

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**ОЦЕНКА РАССЕЙВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ В
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Магистерская диссертация

обучающегося по направлению подготовки 05.04.02 География
(программа Геоэкология) очной формы обучения, группы 81001612

Пановой Ангелины Витальевны

Научный руководитель:
к.г.н., доцент
Крымская О.В.

Рецензент:
начальник отдела нормирования
источников загрязнения воздуха
ФРЦ аэрокосмического и
наземного мониторинга
объектов и природных ресурсов
НИУ «БелГУ» Боровлёв А.Э.

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ.....	6
1.1. Направление и скорость ветра.....	7
1.2. Устойчивость атмосферы. Условия застоя воздуха.....	10
1.3. Солнечная радиация и температура воздуха.....	14
1.4. Осадки, туманы.....	16
1.5. Влияние загрязнения атмосферы на здоровье человека.....	18
2.МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ К РАССЕИВАНИЮ ПРИМЕСЕЙ.....	25
2.1. Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы по методике Безуглой Э.Ю.....	25
2.2. Другие методы расчета способности атмосферы к рассеиванию примесей.....	30
3. СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕИВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	38
3.1. Основные источники загрязнения атмосферы в Белгородской области.....	38
3.2. Сезонная динамика коэффициента самоочищения атмосферы в Белгородской области.....	45
3.3. Межгодовая динамика коэффициента самоочищения атмосферы в Белгородской области.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

ВВЕДЕНИЕ

При переходе к стратегии устойчивого развития Российской Федерации обеспечение достойного уровня жизни и здоровья населения являются, пожалуй, главными факторами сохранения суверенитета нашей многонациональной страны. Оценка экологических условий проживания человека и как части этих условий – климатического фактора является актуальной, поскольку современные изменения климата сказываются на здоровье и условиях проведения хозяйственной деятельности. В городах создаются особенно неблагоприятные экологические условия, поскольку на небольшой территории сконцентрированы не только промышленные объекты, но и значительный автопарк, причем не всегда современный, что приводит к росту уровня загрязнения атмосферы.

Современные социально-экономические условия на территории страны не способствуют решению этих проблем в короткие сроки. Поэтому есть настоятельная необходимость в анализе климатических особенностей территории, которые определяют способность атмосферы к рассеиванию примесей, т.е. её потенциал самоочищения.

Эта тематика присутствовала в работах многих ученых, среди которых следует отметить существенный вклад в разработку методов, оценивающих потенциал загрязнения атмосферы, Безуглой Э.Ю., Селегей Т.С., Переведенцева Ю.П., Андреева С.С. В своей работе, рассмотрев известные методики мы сделали попытку районировать территорию Белгородской области по способности атмосферы к рассеиванию примесей на основании показателя, учитывающего повторяемости ветров различных градаций, осадки и повторяемость инверсий.

Цель исследования – оценка климатических условий на территории исследуемого региона как фактора, способствующего рассеиванию примесей в атмосфере за период с 1999 по 2016 гг.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. показать влияние отдельных метеорологических факторов на уровень загрязнения воздуха;
2. изучить методики оценки рассеивания примесей в атмосфере;
3. выбрать наиболее подходящую методику для расчетов коэффициента рассеивания в Белгородской области;
4. на основании ежедневных метеорологических данных станций, расположенных на территории Белгородской области рассчитать среднемесячные и среднегодовые значения коэффициента самоочищения атмосферы за 1999 – 2016 гг..
5. проанализировать сезонный ход и межгодовую динамику коэффициента самоочищения атмосферы на территории Белгородской области.
6. выделить существенные отличия в распределении коэффициента рассеивания, произошедшие в XXI веке.

Объектом изучения являлась атмосфера, а предметом изучения – динамика метеорологических характеристик, определяющих способность атмосферы рассеивать примеси.

В нашем исследовании основными методами являлись:

1. Метод сравнительного анализа
2. Статистический метод (обработка метеорологических рядов)
3. Комплексный метод

Основные материалы, используемые в работе – это ежедневные данные о средней скорости ветра, суммах осадков и относительной влажности за период с 1999 по 2016 гг., в исследуемых пунктах Белгородской области. По результатам исследования была составлена карта распределения коэффициента рассеивания атмосферного воздуха по территории Белгородской области.

Документами, подтверждающими внедрение результатов диссертации,

являются опубликованные работы. По теме диссертационного исследования была опубликована статья «Перспективы развития птицеводства в Белгородской области с учётом метеорологического потенциала самоочищения атмосферы» в журнале «Научный диалог» (Рютин С.Ю., Панова А.В. Перспективы развития птицеводства в Белгородской области с учётом метеорологического потенциала самоочищения атмосферы // Научный диалог. Сборник научных трудов, по материалам VIII международной научно-практической конференции 2017. – 44 с.).

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, легли в основу написания статьи «Применение ГИС- технологий для оперативной оценки коэффициента самоочищения на территории Белгородской области», принятой к печати в материалах международной конференции «Интер-Карто/ИнтерГИС, т. 24. и составления карты «Распределение коэффициента самоочищения по территории Белгородской области», в готовящемся к изданию Атласе.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, раскрывающих результаты работы, выводов, списка литературы. Объём работы – 73 страницы текста, включая 5 таблиц и 16 рисунков, список литературы насчитывает 78 наименований.

1.МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Скопление загрязняющих веществ в районе выброса или перенос их на большие расстояния это показатель степени загрязнения атмосферного воздуха от антропогенных источников. При непрерывном поступлении выбросов вредных веществ, изменение уровня загрязнения происходит под влиянием условий переноса и рассеивания примесей в атмосфере. Увеличение концентраций примесей в регионе зависит от конкретных сочетаний метеорологических параметров [65].

Совокупность метеорологических условий, характеризующих вероятную при заданных выбросах степень загрязнения атмосферы, именуют потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА). ПЗА обуславливается повторяемостями околосемных и приподнятых инверсий, скорости ветра 0-1 м/с, туманов, застоев воздуха [7]. Данная характеристика обратна рассеивающей способности атмосферы (РСА), следовательно чем выше РСА, тем ниже ПЗА [7, 10].

Выбранная область исследования, это часть Центрально-Черноземного региона (ЦЧР), находящегося в зоне умеренного ПЗА [7]. В ЦЧР повторяемость скорости ветра 0-1 м/с даже в сравнительно защищенных условиях не превышает 40 %, а периоды длительного сохранения скорости ветра 1 м/с и менее наблюдаются 1-5 раз в месяц. Повторяемость приземных инверсий за 12 месяцев составляет 30-40 %. Максимум их, как и скорости ветра 0-1 м/с, отмечается в летний период времени. Почти в 30 % случаев инверсии наблюдаются при низкой скорости ветра (0-1 м/с). Продолжительность туманов – 100-550 часов. Повторяемость застойных ситуаций составляет 7-12 % [7].

Когда на территории формируются практически неизменные параметры выбросов, уровень загрязнения атмосферы становится зависимым от климатических условий: направления и скорости ветра, характеризующих

перемещение и распространение загрязняющих веществ у земли и в приземном слое атмосферы; распределения температуры с высотой; насыщенности солнечной радиации и интенсивности влажности воздуха, контролирующей фотохимические превращения примесей и возникновение вторичных продуктов загрязнения воздуха; обилия и продолжительности осадков, способных вымывать примеси из атмосферы. Следовательно, при попытке снижения загрязняющих веществ в атмосфере необходимо учитывать свойственные климатические условия в рассматриваемом районе [2, 31, 56].

Например, в последнее время наблюдается тенденция уменьшения загрязняющих веществ, находящихся вблизи со стационарными источниками выбросов [67-72]. Это связано с климатическими условиями, формирующимися на данных территориях.

1.1. Направление и скорость ветра

Взаимосвязь между концентрацией примесей и направлением ветра не всегда уловима, это связано с тем, что в городах множественные пункты выбросов распределены по территории довольно равномерно. Однако, в целом, по городу наблюдаются неблагоприятные направления ветра, способствующие повышению примесей в атмосфере.

Взаимосвязь между накоплением примесей в воздухе и курсом ветра в отдельных городах обуславливается характерными местными особенностями. Например, в городах вытянутой модели повышенное загрязнение воздуха формируется при ветре вдоль большой оси за счет повторного наложения выбросов от многих источников. Непостоянность направления ветра содействует усилению рассеивания по горизонтали. При таких условиях концентрации примесей у земли уменьшаются [66].

Загрязнение городского воздуха определенно зависит от направления ветра, и обуславливается такими факторами как: пространственным

местоположением источников выбросов, местной циркуляцией, воздействием самих объектов на ветровой режим, рельефом, а также взаимосвязью всех перечисленных факторов. Но необходимо пояснить, что степень зависимости увеличения загрязнения воздуха от направления ветра во всех городах различна, а в некоторых случаях данной зависимости не существует [33].

Основным показателем горизонтального распространения примесей является ветер, следовательно, от его скорости значительно зависит накопление примесей в воздухе и степень его загрязнения.

На накопление примесей в воздушных массах города, усиление скорости ветра воздействует двояко. По данным некоторых авторов, загрязнение воздуха обратно пропорционально скорости ветра [65]. Но ведь, усиление его скорости содействует рассеиванию примесей в атмосферном воздухе. Несомненно, усиление ветра у земной поверхности и на более высоких уровнях определяет вынос всей загрязненной массы за черты города, тем самым способствуя очищению воздушного бассейна. В отдельных пунктах отмеченная закономерность является доминирующей.

При штиле происходит процесс ослабления ветра, который способствует увеличению подъема перегретых выбросов. Следовательно, происходит уменьшение концентраций вредных примесей в приземном слое воздуха [27,29].

При формировании сильных ветров наблюдается тенденция к уменьшению вертикального подъема примесей в атмосферу, и распространению их на большие расстояния в горизонтальном направлении [7,8].

Существует скорость ветра, при которой прослеживается наибольшее скопление примесей. Такая скорость ветра называется опасной, она зависит от параметров воздуха и характеризуется такой закономерностью как: увеличение с ростом перегрева выходящих газов относительно окружающего воздуха и скорости выхода из устья источника.

Для тепловых электростанций (мощных источников выброса, с большим перегревом дымовых газов относительно окружающего воздуха), она составляет - 5-7 м/с.

Для меньших источников, с незначительным объемом выбросов и низкой температурой газов, например, предприятий химической промышленности, она близка к 1-2 м/с [56].

С удалением от источника не только увеличивается опасная скорость ветра, но и уменьшается зависимость создаваемых источником концентраций от скорости ветра. Следовательно, на значительном расстоянии от источника выброса максимальные концентрации примесей могут отмечаться при очень сильных ветрах [33,66,75].

Максимумы концентраций примесей выделяются в зависимости от скоростного режима ветра на уровне флюгера. Первый максимум наблюдается при штиле, т.е. застое воздуха (не более 0,5 м/с). Для второго характерна скорость ветра 4-7 м/с. Очевидно, что выделенные максимумы концентраций связаны с вкладом различных групп источников выбросов. При несущественном ветре преобладающую роль в загрязнении воздушного бассейна играют низкие источники выбросов. В связи с этим, штилевой максимум наиболее выражен зимой, когда вследствие пониженного турбулентного обмена ослаблено рассеивание низких и поступление в приземный слой высоких выбросов.

Усиление второго максимума концентрации (при скорости ветра от 4 до 7 м/с) летом связано с часто наблюдающимися конвективными условиями, при которых имеет место интенсивное поступление к земле выбросов от высоких источников. Описанные соображения подтверждаются при рассмотрении связи между загрязнением воздуха и скоростью ветра отдельно при различных состояниях устойчивости атмосферы [33].

1.2. Устойчивость атмосферы. Условия застоя воздуха

Устойчивость атмосферы. Тепловая устойчивость атмосферы, воздействует на скорость ветра и вертикальное перемешивание воздушных масс. Она влияет на формирование уровня загрязнения от нагретых и холодных, высоких и низких, источников выбросов.

В процессе усиления турбулентного обмена, связанного с неустойчивой стратификацией, концентрация примесей в приземном слое увеличивается. При поступлении потока вредных веществ в воздух из низких и неорганизованных источников, количество которых преобладает в городах, рост загрязнения атмосферного воздуха связывают с усилением термической устойчивости атмосферы [10].

При околослойной устойчивой стратификации воздушные массы не проявляют тенденции к вертикальным перемещениям, это может способствовать формированию повышенного загрязнения воздуха, особенно при наличии приземных и низкорасположенных приподнятых инверсий [8,10].

Известно, что в условиях приземных и приподнятых инверсий в городах наблюдается максимальный уровень загрязнения воздуха. Низкие выбросы сосредотачиваются у поверхности земли при формировании приземных инверсий. При низких достаточно мощных и продолжительных инверсиях в совокупности с присутствием неорганизованных выбросов, концентрации примесей начинают стремительно возрастать.

Если инверсия приподнятая, распространение примесей в вертикальном направлении ограничивается, а объем приземных концентраций вредных веществ зависит от того на какой высоте расположен источник загрязнения по отношению к нижней границе.

При условии, что источник выброса расположен выше слоя приподнятой инверсии, то к земной поверхности примеси будут поступать в небольших количествах. Но если источник загрязнения ниже слоя

приподнятой инверсии, то основная часть примеси концентрируется вблизи поверхности земли [11].

Когда инверсионный слой расположен над источником выбросов, ограничивая собой, их подъем, происходит интенсивное увеличение концентрации примеси. В таком случае концентрация может достигать 50-70 % [11].

Рост концентрации примесей может происходить, когда приподнятая инверсия сопровождается неустойчивым распределением температуры (стратификацией) в нижележащем слое. Преимущественно подобное состояние в атмосфере наблюдается в летний период времени в дневное время [13].

Значительно повысится загрязнение воздуха, если летом в дневные часы в нижнем (500 метров) слое стратификация будет довольно устойчивой, а в приземном слое перепад температур останется высоким [66]. При противоположном соотношении обозначенных параметров, содержание вредных веществ в городском воздухе мало.

Зависимость концентрации примесей в городе от вертикальных профилей температуры зимой больше, чем летом, ночью больше, чем днем. Это связано с различной продолжительностью инверсионного состояния в разных сезонах, а также различием главенствующих сопутствующих условий, которые воздействуют на характер представленной связи.

Зависимость загрязнения воздуха от атмосферной устойчивости в значительной степени определяется скоростью ветра. При слабом ветре загрязнение воздуха с усилением устойчивости повышается, в то время как при больших скоростях ветра оно чаще понижается [66]. Связь между вертикальным распределением температуры и концентрациями примесей в городском воздухе при мощных ветрах практически незаметна [10].

Таким образом, в зависимости от скорости ветра в приземном слое можно сформулировать следующие выводы о влиянии термической стратификации на загрязнение городского воздуха:

1) загрязнение воздуха в наибольшей степени зависит от термической стратификации при очень слабых ветрах. При этом с усилением устойчивости концентрация примесей в воздухе увеличивается;

2) при умеренных ветрах (около 3-7 м/с) с усилением устойчивости загрязнение воздуха снижается; высокие концентрации примесей имеют место при неустойчивой стратификации, что определяется вкладом высоких источников;

3) при сильных ветрах связь между загрязнением воздуха и атмосферной устойчивостью практически отсутствует [66]. Если ветры сильные, то при малой толщине слоя перемешивания загрязнение воздуха в городе невелико.

Инверсии температуры в сочетании с различными скоростями ветра могут усиливать опасность накопления примесей или создавать условия для их рассеивания. Большую опасность для городов представляют застойные ситуации, когда приземная инверсия сопровождается слабым ветром [39].

Условия застоя воздуха. Ситуации, когда приземные инверсии сопровождаются штилем принято называть - застойными условиями воздуха. В ходе такого процесса наблюдается активное накопление в воздушных массах города вредных веществ. При выделении случаев застоя учитывается наличие приземной инверсии за пределами города по материалам радиозондовых измерений. Чаще всего, непосредственно в городе инверсия разрушается и над городом располагается приподнятая инверсия, нижняя граница которой находится на высоте 100-300 м [39].

Массовое накопление концентраций примесей в воздухе города наблюдается при наличии низких выбросов. Вклад высоких выбросов может быть связан с усилением турбулентного обмена в нижнем слое атмосферы в самом городе вследствие разрушения приземной инверсии и возникновения городской циркуляции. Но известно, что процесс застоя воздуха не всегда связан с высоким уровнем концентраций примесей. Повторяемость низкого уровня загрязнения воздуха в условиях застоя составляет в среднем около

30 % [66].

