

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Особенности параметров самоочищения атмосферы в некоторых городах  
Нижнего Поволжья**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 225 группы

направления 05.04.05 –Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Колесовой Дарьи Олеговны

Научный руководитель,

доцент, к.г.н.

Н.В.Короткова

Заведующий кафедрой,

д.ф.-м.н.

М.Б. Богданов

Саратов 2018

**Введение.** С развитием науки и производства людям удалось поставить на службу собственным материальным и духовным интересам природные богатства. Научно-технический прогресс, подарил человечеству не только пользу, он добавил в окружающую нас среду немало нежелательных отходов производства. Самим фактом своего быстрого развития, своей техникой, своими необдуманными по отношению к природе действиями научно-технический прогресс катастрофически быстро разрушает благоприятное состояние природной среды, которая обеспечивает жизнеспособность человека.

Разрушение благоприятного состояния природной среды происходит настолько быстрыми темпами, что естественная самовосстанавливающая сила природы не успевает адаптироваться к возникающим под воздействием человеческого вмешательства изменениям, и в ее состоянии возникает опасный дисбаланс, грозящий природными катастрофами, которые мы в последнее время все чаще наблюдаем [1].

Приволжский регион отличается высоким уровнем загрязнения атмосферы и вод. По степени загрязнения атмосферы Поволжье не уступает Центральной России. Наибольший вред атмосферному воздуху Поволжья наносят объекты теплоэнергетики, машиностроительной, химической, транспортной и нефтехимической промышленности, большая сеть трубопроводов. Самара, Саратов и Волгоград являются крупными центрами машиностроения. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Волгоград, Самара, Саратов и Астрахань входят в список городов с высоким индексом загрязнения атмосферы.

В данной работе анализировался метеорологический потенциал самоочищения атмосферы крупнейших городов Нижнего Поволжья: Саратов, Самара, Астрахань, Волгоград. Предметом исследования являлись метеорологические факторы загрязнения воздушной среды указанных выше городов за период 2014-2016 гг. Целью исследования было выявить

особенности местного метеорологического режима и оценить способность крупнейших городов Поволжья к самоочищению.

**Основное содержание работы.** Хозяйственная деятельность неизбежно влечет за собой изменение естественного состава атмосферного воздуха за счет поступления в него выбросов вредных веществ техногенного происхождения. Изменения состояния окружающей среды связаны с воздействием на неё загрязняющих веществ, поступающих от промышленных предприятий и автотранспорта в атмосферу, гидросферу и почву. Объемы выброса зависят от режима и интенсивности работы предприятий, их технологических особенностей количества и состояния автотранспортных средств, напряженности их движений, состава используемого топлива. Один из самых простых и не затратных способов решения экологической проблемы это регулирование время и объема выбросов предприятий в соответствии с синоптической обстановкой, т.е. с метеорологическими условиями в данном районе. Перенос и рассеивание, время сохранения примесей в атмосфере зависят от множества факторов, основным из которых являются метеорологические условия. Вредные вещества, поступающие в атмосферу от антропогенных источников, вымываются осадками и переносятся ветром на значительные расстояния от места выброса. В связи с этим решение задачи сохранения чистоты атмосферного воздуха городов в значительной степени зависит от понимания роли метеорологических условий и правильного учета способности атмосферы рассеивать и удалять поступающие в нее вредные вещества, т.е. способности атмосферы к «самоочищению» [3]. Исследования метеорологических условий, оказывающих наибольшее влияние на самоочищение атмосферы, анализ их годового хода и повторяемости необходимы для выполнения мероприятий по регулированию и снижению выбросов в атмосферу в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

**Влияние скорости и направления ветра на загрязнение.** Огромное влияние на микроклимат города оказывает ветровой режим, он обеспечивает

проветриваемость городской территории и рассеивание примесей в атмосфере. В каждом городе, и даже в различных районах города под влиянием физико-географических условий и особенностей городской застройки формируется свой особый ветровой режим, отличающийся от фонового ветра. В городах, где источники выбросов расположены в одном районе, наибольшая фоновая концентрация примеси будет наблюдаться при ветрах со стороны этих источников. Если источники выбросов рассредоточены по территории города, то концентрация примесей мало зависит от направления ветра. Максимальная концентрация обычно создается на расстоянии, кратном 10-20 высотам труб источника выбросов. Принимая во внимание эти факторы, необходимо при проектировании размещения промышленных предприятий и жилых кварталов учитывать повторяемость различных направлений ветра (роза ветров), особенно со стороны предприятий, и расстояние до предприятия.

