

Л.Т. Матвеев, Е.А. Вершель, Ю.Л. Матвеев

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА КЛИМАТ ГОРОДОВ

L.T. Matveev, E.A. Vershel, U.L. Matveev

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE CLIMATE IN CITIES AND TOWNS

Исследуется изменение температуры воздуха во времени в зависимости от антропогенных факторов, важнейшим среди которых является потребление энергоресурсов. Последние, в свою очередь, связаны с количеством населения города. Помимо анализа средних значений температуры в различных крупных частях Земли (материки, океаны, полушарие) основное внимание уделено температуре воздуха в 106 городах России и стран СНГ: средние 25- и 10-летние значения температуры по наблюдениям в течение 100 лет (1906–2005).

Ключевые слова: изменение температуры, размер городов, антропогенный фактор.

This article raises the problem of researching the air temperature change that depends on such anthropogenic factors as energy resources consumption regarded as the most important one. The latter, in its turn, is related to the number of a city (town) population. Apart from the average temperature values analysis in different parts of the world on earth (continents, oceans, hemispheres) the main attention is given to the air temperature in 106 cities and towns in Russia and CIS countries: we put under observation twenty-five- and ten-year-old temperature values during last 100-year period (from 1906 to 2005).

Key words: temperature change, city size, anthropogenic factor.

В XX в., особенно в последние его десятилетия, широкую известность и актуальность получила проблема формирования и колебаний климата нашей планеты.

Хорошо известно, что температура воздуха в крупных городах отличается от температуры окружающей город местности [1, 2]. В данной работе поставлена задача исследовать изменение температуры воздуха во времени в зависимости от антропогенных факторов, важнейшим среди которых является потребление энергоресурсов. Последние, в свою очередь, связаны с количеством населения города.

В работе, помимо анализа в первой части средних значений температуры в различных крупных частях Земли (материки, океаны, полушарие), основное внимание уделено температуре воздуха в 106 городах России и стран СНГ: средние 25- и 10-летние значения температуры по наблюдениям в течение 100 лет (1906–2005). По этим средним определены сезонные и годовые значения разностей температуры $\Delta T_i = T_{i+1} - T_i$ между следующими (T_{i+1}) и предыдущим (T_i) периодами.

Отметим, что практически на всех крупных территориях (части света, океаны, полушарие, их северные и южные части) не наблюдается монотонного (в одну сторону повышения или понижения) изменения температуры воздуха. В каждой крупной области отмечаются как положительные ΔT_i (потепление), так и отрицательные ΔT_i (похолодание). Некоторое увеличение температуры на полушарии в целом произошло за счет Мирового океана и прежде всего южной части Тихого океана (вряд ли средние температуры на океанах вообще и на огромном Тихом океане в особенности можно считать статистически надежными – значимыми).

Поскольку масса потребляемых энергоресурсов (угля, нефти и природного газа) и выбрасываемых в атмосферу примесей зависит от размера городов, то все города во второй части работы разделены прежде всего на две группы: группа А – города с населением менее 100 тыс. чел. и группа В – города с населением свыше 100 тыс. чел. Уже такое деление показало, что размер города тесно связан с температурой воздуха и, что еще важнее, с изменением ее во времени.

Климат Северного полушария

По этой проблеме в XX в., особенно в последние десятилетия, выполнено в различных странах много исследований и опубликовано большое количество статей. Тем не менее, до сего времени не удалось выработать единый взгляд на причины колебаний климата и тем более разработать методы его прогноза. В этом отношении достаточно сослаться на несколько международных конференций по климату, в том числе на проведенную в 2003 г. в Москве: на них высказывались различные точки зрения, вплоть до прямо противоположных.

Подчеркнем, климатом называют статистический режим состояния атмосферы (температуры, облаков, осадков, гроз и др.) за достаточно длительный период времени (по данным Всемирной метеорологической организации, этот период должен быть не менее 25–30 лет). В течение этого периода на достаточно большой территории (материк, океан, полушарие, Земля) формируется климат. Оценка изменения сформировавшегося за 25–30 лет климата от одного периода к другому представляет собой проблему прогноза климата.

Количественная (по изменениям метеорологических величин) и качественная (по наблюдениям атмосферных явлений) оценка изменения состояния атмосферы за меньшие чем 25 лет интервалы времени составляет предмет прогноза погоды различной заблаговременности.

