [45] и т.д). Первый же класс примесей, хотя и включает меньшее количество

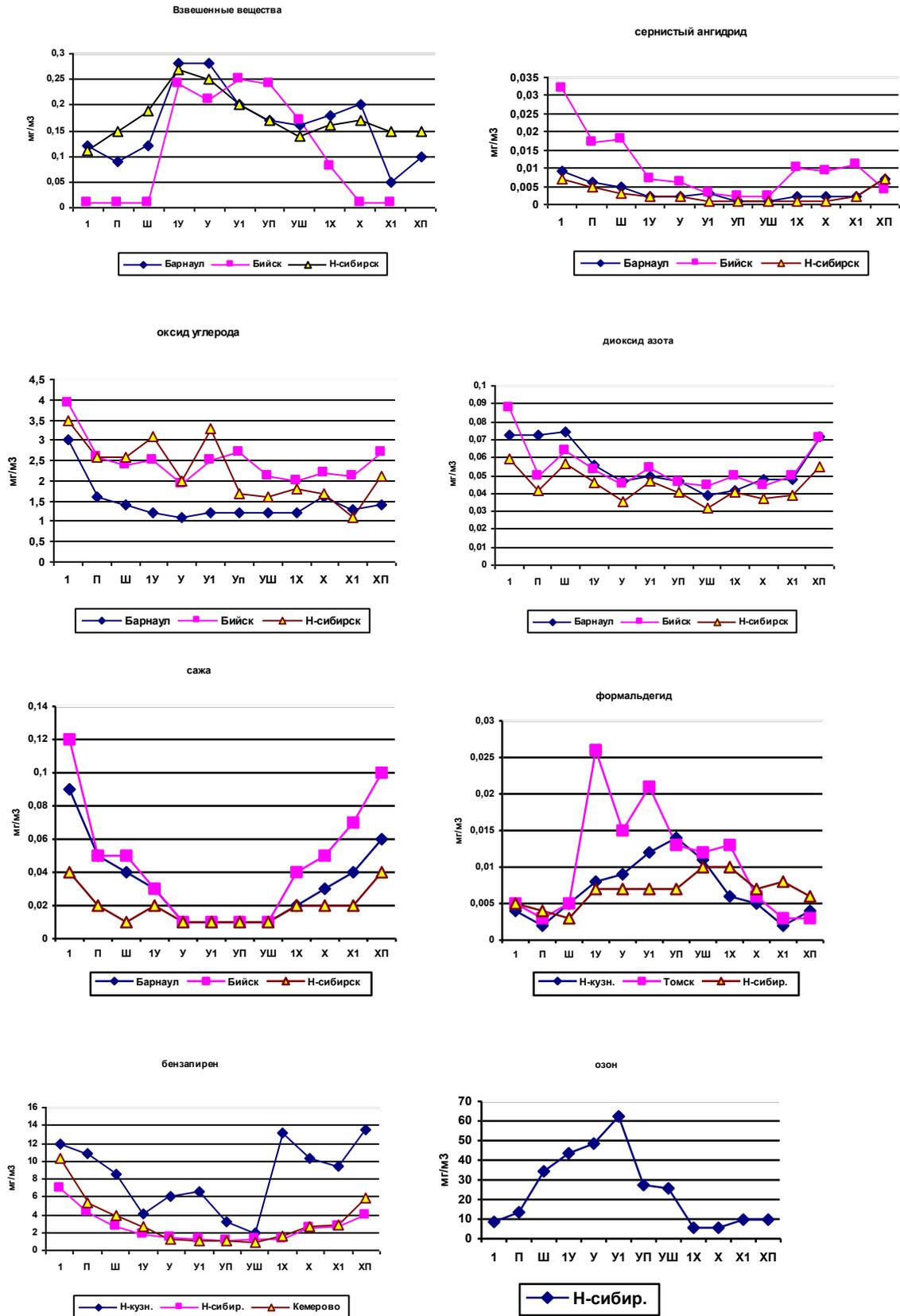


Рисунок 6.6 – Годовой ход среднемесячных концентраций некоторых примесей

ингредиентов, но их эмиссии составляют две трети городского вала выбросов, т. е. являются более значимыми при оценке общего уровня загрязнения атмосферы, а время их жизни в атмосфере колеблется от нескольких лет до нескольких суток (оксид углерода – от 5 лет до 2-4 месяцев; бензапирен, сажа и мелкодисперсная пыль от 7 суток до нескольких месяцев; диоксид азота от 4 суток до 7-10 часов; сернистый ангидрид от 1,5 до 7 суток) [42, 45, 51]. Нужно оговориться, что отнесение веществ к тому или иному классу произведено только по наблюдаемым в Западной Сибири примесям и нуждаются в пополнении.

Анализ таблицы 6.2 показал, что в список веществ 1 класса, попали бензапирен и сажа, которые также являются продуктами сгорания топлива, как и основные ингредиенты (CO , NO_2 , NO , SO_2). Бензапирен летом под влиянием высокой температуры воздуха и интенсивной солнечной радиации разлагается и его концентрация в атмосферном воздухе становится минимальной. Сажа является одним из наиболее оптически активных компонентов атмосферного аэрозоля и поступает в атмосферу от сжигания угля, дизтоплива, мазута, пожаров и нефтегазодобывающего комплекса, т.е. входит в состав основных примесей. Как говорилось ранее, на территории Западной Сибири она постепенно накапливается за счет недожига отходящих газов на многочисленных факельных установках, собирается в сажевые пятна и переносится на значительное расстояние.

В список веществ с максимальными среднемесячными концентрациями летом попали, наряду с органическими веществами, легко испаряющимися с повышением температуры воздуха, взвешенные вещества (пыль). Это еще раз подтверждает тот факт, что загрязнение атмосферного воздуха городов Западной Сибири формируется придорожной пылью, которая при повышении температуры воздуха поднимается вверх за счет увеличения конвективных вертикальных токов.

В таблице 6.3 показаны коэффициенты корреляции между среднегодовыми температурами воздуха и среднегодовыми концентрациями примесей для городов Западной Сибири. Как видно, зависимости между среднегодовыми температурами воздуха и среднегодовыми концентрациями примесей просматриваются на хорошем и высоком уровне, подтверждая, в основном, прямую или обратную взаимосвязь между этими величинами по их принадлежности к тому или иному классу ингредиентов, хотя и в этом вопросе имеются особенности формирования среднегодовых концентраций, не вписывающихся в общую картину ввиду каких-либо локальных особенностей.

Таблица 6.3 - Коэффициенты корреляции между среднегодовой температурой воздуха и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг.

Город	ВВ	SO ₂	CO	NO ₂	NO	фенол	сажа	NH ₃	Ф-д	Б/п	HF	Водо род циан ист.	хлор
Кемерово	-0,97				-0,91		-0,61		0,73	-0,93			
Новокузнецк	0,76			-0,69	-0,92			-0,91	0,87		-0,90	0,77	
Искитим		-0,69	-0,71				-0,75			-0,64			
Томск						-0,69		-0,73	0,68	0,64			
Куйбышев					-0,55								-0,58
Новосибирск О		-0,73	-0,72	0,57			0,79			-0,89			
Заринск	-0,78	-0,90	-0,76	-0,76									
Барнаул	0,63												
Бийск	-0,66	-0,75	-0,97	-0,64			-0,85						
Новосибирск У		-0,76	-0,70	0,59			0,80		0,51	-0,90			
Прокопьевск	0,78	-0,77		-0,70									
Ханты- Мансийск	0,69		-0,99	-0,54	-0,71		0,71		0,92				
Нефтеюганск	0,56		-0,58	-0,76	-0,74		0,77		-0,88				
Нижевартов ск	0,63			-0,75	-0,76								
Тобольск			0,62	-0,61									
Тюмень									0,98	0,77			
Омск	0,81	-0,54	0,91	-0,81		0,54			-0,91				
Салехард										-0,52			
Берёзово	0,58		0,94	-0,96	-0,57	0,64			0,66				
Радужный				-0,57	-0,99	-0,75	0,73		-0,59				

Условные обозначения: ■ –наблюдения не проводились; пустые графы. –коэффициенты корреляции $\leq 0,5$.

Опосредованное влияние температуры воздуха на уровень загрязнения атмосферы связано с состоянием растительного покрова и его биомассы на той или иной территории региона. Формирование биомассы происходит при температурах не ниже 0° С и не выше 50°С. В связи с этим в районах с наиболее высокими и наиболее низкими температурами воздуха биологические процессы или затормаживаются или отсутствуют. В пределах температур, допускающих развитие биологических реакций, скорость этих реакций, как правило, существенно зависит от температуры воздуха. Выработанная биомасса (растительность) является естественным поглотителем загрязняющих веществ. Например, по данным [65] суммарная воздухоочистительная способность полноценных лиственных древостоев, формирующих 4 т листьев на 1 га в течение вегетационного периода составляет около 10 т токсичных газов и пыли.

Однако, как известно, районы Крайнего Севера Сибири имеют суровые природно-климатические условия за счет низких температур воздуха, малой продолжительности солнечного сияния и низких значений суммарной радиации. Все эти условия приводят к

тому, что вегетационный период в районах Севера очень мал, следствием чего имеет место скудная растительность, не способная к активной адсорбции и фильтрованию загрязняющих веществ из атмосферы. Следовательно, чем ниже среднегодовая температура воздуха, тем хуже условия для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Исследований по влиянию метеорологических факторов, в том числе и температуры воздуха, на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в условиях Крайнего Севера очень мало. Поэтому вызывает большой интерес любая информация, посвященная данной тематике. В работе [66] приводятся результаты оценки влияния метеорологических параметров атмосферы на распространение примесей загрязняющих веществ для арктической зоны России – сфере интересов ООО «Газпром добыча Ямбург». В 2004 г в пос. Ямбург был введен в опытную эксплуатацию модернизированный пост экологического контроля ДАПЭК 10.0000.0, на котором одновременно через каждые 20 минут проводились измерения концентраций вредных веществ (окислов азота, углеводородов, оксида углерода, озона) и метеорологических параметров (температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, давления, экспозиционной дозы). Прибор такого класса был единственным за полярным кругом, поэтому полученные результаты представляют огромный интерес. По 500000 парных измерений, проведенных в различные сезоны года, были рассчитаны уравнения регрессии, в которых в качестве предиктантов выступали концентрации загрязняющих веществ, а предикторов или влияющих факторов – зафиксированные метеорологические параметры. Для оценки значимости (вклада) отдельных метеопараметров в дисперсию рассматриваемого предиктанта была использована функция СТЬЮДРАСПОБР, которая позволила получить уравнения регрессии с оптимальным числом влияющих предикторов. Было выявлено, что связь концентрации вредного вещества (y) и метеопараметра (x) чаще всего выражается логарифмической функцией вида $y=a \ln (x) +c$, реже прямолинейной и экспоненциальной функциями. Анализ полученных результатов показал, что концентрация примесей зависит от различных метеорологических факторов в различной степени: на концентрацию углеводородов главное воздействие оказывает температура воздуха, затем влажность и давление (в порядке оценки значимости); на концентрации NO_x влияют температура и скорость ветра; концентрации CO в большей степени зависят от температуры и направления ветра; а концентрация озона от температуры и влажности. При этом прослеживается общая закономерность: для всех видов измеряемых примесей наиболее значимым параметром, по сумме вкладов, влияющих на состояние атмосферы в течение всего года, является температура воздуха, т.е. учет термического фактора является

необходимым при разработке комплексных показателей метеорологического потенциала атмосферы.

Таким образом, влияние температуры воздуха на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в условиях Западной Сибири носит двойной характер: для основных веществ (CO , NO_2 , SO_2 , сажа, бензапирен) с большим валом выбросов и продолжительным периодом жизни и для других - специфических с малым валом выбросов, быстрым циклом химической переработки в другие загрязняющие вещества, но более опасных для здоровья населения. Для первого класса веществ с понижением температуры воздуха их концентрации увеличиваются, для вторых понижаются. Наша чаша весов склоняется к выводу, что низкие температуры воздуха являются более опасными для загрязнения атмосферного воздуха, чем высокие.

7. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РАССЕЙВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ

В настоящее время метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (МПЗА), кроме основной своей функции – определения климатической емкости загрязнения атмосферного воздуха в том или ином регионе страны - используется, в основном, для учета влияния текущих метеорологических условий на формирование уровня загрязнения атмосферы в промышленных городах регионов. Его положительной стороной является тот факт, что он дает возможность анализировать как среднегодовые, так и среднемесячные концентрации примесей, а также выявлять особенности формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха отдельными примесями (влияние переноса из соседних регионов, резких колебаний вала выбросов, наличия высоких труб и т.д.) .

Однако, за счет того, что МПЗА отражает только ветровую характеристику и не учитывает другие метеорологические факторы, влияющие на рассеивающую способность атмосферы (прежде всего температуры воздуха и осадков), этот показатель не в полной мере выделяет зоны с неблагоприятными метеорологическими условиями для рассеивания примесей. Взяв от МПЗА все его положительные стороны, а также учитывая предыдущий подробный анализ вклада в его величину отдельных метеопараметров, нами предлагается несколько другое расширенное выражение этого показателя.

Как известно, рассеивание примесей в атмосфере происходит благодаря трем основным факторам: температуре воздуха, режиму ветра и увлажненности территории. Нами предлагается три эти фактора выразить в количественном отношении в виде трех коэффициентов: K_t – коэффициента теплообеспеченности; K_v – коэффициента ветра и $K_{осад}$ – коэффициента осадков, а сумму трех этих коэффициентов представить в виде нового усовершенствованного метеорологического показателя рассеивающей способности атмосферы – УМПА:

$$УМПА = K_t + K_v + K_{осад}$$

7.1. Коэффициент теплообеспеченности территории

Для характеристики теплообеспеченности территории различные авторы используют разнообразные показатели: количество дней теплого периода, сумму активных температур воздуха, даты перехода температуры воздуха через 10°C и т.д. и т.п. Мы остановились на выражении этого фактора в виде частного от деления сумм среднемесячных температур воздуха теплого периода к среднемесячным температурам холодного периода:

$$K_t = \sum t \text{ ср.м.теплого периода} / \sum t \text{ ср.м. холодного периода},$$

при этом, принимается только абсолютное значение этого отношения, независимо от его знака.

Такой коэффициент часто используется при изучении климатических особенностей территорий с точки зрения их экологической напряженности [68].

Для изучения картины теплообеспеченности территории Западной Сибири были рассчитаны средние годовые значения коэффициентов теплообеспеченности для 193 метеостанций региона за период с 1986 по 2010 гг. При отсутствии информации о среднемесячных температурах воздуха и невозможности расчета K_t (в основном по Обь-Иртышской территории), их значения были восстановлены через среднегодовую температуру воздуха по формуле:

$$K_t = 0,9998 e^{0,176 \text{ тср.год}}$$

Эти данные в таблице 7.1 отмечены курсивом

График зависимости K_t от среднегодовой температуры воздуха показан на рисунке 7.1.

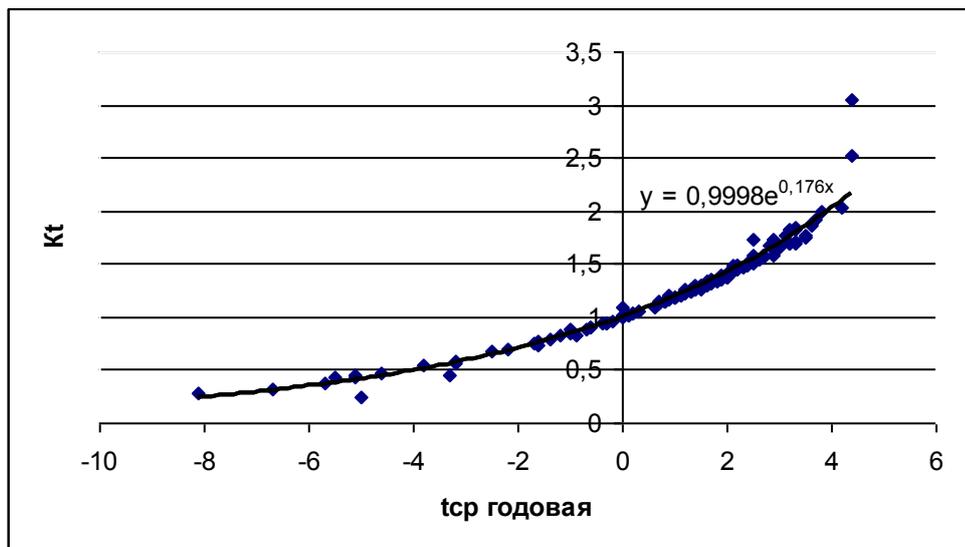


Рисунок 7.1 - График зависимости коэффициента теплообеспеченности (K_t) от среднегодовой температуры воздуха

На рисунке 7.2 показано пространственное распределение коэффициентов теплообеспеченности по территории Западной Сибири, а в таблице 7.1 их значения. Как и следовало ожидать картина распределения K_t практически повторяет картину распределения средне годовых температур воздуха. Изолиния $K_t=1$ проходит по тому же маршруту, что и изотерма нулевых среднегодовых значений температуры воздуха. При $K_t < 1$ продолжительность холодного периода преобладает над теплым и, наоборот, при K_t

> 1 теплый период времени преобладает над холодным. С точки зрения загрязнения атмосферного воздуха, чем меньше значения K_t , тем хуже условия для рассеивания примесей. При $K_t < 3$ условия для рассеивания примесей будут крайне неблагоприятными, при $0,3 < K_t < 1$ - неблагоприятными и при $K_t > 1$ - благоприятными. С одной стороны этому способствует тот факт, что чем продолжительнее холодный период, тем больше необходимо сжечь топлива в отопительный период. Чем больше сожжено топлива, тем больше поступает в атмосферу продуктов сжигания. С другой стороны, интенсивность разложения поступающих в атмосферу веществ зависит от количества ультрафиолетовой радиации и температуры воздуха. Зимой из-за недостатка ультрафиолетовой радиации и низких температур воздуха самоочищение происходит медленнее, в то время как в южных широтах ($K_t > 1$) этот процесс происходит в десятки раз быстрее.

Об этом же процессе говорится в работе [69], где проанализирована связь между радиационным режимом территории и процессами разложения поступающих в атмосферный воздух загрязняющих веществ. Причем, большое значение играют не только величины радиационного баланса, но и ультрафиолетовая радиация, проникающая в приземный слой атмосферы и сопутствующая разнообразным фотохимическим реакциям. В качестве показателя возможной скорости превращения и разложения загрязняющих веществ в атмосфере была выбрана величина радиационного баланса. Показано, что процессы разложения токсических веществ медленнее протекают в высоких широтах при малых значениях радиационного баланса. В северных широтах побочные продукты от CO , SO_2 , NO_2 будут недоокислены. Автор выделяет территории с низкой ($R = 20$ ккал/см² год), со средней ($R = 20-40$ ккал/см² год) и высокой ($R = 60-80$ ккал/см² год и более) скоростью разложения продуктов техногенеза. Территории с низкой скоростью разложения поступающих в атмосферу загрязняющих веществ тождественны территориям с $K_t < 1$.

Диапазон изменения коэффициента теплообеспеченности на территории Западной Сибири за период с 1986 по 2010 г колебался от 3,041 (Кара-Тюрек, Горный Алтай) до 0,28 (Тазовское, Заполярье).

С уверенностью можно утверждать, что в большинстве городов Западной Сибири максимальное загрязнение атмосферного воздуха отмечается в зимнее время, которое обусловлено прежде всего ростом выбросов от низких источников и большой повторяемостью неблагоприятных условий их рассеивания примесей в пограничном слое, т.к. низкие температуры воздуха влекут за собой увеличение повторяемости неблагоприятных метеорологических условий (НМУ). Чем ниже температура воздуха, тем



Рисунок 7.2 – Районирование территории Западной Сибири по показателю K_t
(коэффициент теплообеспеченности территории)

Условные обозначения:  - территории с благоприятными условиями для рассеивания примесей ($K_t > 1$),
 территории с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($0,3 < K_t < 1$),

 - территории с крайне неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($K_t < 0,3$) чаще повторяемость инверсий и тем они интенсивнее и мощнее, что также способствует более высокому загрязнению атмосферного воздуха.

Таблица 7.1 - Среднее за период значение коэффициента теплообеспеченности (K_t) по метеостанциям Западной Сибири

Станции	T_{cp}	K_t	K_v	K_o	УМПА
Александровское	-1,6	0,78	0,65	1,27	2,70
Ванжиль-Кынак	-2,5	0,68	0	1,51	2,19
Напас	-1,7	0,76	0,05	1,50	2,31
Прохоркино	-1	0,84	0,1	1,51	2,45
Березовка	-1,43	0,79	0,02	1,41	2,22
Средний Васюган	-0,4	0,94	0,12	1,36	2,42
Каргасок	-0,7	0,89	0,52	1,15	2,56
Усть-Озерное	-1	0,89	0,05	1,32	2,26
Парабель	-0,6	0,9	0,31	1,27	2,48
Новый Васюган	0	1	0,8	1,33	3,13
Колпашево	-0,3	0,94	0,07	1,35	2,36
Старица	-0,2	0,96	0,05	1,31	2,32
Майск	0	1,01	0,04	1,36	2,41
Подгорное	0,2	1,04	0,83	1,12	2,99
Батурино	0,1	1,01	0,12	1,39	2,52
Пудино	0	1,1	0,38	1,26	2,74
Тегульдет	0,1	1,02	0,07	1,40	2,49
Бакчар	0,3	1,05	0,57	1,19	2,81
Первомайское	0,8	1,15	0,08	1,17	2,40
Томск	0,9	1,18	0,02	1,43	2,63
Кожевниково	1,2	1,24	0,11	1,21	2,56
Кыштовка	0,7	1,12	0,58	1,06	2,76
Северное	0,7	1,12	0,41	1,17	2,70
Крещенка	0,7	1,12	0,2	1,09	2,41
Венгерово	1	1,18	0,77	0,88	2,83
Болотное	1,3	1,26	0,1	1,30	2,66
Усть-Тарка	1,1	1,2	0,67	0,86	2,73
Чаны	1,4	1,27	0,98	0,93	3,18
Барабинск	1,2	1,23	1,08	0,95	3,26
Убинское	0,8	1,14	0,85	0,99	2,98
Колывань	1,5	1,3	1,13	1,11	3,54
Мошково	1,4	1,28	0,06	1,35	2,69
Татарск	1,7	1,32	0,44	0,97	2,73
Каргат	1,1	1,21	0,69	1,08	2,98
Тогучин	1,3	1,25	0,14	1,17	2,56
Чулым	1,3	1,25	1,07	0,96	3,28
Огурцово	1,8	1,36	0,59	1,13	3,08
Квашнино	1,4	1,27	0,93	0,91	3,11