Обязательно учитывать не только направление, но и скорость ветра. Выбросы низких и неорганизованных источников при слабых ветрах представляют опасность для населения, так как скапливаются в приземном слое атмосферы. Высокие концентрации примесей при слабых скоростях ветра встречаются чаще, чем при сильных. Наибольшие концентрации примесей в городах наблюдаются при скорости ветра 0 – 1 м/с [3, 4].

**Влияние инверсий и изотермии температуры на загрязнение.** Наличие инверсии температуры способствует формированию неблагоприятной погодной ситуации, характеризующей особенности стратификации нижнего слоя тропосферы. Приземные и приподнятые инверсии температуры, имеющие устойчивую стратификацию, являются задерживающими слоями, они препятствуют распространению примесей в атмосфере. Если непосредственно над трубой источника выбросов располагается слой приподнятой инверсии, то в приземном слое атмосферы они способствуют формированию опасных условий загрязнения, т.к. инверсионный слой способствует их опусканию и накоплению вредных

примесей в приземном слое. Если слой приподнятой инверсии располагается на достаточно большой высоте от труб промышленных предприятий, то опасных условий он не создает, т.к. концентрация примесей не будет сильно увеличиваться. Слой инверсии, расположенный ниже уровня выбросов, препятствует их переносу к земной поверхности. Выбросы загрязнений выше инверсии, способствуют переносу техногенных примесей на большие расстояния, и хотя не способствуют формированию опасных метеорологических условий в данном месте, для удаленных территорий возникает опасность значительного загрязнения. В городских условиях накопления примесей при наличии большого числа низких источников выбросов, создаются при приподнятых инверсиях, особенно если температура выбросов ниже температуры окружающего воздуха [3, 4, 8].

**Влияние осадков на формирование уровня загрязнения.** Условия благоприятные для самоочищения атмосферы характеризуются большой повторяемостью дней с осадками. Чем больше количество осадков, тем эффективней процесс очищения воздуха. Ливневые осадки больше очищают воздух, чем обложные. После очищения городского воздуха осадками, восстановление уровня загрязнения воздуха происходит в течении определённого времени, примерно в течение нескольких часов.

**Влияние туманов на формирование уровня загрязнения.** В условиях туманов возрастает накопление примесей в атмосфере, обусловленное слабыми ветрами и инверсиями в большой толще атмосферы. Капли тумана поглощают вредные вещества и способствуют накоплению в данном месте, примесей из весьма протяженного слоя, что существенно увеличивает суммарное загрязнение воздуха вблизи подстилающей поверхности. При растворении примесей иногда образуются новые более вредные вещества.

**Потенциал загрязнения атмосферы.** Сочетание метеорологических условий, предопределяющих рассеивание (накопление) примесей, которые поступают в виде выбросов от промышленных предприятий и автотранспорта,

называют потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА) либо рассеивающей способностью атмосферы.

Э.Ю. Безуглой [12, 13] был предложен потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), основанный на использовании климатической информации. Он показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, обусловленный реальной повторяемостью метеорологических условий, будет выше, чем в условном при заданных выбросах. За условный район принимается район с минимальными выбросами.

$$\text{ПЗА} = g_i/g_o, \quad (1.1)$$

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

Использование и обработка специальной климатологической информации, включающей данные от аэрологических и метеорологических станций, позволила оценить потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) и создать карту распределения ПЗА, которая используется в нормативных документах для учета климатических факторов при строительстве промышленных объектов.