Мы поставили задачу исследовать формирование климата и его изменение во времени в XX в. на основе инструментальных наблюдений на мировой сети станций. Анализ выполнен по Северному полушарию, поскольку данных измерений для получения надежных оценок и заключений по Южному полушарию на сегодня совершенно недостаточно.

Хотя в понятие климата входит несколько метеорологических величин, анализ выполнен по наиболее важной из них – температуре воздуха в приземном и приподнятом слоях атмосферы.

Ежедневные измерения в 1891–1990 гг. на мировой сети станций и обсерваторий использованы для оценки средних значений температур воздуха сначала за месяц, затем за сезон, год, 10 и 25 лет.

По этим временным средним в узлах сетки рассчитаны пространственные средние значения для крупных областей Земли: полушарие, каждый материк и каждый океан, вся суша (материки) и вся вода (Мировой океан). В каждой из этих областей средние значения и другие параметры определены не только по области в целом, но и для северной (90–42,5 ° широты) и южной (42,5–0 ° широты) частей, соответственно равных 32 и 68 % площади полушария. Поскольку объемы выборок (N) для каждой из областей равны десяткам и сотням тысяч, то согласно известному правилу, квадратическое отклонение обратно пропорционально корню из N : $\sigma_{\bar{T}} = \sigma_T / \sqrt{N}$. Среднее за 25 лет значение температуры (\bar{T}) надежно определяется с точностью до сотых (и даже тысячных) долей градуса Цельсия (°C). Результаты расчета представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Средняя температура воздуха в Северном полушарии
(I – 1891–1915 гг.; II – 1916–1940 гг.; III – 1941–1965 гг.; IV – 1966–1990 гг.)

| Территория | | Зима | | | | Весна | | | |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| Полушарие | Суша | -1,61 | -0,90 | -0,26 | -0,64 | 10,11 | 10,41 | 10,82 | 11,00 |
| | Океан | 8,79 | 9,96 | 10,55 | 12,12 | 12,53 | 13,01 | 13,58 | 15,06 |
| | В целом | 4,59 | 5,67 | 6,32 | 7,52 | 11,56 | 11,99 | 12,49 | 13,60 |
| Север (90–42,5°) | Суша | -19,27 | -18,61 | -18,55 | -18,96 | -4,45 | -4,23 | -4,18 | -3,80 |
| | Океан | -13,12 | -11,93 | -12,01 | -12,4 | -6,45 | -6,06 | -6,07 | -6,47 |
| | В целом | -16,25 | -15,33 | -15,34 | -15,74 | -5,43 | -5,13 | -5,11 | -5,11 |
| Юг (42,5–0°) | Суша | 12,66 | 13,07 | 13,64 | 13,57 | 21,75 | 22,04 | 22,24 | 22,43 |
| | Океан | 17,84 | 18,38 | 18,82 | 19,76 | 20,17 | 20,39 | 20,81 | 21,71 |
| | В целом | 16,05 | 16,60 | 17,10 | 17,94 | 20,71 | 20,95 | 21,29 | 21,92 |

| Лето | | | | Осень | | | | Год | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| 21,88 | 22,17 | 22,23 | 22,37 | 11,66 | 12,08 | 12,24 | 11,97 | 10,49 | 10,91 | 11,24 | 11,13 |
| 18,76 | 19,19 | 19,43 | 20,56 | 15,01 | 15,79 | 16,19 | 17,36 | 13,75 | 14,45 | 14,90 | 16,27 |
| 20,02 | 20,38 | 20,55 | 21,21 | 13,64 | 14,31 | 14,63 | 15,42 | 12,43 | 13,05 | 13,46 | 14,42 |
| 12,79 | 13,06 | 12,94 | 13,39 | -1,48 | -0,86 | -1,18 | -1,49 | -3,10 | -2,66 | -2,74 | -2,76 |
| 6,22 | 6,51 | 6,38 | 6,67 | -2,02 | -1,48 | -1,63 | -2,31 | -3,84 | -3,24 | -3,33 | -3,65 |
| 9,56 | 9,84 | 9,72 | 10,09 | -1,75 | -1,17 | -1,41 | -1,89 | -3,47 | -2,95 | -3,03 | -3,20 |
| 29,29 | 29,48 | 29,34 | 29,36 | 22,25 | 22,42 | 22,53 | 22,44 | 21,47 | 21,72 | 21,93 | 21,92 |
| 24,04 | 24,26 | 24,41 | 24,87 | 22,17 | 22,59 | 22,86 | 23,50 | 21,03 | 21,37 | 21,70 | 22,46 |
| 25,87 | 26,03 | 26,09 | 26,18 | 22,20 | 22,53 | 22,75 | 23,19 | 21,18 | 21,49 | 21,77 | 22,30 |

