

УДК 628.395 : 551.518.8.001.5

**О СВЯЗЯХ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО
БАССЕЙНА С ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ**

Канд. геогр. наук А. В. Белый

Рассмотрена междусуточная изменчивость температуры воздуха как мера смены погодных условий. Изложены основные результаты расчета корреляционных зависимостей между анализируемым критерием и показателями загрязненности атмосферы, а также другими параметрами метеорологических величин в г. Алматы. Обнаружены статистически значимые положительные тренды в рядах средних месячных и средних годовых значений междусуточной изменчивости температуры воздуха, и сделаны выводы об улучшении условий самоочищения воздушного бассейна города. Предложено использовать характеристику изменчивости погоды для прогноза уровня загрязненности атмосферы.

Погода в любой точке Земли определяется синоптическими объектами: воздушными массами и переходными зонами между ними, циклонами и антициклонами, атмосферными фронтами и др. С их возникновением, эволюцией и перемещением связаны наиболее существенные непериодические изменения погоды в том или ином районе, резко нарушающие обычный суточный и годовой ход. К ним относятся, например, потепление ночью или оттепель среди морозной зимы, усиление ветра при средней его незначительной скорости или обильные осадки после долгого их отсутствия. Смена погоды сопровождается колебаниями совокупности значений метеорологических величин, важнейшими из которых являются температура и влажность воздуха, атмосферное давление, ветер, облачность, атмосферные осадки и явления. Этот факт имеет определенное экологическое значение, связанное с тем, что уровень загрязнения воздушного

бассейна существенно зависит от метеорологических условий в данный период времени. Известно, например, что концентрации вредных примесей в городском воздухе существенно возрастают при слабом ветре, тумане, наличии температурных инверсий, особенно характерных при антициклонах, и т. п. [2, 9, 13].

Изменение погоды, сопровождаемое колебаниями различных метеорологических величин, должно способствовать уменьшению значений концентрации поллютантов в воздухе, так как процессы самоочищения более активно протекают в нестабильной атмосфере. Выпадение осадков, усиление ветра, разрушение температурных инверсий, зачастую наблюдаемые при изменениях погодных условий, активизируют процессы самоочищения воздушного бассейна [8, 14]. При частой смене погоды этот фактор будет оказывать влияние и на формирование среднего уровня загрязненности атмосферы, например за месяц, сезон и т. п. Для обоснованности приведенных выше рассуждений нами были изучены некоторые аспекты изменчивости погоды на примере города Алматы. Первая проблема заключалась в том, как проследить изменчивость погодных условий.

В широком смысле слова, изменчивость – это свойство физической величины отклоняться от нормального, стандартного, репрезентативного, среднего значения или степень этого отклонения. Показателями изменчивости чаще всего могут служить дисперсия, среднее квадратическое отклонение, абсолютное отклонение. Погода является комплексной характеристикой состояния атмосферы в данное время и в данном месте, и оценка ее изменчивости связана с определенными трудностями. Наибольшее распространение получил в свое время метод комплексной климатологии [10, 12], основанный на исследовании структуры климата через повторяемость различных классов погоды. Все многообразие наблюдаемой погоды анализируется путем ее классификации, построенной на морфологической основе. Эта классификация содержит обычно 16 классов погоды, входящих в группы безморозной погоды, погоды с переходом через 0°C и морозной погоды. В свою очередь, каждый класс подразделяется на погоду с ветром и без него, с облачностью днем и без таковой и т. п. С помощью этого метода можно оценить изменчивость погоды для определенного региона, проанализировав повторяемость ее классов за конкретный срок наблюдений. Для территории Казахстана такие иссле-

дования нашли свое отражение в работах А. А. Чубукова, Ю. Н. Шваревой, И. А. Афанасьевой и др. [1, 7]. Однако этот метод требует большого объема исходной информации и в каждом случае — детального исследования.