Таким образом, в условиях застоя уровень загрязнения атмосферы испытывает существенные колебания, которые в значительной степени связаны с влиянием метеорологических факторов.

Уровень загрязнения воздуха снижается, при возникновении очень мощных инверсий в застойной ситуации. Этот процесс определяется усилением в таких условиях массового подъема городской «шапки» дыма за счет увеличения ее температуры по отношению к окружающему воздуху.

Застойная ситуация характеризуется наличием максимума загрязнения воздуха в середине периода. В последние дни застоя, обычно концентрация примесей снижается. Причины, препятствующие равномерному росту загрязнения воздуха в условиях длительного застоя:

1) наступление динамического равновесия. Оно может возникать при увеличении концентраций примесей в городе, что приводит к повышению градиента концентраций.

2) происходит повышение турбулентного обмена в приземном слое атмосферы, что связано с усилением развития и роста городского острова тепла. Возникает местная циркуляция, направленная от периферии к центру города. Подобный эффект, усиливается в городах, расположенных в котловинах.

С понижением температуры воздуха, в условиях застойной ситуации уменьшается количество загрязняющих веществ, сконцентрированных в приземном слое атмосферы. Приземная инверсия в сочетании со штилем опаснее второй половине дня.

Относительно небольшое загрязнение воздуха при летних застоях связано с их малой продолжительностью, а так же с тем, что их формирование (ночью) совпадает с периодом минимальных выбросов [10,66]. Следовательно, летом застой воздуха менее опасен, чем зимой.

1.3. Солнечная радиация и температура воздуха

Солнечная радиация играет немаловажную роль в формировании уровня загрязнения в воздухе.

Она обуславливает фотохимические реакции в атмосфере и формирование вторичных продуктов, обладающих часто более токсичными свойствами, чем изначальные вещества, попадающие от источников выбросов. Например, в процессе фотохимических реакций в атмосфере происходит окисление сернистого газа с образованием сульфатных аэрозолей, негативно воздействующих на здоровье человека. В процессе фотохимического эффекта в благоприятные солнечные дни в загрязненном воздухе образуется фотохимический смог [19, 34, 66].

Температура воздуха играет важную и неотъемлемую роль в прямом и косвенном воздействии на содержание примесей в атмосфере. В холодный период времени концентрации примесей увеличиваются, это происходит в процессе понижения температуры. Но такое действие чаще всего определяется сопутствующими факторами. При низких температурах зимой, формируются застойные ситуации, способствующие обильному накоплению примесей в воздушном бассейне города. Одновременно выход активных зимних циклонов приводит к сильному повышению температуры и к очищению воздуха от примесей. В итоге, такие эффекты роста и уменьшения содержания примесей в атмосфере не подчиняется непосредственно её термическим состоянием, хотя и тесно связаны с температурой воздуха.

В зависимости от окружающей температуры воздуха меняется расход топлива на обогрев помещений и, следовательно, количество выбросов вредных веществ в атмосферу. Следовательно, в зимний период времени с увеличением температуры воздуха, загрязнение снижается, а с понижением температуры содержание примесей возрастает из-за увеличения количества сжигаемого топлива. Следует подчеркнуть, что данная причина роста или снижения загрязнения воздуха непосредственно с температурой не связана.

При слабо нагретых выбросах веществ, существенным является эффект при котором с повышением температуры воздуха уменьшается высота подъема горячих выбросов, и соответственно увеличиваются концентрации примесей в приземном слое атмосферы [78].

Влияние температуры воздуха на концентрации примесей будут тем большим, чем меньше перегрев выходящих газов. Максимальные концентрации, от одиночных источников с горячими выбросами, увеличиваются при уменьшении перегрева выходящих газов по отношению к окружающему воздуху.

Максимальное скопление вредных веществ, в приземном слое атмосферы, отмечается в сочетании относительно повышенных температур с застоем воздуха. Но при подобных условиях с низкими температурами концентрации примесей не бывают экстремально высокими.

Видимо, когда застойная ситуация наблюдается в очень холодной воздушной массе, то возрастает разность температур воздуха в городе и его окраинах. В таком варианте развития событий увеличивается перегрев и, как следствие, высота подъема городской «шапки» дыма в целом. В этот же момент, в центр города с его периферии, происходит перемещение относительно чистого воздуха. При одновременном резком потеплении и слабых ветрах – концентрация примесей возрастает.

Температура – один из важнейших факторов в образовании фотохимических загрязнений. Известно, что в летний сезон формирование смогов происходит при высокой температуре воздуха [14].

При анализе фактической информации обнаруживаются два эффекта связи температуры с концентрациями примесей независимо от других факторов: рост загрязнения воздуха с понижением температуры за счет сопутствующих факторов и рост загрязнения при высоких температурах в результате непосредственного влияния термического состояния воздушной массы. Так, в холодную половину года обнаружено два максимума концентраций пыли и сернистого газа в зависимости от суточной аномалии температуры (т.е.

разности между измеренным и среднегодовым значением за данный месяц).

Выявлено, что наибольшие концентрации наблюдаются при высоких положительных и отрицательных значениях суточной аномалии температуры, а минимумы – при значениях, близких к нулю.

В итоге, можно сделать вывод, что температурный режим является самостоятельным фактором, влияющим на интенсивность загрязнения атмосферного воздуха в городах. Это влияние выражается в увеличении приземных концентраций с повышением температуры.

1.4. Осадки, туманы

Осадки содействуют очищению воздуха от примесей. Положительного действия осадков хватает на несколько часов, после чего уровень загрязнения воздуха в городе начинает восстанавливаться.

В первый час выпадения осадков концентрация примесей снижается. В последующие 12 часов после окончания осадков наблюдается меньшая повторяемость высоких концентраций, чем в последующие часы. Однако, такой эффект вымывания наблюдается лишь вне зоны прямого контакта с источником загрязнения. Непосредственно под факелом выбросов уровень концентрации восстанавливается сразу после прекращения осадков.

Удалению примесей из атмосферы способствуют не только осадки, но и облака, за счет поглощения их каплями или кристаллами. Поэтому при близкой к поверхности земли облачности, поглощается верхняя часть городской шапки и, в конечном итоге, уменьшается приземная концентрация примесей. Но в летний период турбулентный обмен ослаблен, следовательно, может отмечаться повышенное загрязнение воздуха, обусловленное низкими выбросами.

При туманах концентрация примесей может сильно увеличиваться за счет приземной инверсии и повышенной влажности воздуха. При возникновении тумана происходит аналогичный процесс, также как и в

облаках, примеси поглощаются каплями. Однако эти примеси вместе с каплями остаются в приземном слое воздуха и оказывают негативное влияние на живые организмы [56].

А.М. Царев [76] показал, что при образовании тумана происходит увеличение концентрации примесей на 40-110 % по сравнению с концентрацией её до тумана.

При определенных метеорологических условиях, в воздухе могут происходить химические реакции, способные образовать вторичные вещества, зачастую обладающие более опасными свойствами для здоровья населения и окружающей среды в целом. [6].

Весомую опасность представляют сконцентрированные над туманом факелы дыма, способные опускаться в приземный слой воздуха. Важно также, что над туманом обычно образуется приподнятая инверсия температуры. Поэтому при туманах в нижней части атмосферы образуется значительное скопление примесей. А поскольку данный процесс связан с поглощением примесей туманами, измерить его концентрацию зачастую не представляется возможным. Отрицательные условия в туманах заметны по ощущению, визуально, а также по запахам.

Кратковременное уменьшение выбросов в городе при туманах может не только привести к непосредственному снижению концентраций, но и уменьшить эффект влияния самих туманов на рост загрязнения воздуха [31].

Смоги, образующиеся зимой, часто связаны с возникновением в приземном слое воздуха туманов, несущих в себе высокие концентрации вредных примесей. Образованию токсичных туманов или смогов способствуют фотохимические реакции. Смоги, делятся на два типа (в зависимости от физико-географических и климатических условий, состава и характера воздействия на окружающую среду): лондонский и лос-анджелесский.

Основу лос-анджелесского смога составляют фотохимические оксиданты химически активных примесей сложного состава, а лондонского –

кислородсодержащие соединения серы. Озон, оксиды азота, нитраты, диоксид серы, углеводороды, сульфаты, свободные радикалы и другие вещества – это основные компоненты смога [14].

Неблагоприятные для рассеивания примесей метеорологические условия определяются синоптической ситуацией, т.е. циркуляционными условиями. На территории Белгородской области, как и в целом по РФ повышенное загрязнение чаще формируется в условиях антициклональной погоды [27, 33].

1.5. Влияние загрязнения атмосферы на здоровье человека

В современном мире абсолютно точно известно, что загрязнение атмосферы оказывает влияние на природную среду и здоровье населения. По оценкам различных специалистов, состояние здоровья на 30-40 % зависит от состояния окружающей среды. Эти данные очень приблизительны, так как на различных территориях и для отдельных болезней они могут существенно различаться. В настоящий момент в сформировавшемся обществе эта проблема является весьма актуальной, широкое развитие получили исследования связанные с воздействием загрязнения атмосферы на здоровье. Ученые ввели специальное понятие – индекс риска, которое дает оценку ухудшения здоровья человека под воздействием вредных примесей из атмосферы. Понятие «индекс риска» наиболее применим при оценке сокращения продолжительности жизни от злокачественных новообразований в результате длительного влияния загрязненного воздуха. Подобные заболевания на 80 % определяются факторами окружающей среды. Наиболее остро воспринимают изменения окружающей среды люди преклонного возраста и дети, а также люди с хроническими болезнями сердца и легких [13].

Воздействие загрязняющих веществ на организм человека может приводить к неприятным ощущениям, недомоганиям, болезням и даже к смерти человека.

Воздействие неприятно пахнущих веществ: аминов, фенолов, крезолов, вызывает головные боли, тошноту, бессонницу, т.е. негативно влияет на физическое состояние человека.

Следует отметить, что специалисты часто рассматривают влияние на здоровье какого-либо одного фактора. Но комплекс химических компонентов, взаимодействующих в атмосфере, оказывает наиболее опасное влияние, чем каждое вещество по отдельности.

В каком либо конкретном городе интерпретация проявления показателей заболеваемости по данным о загрязнении атмосферы вызывает затруднение, так как нужно учитывать влияние концентрации не только отдельных веществ, но и их совокупность [9, 35].

Влияние загрязнителей на организм человека многообразно и зависит от их вида, концентрации, периодичности и длительности воздействия. Реакция организма на вредные вещества индивидуальна, определяется такими особенностями как: возраст, пол, состояние здоровья человека.

Наиболее уязвимы дети, больные, а так же лица, работающие во вредных производственных условиях и курильщики. Все же многократно зарегистрированные и изученные явления повышенной смертности и заболеваемости в районах с высоким загрязнением атмосферы свидетельствуют об очевидности и массовости такого воздействия от загрязнения окружающей среды [9].

Взвешенные вещества. Взвешенные вещества (ВВ) – это пыль, зола, сажа, дым, сульфаты, нитраты. Они могут быть, в зависимости от состава – безвредными, нейтральными и высокотоксичными. ВВ образуются в результате сгорания всех видов топлива: при производственных процессах и работе двигателей автомобилей. Примером естественного происхождения может служить почвенная эрозия.

При попадании ВВ в органы дыхательных путей отмечается нарушение системы кровообращения и дыхания. Вдыхаемые частицы влияют как непосредственно на респираторный тракт, так и на другие органы за счет

токсического воздействия входящих в состав частиц компонент. Наиболее опасным считается влияние диоксида серы в сочетании с высокими концентрациями взвешенных частиц.

Люди с различными хроническими нарушениями и болезнями в легких, с болезнями сердечно - сосудистой системы, с астмой, частыми простудными заболеваниями, атак же пожилые и дети особенно подвергаются наибольшему влиянию мелких взвешенных частиц. Самые опасные из них - (PM-10), это мелкие частицы, размером менее 10 микрометров. Они способны достигать нижних частей респираторного тракта (дыхательных путей). Частицы способны увеличивать риск возникновения болезней органов дыхания, кардиологических болезней, рака легких и их развитие.

В России, к сожалению, нет возможности регулярного наблюдения за мелкими частицами из-за отсутствия стандарта (ПДК), методов и наличия приборов для селективного определения в пыли частиц данного размера.

В последнее время хоть и произошел спад производства в стране, концентрации взвешенных веществ в атмосфере промышленных городов Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) продолжают расти.

Летом запыленность воздуха выше, чем зимой и это более заметно у автомагистралей, где средние концентрации взвешенных веществ могут быть выше, чем зимой, на 50 % и более, в жилых районах они выше на 20-35% [35, 36].

Особую опасность вызывает сочетание высоких концентраций взвешенных веществ и диоксида серы, комплексное влияние которых наиболее негативно влияет на здоровье населения [44].

Диоксид азота. Среди поступающих загрязняющих веществ, в атмосферу с антропогенными выбросами от автотранспорта, промышленности, и электростанций – оксиды азота относятся к наиболее важным[43]. Диоксид азота образуется при сжигании органического топлива. Оксиды азота поступают в атмосферу от автотранспорта, от промышленных предприятий, печей и котельных и электростанций. В больших количествах

они образуются, а затем поступают в атмосферу в процессе производства минеральных удобрений. В атмосфере выбросы оксидов азота трансформируются в диоксид азота. Например, NO_2 сохраняется в атмосфере в течении 3-х суток [37].

Горение леса, микробиологическая активность в почве – это естественные процессы образования большого количества оксидов азота. [38]. Диоксид азота является важной составляющей фотохимических процессов в атмосфере, связанных с образованием озона при солнечной погоде.

Уже при незначительных концентрациях NO_2 выявляют нарушения в работе органов дыхания, появляется кашель. Большинство ученых считают, что наивысшие пиковые значения концентрации являются биологически более важными, чем постоянное воздействие низких концентраций, но это не всегда достоверно.

Уровни загрязнения воздуха в городах могут существенно отличаться, в зависимости от территориальной обстановки. Так, например, в жилых районах уровень будет гораздо меньше, чем в промышленных зонах или вблизи автомагистралей. Из-за влияния выхлопных газов автомобилей вблизи дорог концентрации диоксида азота могут быть выше, чем в жилых районах в среднем на 50-100 % [13, 35].

Формальдегид. Это органическое соединение постоянно обнаруживается в загрязненном воздухе различных городов. Его поступление в атмосферный воздух происходит при работе предприятий химической промышленности, при производстве мебели, а так же от выбросов автотранспорта. Особенно высокие концентрации этой примеси отмечаются вблизи автомагистралей, в летний период в совокупности с интенсивной солнечной радиацией. Побочными эффектами от воздействия формальдегида для живого организма являются - появление головной боли, слезотечение. Формальдегид входит в состав искусственных смол и выделяется из акустических панелей, древесностружечных плит [44].

Оксид углерода. Основной источник поступления в атмосферу CO – это автомобильный транспорт. Поступая в кровь, оксид углерода уменьшает подачу кислорода к сердцу, приток кислорода к тканям и повышает количество сахара в крови. Этот эффект наглядно выражается у физически здоровых людей в виде снижения уровня выносливости. При воздействии на жизнедеятельность организма человека, с хроническими болезнями и болезнями сердца, он может вызывать различные симптомы ухудшения здоровья. Аналогичный процесс происходит у людей, нахождение которых непосредственно вблизи автомагистрали превышало несколько часов [24].

Диоксид серы. Он образуется и поступает в атмосферу при сгорании топлива, содержащего в своем составе серу. Главными источниками SO₂ являются предприятия металлургии, электростанции и котельные. Такие выбросы поступают в атмосферу через высокие трубы электростанций, затем рассеиваются на большие расстояния и негативно отражаются на окружающей природной среде России в целом, чем на воздух в городах.

Диоксид серы, в высоких концентрациях (выше нормы ПДК), вызывает нарушение функции дыхания, увеличивает вероятность появления различных болезней дыхательных путей. Так же SO₂ вызывает такие недуги как: кашель, хрипота, боль в горле, воздействуя на слизистые оболочки.

SO₂, при взаимодействии с ВВ (в виде сажи) в среднем за сутки выше 200 мкг/м могут вызывать как у детей, так и взрослых могут вызывать небольшие изменения в деятельности легких. Наиболее опасно воздействие SO₂ выражается у людей с астмой и хроническими нарушениями органов дыхания [8,9].