Таблица 2

**Средняя температура воздуха в частях света Северного полушария
(I – 1891–1915 гг.; II – 1916–1940 гг.; III – 1941–1965 гг.; IV – 1966–1990 гг.)**

| Территория | | Зима | | | | Весна | | | |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| Азия | Север | -23,80 | -22,92 | -22,86 | -23,59 | -6,39 | -6,13 | -5,88 | -5,44 |
| | Юг | 7,75 | 7,73 | 8,00 | 7,46 | 19,43 | 19,71 | 19,72 | 19,83 |
| | В целом | -7,04 | -6,63 | -6,45 | -7,29 | 7,34 | 7,61 | 7,72 | 7,84 |
| Северная Америка | Север | -21,12 | -20,58 | -20,42 | -20,52 | -6,47 | -6,30 | -6,38 | -6,31 |
| | Юг | 10,72 | 11,40 | 12,95 | 13,05 | 18,73 | 19,05 | 19,96 | 20,23 |
| | В целом | -7,52 | -6,79 | -5,11 | -4,94 | 4,35 | 4,63 | 5,73 | 6,05 |
| Европа | В целом | -5,05 | -4,70 | -4,81 | -4,98 | 3,76 | 3,95 | 3,75 | 4,48 |
| Африка | В целом | 19,5 | 19,93 | 20,15 | 20,56 | 26,09 | 26,31 | 26,32 | 26,57 |

| Лето | | | | Осень | | | | Год | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| 13,04 | 13,21 | 13,19 | 13,56 | -3,93 | -3,16 | -3,73 | -4,05 | -5,27 | -4,75 | -4,82 | -4,88 |
| 29,52 | 29,96 | 29,62 | 29,67 | 19,7 | 19,79 | 19,64 | 19,45 | 19,10 | 19,22 | 19,24 | 19,09 |
| 21,79 | 21,95 | 21,92 | 22,00 | 8,62 | 9,03 | 8,70 | 8,26 | 7,68 | 7,99 | 7,97 | 7,69 |
| 11,16 | 11,50 | 11,30 | 11,99 | -2,05 | -1,72 | -1,74 | -2,01 | -4,62 | -4,27 | -4,31 | -4,35 |
| 26,69 | 27,17 | 27,09 | 27,10 | 19,61 | 19,79 | 20,69 | 20,79 | 18,95 | 19,32 | 20,13 | 20,25 |
| 17,81 | 18,2 | 18,46 | 19,04 | 7,18 | 7,46 | 8,49 | 8,54 | 5,46 | 5,85 | 6,86 | 7,08 |
| 15,00 | 15,41 | 15,19 | 15,30 | 5,46 | 6,21 | 5,98 | 5,67 | 4,79 | 5,22 | 5,03 | 5,12 |
| 30,50 | 30,52 | 30,32 | 30,37 | 26,67 | 26,82 | 26,75 | 26,70 | 25,66 | 25,84 | 25,87 | 26,03 |

Таблица 3

**Средняя температура воздуха над океанами Северного полушария
(I – 1891–1915 гг.; II – 1916–1940 гг.; III – 1941–1965 гг.; IV – 1966–1990 гг.)**