Коченево	1,6	1,32	0,29	1,04	2,65
Учебная при ГПТУ-7	2,5	1,54	0,02	1,22	2,78
Обская ГМО	1,9	1,39	0,32	1,12	2,86
Чистоозерное	1,8	1,34	0,48	0,90	2,72
Здвинск	1,5	1,27	2,12	0,87	4,26
Ужаниха	1,4	1,26	0,32	1,05	2,63
Искитим	1,5	1,29	0,19	1,15	2,63
Довольное	1,6	1,31	0,96	0,89	3,16
Остров Дальний	2	1,41	0,53	0,90	2,84
Купино	1,9	1,36	1,87	0,81	4,04
Ордынское	2	1,39	0,16	1,07	2,62
Кочки	1,6	1,3	0,77	0,95	3,02
Посевная	1,6	1,32	0,56	1,21	3,09
Маслянино	0,9	1,17	0,2	1,17	2,54
Баган	2	1,37	1,59	0,77	3,73
Краснозерск	2	1,39	1,28	0,86	3,63
Сузун	1,9	1,39	0,22	1,13	2,74
Карасук	2,5	1,5	1,07	0,80	3,37
Яя	0,9	1,17	0,39	1,09	2,65
Тайга	0,3	1,05	0,53	1,47	3,05
Мариинск	1,4	1,29	0,26	1,22	2,77
Тяжин	1,2	1,24	0,39	1,41	3,04
Тисуль	1,6	1,33	0,46	1,20	2,99
Юрга	1	1,18	0,4	1,16	2,74
Барзас	0,9	1,19	0,3	1,48	2,97
Топки	1,3	1,26	0,22	1,36	2,84
Кемерово, агро	1,4	1,28	0,21	1,28	2,77
Центральный рудник	0,9	1,2	0,38	2,52	4,10
Крапивино	1,6	1,33	0,05	1,58	2,96
Промышленная	1,7	1,35	0,11	1,06	2,52
Красное	1,4	1,27	0,1	0,92	2,29
Белово	2,1	1,48	0,24	1,11	2,83
Киселевск	2,5	1,58	0,26	1,05	2,89
Новокузнецк	2,1	1,46	0,78	1,16	3,40
Междуреченск	1,3	1,25	0,03	2,11	3,39
Кузедеево	2,2	1,48	0,11	1,75	3,34
Кондома	1,2	1,26	0,01	2,20	3,47
Таштагол	1	1,19	0,05	2,14	3,38
Усть-Кабырза	0,6	1,1	0,01	2,04	3,15
Камень на Оби	2	1,38	0,45	0,86	2,69
Тальменка	1,6	1,32	0,08	1,29	2,69
Заринск	2,3	1,47	0,12	1,14	2,73
Хабары	1,9	1,36	0,33	0,85	2,54
Тогул	2,8	1,67	0,28	1,39	3,34
Шелаболиха	2,7	1,57	0,38	0,90	2,85
Барнаул	2,7	1,59	0,17	1,08	2,84
Баево	2,4	1,49	0,79	0,84	3,12

Ребриха	2,2	1,44	0,54	0,99	2,97
Целинное	2,4	1,51	0,82	1,11	3,44
Славгород	2,9	1,58	1,36	0,79	3,73
Троицкое	2,2	1,46	0,09	1,52	3,07
Благовещенка	3,5	1,75	1,79	0,65	4,19
Мамонтово	2,7	1,58	0,4	1,03	3,01
Бийск-Зональная	2,7	1,58	0,13	1,38	3,05
Бийск	2,4	1,51	0,39	1,25	3,15
Кулунда	3,3	1,69	0,23	0,89	2,81
Родино	3,2	1,7	1,55	0,84	4,05
Алейская	3,2	1,7	0,35	1,11	3,16
Усть-Чарышская пристань	3,6	1,87	0,32	1,12	3,31
Ключи	3,5	1,77	0,5	0,71	2,98
Шипуново	3	1,66	0,26	1,05	2,97
Усть-Калманка	3,6	1,88	0,65	1,11	3,64
Волчиха	2,6	1,54	1,42	0,90	3,86
Поспелиха	3,3	1,75	0,23	0,98	2,96
Краснощеково	3,8	2	0,41	1,19	3,60
Солонешное	2,2	1,49	0,05	1,49	3,03
Рубцовск	3,3	1,72	2,09	0,82	4,63
Угловское	4,2	2,04	0,48	0,72	3,24
Чарышское	3,2	1,82	0,02	1,56	3,40
Змеиногорск	3,3	1,82	0,23	1,72	3,77
Горняк	3,7	1,91	0,51	0,98	3,40
Турочак	1,9	1,38	0,02	1,96	3,36
Горно-Алтайск	3,1	1,77	0,1	1,48	3,35
Кызыл-Озек	2,9	1,73	0	1,81	3,54
Яйлю	4,4	3,04	0,04	2,21	5,29
Чемал	4,4	2,52	0,05	1,35	3,92
Шебалино	2,5	1,74	0,06	1,34	3,14
Усть-Кан	0,7	1,14	0,01	0,88	2,03
Онгудай	0,8	1,15	0,01	0,96	2,12
Усть-Кокса	0,2	1,03	0,03	1,19	2,25
Катанда	-0,3	0,95	0,01	1,07	2,03
Кош-Агач	-3,8	0,55	0,09	0,30	0,94
Кара-Тюрек	-5	0,24	1,39	1,54	3,17
Ак-Кем	-3,3	0,46	0,13	1,42	2,01
Тазовск	-8,1	0,28	4,96	1,37	6,61
Ныда	-6,7	0,32	14,03	0,86	15,21
Салехард,ГМО	-5,7	0,38	0,38	1,11	1,87
Новый Уренгой	-7	0,29	5,12	1,14	6,55
Полуй	-5,3	0,39	0,16	1,18	1,73
Уренгой	-6,8	0,3	0,76	1,31	2,37
Питляр	-4,8	0,43	0,76	1,17	2,36
Пангоды	-6,2	0,34	1,36	1,21	2,91
Красноселькупск	-6,4	0,32	0,87	1,09	2,28
Надым	-5,1	0,43	1,62	1,27	3,32

Мужичи	-4,2	0,48	0,84	1,28	2,60
Тарко-Сале	-5,5	0,43	0,38	1,34	2,15
Толька	-5,1	0,45	0,13	1,36	1,94
Халесовая	-4,6	0,47	0,24	1,26	1,97
Саранпауль	-3,2	0,57	0,16	1,24	1,97
Березово	-3,2	0,58	0,85	1,33	2,76
Сосьва	-2,4	0,66	0,08	1,20	1,94
Казым	-3	0,59	0,25	1,25	2,09
Юильск	-3,6	0,53	0,25	1,31	2,09
Игрим	-2,1	0,69	0,56	1,32	2,57
Ноябрьск	-4,5	0,45	1,56	1,35	3,36
Октябрьское	-1,6	0,73	0,03	1,50	2,26
Няксимволь	-1,2	0,82	0,02	1,33	2,17
Когалым	-3	0,59	0,92	1,41	2,92
Радужный	-3,2	0,57	0,91	1,15	2,63
Вон-Еган	-1,1	0,82	0,12	1,38	2,32
Корлики	-3,2	0,57	0,08	1,43	2,08
Сытомино	-1,6	0,75	0,2	1,26	2,21
Ларьяк	-2,2	0,7	0,27	1,36	2,33
Ханты-Мансийск	-0,6	0,9	0,08	1,30	2,28
Нефтеюганск	-1,5	0,77	1,79	1,16	3,72
Ваховск	-2,1	0,69	0,09	1,28	2,06
Нижневартовск	-1,8	0,73	1,66	1,32	3,71
Угут	-0,9	0,82	0,12	1,48	2,42
Шаим	0,3	1,05	0,31	1,01	2,37
Алтай	-0,1	0,98	0,11	1,34	2,43
Салым	-0,4	0,93	0,05	1,43	2,41
Кондинское	0,4	1,07	0,81	1,08	2,96
Леуши	0,8	1,15	0,35	1,20	2,70
Таурово	-1	0,84	0,01	1,28	2,13
Куминская	0,6	1,11	0,02	1,41	2,54
Демьянское	0	1	0,07	1,40	2,47
Уват	0,6	1,11	0,27	1,31	2,69
Тобольск	1	1,18	0,41	1,16	2,75
Вагайское	1,4	1,28	0,51	1,16	2,95
Ярково	1,8	1,37	0,11	1,16	2,64
Тюмень, отдел наблюдений	2,2	1,49	0,08	1,23	2,50
Викулово	1,8	1,37	0,33	1,12	2,82
Ялуторовск	2	1,42	0,99	1,08	3,49
Гольшманово	1,9	1,4	0,26	1,13	2,79
Абатский	1,6	1,33	0,15	1,05	2,53
Ишим	1,8	1,35	0,57	0,98	2,90
Сладково	1,9	1,4	0,89	0,98	3,27
Усть-Ишим	0,8	1,15	0,51	1,16	2,82
Тевриз	0,9	1,17	0,62	1,19	2,98
Тара	1	1,18	0,22	1,09	2,49
Седельниково	0,7	1,13	0,25	1,17	2,55

Большие Уки	1,3	1,26	0,17	1,15	2,58
Большеречье	1,3	1,26	0,58	0,98	2,82
Тюкалинск	1,6	1,33	0,48	1,02	2,83
Называевск	1,9	1,4	1,55	0,97	3,92
Саргатское	1,5	1,3	0,64	0,94	2,88
Омск	2,1	1,43	0,15	1,07	2,65
Калачинск	1,8	1,37	0,89	0,86	3,12
Исилькуль	2,1	1,45	0,72	0,90	3,07
Любимовка	1,9	1,4	0,94	0,93	3,27
Щербакуль	1,8	1,37	1,2	0,84	3,41
Одесское	2,1	1,45	0,85	0,88	3,18
Павлоградка	2,1	1,45	0,69	0,84	2,98
Черлак	2,3	1,5	0,18	0,91	2,59
Русская поляна	2,4	1,5	0,13	0,90	2,53

В таблице 7.2 показаны коэффициенты корреляции между значениями K_t и среднегодовыми концентрациями примесей.

Таблица 7.2 - Коэффициенты корреляции между коэффициентом теплообеспеченности (K_t) и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг.

Город	ВВ	SO ₂	CO	NO ₂	NO	Фенол	Сажа	NH ₃	Ф-д	Б/п	HF	Водо род циан ист.	хлор
Кемерово	-0,98				-0,91		-0,56		0,65	-0,88			
Новокузнецк	0,68			-0,79	-0,90		-0,58	-0,93	0,94		-0,81	0,62	
Искитим		-0,59	-0,64				-0,72			-0,60			
Томск						-0,77		-0,51	0,59	0,54			
Куйбышев				-0,79	-0,52								-0,58
Новосибирск О		-0,70	-0,70	0,52			0,75		0,51	-0,88			
Заринск	-0,75	-0,90	-0,82	-0,79					0,77				
Барнаул	0,58												
Бийск	-0,67	-0,74	-0,96	-0,66			-0,89						
Новосибирск У		-0,71	-0,72	0,55			0,78		0,51	-0,87			
Прокопьевск	0,78	-0,70		-0,80						0,55			
Ханты- Мансийск	0,59		-0,99	-0,51	-0,70		0,70		0,88				
Нефтеюганск	0,54		-0,57	-0,76	-0,72	0,76	-0,87		-0,88				
Нижевартовск	0,61			-0,75	-0,76								
Тобольск			0,70	-0,52					-0,51				
Тюмень									0,98	0,82			
Омск	0,80	-0,51	-0,90	-0,80		0,51				-0,92			
Салехард										-0,57			
Берёзово	0,68		0,89	-0,56	-0,96	-0,68	0,64		0,69				
Радужный				-0,57	-0,99	-0,75	0,73		-0,59				

Условные обозначения: ■ –наблюдения не проводились; пустые графы –коэффициенты корреляции $\leq 0,5$.

Как видно из таблицы 7.2, для подавляющего большинства примесей связь между коэффициентом теплообеспеченности (K_t) и среднегодовыми концентрациями примесей носит обратный характер. Чем выше значения K_t , тем меньше среднегодовые концентрации примесей. Из этого ряда зависимостей выпадают взвешенные вещества и формальдегид. Причины этого явления были объяснены ранее. Для других городов и веществ, которые не укладываются в такую закономерность, необходимы специальные исследования для выявления причин такого результата.

7.2. Коэффициент ветра

О влиянии ветрового режима на уровень загрязнения атмосферного воздуха более подробно было сказано в главе 3 данного отчета.

Скорость ветра является основным показателем горизонтального переноса примесей. Известно, что в промышленном городе обычно существует два максимума роста концентраций загрязняющих веществ: один при ветрах 0-1 м/с за счет выбросов многочисленных низких источников, другой при ветрах 4-6 м/с за счет выбросов высоких источников. Поэтому скорость ветра, способная вынести вредные вещества из города и разрушить остров тепла даже в мегаполисе с населением свыше одного миллиона человек, должна быть не менее 6 м/с.