При другом подходе изменчивость погоды можно оценивать через отдельные метеорологические величины, являющиеся ее "индикаторами". В частности, анализируемый суточный размах колебаний температуры воздуха, т.е. разность между ее максимумом и минимумом за сутки, дает некоторые представления о погодных условиях. Так, при ясной погоде он на порядок больше, чем при пасмурной. Вообще, температура воздуха как характеристика погоды имеет большое индикативное значение и ее ход тесно связан со сменой погодных условий в целом [11]. Изменчивостью любой метеорологической величины является климатическая характеристика ее неперiodических колебаний в данном месте. Для температуры воздуха, например, такой характеристикой может служить междусуточная изменчивость, которая представляет собой разность температуры воздуха от одних суток к другим, полученная из абсолютных значений отдельных ее замеров. Суточный ход при этом исключается тем, что берутся разности значений температуры за один и тот же срок наблюдений или средние суточные.

Для анализа связи междусуточной вариации температуры воздуха и изменения погодных условий рассмотрим, например, ситуацию в октябре 1990 года. В этом месяце в течение 25 суток подряд наблюдалась малооблачная без осадков погода с преобладающей температурой в дневное время 26–30 °С. Данный тип погоды можно отнести ко второму классу группы безморозных погод и охарактеризовать как "солнечную жаркую и сухую". Средняя суточная температура воздуха в основном удерживалась в пределах 18–21 °С. Весьма характерной для данного отрезка времени являлась очень малая изменчивость погоды от суток к суткам, что выражалось в постоянстве значений облачности, отсутствии осадков, сильного ветра и небольших колебаниях температуры воздуха. За рассматриваемый период ее отклонения от одних суток к другим находились в пределах 1,0 – 1,5 °С. В качестве противоположного примера можно рассмотреть ситуацию с погодой в мае 1993 г. В этот период она была весьма изменчива: температура воздуха в дневное время колебалась от 1 до 26 °С, средняя суточная

температура составила $14,7^{\circ}\text{C}$, а ее среднее квадратическое отклонение $5,2^{\circ}\text{C}$. Наблюдались перепады дневной температуры воздуха от одних суток к другим, достигающие 20°C . При этом число суток с осадками составляло 14, а с облачностью в дневное время – 22. Осадки, в том числе и снег, нередко сопровождалось усилением ветра до $7 - 9$ м/с. Междусуточная изменчивость температуры воздуха, осредненная за весь месяц, составила $5,07^{\circ}\text{C}$, являясь максимальным значением за год. Таким образом, при установившейся погоде колебания температуры воздуха между соседними сутками невелики – на порядок меньше, чем при значительных контрастах погодных условий. Следовательно, эту характеристику в самом общем варианте можно рассматривать как индикатор изменчивости погоды за определенный временной отрезок.

Затем вычислялась междусуточная изменчивость средней суточной температуры воздуха и ее значений за 15-часовой срок наблюдений, приблизительно характеризующих дневную температуру воздуха. Использовался материал наблюдений за период 1990-1995 гг. по МС Алматы, ОГМС. Средняя многолетняя междусуточная изменчивость дневной и средней суточной температуры воздуха составила $3,4^{\circ}\text{C}$ и $2,5^{\circ}\text{C}$ соответственно. Наибольшую повторяемость (64 %) имеют колебания температуры воздуха в пределах $0,1-3,0^{\circ}\text{C}$. В то же время весьма редки колебания температуры воздуха свыше 17°C , повторяемость которых, менее 1 %. В годовом ходе рассматриваемой характеристики наблюдаются два максимума – в мае и октябре-ноябре и два минимума – в летние месяцы и зимой – с декабря по февраль. Междусуточная изменчивость средней суточной температуры воздуха в периоды максимумов достигает значений $2,7 - 2,8^{\circ}\text{C}$, в периоды минимумов снижается до $1,8 - 2,1^{\circ}\text{C}$, а дневной температуры воздуха составляет $3,5 - 4,3^{\circ}\text{C}$ и $2,5 - 3,0^{\circ}\text{C}$ соответственно. Наиболее низкие значения этих показателей характерны для летних месяцев – июня и августа, $2,0 - 2,5^{\circ}\text{C}$.