| Территория | | Зима | | | | Весна | | | |
|--------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| Тихий | Север | -6,53 | -5,79 | -5,78 | -5,94 | -0,88 | -0,57 | -0,64 | -0,33 |
| | Юг | 16,57 | 17,42 | 18,16 | 19,58 | 18,45 | 19,04 | 19,54 | 21,17 |
| | В целом | 12,05 | 13,24 | 14,09 | 15,92 | 14,78 | 15,53 | 16,07 | 18,11 |
| Атлантический | Север | -1,03 | -0,30 | -0,19 | -0,75 | 3,71 | 4,25 | 4,15 | 3,11 |
| | Юг | 17,70 | 18,05 | 18,11 | 18,21 | 20,07 | 20,11 | 20,33 | 20,16 |
| | В целом | 12,96 | 13,52 | 13,64 | 13,85 | 15,96 | 16,16 | 16,4 | 16,25 |
| Северный Ледовитый | В целом | -26,72 | -24,85 | -25,14 | -25,61 | -17,91 | -17,55 | -17,45 | -18,03 |
| Индийский | В целом | 23,83 | 23,92 | 24,13 | 24,53 | 28,22 | 28,15 | 28,35 | 28,28 |

| Лето | | | | Осень | | | | Год | | | |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| 9,82 | 9,94 | 9,90 | 10,19 | 3,64 | 4,14 | 3,87 | 3,68 | 1,51 | 1,93 | 1,83 | 1,90 |
| 22,76 | 23,2 | 23,39 | 24,39 | 21,1 | 21,86 | 22,16 | 23,22 | 19,69 | 20,35 | 20,76 | 22,09 |
| 20,20 | 20,75 | 20,98 | 22,35 | 17,63 | 18,65 | 18,96 | 20,42 | 16,13 | 17,02 | 17,47 | 19,20 |
| 11,12 | 11,45 | 11,29 | 10,65 | 6,28 | 6,63 | 6,70 | 5,98 | 5,02 | 5,51 | 5,49 | 4,74 |
| 24,22 | 24,31 | 24,43 | 24,29 | 22,10 | 22,30 | 22,49 | 22,59 | 21,01 | 21,16 | 21,34 | 21,31 |
| 20,88 | 21,05 | 21,23 | 21,17 | 18,06 | 18,33 | 18,65 | 18,78 | 16,96 | 17,23 | 17,48 | 17,51 |
| -0,04 | 0,36 | 0,19 | 1,06 | -12,26 | -11,56 | -11,77 | -12,78 | -14,23 | -13,40 | -13,54 | -13,90 |
| 29,44 | 29,42 | 29,37 | 28,86 | 27,21 | 27,2 | 27,25 | 27,32 | 27,14 | 27,12 | 27,25 | 27,23 |

При расчете средних значений по площади учитывалось изменение сферической ячейки (трапеции) с заданными сторонами $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ в зависимости от широты φ_i . Поскольку площадь такой ячейки с точностью до малых первого порядка равна $a^2\Delta\varphi\Delta\lambda\cos\varphi_i$ (a – радиус Земли, φ_i – широта центра i -й ячейки), то среднее значение температуры

$$\bar{T} = \frac{\sum_{(i)} T_i a^2 \Delta\varphi \Delta\lambda \cos\varphi_i}{\sum_{(i)} a^2 \Delta\varphi \Delta\lambda \cos\varphi_i} = \frac{\sum_{(i)} T_i \cos\varphi_i}{\sum_{(i)} \cos\varphi_i},$$

где суммирование по i распространяется на все ячейки в пределах рассматриваемой площади (полушария, суши, воды, материка, океана).

Поскольку объемы выборок изменяются при переходе от одной области к другой, то средние значения определены как средневзвешенные.

Отметим некоторые особенности распределения по полушарию и сезонных колебаний средней (климатической) температуры воздуха.

На полушарии в целом и в его южной части во все сезоны, кроме лета, и в среднем за год температура воздуха над сушей ниже, чем над водой. В северной части, наоборот, все сезонные, кроме зимней, и годовая температура над сушей выше, чем над водой.

Летом разности температур воздуха между сушей и водой как по полушарию в целом, так и в обеих его частях, как правило, не меньше 5°C . Зимой температура во всех 25-летних периодах над сушей ниже, чем над водой на 6°C в северной части и на 10°C по полушарию в целом. Под влиянием этих разностей возникает муссонная циркуляция (вихри с горизонтальной осью) с переносом воздуха по горизонтали из области холода в область тепла в нижней и в обратном направлении в верхней частях вихря, с подъемом воздуха в области тепла и опусканием его в области холода. В свою очередь, под влиянием переноса (адвекции) воздуха по горизонтали возникают вихри с вертикальной осью: циклонические в нижней, где наблюдается адвекция холода, и антициклонические в верхней, где происходит адвекция тепла в частях муссонной циркуляции.