Коэффициент ветра (K_v) предлагается выражать через отношение годовой повторяемости числа случаев скоростей ветра 6 м/с и более ($P_{\geq 6}$), которые способствуют выносу загрязняющих веществ из города и их рассеиванию, к повторяемости числа случаев скоростей ветра 0-1 м/с (P_{0-1}), которые приводят к застойным ситуациям и увеличению загрязнения атмосферы:

$$K_v = P_{\geq 6} / P_{0-1}.$$

Чем больше по абсолютной величине K_v , тем лучше условия для рассеивания примесей и наоборот. При значении $K_v \geq 1$, ветровой режим территории способствует рассеиванию примесей в атмосфере; при K_v меньше 1 преобладают условия затишья, которые способствуют накоплению примесей в атмосфере, при $K_v < 0,5$ создаются крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей.

Значения коэффициента ветра были рассчитаны для 193 метеостанций региона за период 1986-2010. Средние за рассматриваемый период значения K_v приведены в таблице 7.1. Этот коэффициент изменяется на территории Западной Сибири в большом диапазоне: от 14,03 (Ныда, Ямало-Ненецкий а.о.) до 0,00 в закрытых котловинах Горного Алтая и Западных Саян (Кондома, Усть-Кабырза, Турочак, Кызыл-Озек), а также на северо-востоке Томской области (Ванжиль-Кынак).

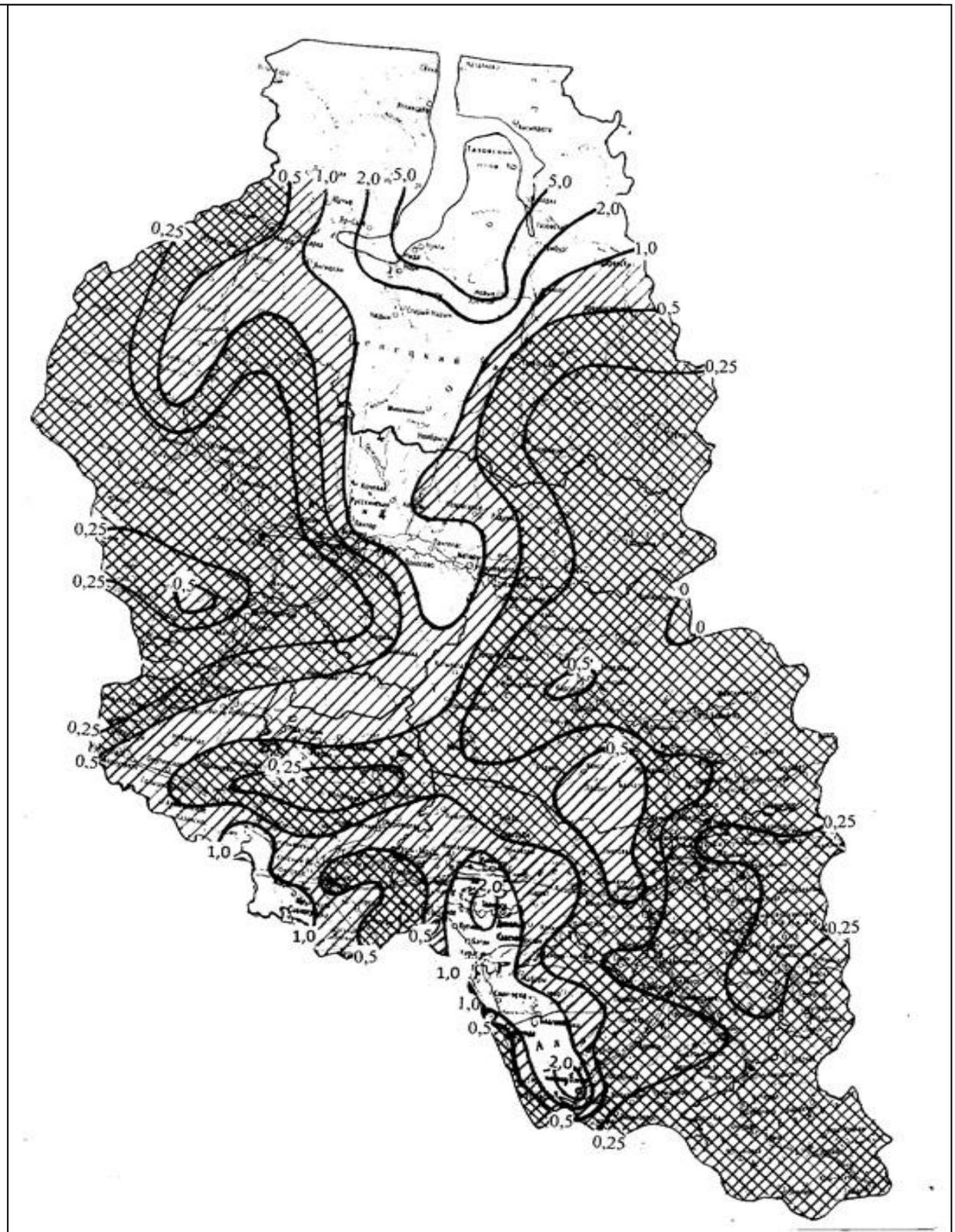


Рисунок 7.3 – Районирование территории Западной Сибири по коэффициенту ветра (K_v)

Условные обозначения:  территории с благоприятными условиями для рассеивания примесей ($K_v \geq 1$);

 - территории с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($0,5 \leq K_v < 1$);

 - территории с крайне неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($K_v < 0,5$)

На рисунке 7.3 показано районирование территории Западной Сибири по коэффициенту ветра, территория с хорошими условиями проветриваемости занимает незначительную по площади часть региона, которая захватывает северные районы Ямало-Ненецкого а.о. и простирается небольшим клином до среднего течения р. Оби. С юга такой же клин выходит от Славгорода-Рубцовска до северных границ Новосибирской области. Остальная часть территории Западной Сибири имеет преимущественно плохую проветриваемость с преобладанием в годовом разрезе числа случаев слабого ветра 0-1 м/с над числом случаев ветра 6 м/с и более.

В таблице 7.3 показаны коэффициенты корреляции между K_v и среднегодовыми концентрациями наблюдаемых примесей. Как видно из таблицы 7.3, в основном наблюдается обратная зависимость между K_v и $Q_{cp,год}$, т.е. чем лучше ветровые характеристики для рассеивания примесей, тем меньше среднегодовые концентрации загрязняющих веществ. Ряд веществ не вписывается в такую закономерность, причиной чего может служить адвекция загрязненного воздуха из других районов, а также локальные особенности расположения источников загрязнения или не репрезентативность расположения пунктов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха, а также не стабильность эмиссии выбросов, о чем писалось выше.

Таблица 7.3 - Коэффициенты корреляции между коэффициентом ветра (K_v) и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг.

Город	ВВ	SO ₂	CO	NO ₂	NO	Фенол	сажа	NH ₃	Ф-д	Б/п	HF	Водо род циан ист.	хлор
Кемерово	-0,79		-0,64	-0,66	-0,96		-0,82	0,59	0,77	-0,85			
Новокузнецк		0,98	0,85		0,74		0,74	0,75	-0,60	0,68	0,51		
Искитим										-0,61			
Томск	0,84		-0,90	0,51			0,82	-0,87	0,80	0,97			
Куйбышев	0,53			-0,64					-0,79				
Новосибирск О			-0,57					-0,50					
Заринск	0,70												
Барнаул		0,80	-0,53			0,94	-0,84						
Бийск	0,71	0,74	0,50	0,69	0,52								
Новосибирск У			-0,74				0,62			0,67			
Прокопьевск	-0,54		0,96				0,83			-0,84			
Ханты- Мансийск	0,56	-0,76		0,53		-0,76	-0,53						
Нефтеюганск							-0,79						
Нижевартовск	0,97		0,85	-0,89	-0,86	-0,85							
Тобольск	0,93	0,96	-0,61						0,79				

Тюмень	-0,79		0,87	0,78		-0,86				0,51			
Омск	0,57			-0,57									
Салехард				0,87									
Берёзово	0,81		0,71	-0,81	-0,94	-0,74	0,67		0,70				
Радужный	0,67			-0,73	-0,67				-0,70				

Условные обозначения: ■ –наблюдения не проводились; пустые графы. –коэффициенты корреляции $\leq 0,5$.

7.3 . Коэффициент осадков

По типу осадков территория Западной Сибири относится к внутриматериковому умеренному и частично к полярному типам годового хода осадков. При первом типе максимум осадков наблюдается летом, минимум зимой, что обусловлено большими сезонными различиями влагосодержания воздуха в связи с резким годовым ходом температуры и более или менее устойчивой антициклональной циркуляцией зимой. В условиях Заполярья наблюдается, наоборот, зимний максимум, обусловленный повышенной в этот сезон циклоничностью.

Процесс очищения атмосферного воздуха осадками неоспорим. Вопрос в том, как это влияние выразить количественно при разработке комплексных показателей, описывающих метеорологические условия рассеивания примесей в атмосфере.

В настоящее время есть два пути решения этой проблемы – через годовую сумму выпадающих осадков или через учет количества дней за год с осадками выше определенного предела.

С одной стороны, на территориях со значительными осадками имеются лучшие условия для очищения атмосферного воздуха; с другой стороны, не регулярность и не равномерность этого явления даже в одном населенном пункте вызывает сомнение в правильности такого подхода. Если использовать в качестве искомой величины количество дней с осадками выше какого-то предела, то необходимо обоснование минимального количества осадков за сутки, которое способно очистить атмосферный воздух от загрязнителей. Различные авторы используют в своих разработках различные значения предельных осадков. Так, в работах Т.С. Селегей [36] в качестве искомой величины предлагалось брать количество дней с осадками 0,5мм и более за сутки, которое способно осадить придорожную пыль, т.е. очистить атмосферный воздух от крупнодисперсной фракции пыли. Л.П. Сорокина [13] в своих работах использует число дней с осадками более 5 мм в сутки. Как видно, размах в суточном количестве осадков значителен.

В работах [70, 71], анализирующих зависимость между величинами выпавших за сутки осадков и средними концентрациями ряда примесей (взвешенные вещества, озон, формальдегид), выявлена примерно одинаковая картина очищения атмосферного

воздуха. Наибольшее влияние на величины концентраций этих примесей оказывают осадки интенсивностью 1-3 мм в сутки. Это, как правило, обложные осадки, сопровождающиеся хмурым небом и отсутствием солнечного сияния. При таких осадках концентрации загрязняющих веществ уменьшаются в среднем на 20-25%. Осадки интенсивностью 4-10 мм в сутки зачастую имеют кратковременный ливневой характер, поэтому уменьшение концентраций при них происходит всего на 6-8%, а осадки более 10 мм в сутки практически не приводят к понижению концентраций. Такие осадки преимущественно присущи малоподвижным барическим образованиям, имеют внутримассовый конвективный характер и могут выпадать в одной части города, не затронув другую.

При применении годового количества осадков возникает тот же вопрос – какое количество осадков гарантирует очищение атмосферного воздуха от загрязнителей. Разброс в применении этого параметра колеблется в диапазоне от 300 до 400 мм. В работе А.П. Сляднева [72] выделено 6 геотермических зон увлажнения территорий, которые определяют возможности самоочищения геосистем в целом, в том числе и атмосферного воздуха. Граничные условия зон представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Геотермические зоны по А.П. Слядневу

Зона	Тип увлажнения	Годовое кол-во осадков, мм
1	Весьма скудное, устойчивая засушливость	<250
2	Скудное, неустойчивая засушливость	250-300
3	Недостаточное и неустойчивое	300-350
4	Достаточное, но неустойчивое	350-400
5	Избыточное, устойчивое	400-500
6	Весьма избыточное	>500

Если исходить из классификации А.П. Сляднева, то в качестве низшей нормативной планки, обеспечивающей достаточное, хотя и неустойчивое увлажнение территорий и их способности к самоочищению, можно принять годовое количество осадков на уровне 400 мм в год. При нормировании фактически выпавших осадков на эту величину можно выявить территории с различными возможностями самоочищения атмосферного воздуха за счет осадков.

