

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куролап С.А. Интегральное медико-экологическое зонирование как основа региональной стратегии устойчивого развития Воронежского региона / С.А. Куролап, О.В. Клепиков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т.18, Вып.2. – С. 516-519.
2. Пространственно-временной анализ встречаемости онкологических заболеваний как индикатора медико-экологической безопасности / О.Е. Архипова, Е.А. Черногубова, С.А. Куролап и др.; под ред. Д.Г. Матишова. – Ростов н/Д: Изд-во Южного научного центра РАН, 2014. – 224 с.
3. Эколого-географический Атлас-книга Воронежской области / Под ред. В.И. Федотова. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. университета, 2013. – 514 с.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ГОРОДА МИНСКА

*А.Н. Витченко, И.А. Телеш*  
*[dr.vitchenko@rambler.ru](mailto:dr.vitchenko@rambler.ru)*

*Белорусский государственный университет, Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь*

В XXI веке проблема изменения климата привлекла к себе внимание всего мирового сообщества и побудила рассматривать климат как важнейший природный ресурс, пространственно-временные вариации которого имеют серьезные социально-экономические и политические последствия, определяющие благосостояние государств мира. Также в настоящее время уделяется значительное внимание проблеме урбанизации. В связи с этим исследование климатических условий городов является актуальным и имеет фундаментальное и прикладное значение.

Анализ литературных источников и собственные исследования авторов позволили разработать оригинальную методику геоэкологической оценки комфортности климата городов (1). Под геоэкологической оценкой комфортности климата города авторы понимают определение степени его благоприятности по отношению к организму человека с учетом естественного потенциала самоочищения атмосферы и влияния климата на режим эксплуатации жилых сооружений.

Методика базируется на расчете частных и интегральных эколого-климатических показателей состояния окружающей среды, характеризующих степень ее благоприятности для человека, выполненных на основе математического моделирования природно-антропогенных процессов и использования современных ГИС-технологий. При оценке комфортности климата использовать все факторы не представляется возможным в силу их большого количества, необходимо выделить наиболее значимые с учетом их весовых коэффициентов. Для оценки комфортности климата городов была разработана 5-балльная шкала ранжирования эколого-климатических параметров. Высший балл соответствует оптимальным эколого-климатическим показателям в пределах городов, а низший – наименее благоприятным. Для каждого показателя учитывались коэффициенты значимости. Коэффициент значимости (F) отражает вклад отдельного фактора в общий показатель комфортности климата. F = 2 – присваивался наименее значимым показателям, F = 5 – самым существенным.