Эти вихревые движения оказывают большое влияние на формирование и колебания, в том числе резкие изменения погоды в различных частях планеты.

Обратим еще внимание на особенности полей температуры в переходные сезоны года – весной и осенью. Поскольку в Северном полушарии день длиннее ночи и, соответственно, больше приток солнечной радиации в течение 71 суток (с 21 марта по 31 мая) весной и только в течение 21 суток (с 1 по 21 сентября) осенью, то следует ожидать, что земная поверхность и приземный слой воздуха, с одной стороны, прогреваются за счет солнечной радиации днем весной значительно больше, чем осенью, а с другой – за счет эффективного излучения ночью они охлаждаются весной меньше, чем осенью. Так и принято считать: весну относят к теплой, а осень – к холодной половине года.

В действительности соотношения между климатическими температурами в эти сезоны обратные: весной температура существенно ниже, чем осенью. В течение столетия (1891–1990 гг.) разности температур $\Delta T = T_{\text{ос}} - T_{\text{вес}}$ для различных 25-летних периодов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Разности средних температур ($\Delta T = T_{\text{ос}} - T_{\text{вес}}$) для различных территорий и периодов времени (I – 1891–1915 гг.; II – 1916–1940 гг.; III – 1941–1965 гг.; IV – 1966–1990 гг.)

| Территория | | I | II | III | IV | Среднее |
|------------|-------|------|------|-------|-------|---------|
| Суша | | 0,92 | 0,99 | 0,84 | 0,39 | 0,78 |
| Океан | | 2,67 | 3,08 | 2,75 | 2,17 | 2,67 |
| Полушарие | | 1,90 | 2,19 | 1,95 | 1,51 | 1,89 |
| Север | суша | 1,95 | 2,12 | 1,86 | 1,37 | 1,82 |
| | океан | 3,38 | 3,59 | 3,37 | 2,96 | 3,11 |
| Юг | суша | 0,10 | 0,01 | -0,04 | -0,22 | -0,05 |
| | океан | 1,28 | 1,40 | 1,21 | 0,92 | 1,20 |

Хорошо известна причина более теплой осени по сравнению с весной на воде: высокая теплоемкость и бóльшая толщина (до 200–300 м) деятельного слоя способствуют сохранению тепла, запасенного летом, в течение более длительного времени, чем на суше (где деятельный слой не превышает 20–30 м и теплоемкость основных видов почвы примерно в 2 раза меньше, чем теплоемкость воды).

Однако и над сушей температура воздуха весной ниже, чем осенью, хотя и менее значительно, чем над океаном: в среднем по всем 4 периодам разность температур $T_{\text{ос}} - T_{\text{вес}}$ равна 0,78 °С над всей сушей и 2,67 °С над океаном (при 1,89 °С на полушарии). Особенно низкая температура воздуха весной (по сравнению с осенью) и, как следствие, бóльшие разности $T_{\text{ос}} - T_{\text{вес}}$ наблюдается на севере: от 1,37 °С (IV период) до 2,12 °С (II период) над сушей и от 2,96 °С (IV период) до 3,59 °С (II период) на севере в целом (суша и вода), при средних значениях 1,82 и 3,11 °С соответственно.

По нашему мнению, основную роль в формировании разности температур $T_{\text{ос}} - T_{\text{вес}}$ играет облачность.

Спутниковые наблюдения за облаками, достаточно однородно освещающие оба полушария, обобщены и проанализированы в монографии [3] за десятилетие 1971–1980 гг. Согласно полученным данным, над Северным Ледовитым океаном вероятность ясного неба составляет 49 % в апреле и только 21 % в октябре; в широтной зоне 60–75 ° с. ш. над сушей эта вероятность равна 21 % весной и 13 % осенью. Поскольку и весной, и осенью радиационный и тепловой баланс над этим океаном и зоной отрицателен, то преобладание ясного неба весной (по сравнению с осенью) приводит к большим потерям (за счет инфракрасного излучения) тепла земной поверхностью и, как следствие, понижению температуры весной по сравнению с осенью. С другой стороны, вероятность наиболее часто встречающихся облаков St – Sc в зоне 60–75 ° с. ш. равна 28 % весной и 44 % осенью. Поскольку коэффициенты корреляции между температурой и количеством облаков в этих широтах весной и осенью положительные (0,40–0,65), то уменьшение количества облаков ведет к понижению температуры воздуха

весной по сравнению с осенью. Оба фактора (вероятности ясного неба и сплошной облачности) действуют в одну сторону – снижению температуры весной и росту ее осенью, прежде всего, в высоких широтах суши.