Аммиак. Газ (бесцветный), с неприятным запахом. Это основной продукт работы химической промышленности. Его водный раствор обладает сильным щелочным действием. Поступает в атмосферу при транспортировке или газосодержащих емкостей, из некачественных магистральных трубопроводов, из животноводческих помещений, с мест аварий, сопровождающихся утечкой газов. Аммиак вызывает раздражение всех

слизистых оболочек. При попадании на кожу, вызывает неприятные боли, образование волдырей и длительное покраснение [44].

Свинец. Поступление в атмосферу свинца происходит при работе предприятий металлообработки, металлургии, нефтехимии, электротехники и автотранспортом. Количество выбросов от промышленных источников гораздо больше, чем от автотранспорта, но они осуществляются на больших высотах, тем самым влияют на загрязнение меньше. Наибольшие концентрации свинца наблюдаются вблизи автодорог. На этой территории концентрации в 2-4 раза выше, чем вдали от них [24].

Свинец имеет свойство – накапливаться в костях и поверхностных тканях. Поступает в организм несколькими путями: при вдыхании воздуха, с пищей, водой. Негативно отражается на работе почек, нервной системы, печени; влияет на органы кроветворения. Дети и пожилые люди наиболее восприимчивы даже к низким дозам свинца [45].

Бенз(а)пирен. Образуется и поступает в воздух при горении различных видов топлива. Всемирная организация здравоохранения рекомендовала среднегодовое значение 1×10^{-6} мкг/м как величину, выше которой могут наблюдаться неблагоприятные последствия для здоровья человека [76]. Повышенные концентрации БП в атмосфере, в городах России представляют серьезную опасность. В целом по стране долевое содержание БП во взвешенных веществах составляет 0,0025 % [76]. В городах Центрально-Черноземного региона в 1999 году среднегодовая концентрация БП близка к стандарту [35].

По итогам первой главы можно сделать следующие выводы:

1. Взаимосвязь между концентрацией примесей и направлением ветра не всегда уловима, это связано с тем, что в городах множественные пункты выбросов распределены по территории довольно равномерно. Однако, в целом, по городу наблюдаются неблагоприятные направления ветра, способствующие повышению примесей в атмосфере. Взаимосвязь между накоплением примесей в воздухе и курсом ветра в отдельных городах

обуславливается характерными местными особенностями.

2. Ситуации, когда приземные инверсии сопровождаются штилем принято называть - застойными условиями воздуха. В ходе такого процесса наблюдается активное накопление в воздушных массах города вредных веществ. Летний период застоя менее опасен, чем зимний, в связи с непродолжительностью летних застоев, и с тем, что их формирование совпадает с временем минимальных выбросов

3. Выявлена взаимосвязь роста загрязнения воздуха с понижением температуры за счет сопутствующих факторов и рост загрязнения при высоких температурах в результате непосредственного влияния термического состояния воздушной массы.

4. Концентрация примесей при образовании тумана увеличивается на 40-110 % по сравнению с изначальной концентрацией её до тумана.

5. Большое влияние на здоровье людей оказывают вредные вещества, попадающие в окружающую среду, и содержащиеся в атмосферном воздухе. Особенно чувствительны к этому воздействию дети и пожилые люди, а также лица с хроническими заболеваниями дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

2.МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРЫ К РАССЕИВАНИЮ ПРИМЕСЕЙ

2.1. Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы по методике Безуглой Э.Ю.

Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) – это сочетание метеорологических факторов, обуславливающих уровень возможного загрязнения атмосферы от источников в данном географическом районе. Чем благоприятнее метеорологические условия (лучше проветривание и т. п.), тем ниже ПЗА.

Способность атмосферы к рассеиванию примесей так же зависит от величины этого показателя. Способность атмосферы к самоочищению будет тем выше, чем ниже значение ПЗА.

Одной из косвенных характеристик рассеивающей способности атмосферы является ПЗА. Потенциал загрязнения атмосферы – это отношение гипотетических среднегодовых околоземных концентраций различных примесей от антропогенных источников в конкретной точке пространства к таким же значениям концентрации от таких же источников в среднестатистическом, эталонном районе, где рассеяние наилучшее, а концентрации - минимальные.

Предложенная характеристика ПЗА не требует конкретных сведений об измеренных значениях концентраций или источников загрязнения. А для ее расчета необходимы лишь повторяемости таких климатических характеристик как вероятности слабого ветра (менее 1 м/с), приземных инверсий температуры и туманов.

Существует низкий, умеренный, повышенный, высокий и очень высокий ПЗА [55,57]. Средние годовые значения климатических параметров, определяющих ПЗА по зонам, представлены в табл. 2.1 [4].

Средние годовые значения климатических параметров, определяющих
ПЗА по зонам [4]

ПЗА	Значения ПЗА	Приземные инверсии			Повторяемость %		Высота слоя перемешивания, км	Продолжительность туманов, ч
		Повторяемость %	Мощность %	Интенсивность	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	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

Эти данные были рассчитаны по показаниям 198 метеорологических станций бывшего СССР. Наглядная карта распределения ПЗА по территории СССР представлена на рисунке 2.1., она основана на производственных расчетах. Цветом выделено пять зон по степени предрасположенности атмосферы к загрязнению.

Во всех нормативных документах, используемых при разработке территориальных комплексных схем охраны окружающей среды, строительстве промышленных объектов, и решении других атмосфероохранных задач упоминается значение ПЗА [47,49,51,72].

Основной недостаток ПЗА заключается в его низкой разрешающей способности по территории. Для его расчетов необходимы данные аэрологического зондирования, которых в стране мало. В связи с этим проведенное районирование рассматривается только как общий фон

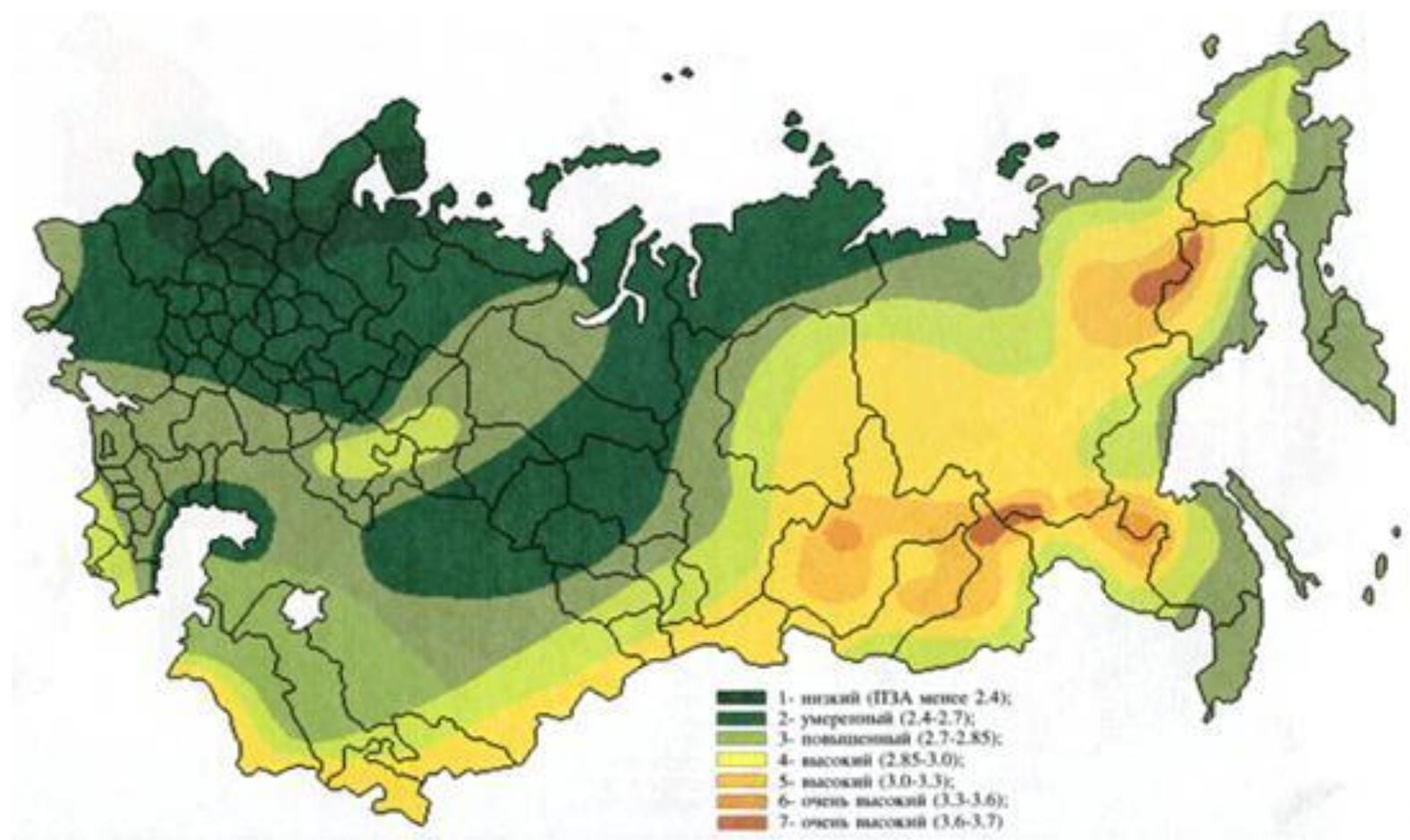


Рис.2.1. Районирование территории РФ и сопредельных территорий по ПЗА [7]

климатической обстановки страны, без ее конкретики для определенной местности, а так же без учета межгодовой изменчивости метеорологических параметров.

Использование ПЗА в оперативной работе затруднено из-за сложности расчета. Основным недостатком является тот факт, что показатель рассматривает условия, накапливающие вредные примеси в воздухе, а не рассеивающие. Так же к недостаткам относят то, что ПЗА не отражает подробной картины местных климатических условий, которая может понадобиться при строительстве промышленных предприятий на вновь осваиваемых территориях.

Существует еще один метод расчета ПЗА, применимый для районов со сложной орографией местности. Он основан на данных градиентных температурных или радиационного баланса и скорости ветра. Но он непригоден для использования в оперативной работе из-за сложности расчетов входящих в него параметров и отсутствия необходимых данных [52].

Территория России характеризуется большим разнообразием климатических условий, меняющихся на различной территории, что связано с ее большими размерами. Примером является, перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушную оболочку города вместе с выбросами предприятий, автотранспорта и т.д. Они влияют на частоту эпизодов высокого загрязнения и качество воздуха в целом.

Очень высокий ПЗА характерен для Восточной Сибири (зона V), на данной территории создаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей. Противоположный показатель ПЗА (низкий) отмечается на северо-западе Европейской части России (зона I и II).

Согласно этой типизации Белгородская область относится к зоне умеренного потенциала. Подробные исследования ПЗА Белгородской области, проводились на кафедре географии и геоэкологии БелГУ. По их результатам построена карта распределения указанной характеристики по изученным данным за период 1983-2003 гг. (рис.2.2).



Рис.2.2. Потенциал загрязнения атмосферы Белгородской области [3]

Минимальное значение ПЗА, согласно изученным данным обнаружено на северо-востоке области и составляет – 2,3, а максимальное (2,7) на юго-западе. 2,7 – пограничное значение между умеренным и повышенным ПЗА [3].

В связи с развитием промышленности и отсутствием данных о повторяемости инверсий возникла необходимость в разработке других способов оценки ПЗА.

2.2. Другие методы расчета способности атмосферы к рассеиванию примесей

В последние годы был предложен климатический (метеорологический) потенциал самоочищения атмосферы, разработанный Т.С. Селегей. Он находится в ряду с широко применяемыми способами оценки способности атмосферы к самоочищению, такими как оценка рассеивающей способности атмосферы и определение потенциала загрязнения атмосферы [60].

Метеорологический потенциал атмосферы (МПА) по методике Т.С. Селегей [55]: определяется как отношение повторяемости условий, способствующих накоплению примесей (слабых ветров и туманов) к повторяемости условий, содействующих удалению примесей (сильных ветров и осадков):

$$МПА = \frac{P_{сл} + P_{тум}}{P_{сил} + P_{ос}}, \quad (1)$$

где $P_{сл}$ – повторяемость слабого ветра (0–1 м/с); $P_{сил}$ – повторяемость скорости ветра ≥ 6 м/с; $P_{тум}$ – повторяемость туманов; $P_{ос}$ – повторяемость суточных сумм осадков ≥ 1 мм.

Показатели потенциала самоочищения атмосферы меньше 0,8 оцениваются как «комфортные», K_m от 0,81 до 1,0 – «субкомфортные», K_m

больше 1,1 – « дискомфортные ».

В своей методике при расчете потенциала самоочищения атмосферы С.С. Андреев заменил использование повторяемости туманов на повторяемость среднесуточной относительной влажности $\geq 80\%$ ($P_{f \geq 80\%}$) [58].

Ю.П. Переведенцев, понимая, что в предложенной формуле характеризуются условия накопления примесей, а не рассеивания [52] предложил рассчитывать способность атмосферы к самоочищению с помощью следующего коэффициента:

$$K'_M = \frac{P_{сил} + P_{ос}}{P_{сл} + P_{f \geq 80\%}} \quad (2)$$

Количественная оценка метеорологических условий по критерию K'_M : $K'_M < 0.8$ – неблагоприятные условия для рассеивания; $0.8 \leq K'_M \leq 1.2$ – ограниченно благоприятные условия рассеивания; $K'_M > 1.2$ – благоприятные условия для самоочищения атмосферы.

Метеорологический потенциал рассеивания (самоочищения) учитывает факторы, способствующие загрязнению атмосферы и ее самоочищению. Следовательно, с увеличением по абсолютной величине метеорологического потенциала самоочищения атмосферы (K'_M), улучшаются условия для рассеивания примесей в атмосфере, т.е. если показатель больше 1, то происходит процесс рассеивания примесей. Но если K'_M меньше 1, то происходит накопление вредных веществ в атмосфере.

Таким образом, выявлено, что МПА характеризует рассеивающую способность атмосферы от выбросов только низких источников, так как при расчете используются метеорологические характеристики, измеренные в приземном слое атмосферы[4].

При расчете загрязнения от крупных энергетических источников выброса (КЭС, ТЭС, ТЭЦ), которое поступает в пограничный слой или за его пределы, где градиенты метеоэлементов существенно отличны друг от друга, процессы будут описываться разными формулами [40,41,42,47,].

Следует оценивать интегральные потенциальные возможности слоя, в котором происходит процесс рассеивания, т.к. именно от них зависят размеры и уровень загрязнения воздуха в приземном слое. Поэтому, оценка положительности или отрицательности загрязнения для высоких (выброс в пограничный слой) и низких (выброс в приземный слой) источников оказываются различными [15,1 8]. При небольшой скорости ветра в переходном (пограничном) слое, стремительно возрастает изначальный подъем факела выброса от горячих источников. При этом слой рассеивания также начинает резко расти и может достигать высоты пограничного слоя и тогда, обратно пропорционально квадрату высоты слоя, сокращается концентрация примесей у земли [5, 42, 47, 77]. Во время штилей на низких высотах формируется поле высокого загрязнения воздуха, это происходит из-за низкого разбавления примеси [5, 47, 74, 77]. В таком случае предложенная модель МПА работает в соответствии с логикой и теорией.

Противопоставлением является ситуация, когда речь идет о скоростях ветра более 6 м/с, при которых создается наибольшее загрязнение от высоких источников [5, 47]. Факел загрязнения будет активно приближаться к земной поверхности, если в пограничном слое будут развиваться большие скорости ветра и создаваться активная турбулентность. Следовательно, увеличение скорости ветра пагубно влияет на процесс рассеивания примесей от высоких источников, в то время как по формуле это приводит к более благоприятным условиям для рассеивания примесей. Поэтому, для высоких источников данная формула не актуальна [6].

В результате, можно сделать вывод, что концепция методики расчета метеорологического потенциала атмосферы с помощью МПА, в основном, применима и соответствует для расчета потенциала рассеивания атмосферы.