Чтобы выбрать какой-либо из описанных выше вариантов учета осадков при установлении критерия самоочищения атмосферного воздуха, были проанализированы

зависимости между концентрациями загрязняющих веществ и следующими вариантами учета осадков:

- по количеству дней с осадками 0,5 мм и более за сутки;
- по количеству дней с осадками 1,0 мм и более за сутки;
- по нормированию годового количества осадков на 350 мм в год;
- по нормированию годового количества осадков на 400 мм в год.

Анализ коэффициентов корреляции между концентрациями загрязняющих веществ при различных вариантах учета осадков показали примерно одинаковые результаты, без выделения явного лидера. Мы остановились на последнем варианте из рассмотренных, т.е. коэффициент осадков предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{осад.}} = \sum O_{\text{год}} / 400,$$

где $\sum O_{\text{год}}$ – годовая сумма осадков, мм; 400- годовая норма количества осадков, необходимая для очищения атмосферного воздуха, мм.

Чем больше по абсолютной величине $K_{\text{осад.}}$, тем лучше условия увлажнения (самоочищения) атмосферного воздуха. При $K_{\text{осад.}} \geq 1$ территория имеет хорошие условия для самоочищения, при $0,5 \leq K_{\text{осад.}} < 1$ – плохие (недостаточные), при $K_{\text{осад.}} < 0,5$ – крайне недостаточные.

В таблице 7.1 приведены средние за рассматриваемый период значения коэффициента осадков для 193 метеостанций региона. Как видно, он изменяется в диапазоне от 2,52 (Центральный рудник, Кемеровская обл.) до 0,30 (Кош-Агач, Горный Алтай).

На рисунке 7.4 показано пространственное распределение $K_{\text{осад.}}$ по территории Западной Сибири (среднее за период 1986-2010 гг). По условиям увлажнения практически вся территория Западной Сибири имеет хорошие условия для самоочищения атмосферного воздуха за счет достаточного и даже сверх достаточного ($K_{\text{осад.}} > 1,5$) увлажнения. К зоне сверх достаточного увлажнения относятся предгорья Кузнецкого Алатау и Западных Саян (Кемеровская область и республика Алтай), где горные системы являются задерживающими барьерами для фронтальных осадков. Подходя к ним, воздушные массы трансформируются и теряют влагу. Недостаточное увлажнение ($K_{\text{осад.}} \leq 1$) в рассматриваемый период времени получали лишь южные районы Тюменской, Омской, Новосибирской областей, юго-западные районы Алтайского края и южные районы Горного Алтая. Это, в основном, засушливые степные территории. К территориям с плохими условиями для вымывания примесей из атмосферы относятся и тундровые территории Заполярья, а также закрытое Усть-Улаганское плато Западных Саян (республика Алтай).

Крайне неблагоприятных условий ($K_{\text{осад.}} \leq 0,5$) на территории Западной Сибири за рассматриваемый период практически не наблюдалось.

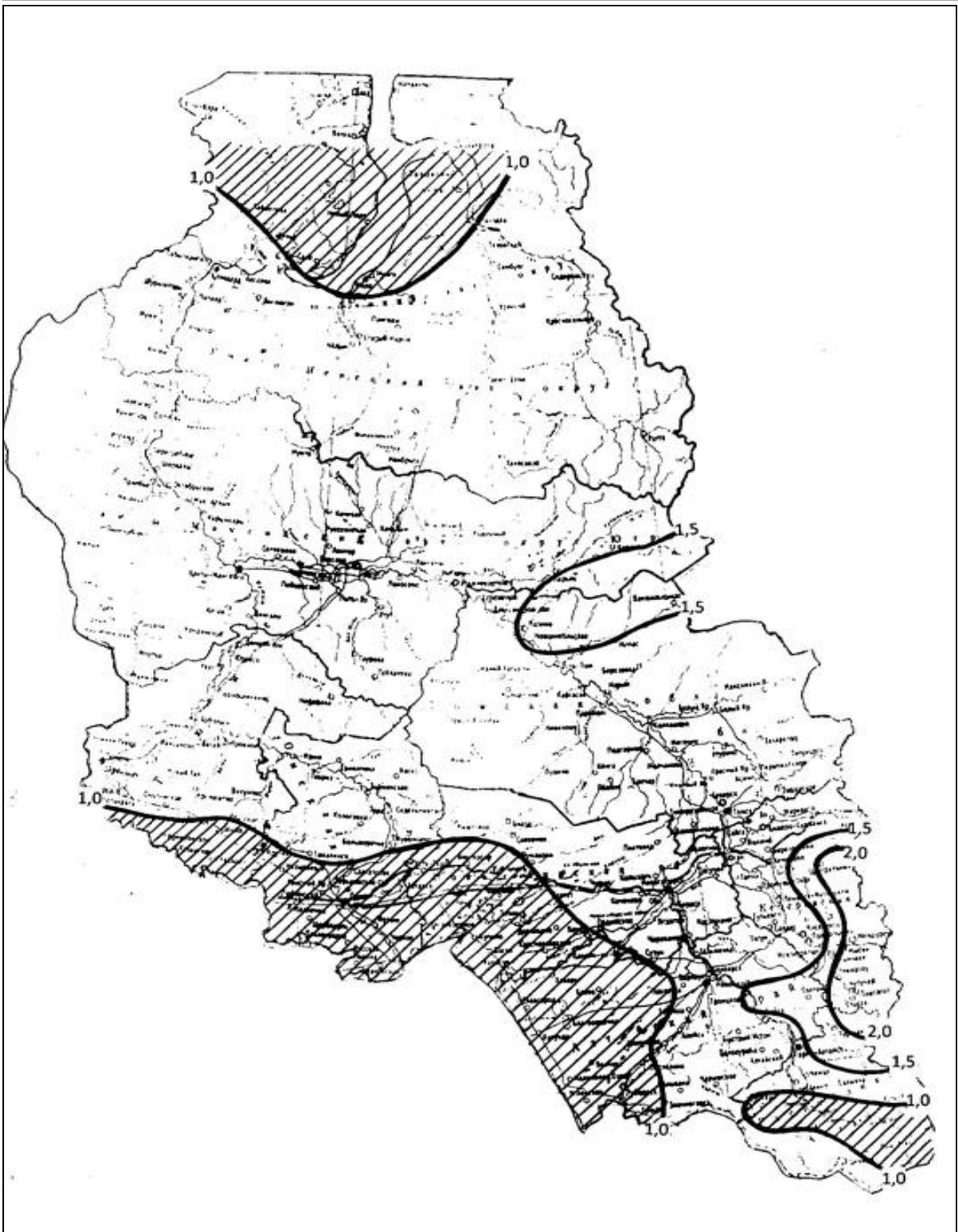


Рисунок 7.4 – Районирование территории Западной Сибири по коэффициенту осадков ($K_{\text{осад.}}$).

Условные обозначения:  - благоприятные условия для рассеивания примесей,
 - неблагоприятные условия для рассеивания примесей.

Коэффициенты корреляции, найденные между $K_{\text{осад.}}$ и среднегодовыми концентрациями загрязняющих веществ, приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Коэффициенты корреляции между коэффициентом осадков ($K_{\text{осад.}}$) и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг.

Город	ВВ	SO ₂	CO	NO ₂	NO	Фенол	сажа	NH ₃	Ф-д	Б/п	HF	Водо род циан ист.	хлор
Кемерово	-0,67												
Новокузнецк													
Искитим					0,77								
Томск				-0,54		-0,53			0,51				
Куйбышев	-0,81	0,88			0,93	0,88	0,54	0,92					-0,65
Новосибирск О	0,72							0,79		-0,53	0,71		
Заринск		0,55	0,53						-0,61				
Барнаул				0,52					-0,75				
Бийск	-0,80	-0,74		-0,80	-0,83					0,76			
Новосибирск У					-0,51	-0,62		0,52	-0,52	-0,51			
Прокопьевск	0,93	0,51	-0,83				-0,93			0,72			
Ханты- Мансийск	0,59	-0,87		-0,62		-0,87			0,52				
Нефтеюганск		0,83	-0,78	-0,89	-0,52	-0,88			-0,64				
Нижевартов ск				-0,67									
Тобольск				-0,76									
Тюмень	0,71		0,82	0,51	0,68	-0,74				0,82			
Омск		-0,51				0,51			-0,88				
Салехард				0,67									
Берёзово			-0,62	-0,55			-0,67						
Радужный					-0,51								

Условные обозначения: ■ –наблюдения не проводились; пустые графы –коэффициенты корреляции $\leq 0,5$.

Как видно из таблицы 7.5 зависимость между среднегодовыми концентрациями примесей и коэффициентами осадков ($K_{\text{осад.}}$) для большинства примесей носит обратный характер, т.е. чем выше $K_{\text{осад.}}$, тем меньше концентрации примесей. Однако для ряда городов эта связь носит прямой характер. Примером тому служит Куйбышев, что можно объяснить нерепрезентативными метеорологическими данными, взятыми по метеостанции Барабинск. Кроме того, мелкие частицы размером менее 2 мкн, как правило, дождями не вымываются.

Из этой же таблицы видно, что лучше всего осадки очищают воздух от диоксида азота, а хуже всего от сажи. Сажа представляет из себя мелкодисперсную пыль и плохо вымывается из атмосферы.

7.4. Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы

Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (УМПА) рассчитывается по формуле:

$$\text{УМПА} = K_t + K_v + K_{\text{осад}} = e^{0,176t_{cp}} + P_{\geq 6} / P_{0-1} + O_{\text{год}}/400, \quad (7.2)$$

где t_{cp} - среднегодовая температура воздуха, °С; $P_{\geq 6}$ - повторяемость скорости ветра ≥ 6 м/с, %; P_{0-1} - повторяемость скорости ветра 0-1 м/с, %; $O_{\text{год}}$ - годовая сумма осадков, мм; **400** – годовая норма количества осадков, необходимая для очищения атмосферного воздуха, мм.

Чем больше по своему значению УМПА, тем лучше на данной территории условия для рассеивания примесей.

По формуле 7.2 усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы был рассчитан для 193 метеостанций Западной Сибири. Его средние за рассматриваемый период значения колебались от 6,55 (Новый Уренгой) до 1,73 (Полуй) с максимумом в Ныде (15,21) и минимум в Кош-Агаче (0,94). Среднее значение УМПА для территории Западной Сибири составило 2,94.

При $\text{УМПА} \geq 3$ создаются хорошие условия для рассеивания примесей, т.к. все три составляющие, входящие в формулу 7.1, имеют хорошие условия для рассеивания примесей или один доминант, способствующий рассеиванию примесей, настолько силен, что компенсирует недостатки одного или двух других компонентов, недостаточных для рассеивания примесей; при $3 < \text{УМПА} \leq 2$ – создаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей и при $\text{УМПА} < 2$ - крайне неблагоприятные.

Для обоснования граничных условий для районирования территории Западной Сибири по показателю УМПА были рассчитаны его среднеквадратичные отклонения по всему ряду наблюдений, рисунок 7.5. Как видно, среднеквадратичные отклонения (σ) величин УМПА изменяются по логнормальному закону, т.е. увеличиваются с ростом показателя. При значениях $\text{УМПА} = 3,0$ его изменчивость в среднем составляет $\pm 0,5$; при более высоких значениях УМПА его изменчивость стремительно возрастает, но это происходит в поле хороших условий для рассеивания примесей и не отражается на районировании территорий. При значениях $\text{УМПА} = 2$ его изменчивость колеблется в пределах $\pm 0,2$, а при $\text{УМПА} = 1$ практически имеет нулевые значения.