Изменение термического режима городов

Кроме анализа полей температуры воздуха в крупных частях Северного полушария Земли (материки, океан, полушарие с подразделением их на северную и южную части), приведенного в первой части, в работе рассмотрен вопрос о термическом режиме городов России и стран СНГ (бывших союзных республик СССР). Представилось возможным привлечь данные наблюдения в период с 1890 по 2005 г. (в обработку и анализ включены данные за 100 лет: 1906–2005 гг.) по 106 городам.

Поскольку сведения о состоянии атмосферы, согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации, приобретают климатический характер при осреднении по времени за 25–30 лет, то весь столетний период был разделен на четыре 25-летних периода: 1906–1930, 1931–1955, 1956–1980 и 1981–2005 гг. Во второй половине общего периода выделено пять 10-летних периодов: 1956–1965, 1966–1975, 1976–1985, 1986–1995, 1996–2005 гг.

Для этих периодов в каждом из 106 городов определены средние значения сезонных (зима, весна, лето, осень) и годовых изменений температур воздуха.

Основная цель работы заключена в анализе изменения температуры от одного периода к другому и за весь 100-летний период. Известно, что крупные города потеплели: средняя температура по измерениям на 5 станциях Москвы по сравнению с данными 5 станций в ее окрестностях (в радиусе до 100 км) по данным за 20 лет (1971–1990 гг.) выше на 1,11 °С зимой и на 1,16 °С летом [3]. Аналогичные результаты получены по Санкт-Петербургу, Екатеринбург, Челябинску, Кемерово.

Однако практически не изучено в разных городах изменение этих температур во времени.

Совершенно очевидно, что повышение температуры воздуха в городе обусловлено антропогенными факторами: загрязнением атмосферы города газообразными и твердыми примесями (в том числе и в первую очередь – водяным паром), поступающими из различных источников (автотранспорт, отопительные системы, промышленность).

Конечно, было бы очень хорошо, если бы удалось привлечь данные о суммарных объемах примесей.

В основу работы положена идея: масса потребляемой энергии, количество поступающих в атмосферу примесей, размер города пропорциональны числу жителей (населению) города. Эти последние данные, хотя и не без труда, удалось достать.

Все 106 городов разделены прежде всего на 2 группы: группа А – с населением менее 100 тыс. чел. и группа В – с населением свыше 100 тыс. чел. Сведения о средних значениях температуры воздуха в этих группах приведены в табл. 5 и 6.

Согласно данным табл. 5, в небольших городах осредненная за 25 лет (климатическая) температура во втором периоде (II) во все сезоны ниже, чем в первом периоде: все разности $\Delta T_{II} = T_{II} - T_I$ меньше нуля – переход от I ко II периоду сопровождался похолоданием во все сезоны года и в среднем за год ($\Delta T < 0$). Абсолютные значения ΔT достаточно значительны: зимой, весной и осенью – от 1,5 до 2,2 °С, летом – 0,59 °С и в среднем за год 1,11 °С.

Таблица 5

Осредненные по 53 малым городам (с населением менее 100 тыс. человек) 25- и 10-летним периодам температуры воздуха (T) и их разности (ΔT), °С