К наиболее значимым показателям комфортности климата городов относится индекс изменчивости погоды. Методика определения индекса учитывает контрастную смену погоды. Основаниями для выявления факта смены периодов с однотипной погодой являются изменения: ясной и облачной погоды на погоду с осадками; ясной на облачную (и наоборот) при межсуточной амплитуде температуры воздуха  $\geq 2^{\circ}\text{C}$ ; любой погоды при межсуточной амплитуде температуры воздуха  $\geq 6^{\circ}\text{C}$  [2]. Индекс изменчивости погоды вычисляется по формуле:  $K_{\text{ип}} = M_{\text{к}} / N \cdot 100\%$ , где  $K_{\text{ип}}$  – индекс изменчивости погоды, %;  $M_{\text{к}}$  – число контрастных смен периодов с однотипной погодой;  $N$  – число дней в году. Показатель изменчивости погоды на территории Беларуси достигает нижнего предела сильно изменчивой погоды ( $\geq 50\%$ ). В этом случае происходит смена погоды через день и физиологические механизмы адаптации метеочувствительных людей не в состоянии обеспечить приспособление организма к новым погодным условиям. Этому показателю соответствует коэффициент значимости  $F = 5$ . Для характеристики дискомфорта зимнего периода был использован индекс холодного стресса по [3]:  $H_w = (0,13 + 0,47V^{0,5}) \cdot (36,6 - T) + (0,085 + 0,102V^{0,3}) \cdot (61,1 - e)^{0,75}$ , где  $H_w$  – индекс холодного стресса,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $V$  – скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $T$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $e$  – упругость водяного пара,  $\text{мб}$ . Согласно методике оценки холодного стресса погоды [4] климатические условия с показателем  $H_w \geq 4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  характеризуются как «дискомфортные». Они регистрируются в Беларуси достаточно часто, а в отдельные годы условия погоды достигают уровня «абсолютно дискомфортных» ( $H_w \geq 8,0 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ), что значительно ограничивает комфортность климата зимой и определяет высокую степень значимости показателя ( $F = 5$ ). При оценке комфортности климата значительный интерес представляет повторяемость оптимальных погодных условий теплого периода. Нормальные эквивалентно-эффективные температуры (НЭЭТ) отражают воздействие на человека совокупности метеорологических условий: температуры, влажности и скорости ветра. НЭЭТ рассчитывается по формуле [5]:  $\text{НЭЭТ} = 37 - (37 - t) / [(0,68 - 0,0014f + 1 / 1,76 + 1,4v^{0,75} - 0,29t) (1 - f / 100)]$ , где  $t$  – среднесуточная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $f$  – относительная влажность воздуха, %;  $v$  – среднесуточная скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ . По повторяемости значений НЭЭТ от  $17$  до  $22^{\circ}\text{C}$  определяют продолжительность наиболее комфортного периода в теплое время года. Чем больше климатические условия отличаются от оптимальных, тем короче период с НЭЭТ  $17$ - $22^{\circ}\text{C}$ . Повторяемость погод с комфортными НЭЭТ  $\leq 30\%$  от числа дней теплого периода считается минимальной. В Беларуси продолжительность периода с оптимальными НЭЭТ составляет около  $\leq 25\%$ , что снижает благоприятность климата для метеочувствительных людей и определяет значительный вес фактора при оценке комфортности климата городов ( $F = 5$ ). При оценке комфортности климата важное значение имеет повторяемость неблагоприятных погод в межсезонные периоды, которая неблагоприятна для метеочувствительных людей и часто вызывает у них обострение хронических заболеваний. Особенно это относится к повторяемости резко холодной погоды формирующейся при температуре от  $0$  до  $5^{\circ}\text{C}$  в сочетании с высокой влажностью воздуха и скоростью ветра  $4$ - $15 \text{ м}/\text{с}$  [2]. Вероятность таких погодных условий в Беларуси составляет более  $80\%$ , что обуславливает весомый вклад показателя в комфортность климата ( $F = 5$ ).

Коэффициент значимости равный  $4$  был присвоен ряду показателей комфортности климата которых неблагоприятно влияют на здоровья населения и сильно варьируют на территории Беларуси, в отдельных районах достигая  $\geq 50\%$  от числа дней рассматриваемого периода. К ним относятся количество дней:  $K_{\text{дд}}$  – душных с  $t_{\text{в}} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ,  $f \geq 80\%$ ;  $K_{\text{хд}}$  – холодных с  $t_{\text{в}} \leq -15^{\circ}\text{C}$ ;  $K_{\text{ад}}$  – с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 10 \text{ мб}/\text{сут}$ ;  $K_{\text{овв}}$  – с относительной влажностью воздуха  $\geq 80\%$ .

Существенное влияние на комфортность климата городов имеет количество дней со скоростью ветра  $\geq 6 \text{ м}/\text{с}$  ( $K_{\text{св}}$ ); с осадками  $\geq 1 \text{ мм}$  ( $K_{\text{ос}}$ ); с облачностью  $\geq 5\text{б}$  ( $K_{\text{об}}$ ), а так же климатический потенциал самоочищения атмосферы ( $K_{\text{кпс}}$ ) и продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений ( $K_{\text{эжс}}$ ), которым был присвоен коэффициент значимости  $F = 3$ . Климатический потенциал самоочищения атмосферы определялся по