Для определения зависимости между состоянием атмосферного воздуха и погодными условиями в г. Алматы рассчитывались парные коэффициенты корреляции (r) между полученными значениями междусуточной изменчивости температуры воздуха и показателями уровня загрязненности воздушного бассейна. В качестве последних

использовались максимально-разовые концентрации основных поллютантов и индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Вычисленные коэффициенты корреляции приведены в табл. 1. Как видно из представленных данных, в каждом месяце имеются статистически значимые отрицательные связи междусуточной изменчивости температуры воздуха со значениями максимальных концентраций тех или иных примесей. Наиболее часты связи с пылью и оксидом углерода (СО), а по времени - в осенний и весенний периоды. В летнее время года на фоне лучших условий самоочищения атмосферы, в частности усиления термической и динамической турбулентности, связи более редки. Зимой практически не обнаруживается связь с максимальными концентрациями пыли, что обусловлено, очевидно, наличием снежного покрова. Напротив, эти связи наиболее устойчивы весной, когда растительный покров только начинает формироваться, а на поверхности земли обнажается накопившаяся за зимний период масса твердых частиц, поднимающаяся в воздух и увеличивающая уровень его загрязнения. В этих условиях изменение погоды, сопровождающееся выпадением осадков, приводит к значительному очищению атмосферы.

Надо отметить, что отсутствие устойчивых связей в отдельные месяцы по ряду ингредиентов, в том числе и по ИЗА, а также наличие положительных связей в феврале и сентябре по оксиду углерода и диоксиду серы указывает, по всей видимости, на разный характер изменчивости погодных условий. Так, например, процесс удаления оксида углерода из атмосферы связан в первую очередь с действием ветрового фактора, нежели осадков, что было отмечено нами при проведении исследований по влиянию атмосферных осадков на процессы самоочищения атмосферы в Алматинской области [4]. Эти же исследования показали различную эффективность очищающей способности твердых и жидких осадков. Поэтому, связи между рассматриваемыми величинами при изменениях погоды, сопровождающихся, к примеру, выпадением снега без усиления ветра, обнаруживаться, конечно, не будут. В дальнейшем при анализе подобных зависимостей необходим также учет смены различных классов погоды и их повторяемости, что будет являться предметом отдельных исследований автора.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции 5 %-го уровня значимости междусуточной изменчивости дневной (1) и средней суточной (2) температуры воздуха с максимально-разовыми концентрациями различных примесей и ИЗА за отдельные месяцы по данным стационарных постов по наблюдению за загрязнением воздуха в г. Алматы

Месяц	1					2				
	Пыль	СО	SO ₂	NO ₂	ИЗА	Пыль	СО	SO ₂	NO ₂	ИЗА
Январь	-	- 0,35	- 0,61	- 0,44	- 0,35	-	- 0,59	- 0,88	- 0,63	- 0,54
Февраль	-	0,60	-	-	-	-	-	-	- 0,93	-
Март	- 0,72	- 0,71	-	- 0,35	- 0,88	- 0,80	- 0,57	- 0,32	-	- 0,80
Апрель	- 0,50	-	- 0,46	-	-	- 0,40	-	- 0,40	-	-
Май	- 0,59	- 0,39	- 0,37	-	-	- 0,67	- 0,61	-	- 0,49	-
Июнь	-	-	-	-	-	- 0,51	-	-	- 0,41	- 0,42
Июль	- 0,53	- 0,63	-	- 0,35	- 0,56	- 0,39	- 0,39	-	-	- 0,35
Август	- 0,36	-	-	-	-	- 0,48	- 0,44	- 0,41	-	-
Сентябрь	-	0,60	-	- 0,66	-	-	- 0,61	- 0,70	- 0,75	-
Октябрь	- 0,51	- 0,85	-	- 0,72	- 0,83	- 0,51	- 0,84	-	- 0,70	- 0,80
Ноябрь	-	-	- 0,35	-	-	-	-	-	- 0,47	-
Декабрь	- 0,59	- 0,59	- 0,41	-	- 0,31	-	-	-	-	-

В ходе изучения данной проблемы были также проанализированы зависимости междусуточной изменчивости температуры воздуха с параметрами метеорологических величин, оказывающими влияние на уровень загрязненности воздушного бассейна.