Исходя из среднеквадратичных отклонений УМПА предлагаются следующие граничные условия для выделения территорий по степени их предрасположенности к рассеиванию примесей:

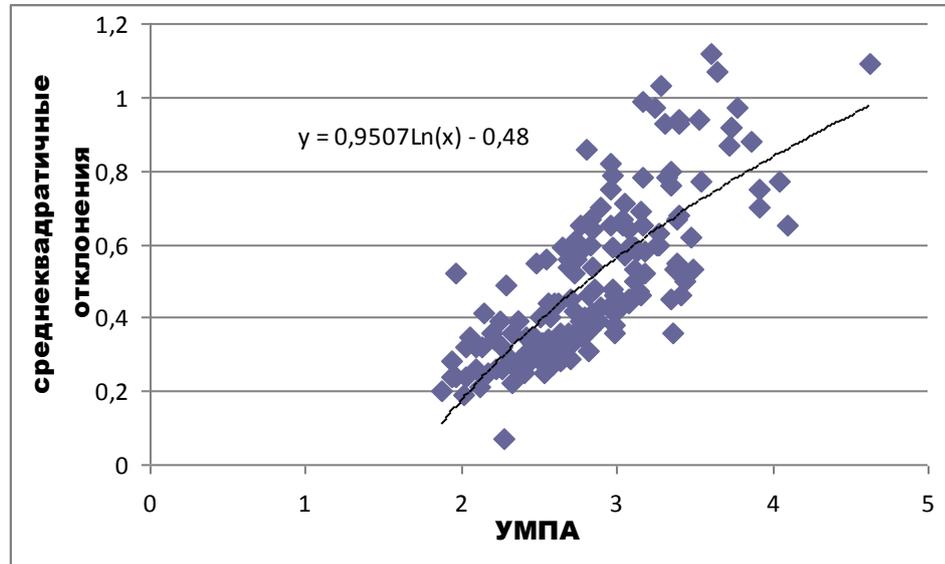


Рисунок 7. 5 – зависимость среднеквадратичных отклонений от величины УМПА

- УМПА $\geq 3,5$ - зоны с благоприятными условиями для рассеивания примесей;
- $3,5 < \text{УМПА} \leq 2,5$ – буферные зоны или зоны риска, в которой с одинаковой вероятностью могут наблюдаться метеоусловия, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и его самоочищению;
- УМПА $< 2,5$ – зоны с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей.

Установленные граничные условия были положены в основу районирования территории Западной Сибири по степени предрасположенности атмосферного воздуха аккумулировать или рассеивать загрязняющие вещества, рисунок 7.6. Это районирование выявило, что территорий со стабильно благоприятными условиями для рассеивания примесей (УМПА $\geq 3,5$) в Западной Сибири крайне мало. К таким территориям относятся лишь районы Крайнего Севера, прилегающие к Обской губе; незначительная территория, протянувшаяся вдоль среднего течения р. Оби на участке от Нижневартовска до Нижнефтеюганска, а также незначительные по площади южные районы региона, захватывающие Кулундинскую степь и предгорья Кузнецкого Алатау. Если на северных территориях очищение атмосферного воздуха происходит, в основном, за счет большой повторяемости сильных ветров (6м/с и более), то на южных территориях в Кулундинской

степи к сильным ветрам добавляется высокая температура воздуха, которая способствует быстрому разложению загрязняющих веществ. В предгорьях Кузнецкого Алатау хорошая рассеивающая способность атмосферного воздуха обязана значительным осадкам, выпадающим на этой территории.

Зоны с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($УМПА < 2,5$) охватывают Западную Сибирь как с восточной, так и с западной стороны, соединяясь в единую зону в районе Васюганских болот. Эти территории характеризуются большой повторяемостью слабых ветров (0-1 м/с) и низкими температурами воздуха. К зоне с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей небольшой самый южный район Горного Алтая, где все три фактора (температура воздуха, осадки, скорость ветра) имеют низкие значения.

Остальная территория Западной Сибири относится к зоне риска, где с одинаковой вероятностью в отдельные годы могут наблюдаться условия, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и ее самоочищению. В такую зону попадает наиболее обжитая территория юга Западной Сибири, где расположены промышленные города региона. К буферной зоне относится также значительная территория Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского а.о., где осуществляется основная газонефтедобывающая деятельность.

Коэффициенты корреляции между УМПА и $Q_{ср}$ для городов Западной Сибири (таблица 7.6) подтвердили наличие значимых связей ($r \geq 0,50$) для большинства примесей, а также выявили локальные особенности формирования уровня загрязнения АВ для ряда городов. Обратную зависимость между УМПА и $Q_{ср}$ (с увеличением коэффициента рассеивающей способности атмосферы среднегодовые концентрации примесей уменьшались) показали большинство городов для сернистого ангидрида, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, фенола, сажи, аммиака, бензапирена. Такая закономерность не коснулась формальдегида и взвешенных веществ. Для взвешенных веществ очень важно знать, за счет каких фракций пыли формируется фон загрязнения. Если в этом процессе преобладает почвенная пыль (грубая фракция) зависимость между УМПА и $Q_{ср}$ прямая, если за счет выбросов мелкодисперсной пыли промышленных предприятий – обратная. Прямая зависимость между УМПА и $Q_{ср}$ для формальдегида в большинстве городов региона говорит об очень сложной картине загрязнения атмосферного воздуха как этой примесью, так и углеводородами в целом, т.к имеют место активные фотохимические и адвективные процессы, которые очень трудно оценить.

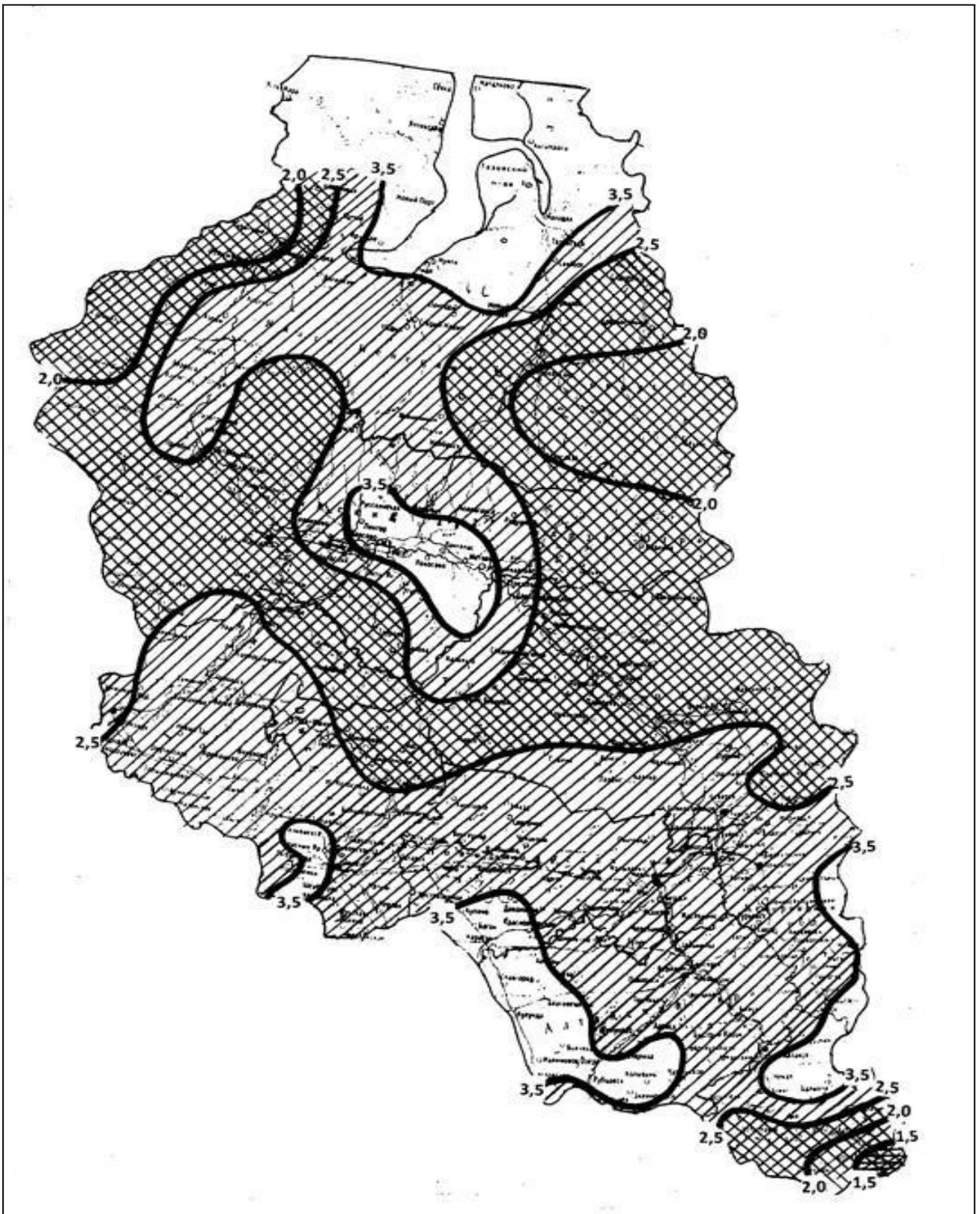


Рисунок 7.6 – Районирование территории Западной Сибири по усовершенствованному метеорологическому потенциалу атмосферы (УМПА)

Условные обозначения:  - территории с благоприятными условиями для рассеивания примесей ($УМПА \geq 3,5$);  - буферная зона или зона риска, в которой с одинаковой вероятностью могут наблюдаться процессы, способствующие как загрязнению АВ, так и его самоочищению ($3,5 < УМПА \leq 2,5$);  - территории с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей ($УМПА < 2,5$)

Таблица 7.6 – Коэффициенты корреляции между усовершенствованным метеорологическим показателем рассеивающей способности атмосферы и среднегодовыми концентрациями примесей, 2006-2010 гг.

Город	Взвешенные вещества				Сернистый ангидрид				Углерода оксид				Азота диоксид				Азота оксид				Фенол					
	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА		
Кемерово	-0,98	-0,79	-0,67	-0,98						-0,64					-0,66					-0,91	-0,96		-0,86			
Новокузнецк	0,68			0,59		0,98		-0,51		0,85				-0,79			-0,71		-0,90	0,74		-0,95				
Искитим				-0,51	-0,59			-0,60	-0,64			-0,59										0,77				
Томск		0,84								-0,90				0,51	-0,54								-0,77		-0,53	-0,83
Куйбышев		0,53	-0,81				0,88							-0,79	-0,64				-0,52		0,93	-0,60		0,88		
Новосибирск О			0,72		-0,70		-0,51	-0,70	-0,57		-0,64	0,52														
Заринск	-0,75	0,70		-0,76	-0,90		0,55	-0,88	-0,82	0,63	-0,79	-0,79				0,75										
Барнаул	0,58			0,60		0,80				-0,53					0,52									0,94		
Бийск	-0,67	0,71	-0,80	-0,97	-0,74	0,74	-0,74	-0,98	-0,96	0,51		-0,94	-0,66	0,69	-0,80	-0,96		0,52	-0,83	-0,75						
Новосибирск У					-0,71			-0,68	-0,72	-0,74		-0,54	0,55						-0,51					-0,62		
Прокопьевск	0,88	-0,54		0,89	-0,70		0,51	-0,62		0,96	-0,83	-0,57	-0,80			-0,73										
Ханты-Мансийск	0,59	0,56	0,93	0,76		-0,76	-0,87	-0,88	-0,99			-0,56	-0,51	0,53	-0,62				-0,70					-0,76	-0,87	-0,83
Нефтеюганск	0,54		0,59	0,59			0,83	0,57	-0,57		-0,78	-0,66	-0,76		-0,89				-0,72		-0,52		0,76		-0,88	-0,77
Нижневартовск	0,61	0,97		0,82						0,85		0,68	-0,75	-0,89	-0,67	-0,95	-0,76	-0,86		-0,96				-0,85		-0,60
Тобольск		0,93				0,96			0,70	-0,61			-0,52		-0,76	-0,84										
Тюмень		-0,79	0,71							0,87	0,82	0,51		0,78	0,51				0,68					-0,86	-0,74	-0,54
Омск	0,80	0,57		0,60	-0,51		-0,51	-0,68	-0,90			0,93	-0,80	-0,57		-0,60							0,51		-0,86	-0,68
Салехард														0,87	0,67	0,67										
Берёзово	0,68	0,81		0,91					0,89	0,71	-0,62		-0,56	-0,81	-0,55	-0,97	-0,96	-0,94		-0,79	-0,68	-0,74				-0,63
Радужный		0,67											-0,57	-0,73		-0,74	-0,99	-0,67	-0,51	-0,87	-0,75					

Условные обозначения: ■ - наблюдения не проводились; пустые графы – коэффициенты корреляции $\leq 0,50$.