При расчете данного коэффициента на примере Белгородской области вносим некоторые исправления: 1) неприятие названия показателя. По Т.С. Селегей [59,60], 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; 2) предложенные граничные условия районирования территорий по МПА не выделяют всю гамму имеющихся нюансов. Большинство авторов предлагают граничные условия изменить и выделить 4 типа МПА: $\text{МПА} < 0,8$ (хорошие условия для рассеивания примесей); МПА от 0,8 до 1,0 и от 1,0 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); 3) для тех районов, в которых число дней с туманами невелико, но значительна повторяемость приземных задерживающих слоёв, при расчете коэффициента рассеивания атмосферы некоторые авторы предлагают учитывать вместо повторяемости туманов повторяемости инверсий. Таким образом, формула для расчета этого показателя примет следующий вид:

$$K = \frac{P_{\text{сил}} + P_{\text{ос}}}{P_{\text{сл}} + P_{\text{ИНВ}}} \quad (3)$$

Авторы выделяют пять групп K : при $K > 1,25$ условия для рассеивания примесей благоприятны, при $1,25 \geq K > 0,8$ – относительно благоприятны, при $0,8 \geq K > 0,4$ – относительно неблагоприятны, при $0,4 \geq K > 0,25$ – неблагоприятны и при $K \leq 0,25$ – крайне неблагоприятны [48].

При сокращении сети аэрологических наблюдений проблематичным становится получение регулярных сведений о повторяемости инверсий. Повторяемость приземных инверсий может быть определена по повторяемости слабых ветров. Связь между этими повторяемостями для Европейской части России выражается уравнением линейной регрессии:

$$P_{ИН} = 31,4 + 0,29P_{СЛ}. \quad (4)$$

С момента опубликования метода расчета МПА, предложенного Т.С. Селегей [57] прошло 28 лет и в последние годы появились работы, в которых для разных регионов страны предлагаются свои методы оценки способности атмосферы к рассеиванию примесей, в частности, одной из таких попыток был усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы. Как известно, рассеивание примесей в атмосфере происходит благодаря трем основным факторам: температуре воздуха, режиму ветра и увлажненности территории. Эти факторы выражаются тремя коэффициентами и в количественном отношении между ними. Первый – это коэффициент теплообеспеченности (K_t), второй – коэффициент осадков ($K_{осад}$), третий – коэффициент ветра (K_v). Сумма этих трех коэффициентов – это новый, усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы – УМПА:

$$УМПА = K_t + K_v + K_{осад}. \quad (5)$$

Рассмотрим эти коэффициенты подробнее. Характеристика коэффициента теплообеспеченности у авторов различается. Кто-то использует количество дней теплого периода, сумму активных температур воздуха, даты перехода температур воздуха через 10^0C и т.п. Но самое основное определение – это выражение этого фактора в виде частного от деления сумм среднемесячных температур воздуха теплого периода к среднемесячным температурам холодного периода [48]:

$$K_t = \frac{\sum t_{ср.м.теплогпериода}}{\sum t_{ср.м.холодногпериода}}. \quad (6)$$

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

Данный коэффициент рационально использовать при изучении климатических особенностей различных территорий с точки зрения их экологической напряженности. С точки зрения загрязнения воздуха меньшие значения K_t обуславливают худшие условия для рассеивания примесей. Это связано не только с объемами сжигаемого топлива в холодный период, но и с тем, что в зимний период из-за недостатка ультрафиолетовой радиации и низких температур процессы самоочищения воздуха резко снижаются по сравнению с летом. В условиях Белгородской области этот коэффициент будет больше 1, что свидетельствует о том, что условия для рассеивания примесей будут благоприятными.

Коэффициент ветра. Скорость ветра – это самый основной показатель горизонтального переноса примесей в атмосферном воздухе. В развивающихся городах выделяют 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. Следовательно, оптимальная скорость ветра, способная вынести вредные вещества из города должна быть не менее 6 м/с[48].

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

$$K_v = \frac{P_{\geq 6}}{P_{0-1}} \quad (7)$$

Чем больше по абсолютной величине коэффициент ветра, тем лучше условия для рассеивания примесей в атмосфере и наоборот. Если значение $K_v \geq 1$, значит, ветровой режим территории способствует рассеиванию

примесей в атмосфере; если меньше 1 – преобладают условия затишья, примеси накапливаются. Если K_v меньше 0,5 создаются крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей. Анализ ветрового режима Белгородской области показал, что значения K_v во всех пунктах ≥ 1 .

Процесс очищения атмосферного воздуха осадками неоспорим. В настоящий момент, он количественно выражается двумя путями: через годовую сумму выпадающих осадков, через учет количества дней за год с осадками выше определенного предела. Анализируя зависимость между величинами выпавших за сутки осадков и средними концентрациями ряда примесей (озон, взвешенные вещества, формальдегид) сформирована картина очищения атмосферного воздуха. Осадки, интенсивностью 1-3 мм в сутки оказывают наибольшее влияние на концентрации примесей в воздухе. При таких осадках, отсутствует солнечное сияние, небо выглядит затянутым и хмурым. Осадки содействуют уменьшению вредных веществ в среднем на 20-25 % [48].

В научной литературе приводится несколько способов учета осадков на рассеивающую способность атмосферы:

- по числу дней с осадками не менее 0,5 мм за сутки;
- по числу дней с осадками не менее 1,0 мм за сутки;
- по нормированию годового количества осадков на 350 (400) мм в год. Для расчета усовершенствованного метеорологического показателя был выбран последний способ и в итоге $K_{осад.}$ рассчитывался по следующей формуле [48]:

$$K_{осад} = \frac{\sum O_{год}}{400}, \quad (8)$$

$\sum O_{год}$ – годовое количество осадков, а 400 мм – годовое количество осадков, необходимое для очищения воздуха, мм. С учетом среднеобластного годового количества осадков, превышающих 400 мм в Белгородской области, создаются хорошие условия для очищения атмосферы с помощью осадков.

Чем больше по своему значению УМПА, тем лучше на данной территории условия для рассеивания примесей. При $УМПА \geq 3$ – создаются хорошие условия для рассеивания примесей, так как все 3 составляющие, входящие в формулу, создают хорошие условия для рассеивания примесей. При УМПА больше 2, но меньше 3 – создаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей, и при УМПА меньше 2 - условия крайне неблагоприятные. В случае любого пункта, расположенного на территории Белгородской области значение УМПА будет всегда больше 3, поэтому его нельзя использовать для целей районирования территории по способности атмосферы к рассеиванию примесей [48].

По итогам второй главы можно сделать выводы:

1. Существует несколько способов расчета рассеивания примесей в атмосфере, но не все являются применимыми к территории Белгородской области.

2. Территория Белгородской области согласно типизации по Безуглой Э.Ю. лежит в зоне умеренного ПЗА.

3. Рассмотрев различные методики оценки рассеивающей способности атмосферы, был выбран коэффициент рассеивания, учитывающий повторяемость ветров ≥ 6 м/с, повторяемость слабых ветров (0-1 м/с), повторяемость приземных инверсий, рассчитанная с помощью уравнения линейной регрессии по повторяемости слабых ветров и повторяемости дней с осадками ≥ 1 мм.

3. СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕЙВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1. Основные источники загрязнения атмосферы в Белгородской области

Уровень загрязнения атмосферы формируется из-за влияния нескольких факторов: от уровня промышленного развития города; от метеорологических условий, определяющих фотохимическую способность в атмосфере; от размеров территории, на которой происходит процесс выброса и накопления вредных примесей; от количества автотранспорта в регионе и его современности; а также от переноса и рассеивания примесей в данных условиях выбросов [46, 66].

Существует естественное и антропогенное загрязнение атмосферы. Естественное загрязнение возникает в процессе природной деятельности без влияния человека, а антропогенное – в результате деятельности людей.

Поступление в атмосферу космической пыли, растительной пыльцы, морских солей, вулканического пепла – это признаки естественного загрязнения атмосферы. Природная пыль поступает в атмосферу с оголенных участков земель, пустынь, вулканов. При активной деятельности вулканов и разложении биологических веществ в атмосферу поступают углеводороды. Например, в результате гниения, а так же разложения образуется весомое количество сероводорода, оксидов азота и аммиака.

Сельскохозяйственное производство, промышленные предприятия, автотранспорт и другие виды транспорта, сжигающие ископаемое топливо, энергетические установки – это антропогенные источники загрязнения воздуха. Неотъемлемую роль играют так же коммунально-бытовые организации [14].

Существует несколько классификаций антропогенных источников выброса. Источники различаются: по высоте выброса (низкие, средней

высоты, высокие); по мощности выброса (мощные, крупные, мелкие); температуре выходящих газов (нагретые и холодные).

Машиностроительные предприятия, заводы по производству строительных материалов, химические и металлургические производства, тепловые электростанции – это мощные источники выброса. Предприятия местной и пищевой промышленности, небольшие котельные, и т.п. – это мелкие источники загрязнения. Скопление на небольшой территории нескольких мелких источников выброса приводит к значительному загрязнению воздуха. Высокими источниками считаются те, в которых выброс осуществляется выше 50 метров, а низкими – ниже 50 метров. Холодные источники выброса – это те источники, у которых температура выбрасываемой газовой смеси ниже 50 °С, а нагретыми – выше 50 °С [56].

Вещества, загрязняющие атмосферу, делятся так же в зависимости от генезиса. Они могут быть первичные (эмиссии городских источников) и вторичные (образующиеся в процессе фотохимических и химических реакций). Первичные загрязнители NO и CO поступают в нижний слой атмосферы в основном от автомобильных источников – ведущих загрязнителей городского воздуха. CO менее активен чем NO, поскольку последний имеет способность превращаться в течении нескольких минут в NO₂. Довольно значителен вклад в воздушный бассейн, вторичных загрязнителей. Некоторая доля загрязнений воздушного бассейна обусловлена адвекцией, т.е. переносом примесей.

Загрязнитель, именуемый PM₁₀ является самым опасным для здоровья, это взвешенные твердые частицы размером не более 10 мкм – они многокомпонентны и образуются различными веществами антропогенного и природного происхождения, а так же в результате химических реакций в атмосфере. Резкое их возрастание зачастую обусловлено городскими процессами, и переносом веществ от удаленных источников. PM₁₀ активно связан с опасным антропогенным загрязнителем – угарным газом (CO).

Большое число вредных примесей сконцентрировано в выбросах

транспорта и предприятий различных отраслей промышленности. В Белгородской области в максимальных объемах (почти из всех источников) в воздух поступают диоксид серы, взвешенные вещества (в частности пыль), углеводороды, оксид углерода, оксиды азота. В совокупности на долю этих примесей приходится 88 % всех выбросов в атмосферу [12]. Они являются составной частью газового состава атмосферы и следовательно, всегда присутствуют в атмосферном воздухе городов.

45 % от общего количества сернистых соединений, поступающих в воздух, образуется при работе тепловых электростанций, в процессе сжигания топлива [14]. Несгоревшие твердые вещества, оксиды азота (сажа, зола), оксиды углерода – поступают в воздушный бассейн при сжигании топлива.

Хлористый натрий, магний, оксиды никеля, оксиды железа, оксиды кальция, ртуть – так же вырабатываются при сжигании жидкого и твердого топлива, но в меньших количествах. Попадание в воздушный бассейн оксидов азота – признак сжигания газообразного топлива. При сжигании газа, в атмосферу могут поступать канцерогенные (ароматические углеводороды) вещества. Они образуются в условиях горения и недостаточного количества воздуха [37].

Наиболее крупными источниками выбросов диоксида серы в Белгородской области являются металлургические предприятия и ТЭС, работающие на твердом и жидком топливе. Мелкие котельные с низкими трубами, печные трубы жилых домов (в городах насчитывается до нескольких сотен), небольшие предприятия местной промышленности – источники выброса в воздушный бассейн диоксида серы.

Сероводород, бенз(а)пирен, оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, пыль, фенол и некоторые другие загрязнители – содержатся в выбросах от предприятий черной металлургии. Основную массу газов в городе выбрасывают предприятия химической промышленности [44].

Концентрация диоксида азота, и в целом всех оксидов взаимосвязана с

наличием осадков. При наличии осадков, образуется влага, взаимодействующая с NO_2 , которая в этом процессе превращается в азотную кислоту, попадающую в почву. Следовательно, в районах, где осадки выпадают часто, концентрация диоксида азота снижается [17].

Пыль содержит в своем составе различные микроэлементы и тяжелые металлы. Она наряду с соединениями серы и азота относится к наиболее распространенным загрязнителям атмосферы.

Соединения серы, пребывают в атмосферном воздухе, начиная от нескольких часов до 20 суток; соединения азота находятся от 2-3 суток (крупные частицы) до 30 суток (мелкие аэрозоли). Следовательно, зная, что скорость ветра на высоте 1000 м от поверхности земли достигает 20 км/ч, эти загрязнители могут распространяться на большие расстояния (более 1000 км от источников их выбросов) [19].

Основными предприятиями-загрязнителями на исследуемой территории, являются те, которые относятся к горно-добывающему, строительному, топливно-энергетическому комплексам, а так же пищевой и химической отраслям.

Но основной вклад в загрязнение воздушного бассейна городов вносит автотранспорт, что связано не только с увеличением парка автомашин, но и с увеличением доли среди них машин с большим пробегом, морально устаревших [50].

Сравнивая средние и максимальные значения концентрации с гигиеническими нормативами допустимого содержания в атмосфере вредных веществ, т.е показателем ПДК можно оценить состояния загрязнения атмосферного воздуха.

Исходя из определения термина М.А. Пинигина и Г.И. Сидоренко [54, 61,62]: «ПДК – это такие концентрации, которые не оказывают на человека и его потомство прямого или косвенного воздействия, не ухудшают их работоспособности, самочувствия, а так же санитарно-бытовых условий жизни людей» [16,22,26,61].

На основе данных, о характере выбросов в воздушный бассейн области от источников загрязнения в совокупности с особенностями метеорологических условий рассеивания примесей определен перечень основных веществ, для измерения количества вредных выбросов[23]. В области ведутся наблюдения за количеством вредных примесей, выбрасываемых в атмосферу области и вероятностью превышения ими показателя ПДК [26,28].

В конце концов, составляется перечень веществ, подлежащих контролю в первую очередь. Уточняется, будет ли максимальная или средняя концентрация примеси превышать при имеющихся выбросах среднюю суточную норму ПДК, или максимально разовую ПДК. Если параметр потребления воздуха больше реального параметра потребления воздуха, то ожидаемая концентрация примеси в воздухе может быть равна ПДК или превышать её, поэтому, примесь должна контролироваться [50,53,61].

Установлены показатели качества воздуха:

- наибольшая повторяемость превышения ПДК (НП) – наибольшая повторяемость (в процентах) превышения максимально разовой ПДК по данным наблюдений за одной примесью на всех постах территории за месяц или за год [53].

- стандартный индекс (СИ) – стандартный индекс, т.е. наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК. Он определяется из данных наблюдений на посту за одной примесью, или на всех постах рассматриваемой территории за всеми примесями за месяц или за год. Показатель характеризует степень кратковременного загрязнения;

- индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций примесей. Характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха;

Уровень загрязнения воздушного бассейна, в соответствии с существующими методами оценки – считается очень высоким при ИЗА > 11,

высоким 7-11, повышенным при 5-7, низким при ИЗА <5[30].

Контролируемые в Белгородской области загрязняющие вещества представлены в табл. 3.1. [36].

Таблица 3.1

Список веществ, контролируемых Белгородской области

Город	Вещества
Белгород	NH ₃ ,SO ₂ ,BB,CO,NO,NO ₂ ,HCl,БП,фенол
Старый Оскол	Ф,БП,ТМ, SO ₂ ,BB, CO,NO, NO ₂
Губкин	ТМ,БП,BB,NO ₂ ,SO ₂ ,CO,

Зола, пыль, цемент, нитраты, сульфаты, сажа, дым – это краткий перечень взвешенных веществ (ВВ). В составе наименее опасных взвешенных веществ встречаются: фтор, свинец, мышьяк, железо, магний, ртуть, кремний и их оксиды, образующиеся при производственных процессах и в результате сгорания всех видов топлива [53].

Бенз(а)пирен (БП) – так же как и многие другие вещества образуется в атмосферном воздухе в результате сгорания любых видов топлива. Наибольшее количество этого вещества поступает в атмосферу от выбросов предприятий энергетики, цветной и черной металлургии, строительной промышленности [53].

Ф – формальдегид. Этот вредный для окружающей среды компонент, образуется в промышленности в процессе изготовления искусственных смол, неполного сгорания жидкого топлива, изготовления пластических масс, а так же при выделке кож и т.д. Он поступает в воздушный бассейн в связях с другими углеводородами от таких производств как: цветная металлургия, нефтехимическая и химическая промышленность, деревообрабатывающее и целлюлозно-бумажное производство[53,59].