На территории России выделяют пять зон с различными условиями рассеивания примесей: низкий ПЗА (менее 2,4), умеренный (2,4-2,7), повышенный (2,7-3,0), высокий (3,0-3,3) и очень высокий (более 3,3). Низкий потенциал загрязнения наблюдается на северо-западе Европейской части России (зона I и II). Особенно неблагоприятные условия для рассеивания (очень высокий потенциал) создаются в Восточной Сибири (зона V). Наибольший потенциал загрязнения атмосферы характерен для Магаданской области и Якутии, а также севера Читинской области.

**Организация наблюдений за загрязнением атмосферы.** Важная задача, осуществление наблюдений за загрязнением атмосферы городов возложена на территориальные подразделения Росгидромета, Роспотребнадзора и

предприятия, деятельность которых оказывает негативное воздействие на атмосферу. Мониторинг атмосферного воздуха – система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и за происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения [27].

Мониторинг и контроль состояния атмосферного воздуха обеспечивают посты наблюдений: стационарные, маршрутные и передвижные.

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха производится путем сравнения концентраций вредных примесей, содержащихся в воздухе, с гигиеническими нормативами.

В России мониторинг состояния атмосферного воздуха организациями Росгидромета ведется с 1965 г. По состоянию на 2016 г. регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводились в 223 городах на 620 станциях, в целом эпизодические и регулярные наблюдения проводились в 243 городах на 678 станциях[29].

Приволжский регион отличается высоким уровнем загрязнения атмосферы и вод. По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Саратов, Самара, Астрахань и Волгоград входят в список городов с высоким индексом загрязнения атмосферы.

Саратов является областным центром, крупным промышленным городом. Основными источниками загрязнения атмосферы являются: предприятия по производству электроэнергии, газа и воды, транспорта и связи, по производству нефтепродуктов, предприятия химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, пищевой, деревообрабатывающей промышленности, предприятий обрабатывающего производства, более 70% суммарных выбросов поступает от автотранспорта. Мониторинг состояния воздушной среды города осуществляют 6 пунктов наблюдения.

Основная доля выбросов промышленных предприятий в атмосферу города приходится на ООО «Саратоворгсинтез», ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод» и др.

Самара является крупным промышленным центром Среднего Поволжья, характеризуется повышенным уровнем загрязнения воздуха, средние концентрации аммиака и бензапирена превышают ПДК [27]. Промышленные предприятия расположены по всей территории города. Основными источниками загрязнения атмосферы являются автомобильный и железнодорожный транспорт, предприятия топливно-энергетической, строительной, нефтеперерабатывающей, машиностроительной, металлургической, авиаприборостроительной отраслей промышленности. Мониторинг атмосферного воздуха осуществляется 15 постами наблюдений, расположенных в разных районах города.

Астрахань также является крупным промышленным центром, основными источниками загрязнения воздушной среды являются предприятия теплоэнергетики, нефтехимической, топливной, лесной промышленности, производства строительных материалов, рыбного хозяйства, а также железнодорожный, водный и автомобильный транспорт. Предприятия расположены по берегам р.Волги. Уровень загрязнения воздуха оценивается как повышенный. На территории города организовано 5 постов наблюдений.

В г.Волгограде основными источниками выбросов вредных веществ в атмосферу являются предприятия черной и цветной металлургии, сельскохозяйственного и нефтяного машиностроения, нефтехимии и химии, электроэнергетики, а также железнодорожный, автомобильный и водный транспорт. Уровень загрязнения в городе повышенный. Сеть мониторинга воздушной среды города состоит из 4 постов.

Наблюдения в городах проводятся по неполной программе в 07, 13, 19 часов местного времени за содержанием в воздухе концентраций: аммиака, диоксида азота, формальдегида, фторида водорода, бензапирена, диоксида серы, оксида углерода, взвешенных веществ и других специфических примесей.

**Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы.** Атмосфера, как и вся природная среда, обладает способностью самоочищения. Перенос и рассеивание, время сохранения примесей в атмосфере зависят от

множества факторов, основным из которых являются метеорологические условия. В связи с этим решение задачи сохранения чистоты атмосферного воздуха городов в значительной степени зависит от понимания роли метеорологических условий и правильного учета способности атмосферы рассеивать и удалять поступающие в нее вредные вещества, т.е. способности атмосферы к «самоочищению» [3, 33]. Исследования метеорологических условий, оказывающих наибольшее влияние на самоочищение атмосферы, анализ их годового хода и повторяемости позволяют оценить условия микроклимата города для рассеивания примесей в воздушной среде.

Установлено [34], что скорость ветра, при которой вредные вещества выносятся из города, должна быть не менее 6 м/с.

Осадками, способными очистить атмосферу от загрязнения, считается величина  $\geq 0,5$  мм в сутки.

Для того, чтобы детализировать картину метеорологического потенциала самоочищения атмосферы, оценить вклад метеорологических величин и явлений в формирование уровня загрязнения воздуха, был выведен параметр коэффициента самоочищения атмосферы [4, 5, 6, 7], который определяется как отношение повторяемости условий, способствующих удалению примесей, к повторяемости условий, способствующих накоплению примесей в атмосфере.

$$K' = (P_v + P_o / P_{ш} + P_{ин}). (1)$$

где  $P_{ш}$ ,  $P_{ин}$ ,  $P_o$ ,  $P_v$  – повторяемость скоростей ветра 0–1 м/с, дней с инверсией, дней с осадками  $\geq 0,5$  мм и скоростей ветра  $\geq 6$  м/с соответственно.

При  $K' \leq 0,25$  складываются условия крайне неблагоприятные для рассеивания, при  $0,25 < K' \leq 0,4$  - неблагоприятные, при  $0,4 < K' \leq 0,8$  - 18 относительно неблагоприятные, при  $0,8 < K' \leq 1,25$  - относительно благоприятные и при  $K' > 1,25$  - благоприятные условия.

**Повторяемость метеорологических величин, определяющих потенциал самоочищения атмосферы.** Анализ годового хода метеорологических величин, характеризующих условия накопления и

рассеивания примесей, позволяет оценить их вклад в формирование уровня загрязнения.

Для анализа повторяемости скоростей ветра, повторяемости дней с осадками были использованы наблюдения с метеорологических станций за 8 сроков за 2014-2016 гг. Данные взяты с сайта «Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных». Повторяемость инверсий рассчитывалась по данным аэрологических наблюдений, взятых с сайта «Университета Вайоминга». После обработки данных были составлены таблицы и построены графики повторяемости слабый скоростей ветра, повторяемости инверсий, повторяемости дней с ветром  $\geq 6$  м/с и осадками  $>0,5$  мм. В соответствии с графиками были сделаны следующие выводы:

1) самая низкая повторяемость штилей наблюдается в Волгограде 2-4 %, слабые повышения до 6 % наблюдаются в теплый период с мая по сентябрь. В 2014 и 2015 гг. в г. Волгограде наблюдались более благоприятные условия для рассеивания, в то время как в 2016 г. повторяемость дней со скоростью ветра 0-1 м/с была выше. Саратов и Астрахань имеют примерно одинаковый годовой ход в пределах от 14 до 40 %, с максимумом в теплый период (май-октябрь), особенно в летние месяцы. В Самаре распределение в течение года повторяемости скорости ветра 0-1 м/с примерно такое же, как в Саратове и Астрахани, но повторяемость застойных ситуаций выше от 28 до 56 %.

2) наибольшее количество инверсий наблюдается в летний период и локальный рост в ноябре. В зимний период наблюдается уменьшение повторяемости ПЗС, также локальный минимум наблюдается в апреле в Саратове и Волгограде. В целом за период 2014-2016 гг. повторяемость ПЗС Самаре и Астрахани составляет 90-97%, что несколько выше, чем в Саратове и Волгограде, где повторяемость составляет 85-95%. Также следует отметить, что за рассматриваемый период в ночные часы приземные задерживающие слои в городах Нижнего Поволжья наблюдались почти ежедневно.