Продолжение таблицы 7.6

Город	Сажа				Аммиак				Формальдегид				Бензапирен				Фтористый водород			
	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА	Kt	Kv	Ko	УМПА
Кемерово	-0,56	-0,82		-0,50		0,59			0,65	0,77		0,53	-0,88	-0,85		-0,81				
Новокузнецк	-0,58	0,74		-0,62	-0,93	0,75		-0,98	0,94	-0,60		0,95		0,68			-0,81	0,51		-0,86
Искитим	-0,72			-0,63									-0,60	-0,61						
Томск		0,82			-0,51	-0,87		-0,60	0,59	0,80	0,51	0,68	0,54	0,97						
Куйбышев			0,54				0,92			-0,79										
Новосибирск О	0,75			0,55		-0,51	0,79		0,51				-0,88		-0,53	-0,79			0,71	
Заринск									0,77		-0,61	0,80								
Барнаул		-0,84									-0,75									
Бийск	-0,89			-0,86											0,76	0,59				
Новосибирск У	0,78	0,62		0,60			0,52		0,51		-0,52		-0,87	0,67	-0,51	-0,91				
Прокопьевск		0,83	-0,93										0,55	-0,84	0,72	0,62				
Ханты-Мансийск	0,70	-0,53							0,88		0,52									
Нефтеюганск	-0,87	-0,79		-0,60					-0,88		-0,64									
Нижневартовск																				
Тобольск									-0,51	0,79										
Тюмень									0,98			0,95	0,82	0,51	0,82	0,98				
Омск											-0,88	-0,55	-0,92			-0,67				
Салехард													-0,57							
Берёзово	0,64	0,67	-0,67						0,69	0,70		0,93								
Радужный	0,73								-0,59	-0,70		-0,73								

Условные обозначения: ■ - наблюдения не проводились; пустые графы – коэффициенты корреляции $\leq 0,50$.

Если сравнивать районирование территории Западной Сибири по МПЗА и УМПА (рисунок 7.7) , то видно, что учет температурной поправки впоказаниях МПА существенно корректирует общую картину потенциала атмосферного воздуха региона к аккумуляции или рассеиванию загрязняющих веществ. Районы с благоприятными условиями примесей в результате такой поправки значительно сузились, уступив место неблагоприятным или буферным условиям.

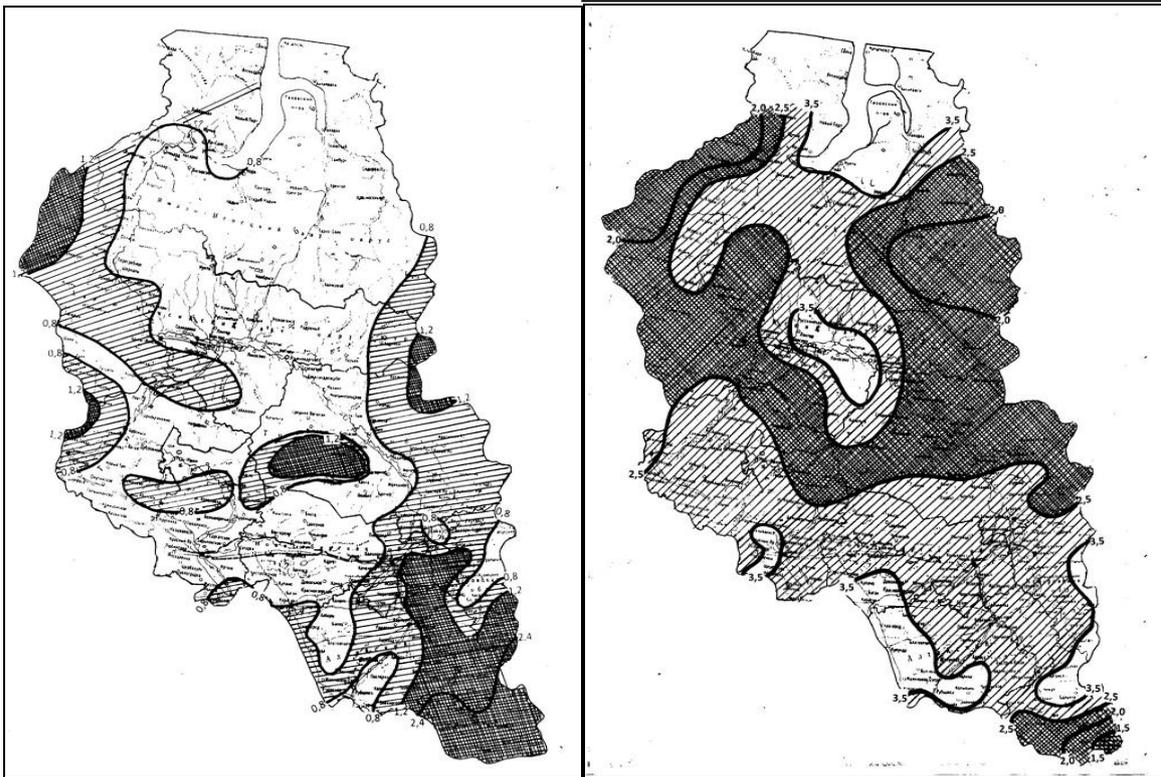


Рисунок 7.7 - Районирование территории Западной Сибири по МПЗА (левый рисунок) и УМПА (правый рисунок)

Условные обозначения:  - территории с благоприятными условиями для рассеивания примесей;
 - буферные зоны или зоны риска, в которых с одинаковой вероятностью могут наблюдаться процессы, способствующие как загрязнению атмосферного воздуха, так и его самоочищения
 - территории с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание метеорологических факторов, способствующих формированию уровня загрязнения атмосферного воздуха при сохранении интенсивности эмиссий, называют потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА). Показатели ПЗА могут использоваться как в прогнозах загрязнения атмосферы, так и при оценках климатических особенностей отдельных географических районов. Они удобны в том отношении, что не требуют сведений об измеренных значениях концентраций, а указывают лишь метеорологические характеристики, способствующие загрязнению атмосферного воздуха. Поэтому адаптация экономики зависит от оценки ресурсного потенциала атмосферы.

Имеется целый ряд таких показателей, которые включают различные сочетания метеорологических факторов, способствующих как загрязнению атмосферного воздуха (АВ), так и его очищению.

В настоящее время в РФ в качестве такого показателя используется климатический показатель ПЗА, разработанный в ГГО им. А.И. Воейкова Э.Ю. Безуглой еще в 80-х годах прошлого столетия. Показатель рассчитывается через математический функционал с использованием данных по повторяемости скорости ветра 0-1 м/с, повторяемости застойных ситуаций, повторяемости приземных инверсий и повторяемости количества часов за год с туманом. По сочетанию этих факторов было введено 5 классов опасных значений ПЗА, ведущих к определенному уровню загрязнения атмосферы (ЗА) – низкому, умеренному, повышенному, высокому и очень высокому. Районирование территории РФ (СССР) по этому показателю до сих пор используется для описания климатических условий местности с точки зрения ее способности к самоочищению АВ. Этот показатель фигурирует во всех климатических атласах и методических документах.

Однако, малочисленность данных по аэрологическому зондированию в РФ, сложность математических расчетов делает этот коэффициент не пригодным для оперативного использования. На эти причины накладывается и потепление климата, которое могло привести к изменению климатических показателей, заложенных для выделения границ тех или иных зон.

Метеорологический потенциал атмосферы (МПЗА), предложенный Т.С. Селегей (СибНИГМИ), учитывает ряд недостатков, присущих ПЗА. Для его расчета не требуются данные аэрологического зондирования, а используется простая метеорологическая информация, имеющаяся на любой метеостанции. В формулу расчета входят в качестве факторов, способствующих загрязнению АВ, повторяемость скорости ветра 0-1 м/с и

повторяемость числа дней с туманом; в качестве факторов, способствующих очищению атмосферы, повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с и более и повторяемость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм. По этому показателю выделяются 4 зоны МПЗА – низкий уровень загрязнения АВ, промежуточный, высокий и очень высокий.

Кроме использования простой метеорологической информации преимущество МПЗА перед ПЗА заключается в том, что он учитывает метеорологические факторы, способствующие как загрязнению, так и очищению АВ.

Связь между МПЗА и ПЗА очень тесная. По показателю ПЗА практически вся территория Западной Сибири попадает в зону низкого и умеренного потенциала загрязнения, кроме ее юго-восточной горной части, которая попадает в зону повышенного загрязнения. По показателю МПЗА территория Западной Сибири также отнесена к зоне низкого и промежуточного загрязнения, кроме тех же юго-восточных районов с высоким потенциалом загрязнения. Появились даже работы [19] , где анализировались оба показателя, в которых была получена корреляционная зависимость между ними с $r = 0,98$, а сама зависимость выражалась уравнением регрессии:

$$\text{ПЗА} = 0,83 * \text{МПЗА} + 1,95.$$

Исследования, выполненные в рамках данной темы, показали, что метеорологический потенциал атмосферы (МПЗА) на территории Западной Сибири за последние 25 лет (1986-2010гг) претерпел значительные изменения в сторону ухудшения метеоусловий, способствующих загрязнению АВ. Это изменение выразилось в расширении территорий с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей, как с западной стороны региона (со стороны Урала), так и с восточной стороны (со стороны Красноярского края) и особенно на юго-восточной окраине региона (Кемеровская область, восточные районы Алтайского края, республика Алтай). Ухудшение условий для рассеивания примесей произошло за счет резкого сокращения повторяемость скоростей ветра ≥ 6 м/с с одновременным увеличением повторяемости слабых ветров 0-1 м/с. Такое явление, возможно, оказалось следствием зарастания и блокировки метеоплощадок строительством вблизи них многоэтажных домов, высокими деревьями и пр., т.е. отсутствием проветриваемости территорий.

Так как связь между МПЗА и ПЗА очень тесная, то и показатель ПЗА должен измениться в худшую сторону. Тем не менее, Э.Ю. Безуглая на недавно прошедшей конференции «Загрязнение атмосферы городов» (СПб, 1-3 октября 2013 г.) [73] доложила, что потепление климата прошедших десятилетий практически не повлияло на ранее выделенные зоны ПЗА, поэтому карту ПЗА можно и в дальнейшем использовать

при планировании и размещении промышленных предприятий, с чем мы не в полной мере согласны.

Еще один недостаток как ПЗА, так и МПЗА был выявлен в рамках проведенных исследований по заявленной теме. Оба показателя практически отражают лишь ветровые характеристики самоочищения АВ, т.к. вклад повторяемости числа дней с туманом и повторяемости приземных инверсий априори учитывается в повторяемости скоростей ветра 0-1 м/с (примерно на 85-90%), а территориальная изменчивость числа дней с осадками $\geq 0,5$ мм составляет всего 5-6%, т.е. является постоянной добавкой к показателю, не выявляя особенностей отдельных территорий.

Исходя из всего вышесказанного, необходимо было усовершенствовать метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы путем учета всех факторов, влияющих на формирование уровня загрязнения АВ, а именно: температуры воздуха, режима ветра и осадков.

Взяв за основу принципы, заложенные в МПЗА по учету скоростей ветра и осадков, дополнительно был проработан вопрос по учету влияния температуры воздуха на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха. Это влияние было учтено через коэффициент теплообеспеченности территорий, который рассчитывался как частное от деления сумм среднемесячных температур воздуха теплого периода к среднемесячным температурам холодного периода. В результате предлагается усовершенствованный метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы (УМПА), который показал свою жизнеспособность, дав значимые корреляционные взаимосвязи со среднегодовыми концентрациями примесей.