На территории Белгородской области сосредоточено более 6000 промышленных предприятий, они и являются основными источниками

выбросов вредных веществ в атмосферу. Большая часть предприятий сосредоточена в северо-восточной и центральной части области. На исследуемой территории основными пунктами, в которых ведется контроль и наблюдение за состоянием загрязнения атмосферы являются: Губкин, Старый Оскол, Белгород [36].

За качеством атмосферного воздуха в Губкине и Старом Осколе следит Старооскольская комплексная лаборатория мониторинга окружающей среды [63].

Основные источники загрязнения вредными веществами атмосферного воздуха в городе Губкин являются: ТЭЦ – выбросы котельных; комбинат «КМА руда» – выбросы обогатительного производства; «Лебединский ГОК» – выхлоп продуктов массовых взрывов, выбросы обогатительного производства, выбросы при ремонтных и строительных работах, горнодобывающая и перерабатывающая технологии. Пункты контроля, где проводятся наблюдения, располагаются на 2 стационарных постах, которые примыкают к территориям с интенсивным движением автотранспорта.

Так как Белгородская область – это развитый регион нашей страны, на ее территории расположен целый ряд предприятий, рассредоточенных по различным отраслям промышленности. Строительная отрасль, горнодобывающая, пищевая, химическая, топливно-энергетическая – это основные направления промышленной деятельности в области. Именно эти отрасли вносят свой вклад в загрязнение воздушных масс на территории. Но основной вклад в загрязнение воздушного бассейна городов вносит автотранспорт, что связано не только с увеличением парка автомашин, но и с увеличением доли среди них машин с большим пробегом, морально устаревших. С каждым годом количество транспортных средств возрастает, в связи с чем, увеличиваются объемы выбросов, поступающие в атмосферу от передвижных источников. Из общей массы загрязняющих веществ максимальная доля приходится на автотранспорт, и составляет 43,78 тыс.т

(26,1%) в Белгороде; 25,87 тыс.т (15,4%) – в Старооскольском районе и 11,43 тыс.т (6,8%) – в Губкинском районе [28].

3.2. Сезонная динамика коэффициента самоочищения атмосферы в Белгородской области

Для исследования динамики атмосферных характеристик, которые определяют способность атмосферы, как к рассеиванию, так и к накоплению примесей в промышленных центрах Белгородской области в начале текущего столетия, были использованы данные приземных метеорологических наблюдений суточной размерности Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция Готня расположенная на западе области, метеостанция Валуйки – на юго-востоке области, метеостанция Новый Оскол – в восточной части области, метеостанция Белгород – в центре области, и метеостанция Богородицкое – Фенино – на севере области) за период 1999 – 2016 гг.

Для оценки экологического состояния атмосферы в исследуемом регионе были использованы несколько методик. Коэффициент самоочищения рассчитывался по методу, предложенному Ю.П. Переведенцевым [52]. Условия рассеивания примесей он предложил оценивать с помощью коэффициента, рассчитываемого по следующей формуле:

$$K'_M = \frac{P_{сил} + P_{ос}}{P_{сл} + P_{f \geq 80\%}} \quad (9)$$

где $P_{сл}$ – повторяемость слабого ветра (0–1 м/с); $P_{сил}$ – повторяемость скорости ветра ≥ 6 м/с; $P_{f \geq 80\%}$ – повторяемость среднесуточной относительной влажности $\geq 80\%$; $P_{ос}$ – повторяемость осадков ≥ 0.5 мм.

Использование этой формулы не показало существенных отличий в способности атмосферы к самоочищению в разных районах области.

Поэтому была сделана попытка уточнения этого коэффициента и вместо повторяемости среднесуточной относительной влажности $\geq 80\%$ ($P_{\geq 80\%}$) в формулу расчета была введена повторяемость приземных инверсий ($P_{ИНВ}$), рассчитанная по уравнению линейной регрессии, приведенному в разделе 2. Суточную сумму осадков, способное очистить атмосферу от примесей, было решено увеличить с 0,5 мм до 1 мм.

$$K = \frac{P_{сил} + P_{ос}}{P_{сл} + P_{ИНВ}} \quad (10)$$

где $P_{сл}$ – повторяемость слабого ветра (0–1 м/с); $P_{сил}$ – повторяемость скорости ветра ≥ 6 м/с; $P_{ИНВ}$ – повторяемость приземных инверсий; $P_{ос}$ – повторяемость осадков ≥ 1 мм.

Количественная оценка метеорологических условий по критерию $K'_м$: $K'_м < 0.8$ – неблагоприятные условия для рассеивания; $0.8 \leq K'_м \leq 1.2$ – ограниченно благоприятные условия рассеивания; $K'_м > 1.2$ – благоприятные условия самоочищения атмосферы.

Годовой ход коэффициента $K'_м$, позволяет выявить сезонные особенности рассеивания и накопления примесей в атмосфере.

Были рассчитаны среднемесячные значения коэффициента рассеивания атмосферы в городах Белгородской области за период 1999 - 2016 гг., представлены ниже в таблице 3.2.

Изменение содержания вредных веществ поступающих в приземный слой воздуха Белгородской области определяется в основном тремя факторами: температурным режимом, воздействием осадков, влажностью. По этим факторам рассчитывается скорость рассеивания вредных примесей, которая подвергается сезонному воздействию. Для установления сезонных особенностей были проведены расчеты, выявлен коэффициент рассеивания примесей в различных пунктах Белгородской области.

Таблица 3.2

Среднемесячные значения коэффициента рассеивания атмосферы в городах Белгородской области за 1999 – 2016 гг. на основании осадков > 1 мм и инверсий

Пункт/Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
Белгород	1,69	1,76	1,58	1,19	0,95	0,93	0,86	0,71	0,90	1,03	1,31	1,62	1,21
Готня	1,29	1,31	1,14	0,89	1,00	0,92	0,81	0,62	0,75	0,79	0,98	1,12	0,97
Б-Фенино	1,17	1,07	1,02	0,78	0,81	0,94	0,79	0,58	0,78	0,77	0,80	1,03	0,88
Валуйки	0,98	0,89	0,83	0,65	0,71	0,77	0,70	0,42	0,49	0,61	0,73	0,83	0,72
Н. Оскол	0,94	0,89	0,82	0,70	0,70	0,76	0,68	0,49	0,56	0,66	0,75	0,74	0,72

Количественная оценка метеорологических условий по критерию K'_m :

$K'_m < 0,2$ – крайне неблагоприятные условия для рассеивания примесей

$K'_m 0,25-0,4$ - неблагоприятные условия для рассеивания примесей

$K'_m < 0,8$ – относительно неблагоприятные условия для рассеивания примесей

$K'_m 0,8 \leq K'_m \leq 1,2$ – относительно благоприятные условия рассеивания примесей

$K'_m > 1,2$ – благоприятные условия рассеивания примесей

Полученные результаты позволяют выявить месяцы с наихудшими условиями для рассеивания примесей – во всех пунктах это месяц август, когда значения коэффициента самоочищения изменялись от 0,42 в Валуйках до 0,71 в Белгороде, что можно охарактеризовать как относительно неблагоприятные условия (в Валуйках ситуация самая напряженная).

Длительность такого периода в разных пунктах различна – в Новом Осколе он наблюдается в течение 9 месяцев – с апреля по декабрь, в Валуйках – 8 месяцев – с апреля по ноябрь, в Б-Фенино – 6 месяцев (в апреле и с июля по ноябрь), в Готне он сокращается до трех месяцев (с августа по октябрь), а в Белгороде относительно неблагоприятные для рассеивания условия чаще наблюдаются в августе.

В соответствии с полученными данными за период 1999-2016 гг. в среднем за год условия для рассеивания примесей наилучшими были в Белгороде, а наихудшими – в Валуйках и Новом Осколе и характеризовались как относительно благоприятные в Белгороде, Готне и Б-Фенино (среднее годовое значение коэффициента рассеивания в этих пунктах составляло 1,21, 0,97 и 0,88 соответственно) и как относительно неблагоприятные в Новом Осколе и Валуйках (среднее годовое значение коэффициента рассеивания в этих пунктах составляло 0,72).

За исследуемый период повторяемость условий, определяющих способность атмосферы к рассеиванию примесей в целом за год в разных пунктах Белгородской области была различной (табл. 3.3).

Единственным пунктом, где были отмечены благоприятные условия для рассеивания примесей в атмосфере в среднем за год, оказался Белгород – примерно половина лет из исследуемого периода характеризовалась коэффициентом, превышающим 1,25. Среди остальных пунктов выделялись Готня и Б.-Фенино, где относительно благоприятные условия для рассеивания загрязняющих веществ наблюдались в 94,4 и 77,8% случаев соответственно. В Новом Осколе и Валуйках такие условия наблюдались значительно реже – в 22,2 и 15,8% .

Таблица 3.3

Повторяемость различных условий рассеивания примесей в атмосфере, %

Пункты	Условия для рассеивания примесей в атмосфере		
	Благоприятные	Относительно благоприятные	Относительно неблагоприятные
Белгород	47,4%	52,6%	0
Готня	0	94,4%	5,6%
Б.-Фенино	0	77,8%	22,2%
Новый Оскол	0	22,2%	77,8%
Валуйки	0	15,8%	84,2%

Для оценки территориальных различий в условиях рассеивания примесей сравним средние за сезон значения коэффициента рассеивания в различных пунктах Белгородской области (табл.3.4).

Таблица 3.4

Среднесезонные значения коэффициента рассеивания за период 1999-2016 гг.

Сезон/Пункт	Белгород	Готня	Б.-Фенино	Н. Оскол	Валуйки
Зима	1,69	1,24	1,09	0,86	0,9
Весна	1,24	1,01	0,87	0,74	0,73
Лето	0,83	0,78	0,77	0,64	0,63
Осень	1,08	0,84	0,78	0,66	0,61

Очевидно, что зимой благоприятные условия для рассеивания складываются в Белгороде, к западу, северу и особенно к востоку области условия для рассеивания ухудшаются. Весной во всех пунктах рассеивающая способность атмосферы падает, территориальное же распределение

коэффициента с максимумом в центре области сохраняется. Летом происходит дальнейшее снижение способности атмосферы к рассеиванию, при этом почти сглаживаются различия между условиями в разных районах области. Осенью рассеивающая способность атмосферы растёт (наиболее значительно в центре), исключение составляют северные и восточные районы, но в каждом из пунктов среднеосеннее значение исследуемого параметра не достигает средневесенних значений.

Более подробно остановимся на сезонном ходе коэффициента рассеивания. Благоприятные условия для рассеивания примесей характеризуются значением этого показателя, превышающем 1,25. Максимальная продолжительность такого периода наблюдается в Белгороде и составляет 5 месяцев – с ноября по март. В Готне такие условия наблюдаются с января по февраль, в остальных пунктах среднемесячные значения коэффициента рассеивания меньше 1,25 (рис.3.1-3.5).

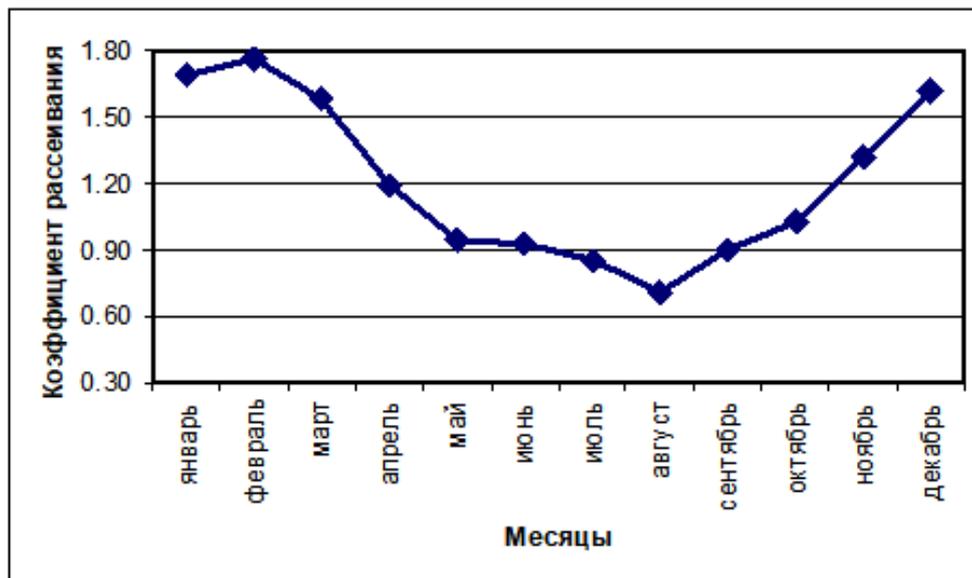


Рис.3.1. Сезонная динамика коэффициента рассеивания в Белгороде (период осреднения 1999-2016 гг.).

Относительно благоприятные для рассеивания примесей условия характеризуются значением коэффициента рассеивания, лежащем в интервале от 0,8 до 1,25. Такие условия, судя по средним месячным

значениям указанного параметра в Готне и Б.-Фенино наблюдаются 7 месяцев, в Белгороде – полгода, в Валуйках – с декабря по март, в Новом Осколе – с января по март.

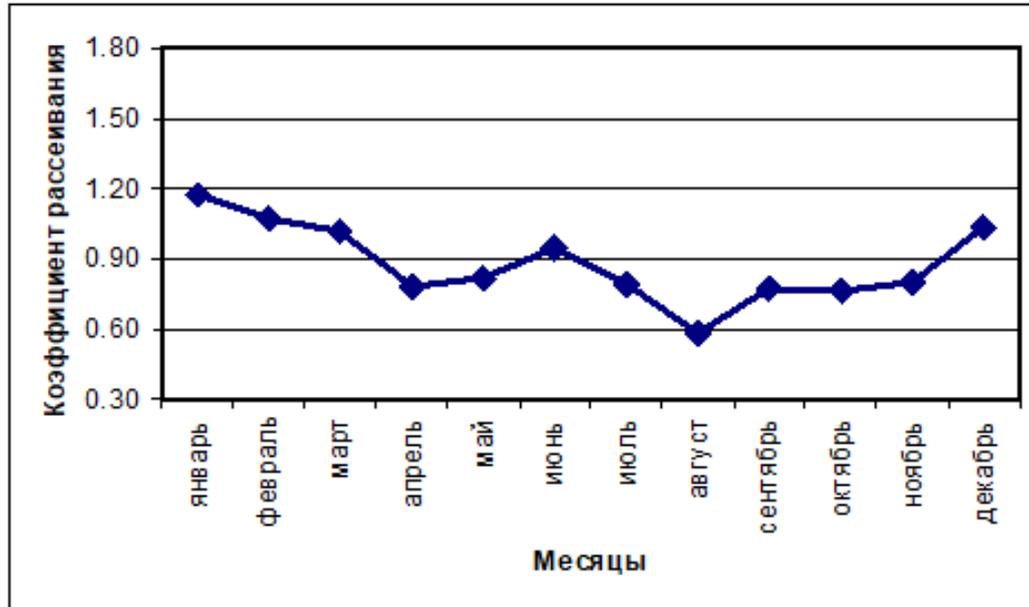


Рис.3.2. Сезонная динамика коэффицента рассеивания в Б. Фенино (период осреднения 1999-2016 гг.).

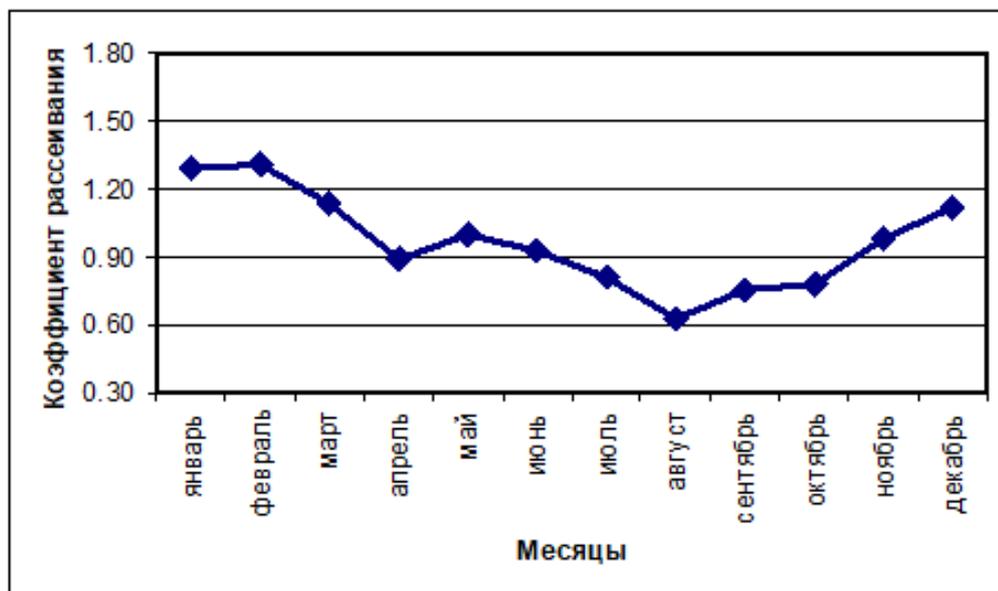


Рис.3.3. Сезонная динамика коэффицента рассеивания в Готне (период осреднения 1999-2016 гг.).