| Период, годы | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Средние значения | | | | |
| 1906–1930(I) | -18,95 | -2,04 | 15,23 | -0,26 | -1,86 |
| 1931–1955(II) | -21,17 | -3,56 | 14,64 | -1,99 | -2,97 |
| 1956–1980(III) | -21,39 | -3,68 | 14,46 | -2,55 | -3,29 |
| 1981–2005(IV) | -20,13 | -2,64 | 14,98 | -1,94 | -2,40 |
| Разности | | | | | |
| II–I | -2,22 | -1,52 | -0,59 | -1,73 | -1,11 |
| III–II | -0,22 | -0,12 | -0,18 | -0,56 | -0,32 |
| IV–III | 1,26 | 1,04 | 0,52 | 0,61 | 0,89 |
| Средние значения | | | | | |
| 1956–1965(V) | -20,83 | -4,08 | 14,43 | -2,68 | -3,27 |
| 1966–1975(VI) | -21,82 | -3,25 | 14,51 | -2,37 | -3,24 |
| 1976–1985(VII) | -20,84 | -3,45 | 14,55 | -2,44 | -3,04 |
| 1986–1995(VIII) | -19,98 | -2,66 | 14,90 | -1,88 | -2,45 |
| 1996–2005(IX) | -20,36 | -2,32 | 15,28 | -1,93 | -2,14 |
| Разности | | | | | |
| VI–V | -0,99 | 0,83 | 0,08 | 0,37 | 0,03 |
| VII–VI | 0,98 | -0,20 | 0,04 | -0,07 | 0,20 |
| VIII–VII | 0,86 | 0,79 | 0,35 | 0,56 | 0,59 |
| IX–VIII | -0,38 | 0,34 | 0,38 | -0,05 | 0,31 |

Также изменяется температура воздуха от II к III периоду: как все сезонные, так и годовая температура понижается: $\Delta T_{III} = T_{III} - T_{II} < 0$. Хотя модуль значения ΔT_{II} меньше, чем модуль ΔT_I , все они вполне сравнимы с теми значениями, которые приведены для изменения температуры во второй половине XX в.

В IV периоде (1981–2005 гг.) температура воздуха во все сезоны и за год увеличилась по сравнению с III периодом (1956–1980 гг.): разность температур колеблется между 1,0 и 1,3 °С.

Результат этот трудно объясним: известно, что как в России, так и в других странах СНГ на IV период приходится наибольшее снижение промышленного производства и, соответственно, уменьшение выбросов загрязняющих атмосферу примесей. Одно можно твердо утверждать: повышение температуры в последней четверти XX в. не антропогенного, а естественного происхождения (с учетом корреляционных связей [3] повышение температуры в IV периоде произошло под влиянием облаков).

Приведем еще сведения об изменении температуры за весь 100-летний период, т.е. разности температур между IV и I периодами: $\Delta T_{100} = T_{IV} - T_I$.

По данным табл. 5 эти разности равны:

| | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta T_{100}, ^\circ\text{C}$ | -1,18 | -0,60 | -0,25 | -1,68 | -0,54 |

Несмотря на повышение температуры в IV периоде, за весь 100-летний период произошло не потепление, а похолодание: как все сезонные, так и годовая температура в конце XX в. ниже, чем в начале его.

В более крупных городах (с населением свыше 100 тыс. человек) атмосфера более сильно загрязнена примесями (газообразными и твердыми), больше содержит водяного пара, который дополнительно образуется при сжигании всех видов топлива и, как следствие, температура воздуха в них выше, чем в окружающей местности.

Поскольку содержание примесей увеличивается, то следует ожидать и повышения температуры от одного периода к другому.

Таблица 6

Осредненные по 53 крупным городам (с населением свыше 100 тыс. человек) 25- и 10-летним периодам температуры воздуха (T) и их разности (ΔT), $^\circ\text{C}$