3) повторяемость дней с осадками  $\geq 0,5$  мм примерно одинакова во всех городах - в зимние месяцы отмечается максимум, в летние месяцы – минимум. В Астрахани в течение всего года повторяемость осадков  $\geq 0,5$  мм ниже, чем в остальных городах, в феврале отмечается уменьшение повторяемости до 7 %. Наиболее высокие показатели наблюдается в г. Самаре, до 53 % в зимние месяцы. Распределение повторяемости дней с осадками отдельно в течение каждого года представлено в таблицах 3.1 -3.4.

4) наиболее благоприятные условия для очищения атмосферы от вредных примесей путем выветривания наблюдаются в Волгограде, где в зимние месяцы повторяемость дней со скоростью ветра  $\geq 6$  м/с достигает 50% и более. В Самаре отмечается низкая повторяемость дней сильным ветром, ровный ход в течение всего года, за исключением небольшого увеличения до 4% в холодный период. В Саратове и Астрахани повторяемость более 10% отмечается в декабре и в весенние месяцы, минимум в летний период, до 2% в августе.

**Расчет коэффициента самоочищения атмосферы.** Также по данным был рассчитан коэффициент самоочищения рассматриваемых городов за период 2014-2016 гг. В г. Астрахани наиболее высокие значения параметра  $K'$  отмечаются весной (март, апрель, май) и в декабре. В эти месяцы параметр  $K'$  достигает значений 0,25 и выше, что соответствует неблагоприятным условиям, в остальные месяцы в Астрахани складываются крайне неблагоприятные условия для самоочищения атмосферы, т.к. согласно приведенным выше графикам именно в эти месяцы реже наблюдаются дни с сильными осадками и ветром. В течение года и осредненный за год параметр  $K'$  в Астрахани ниже, чем в остальных городах, это можно объяснить физико-географическим положением города. Астраханская область находится в Прикаспийской низменности, т.е. преобладающая часть территории расположена в планетарной впадине, что способствует уменьшению повторяемости сильных ветров, способствующих рассеиванию примесей в атмосфере. В Самаре, Волгограде и Саратове годовой ход примерно одинаковый, зимой наблюдаются повышение параметра  $K'$ , за счет увеличения повторяемости дней с сильными осадками и

ветром, летом условия для рассеивания примесей неблагоприятные, т.к. чаще наблюдались застойные ситуации, увеличилась повторяемость ПЗС.

Возможно, этому способствует и синоптическая обстановка, так как через Саратов, Волгоград и Самару чаще проходит траектория перемещения циклонов, тогда как Астрахань чаще остается в области малоградиентного поля, способствующего неблагоприятным застойным ситуациям.

Наиболее высокие значения коэффициента самоочищения атмосферы отмечаются в декабре, январе, апреле и марте в г. Волгограде. В эти месяцы параметр достигал значений 0,8 и выше, что соответствует относительно благоприятным условиям самоочищения. В г. Волгограде в течении всего года значения параметра  $K$  выше, чем в остальных городах. Отчасти это можно также объяснить более выгодным физико-географическим расположением. Город Саратов находится в котловине, что способствует увеличению повторяемости застойных ситуаций. Город Самара также расположен в умеренно холмистой местности, что оказывает влияние на перераспределение воздушных потоков. Город Волгоград расположен на Приволжской равнине, где нет значительных препятствий для воздушных потоков. Повторяемость сильного ветра в г. Волгограде намного выше, чем в остальных городах, что способствует более благоприятным условиям для самоочищения атмосферы.