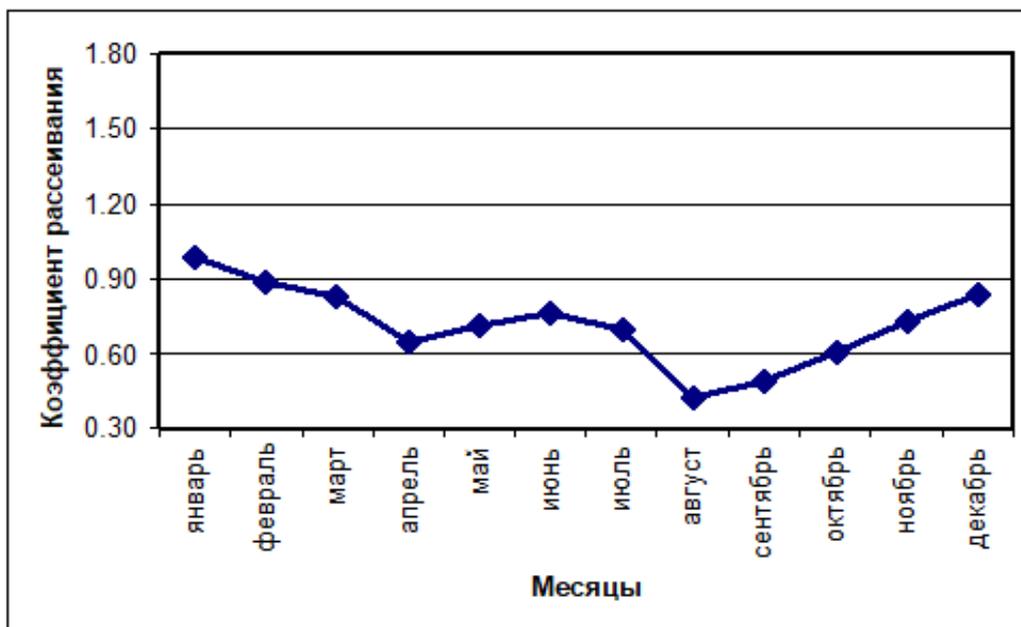


Рис.3.4. Сезонная динамика коэффициента рассеивания в Валуйках (период осреднения 1999-2016 гг.).

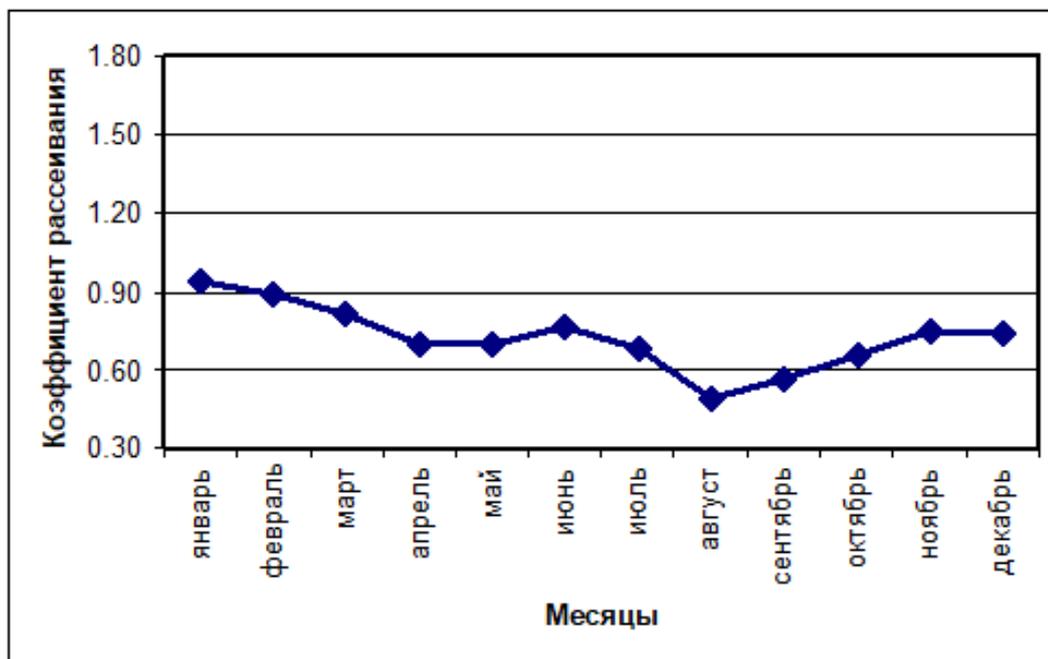


Рис.3.5. Сезонная динамика коэффициента рассеивания в Новом Осколе (период осреднения 1999-2016 гг.).

Обобщив полученные результаты, можно сделать следующий вывод – благоприятные и относительно благоприятные условия для рассеивания примесей в целом за год за исследуемый период в Белгороде наблюдались в течение 11 месяцев, в Готне – 9, в Б.-Фенино – 7, в Валуйках – 4, а в Новом Осколе – 3 месяца.

3.3. Межгодовая динамика коэффициента самоочищения атмосферы в Белгородской области

Результаты расчетов по ежедневным данным коэффициента рассеивания атмосферы за период с 1999-2016 гг. в Белгородской области, позволили оценить его временные изменения в различных пунктах (рис.3.6-3.13).

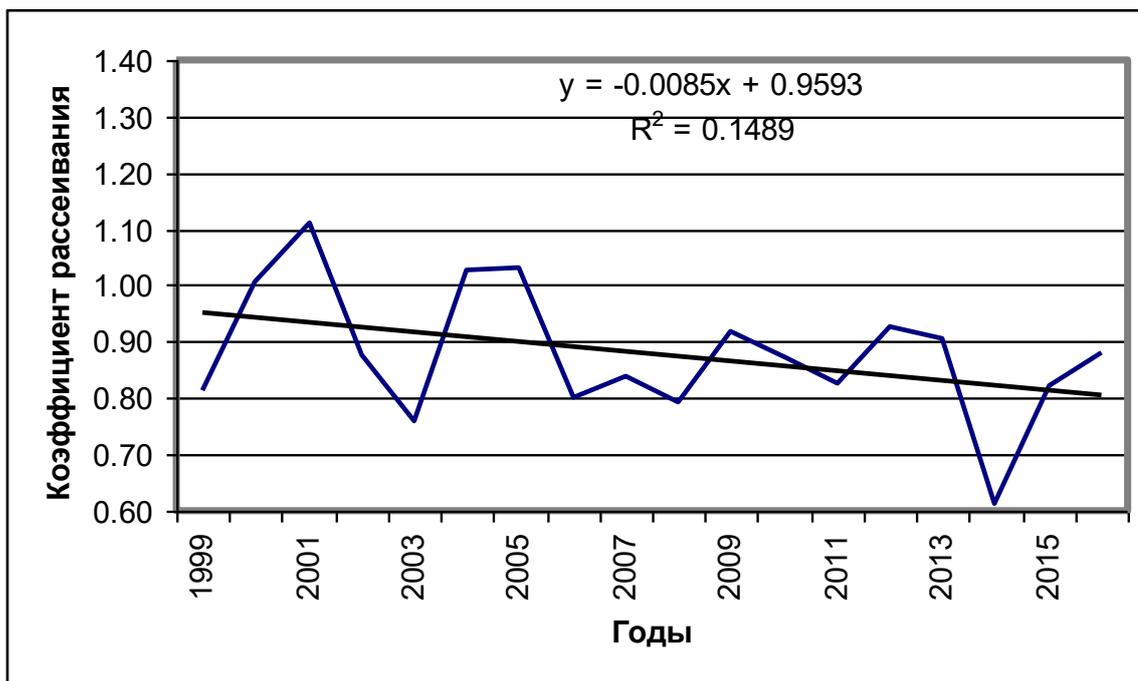


Рис.3.6. Межгодовая динамика среднегодовых значений коэффициента рассеивания в Б.-Фенино за период 1999-2016 гг.

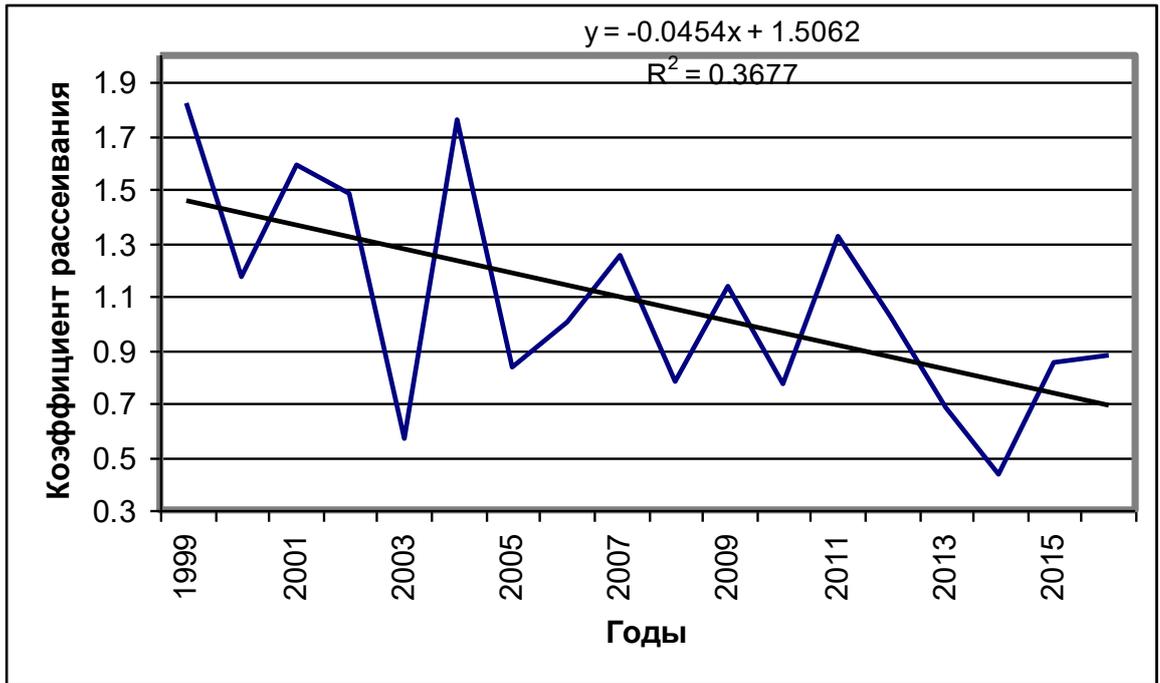


Рис.3.7. Межгодовая динамика среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания в Б.-Фенино за период 1999-2016 гг.

В Б.-Фенино отмечена тенденция к снижению среднегодового значения коэффициента рассеивания, но, судя по значению R^2 , тренд статистически не значим. В изменении же среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания выявлен статистически значимый отрицательный тренд, что свидетельствует об ухудшении в этом месяце способности атмосферы к рассеиванию примесей.

В Белгороде и Готне отмечены аналогичные тенденции (рис.3.8-3.11). По-видимому, это связано с изменениями в атмосферной циркуляции, отмечаемыми с конца XX века, а именно – со снижением интенсивности зональной, и, наоборот, с увеличением меридиональной циркуляции, что повлияло на распределение метеорологических характеристик по территории области.

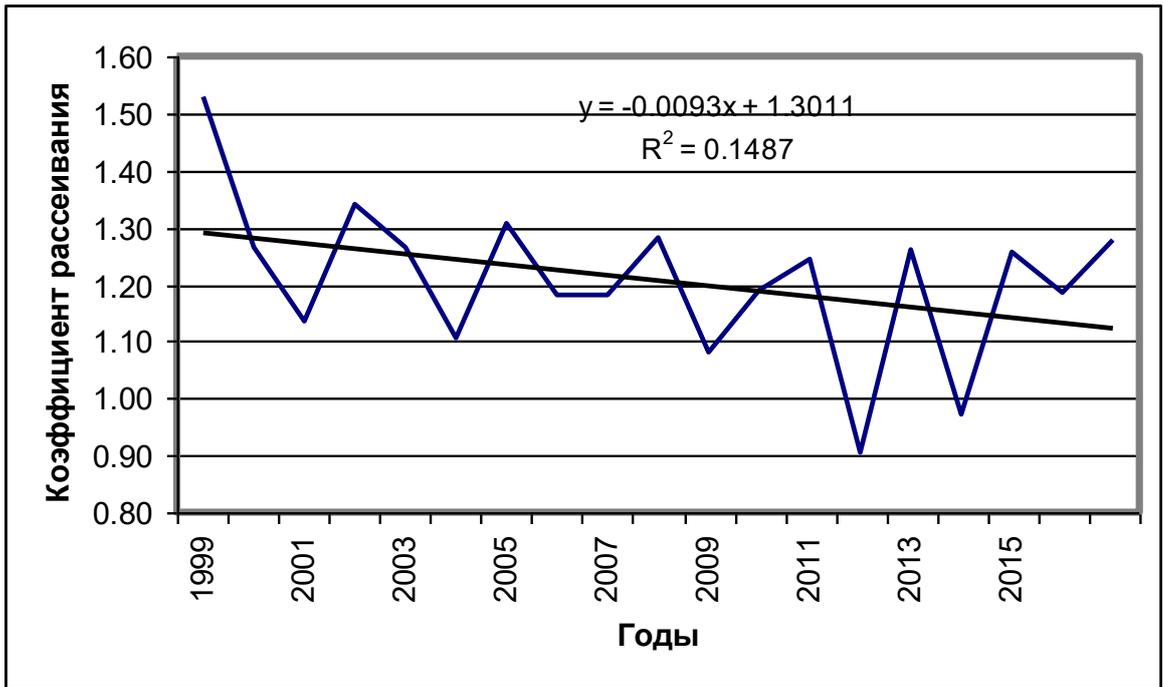


Рис.3.8. Межгодовая динамика среднегодовых значений коэффициента рассеивания в Белгороде за период 1999-2016 гг.

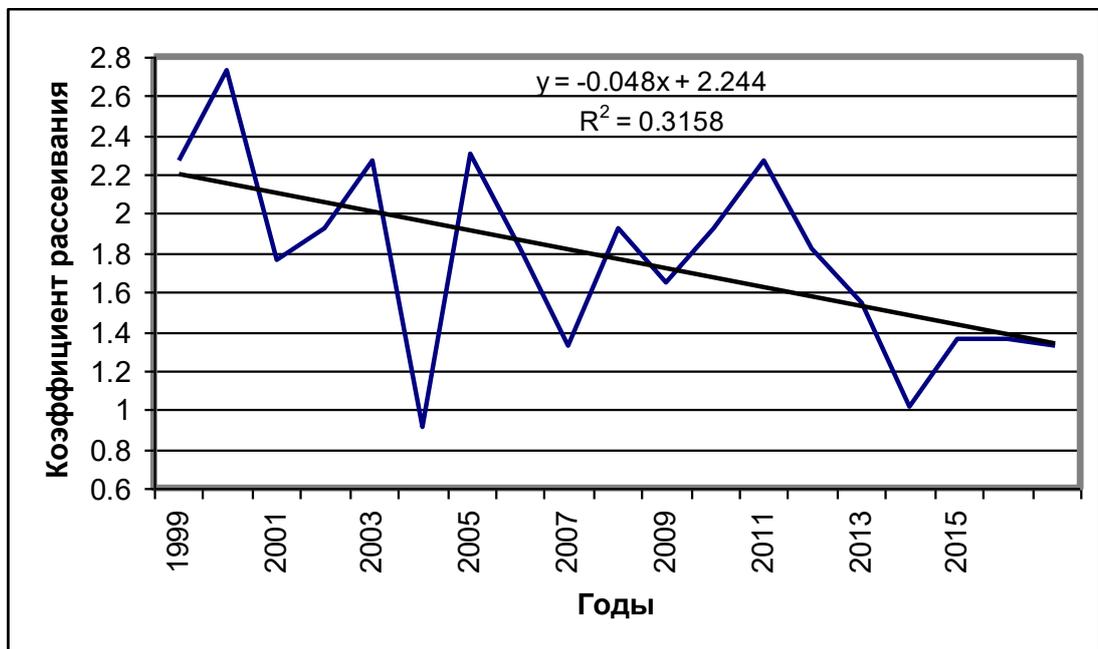


Рис.3.9. Межгодовая динамика среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания в Белгороде за период 1999-2016 гг.