Для этого, как и в предыдущем случае, рассчитывались парные коэффициенты корреляции. Прямые связи обнаружены для числа суток с осадками, а обратные – для повторяемости слабого (0 - 1 м/с) ветра, застоев воздуха и туманов. Для первой характеристики наиболее устойчивые зависимости ($r = 0,6 - 0,8$) получены для весенних и осенних месяцев, когда интенсивность осадков существенно возрастает, а изменение погодных условий сопровождается почти всегда их обильным выпадением. Значимые связи с повторяемостью слабого ветра (коэффициент корреляции составляет минус 0,60 - 0,85) характерны для зимы. В этот период года осадки менее интенсивны, выпадают в твердом виде и способность атмосферы к самоочищению напрямую связана с действием ветрового фактора. Такая же ситуация прослеживается и в отношении застоев воздуха, а также туманов.

В качестве иллюстрации рассчитанных зависимостей приведем диаграмму месячных аномалий числа суток с осадками и междусуточной изменчивости средней суточной температуры воздуха от многолетних средних их значений за период 1990-1995 гг., показанную на рисунке.

На рисунке видно, что положительным аномалиям междусуточной изменчивости температуры воздуха соответствуют такого же знака аномалии числа суток с осадками. Исключение составляют только зимние месяцы, когда температура воздуха может значительно изменяться от суток к суткам в связи с циркуляционными факторами – формированием отрога сибирского антициклона или, наоборот, оттепелями, вызванными теплыми юго-восточными ветрами. При таких условиях осадки маловероятны, однако в любом случае изменение погодных условий способствует колеблемости параметров метеорологических величин, влияющих на процессы накопления и рассеивания вредных примесей.

Значительный научный интерес представляет также исследование многолетнего хода междусуточной изменчивости температуры воздуха. В этих целях проанализировано изменение рассматриваемой характеристики за период 1990-1998 гг. Следует отметить, что осред-

ненные за месяц значения междусуточной изменчивости средней суточной и дневной температуры воздуха довольно хорошо коррелируют между собой.

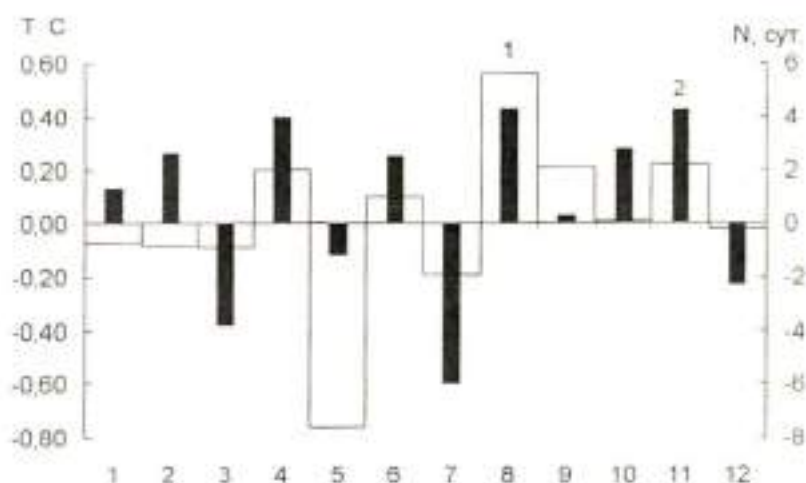


Рис. Месячные аномалии числа суток с осадками (N , сут) - 1 и междусуточной изменчивости средней суточной температуры воздуха (T , °C) - 2 от многолетних средних значений за период 1990-1995 гг.

Годовой ход средних месячных значений одной практически повторяет ход другой, коэффициент корреляции при этом составляет более 0,95. Поэтому ограничимся анализом лишь одной из них. Для междусуточной изменчивости дневной температуры воздуха, осредненной за отдельные месяцы, характерна значительная вариация ее значений от года к году. Для всех месяцев отмечается квазидвухлетняя изменчивость рассматриваемой характеристики, что, впрочем, весьма естественно для такой метеорологической величины, как температура воздуха [6].