Связь синоптических условий с показателем коэффициента самоочищения атмосферы в 2014-2016 гг. на примере г. Саратова. Кроме физико-географического положения и особенностей застройки города, формирование метеорологических условий в большей степени обусловлено синоптическими процессами, наблюдаемыми на территории города. Для России неблагоприятными для рассеивания примесей в атмосфере являются следующие синоптические ситуации: малоподвижный антициклон или гребень, малоградиентное барическое поле, западная и северо-западная периферии антициклона [38]. Циклонический характер барического поля обуславливает формирование условий благоприятных для рассеивания примесей в атмосфере.

В зимний период чаще всего наблюдался циклонический характер поля, 51%, в то время как ситуации способствующие накоплению вредных примесей в атмосфере наблюдались значительно реже, особенно хорошо это видно на примере малоградиентного поля, всего 5%. Неблагоприятные синоптические ситуации (антициклон и малоградиентное поле), формирующие условия застоя воздуха в воздушной среде города наблюдались весной, чаще летом, более 60%. Наиболее ярко это видно по увеличению повторяемости малоградиентного поля. Так синоптическая обстановка влияет на формирование и распределение в течение года благоприятных и неблагоприятных метеорологических условий, формирующих уровень загрязнения воздушной среды города.

Если рассматривать изменение параметра самоочищения атмосферы в течение каждого года отдельно, то можно увидеть, что в разные годы формируются различные условия благоприятные и неблагоприятные для повышения параметра  $K$ , в большей степени это связано с различными синоптическими ситуациями, наблюдаемыми в отдельные годы. Резко выделяется несколько максимумов, т.е. складывались условия благоприятные для самоочищения воздушной среды города. В 2014 наблюдался резкий переход, если в мае параметр составлял 0,1 то в июне он возрос до 0,47. Это связано с тем, что в мае 2014 года неблагоприятные синоптические ситуации (антициклоническое и малоградиентное барическое поле) наблюдались в 80% случаев, то в июне повторяемость циклонических ситуаций наблюдалась в 53% случаев, что подтверждает тесную связь параметра  $K$  с синоптической ситуацией.

В 2015 году наиболее благоприятные условия наблюдались в ноябре и декабре, параметр  $K$  достигал значений выше 0,8, что является показателем относительно благоприятных условий для рассеивания примесей в атмосфере. В ноябре 2015 г. более половины месяца (18 дней) преобладал циклонический характер погоды, в декабре 2015 г. неблагоприятные синоптические условия (антициклон и МГП) наблюдались всего в течение 10 дней, что и

способствовало формированию метеорологических условия, благоприятствующих повышению параметра самоочищения атмосферы города.

В 2016 году наиболее высокие значения параметра К наблюдались в феврале и сентябре, что хорошо видно на рисунке 3.5. В феврале 2016 года больше половины месяца (16 дней) господствовал циклонический характер погоды, который обуславливает низкий уровень загрязнения в городе. В сентябре 2016 г. 23 дня наблюдалось преобладание циклонического барического поля, более 70 %.

Таким образом очевидна прямая связь параметра коэффициента самоочищения атмосферы с синоптическими условиями, так как кроме физико-географического положения и условий застройки города, именно синоптическая ситуация в большей степени влияет на формирование метеорологических условий на территории города.

**Заключение.** Сравнительный анализ коэффициента самоочищения атмосферы, рассчитанный для городов: Саратов, Самара, Астрахань, Волгоград, за период 2014-2016 гг., показал, что в рассматриваемых городах имеются ограниченные возможности к самоочищению. Сложные физико-географические условия и микроклиматические особенности формируют различный потенциал самоочищения. В Саратове, Самаре и Астрахани климатические условия неблагоприятные для рассеивания вредных примесей в атмосфере, в Волгограде за счет особенностей местного ветрового режима, климатические условия характеризуются слабой рассеивающей способностью. Относительно высокие параметры самоочищения атмосферы во всех рассматриваемых городах наблюдаются в холодный период года. Кроме физико-географических особенностей и условий застройки города, метеорологические условия, формирующие уровень загрязнения воздушной среды города, в большей степени зависят от синоптической ситуации, наблюдаемой на территории города.