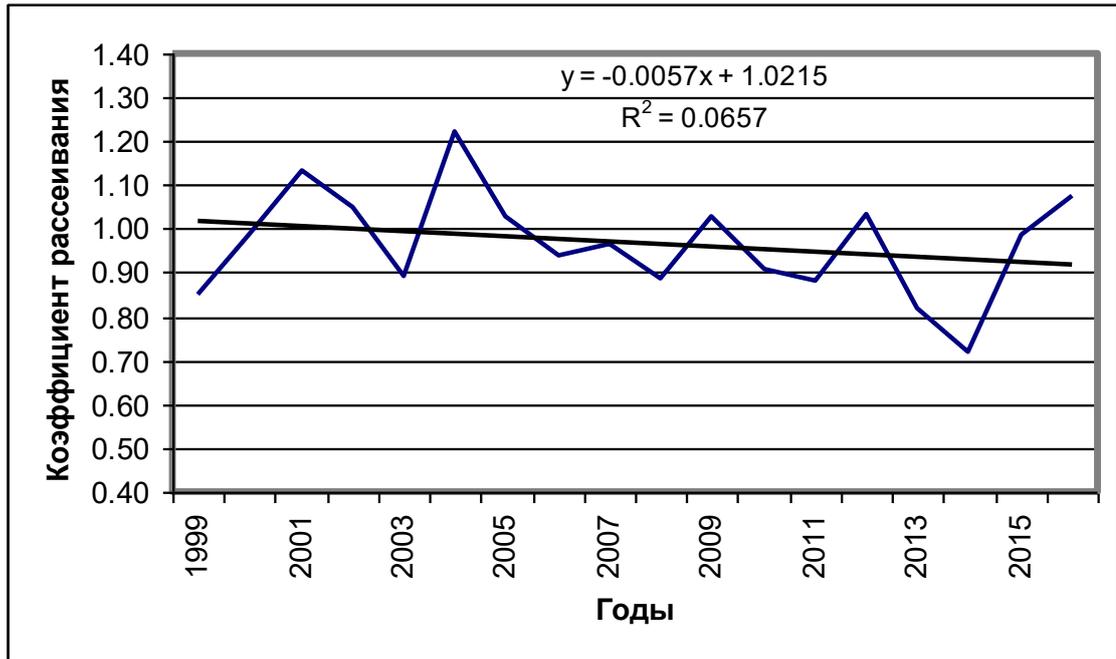


Рис.3.10. Межгодовая динамика среднегодовых значений коэффициента рассеивания в Готне за период 1999-2016 гг.

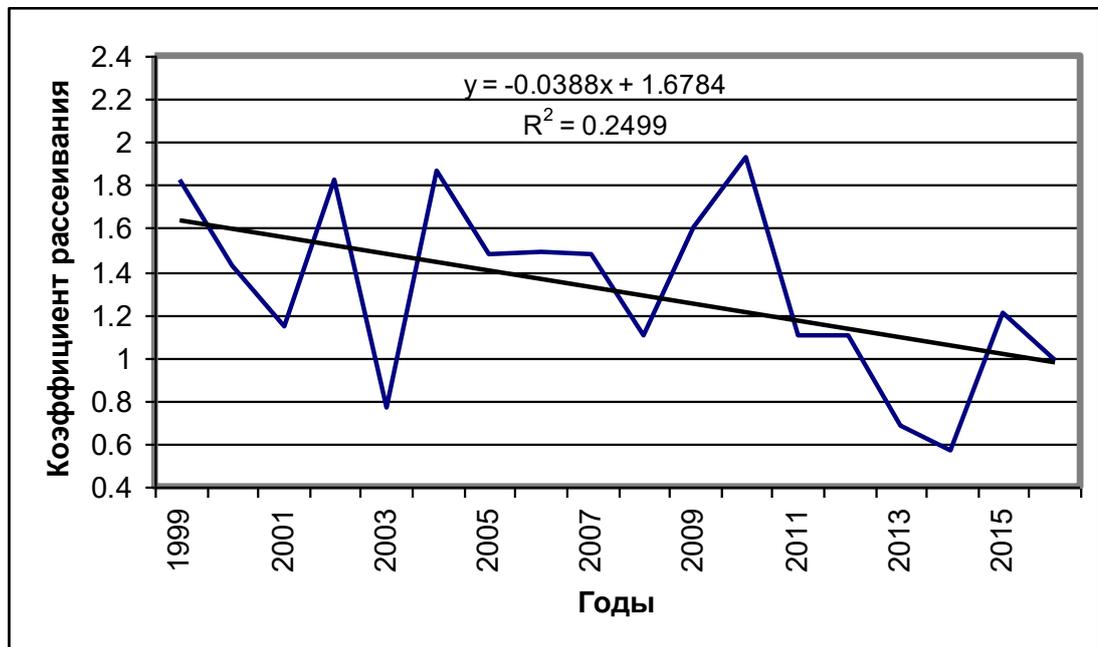


Рис.3.11. Межгодовая среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания в Готне за период 1999-2016 гг.

В Валуйках и Новом Осколе не выявлено статистически значимых трендов в изменении способности атмосферы к рассеиванию примесей ни в одном из месяцев года (рис.3.12, 3.13).

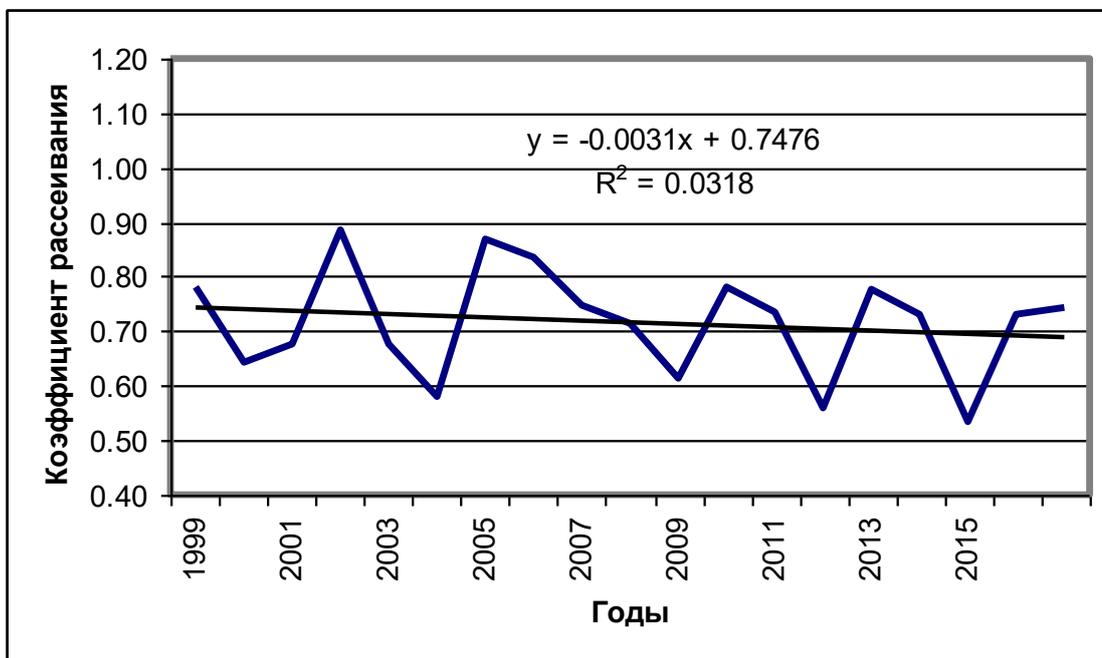


Рис.3.12. Межгодовая динамика среднегодовых значений коэффициента рассеивания в Валуйках за период 1999-2016 гг.

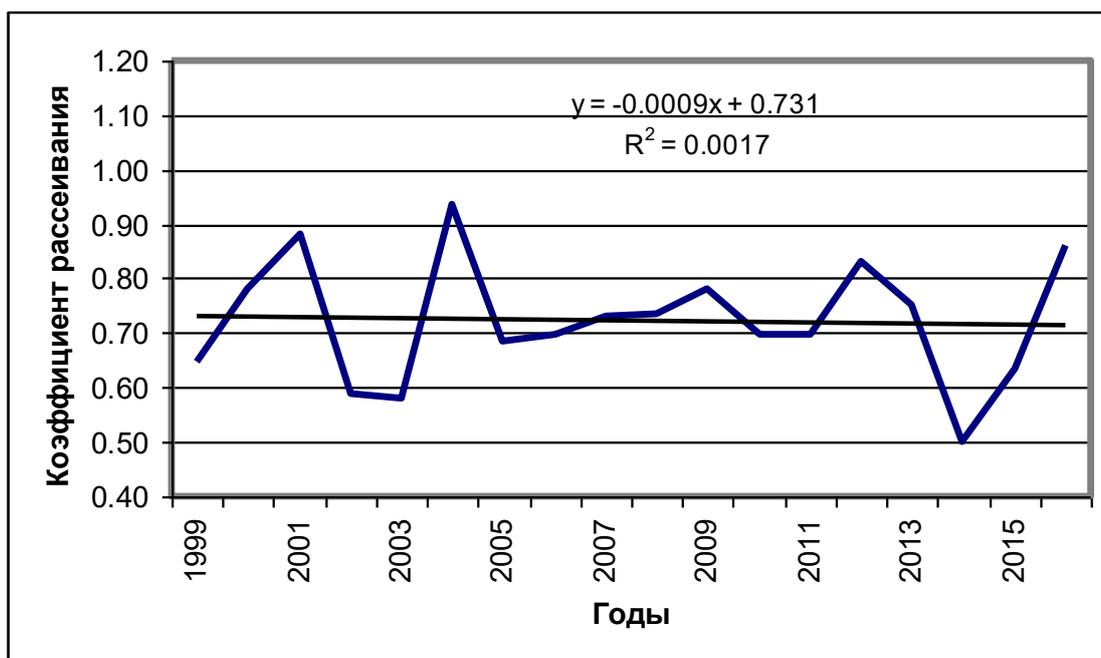


Рис.3.13. Межгодовая динамика среднегодовых значений коэффициента рассеивания в Новом Осколе за период 1999-2016 гг.

Одновременно, следует отметить, что наиболее неблагоприятные (ограниченно благоприятные) условия для рассеивания примесей $K_m = 0,84$; $0,93$ - наблюдались в 2000 и 2006 гг. Условия, благоприятные для самоочищения атмосферы, характеризуются большой повторяемостью осадков, которые наблюдались в период 1999-2001, 2003-2005, 2007-2009 гг.

Проведенные расчеты легли в основу построения обновленной карты, показывающей распределение коэффициента самоочищения по территории Белгородской области. Сравнение карты потенциала загрязнения атмосферы, приведённой в Атласе [3], построенной на основании данных за период 1983-2003 гг. и рис.3.14 показывает существенные отличия в распределении коэффициента рассеивания, произошедшие в XXI веке.

Если в конце XX века ПЗА увеличивался с северо-востока на юго-запад с 2,3 до 2,7 и характеризовался как умеренный на территории всей области, то теперь на востоке области наблюдаются относительно неблагоприятные для рассеивания условия, при движении к центру условия постепенно улучшаются до благоприятных, затем на западе области условия становятся относительно благоприятными для рассеивания примесей.

На основании третьей главы можно сделать следующие выводы:

1. На территории Белгородской области расположен целый ряд предприятий, относящихся к различным отраслям промышленности, а именно: строительному, топливно-энергетическому, горно-добывающему комплексам, пищевой и химической отраслям. Но основной вклад в загрязнение воздушного бассейна городов вносит автотранспорт, что связано не только с увеличением парка автомашин, но и с увеличением доли среди них машин с большим пробегом.

2. Месяц с наихудшими условиями для рассеивания примесей во всех пунктах – август, когда значения коэффициента самоочищения изменялись от 0,42 в Валуйках до 0,71 в Белгороде, что можно охарактеризовать как относительно неблагоприятные условия (в Валуйках ситуация самая напряженная). Длительность такого периода в разных пунктах различна – в



Рис. 3.14. Распределение коэффициента самоочищения по территории Белгородской области

Новом Осколе он наблюдается в течение 9 месяцев – с апреля по декабрь, в Валуйках – 8 месяцев – с апреля по ноябрь, в Б-Фенино – 6 месяцев (в апреле и с июля по ноябрь), в Готне он сокращается до трех месяцев (с августа по октябрь), а в Белгороде относительно неблагоприятные для рассеивания условия чаще наблюдаются в августе.

3. Благоприятные и относительно благоприятные условия для рассеивания примесей за исследуемый период в Белгороде наблюдались в течение 11 месяцев, в Готне – 9, в Б.-Фенино – 7, в Валуйках – 4, а в Новом Осколе – 3 месяца.

4. Наиболее неблагоприятные (ограниченно благоприятные) условия для рассеивания примесей $K'_m = 0,84; 0,93$ - наблюдались в 2000 и 2006 гг. Условия, благоприятные для самоочищения атмосферы, характеризуются большой повторяемостью осадков, которые наблюдались в период 1999-2001, 2003-2005, 2007-2009 гг.

5. В Б.-Фенино, Белгороде и Готне отмечена тенденция к снижению среднегодового значения коэффициента рассеивания, но, судя по значению R^2 , тренд статистически не значим. В изменении же среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания выявлен статистически значимый отрицательный тренд, что свидетельствует об ухудшении в этом месяце способности атмосферы к рассеиванию примесей.

В Валуйках и Новом Осколе не выявлено статистически значимых трендов в изменении способности атмосферы к рассеиванию примесей ни в одном из месяцев года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной нами работы можно сделать следующие выводы:

Неблагоприятные для рассеивания примесей метеорологические условия определяются синоптической ситуацией, т.е. циркуляционными условиями. На территории Белгородской области повышенное загрязнение чаще формируется в условиях антициклональной погоды.

В городах, где многочисленные источники выбросов сравнительно равномерно распределены по территории, связи между концентрациями примесей и направлением ветра обычно выражены слабо. В то же время выявляются часто неблагоприятные направления ветра, при которых содержание примесей в городском воздухе повышено.

Застойные условия (приземные инверсии в сочетании со штилем) способствуют интенсивному скоплению примесей в приземном воздухе. Летом застой воздуха менее опасен, чем зимой, что связано с непродолжительностью летних застоев, и с тем, что их формирование совпадает с периодом минимальных выбросов.

Отмечается рост загрязнения воздуха с понижением температуры за счет сопутствующих факторов и рост загрязнения при высоких температурах в результате непосредственного влияния термического состояния воздушной массы.

При образовании тумана происходит увеличение концентрации примесей на 40-110 % по сравнению с концентрацией её до тумана.

Косвенной характеристикой рассеивающих способностей атмосферы является потенциал загрязнения атмосферы. ПЗА – это отношение гипотетических среднегодовых околосемных концентраций различных примесей от антропогенных источников в конкретной точке пространства к таким же значениям концентрации от таких же источников в

среднестатистическом, эталонном районе, где рассеяние наилучшее, а концентрации - минимальные.

Такая характеристика как ПЗА удобна в том отношении, что не требует сведений непосредственно об измеренных значениях концентрации или источниках загрязнения, а предполагает известными лишь такие климатические характеристики как вероятности слабого ветра (менее 1 м/с), приземных инверсий температуры и туманов.

В связи с сокращением сети аэрологического зондирования и невозможностью в связи с этим оценить стратификацию атмосферы в последние годы был предложен метеорологический коэффициент рассеивания примесей, определяющийся как отношение повторяемости условий, способствующих удалению примесей (сильных ветров и осадков) к повторяемости условий, содействующих накоплению примесей (слабых ветров и туманов).