Районирование территории Западной Сибири по УМПА выявило, что учет температурной поправки привел к расширению зоны с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей по сравнению с районированием по МПЗА.

СПИСОК ПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Режим доступа: alt –energy.org.ua. Альтернативные источники энергии (дата обращения 25.01.2011).
2. Niemeyer L.E. Forecasting Air Pollution Potential// Mon: Wea. Rev. 1960 – Vol. 88.- P. 88 -96.
3. Holzworth G. C. Meteorological Potential for Urban Air Pollution in the Contiguous United States// Paper NO. UE-20 G. Proceedings of the 2nd Clean Air Congress, Washington D.C, 1970. – New York, 1971.- P. 1076 -1080.
4. Muller R.A., Jackson A.L. Estimates of climatic air quality potential at Shreveport, Louisiana// J. Clim. And Appl. Meteorol. – 1985. – Vol. 24, № 4. – P. 293 -301.
5. Безуглая Э.М. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 184 с.
6. Крючков В.В. Природа и человек. – М.: Наука, 1979.
7. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере.: Справочное пособие. – Л.: Гидрометеоздат, 1983.
8. Grigorjan A.W. Untersuchung des Verunreinigungspotentials Zeitschrift fur Meteorologie. 1987. –Bd 37, Ht 4.
9. Селегей Т.С., Юрченко И.П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы// География и природные ресурсы. – 1990. - № 2. – С.132-137.
10. Рекомендации по определению метеорологического потенциала атмосферы Сибирского экономического района / Ответст. исполнитель Т.С. Селегей. - Новосибирск, 1987.
11. Русанов В.В. Метеорологические условия загрязнения атмосферы над Томской областью // География и природные ресурсы. – 1992. - № 1. С. 60-65.
12. Визенко О.С. Потенциал рассеивающей способности атмосферы Прибайкалья // География и природные ресурсы. – 1993. - № 1.
13. Сорокина Л.П. Климатические аспекты формирования экологических проблем в Восточной Сибири // География и природные ресурсы. – 1995.- № 3.
14. Кузнецова И.Н. Особенности атмосферных процессов, влияющих на загрязнение воздуха в Московском регионе, и методы их краткосрочного прогноза / Автореферат на соискание уч. ст. д.г.н. - Москва., 2012. - С. 41.
15. Степаненко С.Н., Овчинникова Н.Б., Волошин В.Г., Гончаренко Н.Н. Метеорологический фактор разбавления примеси, как показатель потенциала

- атмосферы // Украинский гидрометеорологический журнал. – 2007. – Вып. 2. - С.5-15.
16. Фетисова Л. М., Пужлякова Г.А., Полянская Е.А. Экология атмосферы крупного промышленного центра в условиях сложного рельефа.– Саратов: из-во Сарат. ун-та. – 2004. – 136 с.
 17. Лапина С.Н., Полянская Е.А., Фетисова Л.М., Фетисова Н.А. Способность атмосферы различных районов Саратовской области к самоочищению. – Известия Сарат. ун-та.-2008. - Т. 8, Серия «Науки о Земле». - Вып. 2. – С. 8- 11.
 18. Лебединский А.Б., Осокина В.Г. Некоторые особенности инверсий температуры воздуха на юго-востоке Западной Сибири// Труды ЗапСибРНИГМИ. – 1975. – Вып. 16. – С.108-113.
 19. Степанова И.В., Шлычков А.П. Влияние комплекса метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха города. – ООО «Итеос» , Gyberheninka.- 2008. – С. 4-12.
 20. Чебаненко Б.Б. Личное письмо (рукопись).
 21. Баранова А.А., М.П. Голод, А.В. Мещерская. Изменение градуированных скоростей ветра на территории России во второй половине XX века// Труды ГГО. - 2007. - № 556. - С. 116-137.
 22. Чурсин А.С. Геоэкологическая роль процессов туманообразования в условиях ороклиматического барьера (Юго-Западный Алтай)/ Автореферат диссертации на соиск. уч. с. к.г.н..-Барнаул. - 2004.- 21 с.
 23. Экология городов Западной Сибири: Новосибирск не самый худший. Но проблемы есть. Режим доступа: <http://experts.meqansk.ru/fullnews.html?id.news=67>.
 24. Природные ресурсы антропосферы.: воспроизводство, стоимость, рента/ Отв. ред. чл.-корр. РАН К.К. Вальтух. -Москва «Янус-К». – 2002. - 394 с.
 25. Полищук Ю.М., Березин А.Е., Дюкарев А.Г., Токарева О.С. Оценка воздействия нефтегазодобычи на состояние лесо-болотных комплексов Западной Сибири// . Контроль и реабилитация окружающей среды, -Томск. -2010.
 26. Краснов О.А., Надеев А.И., Шелевой В.Д., Глаголев М.В., Maksyutov S., Inove G. Мониторинг потоков природного метана и диоксида углерода в атмосферу из Васюганских болот (Томская область) / Тезисы докладов ХУП рабочей группы «Аэрозоли Сибири». – Томск. – 2010. –С.26.
 27. Кузнецова И.Н., Еланский Н.Ф. Шлейфы городского воздуха в бассейне крупных рек России по результатам экспедиционных наблюдений на подвижной платформе

- // Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды в бассейнах великих рек. - СПб: Гидрометеоиздат. – 2005. -С. 226-227.
28. Экология Сибири. Режим доступа: <http://www.ekoindustry.ru/news/view/8368.html> .
 29. В.Н. Казначеев, А.И. Акулов, А.А. Кисельников, И.Ф. Мингазов. Выживание населения России. Проблемы «Сфинкса XXI века» - Новосибирск: из-во НГУ. – 2002. – 461с.
 30. Ежегодники состояния загрязнения воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров Советского Союза за 1986-1990 гг, Т.1. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1987-1991.
 31. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) за 1999 г.- СПб.- 2000. – 433 с.
 32. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автомобильными транспортными средствами в атмосферный воздух. – М.: ЦБНТН речного транспорта. – 1993.
 33. Методические указания по расчету выбросов вредных веществ автомобильным транспортом. – М.: Гидрометеоиздат. – 1983.
 34. Удельные показатели характеристик загрязнения, выделяемых в атмосферу предприятиями Госкомсельхозтехники СССР. – М.: ГОСНИТИ. – 1985.
 35. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу от автотранспорта/ Министерство природных ресурсов РФ. – 2003.
 36. Селегей Т.С. Формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах Сибири. – Новосибирск: Наука. – 2005. - 347 с.
 37. Ежегодники состояния загрязнения воздуха в городах и промышленных центрах, расположенных на территории деятельности Западно-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1986-2010 гг.- Новосибирск: из-во ЗапСибУГМС. -1987-2011.
 38. Ежегодник состояния загрязнения воздуха городов на территории деятельности Обь-Иртышского УГМС за 1986-2010 гг. – Омск: из-во Обь-Ирт.УГМС. -1987-2011.
 39. Качество воздуха в крупнейших городах России за 10 лет (1998-2007)/ Аналитический обзор. – СПб: ЦНИТ «Астерон». – 2008. - 133 с.
 40. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2010 год. – СПб. – 2011. - 224 с.

41. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – СПб. -2008. -438 с.
42. Бримбкумб П. Состав и химия атмосферы. – М.: Мир. -1988. - 235 с.
43. Защита окружающей среды Европы. Четвертая оценка / Европейское агенство по окружающей среде. – Копенгаген. – 2007. - 452 с.
44. О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.6.1983-05 и ГН 2.1.6.1984-05/ Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. - Постановление от 3 ноября 2005 г № 4.
45. Исидоров В.А. Экологическая химия. – СПб: Химиздат. – 2001.
46. Израэль Ю.А., Василенко В.Н., Дликман И.Ф., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. К проблеме загрязнения природной среды бензапиреном. // Метеорология и гидрология. – 1992. - № 9.
47. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработанных газов дизелей. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.- 2002.
48. Атмосферные нагрузки загрязняющих веществ на территории СССР. Вып. 1. – М.: Гидрометеиздат. - 1991. – С.40-42.
49. Брюханов П.А., Тюльтева Л.В. и др. Оценка выбросов бензапирена от Назаровской ГРЭС// Загрязненность природной среды, изучение и контроль. – Л.: Гидрометеиздат. – 1986.
50. Глушко Я.М. Вредные органические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. – Л.: из-во «Химия». – 1987. - 207 с.
51. Скудневская Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом. Аналитический обзор. – Новосибирск. – 1994.-70 с.
52. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А. и др. Потепление как возможная причина повышения химической активности атмосферного воздуха городов// Труды ГГО им. А.И. Воейкова. – 2008. – Вып. 557. - С. 159-183.
53. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М.: Гидрометеиздат. – 1991. - 693 с.
54. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения/ Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. – М.: Метеоагентство Росгидромета. - 2006. -52 с.
55. Сводный том предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу г. Томска. Книга 1. Пояснительная записка. – Новосибирск: СибНИГМИ. – 2005. - 256 с. (рукопись).

56. Сводный том предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу г.Искитима. Книга 1. Пояснительная записка. – Новосибирск: СибНИГМИ. – 2005. - 230 с. (рукопись).
57. Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/mech/majeed/library/st.ru.html>.
58. Безуглая Э.Ю. , Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб: «Астерион». – 2008. - 253 с.
59. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А., Ивлева Г.П., Махоткина Е.А. Потепление, как возможная причина повышения химической активности атмосферы городов// Труды ГГО. – 2008. - Вып. 557. – С. 159-183.
60. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А., Ивлева Г.П. Возможность оценки высоких концентраций формальдегида при изменении температуры воздуха// Труды ГГО. – 2012.- Вып. 565. С. 89-102.
61. Введенская Л.И., Володкевич Т.Г., Леонтович И.П., Шевчук И.А. Некоторые характеристики метеорологических и аэрологических условий задымления в г. Новосибирске// Труды НИИАК. – 1967. – Вып. 48. – С.177-182.
62. Метеорологические условия, способствующие увеличению концентрации пыли в воздухе в районе Канто/Mizuno Tateki // Сангё корай- Ind.Pollut.Contr. – 1988. vol 24. № 5. – P. 354-362.
63. Мажиг Ч., Сонькин Л.Р., Цэрэндэлэг. Прогнозирование загрязнения воздуха в городах в условиях резко континентального климата/ Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы: Итог сотрудничества соц. стран (вып.3) – Л.- 1988. – С.115-122.
64. Elmer R. The Relative Importance of Some Meteorological Factors in Urban Air Pollution// Sec. Techn. Rept.-1962. - № 5.
65. Илькун Г.М. Отфильтровывание воздуха от поллютантов древесными растениями/ В сб.: Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. – Таллин. – 1982. - С.135-138.
66. Луценкова Е.О., Хаустов А.П. Влияние метеорологических условий на качество атмосферы пос Ямбург // Экологические системы и приборы. – 2009.- № 5. -С.22-27.
67. Die Luft in den Grosstädten//Entsorg. Prax. -1987. - № 12 (567).
68. Ладейщиков Н.П. Характерные черты климата и некоторые задачи климатических исследований в зоне БАМ . – Иркутск. - 1985. – 103 с.
69. Миланова Е.В., Рябчиков А.М. Географические аспекты охраны природы. – М.: Изво Мысль. – 1979. – 293с.

70. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Ленковская Т.Н. Изменчивость содержания приземного озона в атмосферном воздухе г. Новосибирска и его зависимость от метеорологических факторов//География и природные ресурсы. – 2011. - № 3. - С.78-83.
71. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., В.А. Шлычков, А.А. Леженин, Ленковская Т.Н. Формальдегидное загрязнение городской атмосферы и его зависимость от метеорологических факторов// Оптика атмосферы и океана. – 2013. –Т. 26. - №5. – С.422-426.
72. География Западной Сибири: Очерки природы и хозяйства. – Н-ск: Зап. Сиб. кн. изд-во. – 1965.
73. Безуглая Э.Ю. Климатические условия загрязнения атмосферы// Труды конференции «Загрязнение атмосферы городов», СПб, 1-3 октября 2013 - С.19-20.