За период 1990-1998 гг. наибольшие значения, 4,5 - 5,5 °C, были отмечены в августе 1991 и 1992 гг. Наибольшие отрицательные значения, 1,8 °C, в сентябре 1997 г. Следует подчеркнуть тот факт, что за последний рассмотренный год практически во все месяцы значения между-

суточной изменчивости как дневной, так и средней суточной температуры воздуха существенно возросли, а в феврале, мае – июне и августе имели абсолютный максимум за весь рассмотренный интервал времени. Это указывает на значительную перестройку атмосферных процессов, что, конечно, должно положительно отразиться и на процессах самоочищения воздушного бассейна.

Были определены также тенденции междусуточной изменчивости дневной температуры воздуха, для чего рассчитывались линейные тренды в рядах средних месячных и средних годовых ее значений. Для определения тенденции, как известно, необходимо численно оценить параметры уравнения линейного тренда вида:

$$y = ax + b,$$

где a – скорость роста, показывающая среднее годовое изменение рассматриваемой величины; b – уровень ряда при $x = 0$. Первая величина показывает направленность тренда: при отрицательных ее значениях – снижение, при положительных – рост. Значения этого параметра для рассмотренных рядов приведены в табл. 2.

Для оценки качества аппроксимации реальных значений линейными трендами рассчитывались коэффициенты детерминированности r^2 , нормированные от 0 до 1, и критерий t – Стьюдента, позволяющий судить о том, является ли тренд случайным или нет. Эти характеристики также приведены в табл. 2. Число степеней свободы для всех рядов составляло 7, t – критическое на 5 % - ном уровне значимости равно 2,37. Случайность тренда отвергается, если t – Стьюдента больше или равно t – критическому. Как видно по данным, приведенным в таблице, в апреле – августе и в декабре критерий t – Стьюдента на порядок выше его критического значения. Для всех указанных месяцев наблюдались положительные тренды, при этом значения r^2 составили 0,22 – 0,69, что указывает на хорошее качество аппроксимации ими временных рядов. Наибольший размах колебаний тренда наблюдается в апреле и составляет 2,7 °С за 9 лет. Для средних годовых значений междусуточной изменчивости дневной температуры воздуха определена также положительная тенденция – рассматриваемая величина увеличивается на 0,1 °С каждый год. Значение коэффициента

детерминированности составило 0,66, а критерий t-Стьюдента равен 2,37.

Таким образом, междусуточная изменчивость температуры воздуха в г. Алматы за последние 9 лет имеет устойчивую тенденцию к росту. Этот результат согласуется, в частности, с выводами, сделанными нами ранее [3, 5] об уменьшении континентальности климата юго-востока Казахстана и увеличении адвекции морских воздушных масс, при которых растет и частота смены погодных условий.

Таблица 2

Характеристики трендов в рядах средних месячных и средних годовых значений междусуточной изменчивости дневной температуры воздуха в г. Алматы за период 1990-1998 гг.

Месяц	Среднее годовое изменение, °С	Коэффициент детерминированности	Критерий t - Стьюдента
Январь	- 0,03	0,01	0,27
Февраль	0,11	0,22	1,60
Март	0,06	0,04	0,54
Апрель	0,30	0,52	2,60
Май	0,15	0,38	2,40
Июнь	0,14	0,35	2,40
Июль	0,20	0,20	2,50
Август	0,18	0,69	4,50
Сентябрь	0,01	0,01	0,06
Октябрь	- 0,09	0,11	0,90
Ноябрь	0,01	0,01	0,05
Декабрь	0,14	0,64	3,50
Год	0,10	0,67	3,00

Проведенные исследования указывают на значительную зависимость между уровнем загрязненности атмосферы и изменчивостью погоды. С возрастанием контрастности погодных условий процессы самоочищения воздушного бассейна протекают более активно. Это связано с увеличением числа суток с осадками, усилением ветра, раз-