В настоящее время, исследуя проблему качества атмосферы в населенных пунктах, разрабатываются методики определения степени загрязнения атмосферы с использованием приземных данных. Многие авторы делают вывод о целесообразности использования не отдельных метеорологических элементов, а комплекса характеристик, соответствующих определенной метеорологической ситуации. В исследованиях по количественному выражению загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от метеорологических факторов на современном этапе исследований, можно выделить несколько направлений:

- исследования Э.Ю. Безуглой [6] 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 [57,60] основанные на применении простой метеорологической (климатической) информации, имеющейся на всей сети метеорологических наблюдений Гидрометслужбы;

- исследования С.С. Андреева [1], который при расчете потенциала самоочищения атмосферы (МПА) предложил вместо повторяемости туманов учитывать повторяемость среднесуточной относительной влажности $\geq 80\%$ ($P_{f \geq 80\%}$) [1].

- исследования Ю.П. Переведенцева [52], который предложил использовать показатель, обратный МПА, считая, что он отражает способность атмосферы к самоочищению, а не к накоплению примесей.

Количественная оценка метеорологических условий по этому критерию (K'_m): $K'_m < 0.8$ – неблагоприятные условия для рассеивания; $0.8 \leq K'_m \leq 1.2$ – ограниченно благоприятные условия рассеивания; $K'_m > 1.2$ – благоприятные условия самоочищения атмосферы. Данный показатель характеризует условия рассеивания, а не накопления примесей в атмосфере.

- исследования усовершенствованного метеорологического показателя рассеивающей способности атмосферы (УМПА). Было выявлено, что данный показатель для нашего региона использовать нецелесообразно, так как все составляющие этого коэффициента (соотношение между суммами температур за теплый и холодный периоды, между повторяемостями ветров различных градаций и годовое количество осадков) однозначно указывают на хорошую рассеивающую способность атмосферы в любом районе области.

Рассмотрев различные методики оценки рассеивающей способности атмосферы, был выбран коэффициент рассеивания, учитывающий повторяемость ветров ≥ 6 м/с, повторяемость слабых ветров (0-1 м/с), повторяемость приземных инверсий, рассчитанная с помощью уравнения линейной регрессии по повторяемости слабых ветров и повторяемости дней с осадками ≥ 1 мм.

Обобщив полученные результаты, можно сделать следующий вывод – благоприятные и относительно благоприятные условия в целом за год для рассеивания примесей за исследуемый период в Белгороде наблюдались в течение 11 месяцев, в Готне – 9, в Б.-Фенино – 7, в Валуйках – 4, а в Новом Осколе – 3 месяца.

Наиболее неблагоприятные (ограниченно благоприятные) условия для рассеивания примесей $K'_m = 0,84; 0,93$ - наблюдались в 2000 и 2006 гг. Условия, благоприятные для самоочищения атмосферы, характеризуются большой повторяемостью осадков, которые наблюдались в период 1999-2001, 2003-2005, 2007-2009 гг.

Месяц с наихудшими условиями для рассеивания примесей во всех пунктах – август, когда значения коэффициента самоочищения изменялись от 0,42 в Валуйках до 0,71 в Белгороде, что можно охарактеризовать как относительно неблагоприятные условия (в Валуйках ситуация самая напряженная).

В целом за 1999-2016 гг. длительность периода, когда наблюдаются относительно неблагоприятные для рассеивания примесей условия, в разных пунктах была различна – в Новом Осколе – в течение 9 месяцев – с апреля по декабрь, в Валуйках – 8 месяцев – с апреля по ноябрь, в Б-Фенино – 6 месяцев (в апреле и с июля по ноябрь), в Готне – три месяца (с августа по октябрь), а в Белгороде относительно неблагоприятные для рассеивания условия чаще наблюдаются в августе.

В Б.-Фенино, Белгороде и Готне отмечена тенденция к снижению среднегодового значения коэффициента рассеивания, но тренд статистически не значим. В изменении же среднемесячных февральских значений коэффициента рассеивания выявлен статистически значимый отрицательный тренд, что свидетельствует об ухудшении в этом месяце способности атмосферы к рассеиванию примесей.

В Валуйках и Новом Осколе не выявлено статистически значимых трендов в изменении способности атмосферы к рассеиванию примесей ни в одном из месяцев года

Проведенные расчеты легли в основу построения обновленной карты, показывающей распределение коэффициента самоочищения по территории Белгородской области. Сравнение карты потенциала загрязнения атмосферы, приведённой в Атласе [3], построенной на основании данных за период 1983-

2003 гг. и рис.3.14 показывает существенные отличия в распределении коэффициента рассеивания, произошедшие в XXI веке.

Если в конце XX века ПЗА увеличивался с северо-востока на юго-запад с 2,3 до 2,7 и характеризовался как умеренный на территории всей области, то теперь на востоке области наблюдаются относительно неблагоприятные для рассеивания условия, при движении к центру условия постепенно улучшаются до благоприятных, затем на западе области условия становятся относительно благоприятными для рассеивания примесей.

Учитывая наличие промышленных предприятий в черте или вблизи города, увеличение автотранспорта – природоохранным организациям следует обратить особое внимание на постоянное выполнение комплекса природоохранных мероприятий, связанных со снижением выбросов вредных веществ в атмосферу в периоды неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.С. Климатический ресурс и комфортность территории Южного федерального округа России.; Автореф. дис. доктора г. н. – Санкт Петербург, – 37с.
2. Аргучинцева А.В., Аргучинцев В.К., Лазарь О.В. Оценка загрязнения воздушной среды автотранспортом // География и природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 131-137.
3. Атлас «Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области»: учебно-справочное картографическое пособие / под. ред. Ф.Н. Лисецкого. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2005. – 179 с.
4. Атмосферные нагрузки загрязняющих веществ на территории СССР. // – 1991. – № 1. – С.40 – 42.
5. Безуглая Э.Ю., Клинго В.В. Статистический метод оценки влияния метеорологических условий на содержание примесей в атмосфере. // Труды ГГО – 1974. – № 314. – С.81-96.
6. Безуглая Э. Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. / Э. Ю. Безуглая, М. Е. Берлянд – Л.: «Гидрометеоиздат», 1983. – 153с.
7. Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. (ред.). Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: Справочное пособие. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983. - 328 с.
8. Безуглая Э.Ю., Бокова Т.И., Завадская Е.К. Качество воздуха в городах России. - С.-Пб., ГГО (репр.), 1996. - 14 с.
9. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К. Влияние загрязнения атмосферы на здоровье человека // Труды ГГО. — 1998.— Вып. 549. — С. 171—199.
10. Безуглая Э.Ю., Сонькин А.Р. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в городах Советского союза // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1971. - С. 241-252.

11. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Т.Л., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. - Л.: Гидрометеиздат, 1991.-251 с.
12. Безуглая Э.Ю. и др. Состояние и перспективы сети мониторинга загрязнения атмосферы в городах // Труды ГГО - 1998.- Вып.549 - С. 3-10.
13. Безуглая Э.Ю. и др. Пространственные и временные изменения концентраций оксидов азота в атмосфере // Труды ГГО. - 1998. - Вып. 549. - С. 46-66.
14. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды: Учебное пособие. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 286 с.
15. Берлянд М.Е., Оникул Р.И. К обобщению теории рассеивания промышленных выбросов в атмосферу. // Труды ГГО. – 1971. –№ 254. – С.38.
16. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. / М.Е. Берлянд – Л.: «Гидрометеиздат»,1975 — 448с.
17. Венская конвенция об охране озонового слоя [Электронный ресурс]. – URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Венская_конвенция_об_охране_озонового_слоя (дата обращения 27.01.2017).
18. Визенко О.С. Потенциал рассеивающей способности атмосферы Прибайкалья. // География и природные ресурсы. – 1993. – № 1. – С.55.
19. Влияние внешних и внутренних источников загрязнения атмосферы на территорию Белгородской области при трансграничном переносе загрязняющих веществ: Доклад. - Белгород, 1997. - 83 с.
20. Воздействие передвижных источников на качество атмосферного воздуха городов / О.С. Егорова, Э.В. Гоголь, Р.Р. Шипилова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №16. – С. 71-74.

21. Волкодаева М.В. Научно-методические основы оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб, 2009. – 35 с.
22. Гаврилов А.С. Методика расчета выбросов; в атмосферу загрязняющих; веществ автотранспортом на городских магистралях. / А.С. Гаврилов. – М., 1996. –22с.
23. Гаврилов, А.С. Прогноз и климатологический анализ характеристик атмосферы, определяющих рассеяние антропогенных загрязнений. // Естественные и технические науки – 2008. – № 6. – С.221 – 225.
24. Германова Т.В., Керножитская А.Ф. Загрязнение атмосферного воздуха города автомобильным транспортом на примере Тюмени // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 2. – С. 26-29.
25. Гордеев Л.Ю., Корнилов А.Г., Полетаев А.О. О влиянии автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в горнопромышленных и селитебных районах региона КМА // Научные ведомости БелГУ. – 2015. – № 9 (206). – С. 168-175.
26. Государственный доклад «Об экологической ситуации в Белгородской области в 2014 году» // Правительство Белгородской области, Департамент природопользования и окружающей среды, 2014 г. – С.15.
27. Григорьев Г.Н., Лебедева М.П., Крымская О.В. Влияние атмосферной циркуляции на загрязнение воздуха в Центрально-Черноземном районе: Методические рекомендации. - Белгород, 2000 - 20 с.
28. Ежегодники состояния загрязнения воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров Советского Союза за 1986-1990 гг., Т.1. – Л.: Гидрометеиздат. – 1987-1991. – 344с.
29. Зиброва Н.В. Геоэкологическая оценка кумулятивного эффекта локального загрязнения приземного слоя воздуха: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Воронеж, 2005. – 23 с.
30. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) [Электронный ресурс]. – URL: <http://moreprom.ru/article.php?id=56> (дата обращения 18.05.2018).

31. Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет (1988-1997)/ Под ред. Э.Ю. Безуглой. - СПб.: Гидрометеиздат, 1999. - 144 с.
32. Киотский протокол [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Киотский_протокол (дата обращения 14.12.2017).
33. Крымская О.В. Анализ и оценка влияния атмосферной циркуляции на загрязнение воздуха в Центрально-Черноземном регионе: Автореф. дис. канд. географ, наук. - Воронеж, 1999. - 20 с.
34. Крымская О.В., Лебедева М.Г., Бузакова И.В., Сторожилова Е.Ю. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферного воздуха в Белгородской области//Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. №4(225), вып.34. - С.124-130.
35. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Качество атмосферного воздуха в городах Центрально-черноземного региона: Учебное пособие. - Белгород, 2003. - 74 с.
36. Лебедева, М.Г. Экология региона. Ч.3. Экологическая климатология и климатические ресурсы Центрально – Черноземного региона. / М.Г.Лебедева, О.В. Крымская, – Белгород: «ИПК НИУ «БелГУ»», 2008. – 196с.
37. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. Учеб./Под ред. В. Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2001. - 273 с.
38. Магарил Е.Р., Локетт В.Н. Основы рационального природопользования: учеб. пособие. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 526 с.
39. Мазулина О.В., Полонский Я.А. Экологический мониторинг атмосферного воздуха // Инновации в науке. – 2012. – № 9. – С. 31-36.
40. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу от автотранспорта./ Министерство природных ресурсов РФ. – М.,2003 – 45с.

41. Методические указания по расчету выбросов вредных веществ автомобильным транспортом. – М.: «Гидрометеиздат» 1983 – 15с.
42. Миланова Е.В. Географические аспекты охраны природы. / Е.В. Миланова, А.М. Рябчиков, – М.:«Мысль» 1979 – 293с.
43. Миронов А.А. Изучение загрязнения атмосферного воздуха от автотранспортных потоков в условиях городских территорий: на примере города Чебоксары Чувашской Республики: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Чебоксары, 2009. – 14 с.
44. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: Учебное пособие для вузов, средних школ и колледжей. - М.: Фаир - Пресс, 2000. - 320 с.
45. Новости высоких технологий. Исследования. Загрязнение воздуха убивает 5,5 миллиона человек в год [Электронный ресурс]. – URL: <https://hi-news.ru/research-development/zagryaznenie-vozduxa-ubivaet-55-milliona-chelovek-v-god.html> (дата обращения 26.01.2017).
46. Нуман Н.Л. Исследование и разработка методов регулирования загрязнения городского воздуха, вызванного автомобильным транспортом: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб, 1996. – 12 с.
47. 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 – 54с.
48. Отчет о научно-исследовательской работе по теме 1.4.3.15 [Электронный ресурс].URL: http://sibnigmi.ru/documents/spisok_EGISU.pdf (дата обращения 14.07.2017).
49. Отчет о научно-исследовательской работе по теме 1.4.3.15 [Электронный ресурс].URL: http://sibnigmi.ru/documents/papers_v106.pdf (дата обращения 16.07.2014).
50. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов: ГОСТ 17.2.3.01 – 86 – Введ.01.01.1987. – М., – 35с

51. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/1798671/page:6/> (дата обращения 01.02.2018).
52. Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г. Метеорологический потенциал самоочищения и качество атмосферного воздуха в Казани в последние десятилетия // Вестник Удмуртского Университета, 2012. - №3.
53. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. – СПб. 2008. – 438с.
54. Полетаев А.О., Корнилов А.Г. Проблемы оценки экологического состояния воздуха // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2017. – Т. 38. – № 4 (253). – С. 126-132.
55. Рекомендации по определению метеорологического потенциала атмосферы Сибирского экономического района. / Ответст. исполнитель Т.С. Селегей. – Новосибирск, 1987.
56. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Госкомгидромет СССР, 1991. – 693 с.
57. Селегей Т.С., Юрченко И.П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы. // География и природные ресурсы. – 1990. № 2. – С.132 – 137.
58. Селегей Т.С., Зинченко Г.С., Безуглова Н. Н. Учет метеорологического потенциала самоочищения атмосферы при решении задач промышленного освоения территорий // Ползуновский вестник. - 2005. - № 4 (Ч.2). - С. 119-121.
59. Селегей Т.С. Формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах Сибири. / Т.С. Селегей – Новосибирск: «Наука» 2005, – 347с.
60. Селегей Т.С. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы Сибирского экономического района // Тр. Зап. Сиб. НИИ. 1989. Вып. 86. С. 84-89.

61. Сидоренко Г. И., Пинигин М.А. Обоснование принципов установления максимально допустимых нагрузок воздействия на человека.//Гиг. и сан.1981,2-С.57 – 62.
62. Сидоренко И.В. Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2008. – 20 с.
63. Система государственного мониторинга состояния и загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. – URL: <http://refleader.ru/jgernajgejgebew.html> (дата обращения 12.12.2017).
64. Словарь «Что есть что в мировой политике». Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК ООН) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.wehse.ru/cgi-bin/wpg/wehse_wpg_show_text_print.pl?term1304500755 (дата обращения 27.01.2017).
65. Смирнова И.В. Методология оценки достоверности и интерпретация результатов наблюдений за концентрациями примесей в атмосфере городов России: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – СПб, 2007. – 20 с.
66. Сонькин Л.Р. Синоптико-статический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. - JL: Гидрометеиздат, 1991. - 223 с.
67. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 1995 году: Ежегодный доклад. - Белгород, 1996. - 78 с.
68. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 1997 году: Ежегодный доклад. - Белгород, 1998. - 101 с.
69. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 1998 году: Ежегодный доклад. - Белгород, 1999. — 114 с.
70. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 1999 году: Ежегодный доклад. - Белгород, 2000. - 130 с.
71. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 2001 году: Ежегодный доклад. - Белгород, 2002. - 95 с.

72. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2008 году: справочное пособие/ред. С.В. Лукин. – Белгород: КОНСТАНТА, 2009. - 248 с.
73. Федеральный закон "Об охране атмосферного воздуха" [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ (дата обращения 12.12.2017).
74. Филатова Е.Н. Моделирование загрязнения атмосферы по оперативным данным: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – СПб, 2005. – 20 с.
75. Царев А.М. К вопросу о загрязнении воздуха при туманах // Труды ГГО. - 1975. - Вып. 352. - С. 113-118.
76. Экология города / В.В. Денисов, А.С. Курбатова, И.А. Денисова [и др.]. – М.: Изд. центр «МарТ», 2008. – 832 с.
77. Gorchakov G., Semoutnikova E., Karpov A., Lezina E. Air Pollution in Moscow Megacity // Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies. Intech. – 2011. – P. 211-236 (www.intechopen.com).
78. Seinfeld J.H., Padi S.N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. – New York: John Wiley & Sons, Inc. Second Edition. – 2006.-1225p.