| Период, годы | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Средние значения | | | | |
| 1906–1930(I) | -10,81 | 4,13 | 18,57 | 4,85 | 4,24 |
| 1931–1955(II) | -10,49 | 4,52 | 19,04 | 5,18 | 4,62 |
| 1956–1980(III) | -10,26 | 4,83 | 18,71 | 5,04 | 4,59 |
| 1981–2005(IV) | -8,60 | 5,65 | 19,24 | 5,53 | 5,50 |
| Разности | | | | | |
| II–I | 0,32 | 0,39 | 0,47 | 0,33 | 0,38 |
| III–II | 0,23 | 0,31 | -0,33 | -0,14 | -0,03 |
| IV–III | 1,66 | 0,82 | 0,53 | 0,49 | 0,91 |
| Средние значения | | | | | |
| 1956–1965(V) | -9,62 | 4,38 | 18,76 | 4,86 | 4,64 |
| 1966–1975(VI) | -10,71 | 5,22 | 18,77 | 5,26 | 4,63 |
| 1976–1985(VII) | -9,77 | 5,07 | 18,72 | 5,20 | 4,80 |
| 1986–1995(VIII) | -8,32 | 5,73 | 19,17 | 5,46 | 5,46 |
| 1996–2005(IX) | -8,70 | 6,01 | 19,60 | 5,63 | 5,92 |
| Разности | | | | | |
| VI–V | -1,09 | 0,84 | 0,01 | 0,40 | -0,01 |
| VII–VI | 0,94 | -0,15 | -0,05 | -0,06 | 0,17 |
| VIII–VII | 1,45 | 0,66 | 0,45 | 0,26 | 0,66 |
| IX–VIII | -0,38 | 0,28 | 0,43 | 0,17 | 0,46 |

Данные табл. 6 в целом подтверждают это заключение: разности температур $\Delta T_{II} = T_{II} - T_I$ и $\Delta T_{IV} = T_{IV} - T_{III}$ как все сезонные, так и годовые, больше нуля: наблюдается повышение температуры. Однако даже в крупных городах не исключены случаи похолодания: разность $\Delta T_{III} = T_{III} - T_{II}$, будучи положительной зимой и весной, отрицательна летом и осенью, а также в среднем за год. Значения разностей ΔT_{II} и ΔT_{III} в крупных городах меньше, чем в малых (по абсолютной величине).

Относительно IV периода отметим, что, как и в случае малых городов, большие значения ΔT_{IV} нельзя объяснить влиянием антропогенных факторов: они обусловлены естественными процессами.

За 100-летний период в крупных городах температура воздуха повысилась, разность $\Delta T_{100} = T_{IV} - T_I$ равна:

| | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|----------------------------------|------|-------|------|-------|------|
| $\Delta T_{100}, ^\circ\text{C}$ | 2,21 | 1,52 | 0,67 | 0,68 | 1,26 |

Отметим, что влияние крупных городов распространяется на небольшое расстояние от них: уже на расстоянии в несколько десятков километров даже от таких мегаполисов, как Санкт-Петербург и Екатеринбург, температура воздуха на 1–2 °C ниже, чем в самом мегаполисе.

Кроме деления городов на группы А и В, сформированы группы городов с населением до 4 тыс. чел., от 100 тыс. чел. до 350 тыс. чел., от 350 тыс. до одного миллиона и свыше 1 млн чел.

В этих группах подтверждается тенденция, которая установлена по данным групп А и В: чем меньше численность населения (размер города), тем больше вероятность понижения температуры при переходе от i -го к $(i + 1)$ периоду.

В городах с населением свыше 1 млн чел. (число их в странах СНГ в 2005 г. равнялось 15) по осредненным по всем 15 городам температурам уже не отмечается понижение температуры ни в какой паре периодов (при переходе от i к $i + 1$ температура растет).

Остановимся еще на средних 10-летних температурах. Хорошо известно, что чем меньше период осреднения, тем больше колебания температуры:

$$\sigma_{\bar{T}} = \frac{\sigma_{T_i}}{\sqrt{N}},$$

где $\sigma_{\bar{T}}$ и σ_{T_i} – квадратические отклонения средней и фактической температур, N – число измерений, случайно вошедших в выборку.

Вполне естественно, что средние 10-летние температуры изменяются во времени более часто, чем 25-летние. Согласно табл. 5 и 6, в малых городах наблюдалось 5 значений $\Delta T < 0$ и 15 значений $\Delta T > 0$; в крупных городах 6 значений $\Delta T < 0$ и 14 значений $\Delta T > 0$. Таким образом, в малых и крупных городах 10-летние температуры одинаково часто изменяют знак как в сторону похолодания, так и в сторону потепления.

Литература

1. Кондратьев К.Я., Матвеев Ю.Л. О роли основных примесей в формировании и колебании климата Земли // Доклады РАН, 2005, т. 401, № 3, с. 399–402.
2. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Формирование и особенности острова тепла в большом городе // Доклады РАН, 2000, т. 370, № 2, с. 249–252.
3. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Облака и вихри – основа колебаний погоды и климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005. – 326 с.