витием в целом более активной динамической турбулентности, способствующей рассеиванию вредных примесей. Увеличение степени изменчивости погодных условий за последние годы, обнаруженное путем анализа междусуточной характеристики температуры воздуха, позволяет ожидать лучших условий самоочистения атмосферы в г. Алматы, а учитывая исследования, проведенные нами ранее по континентальности климата, и на всем юго-востоке Казахстана. Изучение данной проблемы показало, что изменчивость погоды можно рассматривать в качестве предиктора для определения потенциально возможного уровня загрязненности атмосферы. Данную характеристику, в том числе и через другие общепринятые показатели, такие, как повторяемость различных классов погоды, ее контрастность, постоянство и т. п. следует использовать для экологических прогнозов. Это позволит с довольно большой заблаговременностью судить о возможных периодах опасного загрязнения атмосферы и готовить мероприятия природоохранного содержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева И.А., Бондаренко Л.Н., Русманова Т.С. О некоторых особенностях погодного режима в аномальные годы в Казахстане // Исследование структур климата в погодах. Материалы метеорологических исследований. - 1981. - № 4. - С. 101-107.
2. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. - Л. : Гидрометеоиздат, 1980. - 184 с.
3. Белый А. В. О тенденциях изменения континентальности климата Алматинской области // Гидрометеорология и экология. - 1995. - № 2. - С. 101-112.
4. Белый А.В. О роли и тенденциях режима увлажнения в процессах очищения атмосферы над Алматинской областью // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 4. - С. 166-182.
5. Белый А.В. Реальности и последствия изменения континентальности климата юго-востока Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 1997. - № 3. - С. 241-249.
6. Герман Д.Р., Гольдберг Р.А. Солнце, погода и климат. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 319 с.

7. Климат Казахстана / Под ред. А. С. Утешева. - Л.: Гидрометеоиздат, 1959. - 367 с.
8. Переведенцев Ю.П., Шлычков А.П., Хабутдинов Ю.Г. Загрязнение атмосферы в городах Татарии // Метеорология и гидрология. - 1996. - № 9. - С. 52-57.
9. Сонькин Л. Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 223 с.
10. Фельдман Я. И., Чубуков Л.А. Применение метода комплексной климатологии к изучению климата аридных и экстрааридных областей СССР // Вопросы географии. Сборник статей XVIII Международного географического конгресса. - М.-Л.: Изд. АН СССР, 1956. - С. 124-156.
11. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. - Т. 1. - 245 с.
12. Чубуков Л.А., Шварева Ю.Н. Роль и задачи комплексной климатологии в современных географических исследованиях // Природные ресурсы и территориальная организация хозяйства / АН СССР, Институт географии. - М.: ИГ, 1979. - С. 60-75.
13. Harley R., Gass G. Modeling the concentration of gas-phase toxic organic air pollutants: direct emissions and atmospheric formation // Environ. Sci. and Technol. - 1994. - Vol 28, № 1. - P. 88-98.
14. Palutirof J.P., Subak S., Agnew. M.D. Impacts of the exceptionally hot weather of 1995 in the UK // Clim. Monit. - 1996. - Vol. 25, № 3. - P. 116-125.

Казахский государственный национальный
университет им. аль-Фараби

АУА АЛҚАБЫНЫҢ ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІНІҢ АУА РАЙЫНЫҢ ҚҰБЫЛМАЛЫҒЫМЕН БАЙЛАНЫСТАРЫ ТУРАЛЫ

Геогр.ғ. канд. А. В. Белый

Тәулік арасындағы ауа температурасының өзгеруі ауа райының құбылмалығы мөлшері ретінде қаралады. Бұл мақалада талдау белгілерінің атмосфераның ластану көрсеткіштерімен және Алматы қаласының басқада метеорологиялық өлшемдерінің сәйкестендіру тәуелділіктерінің анықтауының негізгі нәтижелері келтірілген. Тәулік арасындағы ауа температурасының өзгеруінің айлық және жылдық орта көрсеткіштерінің арасындағы статистикалық мәнді тренд табылған, осыған сәйкес қала ауа алқабының өзімен-өзі тазалану мүмкіндігін жақсарту туралы тұжырым жасалынған. Ауа құбылмалығының сипаттамасын атмосфераның ластану деңгейін болжау үшін қолдануға ұсыныс жасалған.