формуле предложенной [6]:  $K_{\text{кпс}} = (P_{\text{ш}} + P_{\text{т}}) / (P_{\text{о}} + P_{\text{в}})$ , где  $K_{\text{кпс}}$  – климатический потенциал самоочищения атмосферы, баллы;  $P_{\text{ш}}$  – число дней со штилем;  $P_{\text{т}}$  – число дней с туманами;  $P_{\text{о}}$  – количество дней с осадками  $\geq 0,5$  мм;  $P_{\text{в}}$  – число дней с сильным ветром  $\geq 6$  м/с. Чем больше по абсолютной величине  $K_{\text{кпс}}$ , тем хуже условия для рассеивания вредных веществ в атмосфере. Если  $K_{\text{кпс}} \leq 1$ , то в повторяемость процессов, способствующих самоочищению атмосферы, преобладает над повторяемостью процессов, способствующих накоплению вредных примесей в ней, что улучшает условия для жизни и отдыха населения особенно при значительных антропогенных нагрузках ( $F=3$ ). Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений определялась с учетом влияния на них температуры и влажности воздуха [7]. В данном случае под комфортной погодой понималась такая, при которой для поддержания комфортных условий в помещениях не требуется ни отопления, ни охлаждения, а воздухообмен в помещениях поддерживается естественным путем. Эти погодные условия наблюдаются при сочетании следующих значений средней суточной температуры ( $t$ , °C) и относительной влажности воздуха ( $f$ , %):  $t - 12,0-19,9$  °C и  $f - \leq 85$  %;  $t - 20,0-23,9$  °C и  $f - \leq 75$  %;  $t - 24,0-28,0$  °C и  $f - \geq 25 \leq 50$  %. При оценке комфортности климата среднемесячные температуры самого холодного и теплого месяцев малоинформативны. Но, тем не менее, отражают общие климатические особенности территории. Им был присвоен коэффициент значимости  $F = 2$ .

Интегральный показатель комфортности климата ( $K_{\text{ипкк}}$ ) рассчитывается по уравнению:  $K_{\text{ипкк}} = C_1F_1 + C_2F_2 + C_3F_3 + \dots + C_nF_n / F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$ , где;  $C$  – уровень комфортности  $i$ -го эколого-климатического показателя, баллы;  $F$  – коэффициент значимости  $i$ -го эколого-климатического показателя. Интегральный показатель комфортности климата дает представление о степени благоприятности климата городов для жизнедеятельности людей с учетом воздействия всего комплекса метеорологических факторов. В крупных городах Беларуси можно выделить 4 категории комфортности климатических условий:  $K_{\text{ипкк}} \geq 4,00$  – комфортные,  $3,00 \div 3,99$  – умеренно комфортные,  $2,00 \div 2,99$  – малокомфортные,  $\leq 1,99$  – дискомфортные. Разработанная методика геоэкологической оценки комфортности климата городов реализована в виде комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата (ГИС ГОКК) на базе MS Access и ArcView GIS. ГИС ГОКК включает два основных блока. Первый блок представлен полифункциональной базой данных климатической информации в разрезе городов. Во второй блок входят субблоки расчета частных и интегральных показателей оценки комфортности климата городов.

Для характеристики современного изменения комфортности климата Минска были использованы средние суточные данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» о суммарной солнечной радиации и радиационном балансе, температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности и туманах за 36-летний период (1980–2015 гг.), которые были, затем обобщены и интерпретированы авторами с учетом их сезонной динамики и межгодовой изменчивости.

Изучение климатических условий в Минске за период 1980-2015 гг. показывает, что в городе отмечается устойчивая тенденция к увеличению суммарной солнечной радиации  $Q$ . Среднегодовое значение  $Q$  за этот период составило  $3694,1$  МДж/м<sup>2</sup> при коэффициенте вариации  $C_v$  5,25 %, максимальное годовое  $Q$  наблюдалось в 2011 г. ( $4139,0$  МДж/м<sup>2</sup>), минимальное – в 1980 г. ( $3291,0$  МДж/м<sup>2</sup>). В экстремальные годы отклонение годового хода  $Q$  от многолетних значений отмечается в основном в теплый период (табл. 1). На май–июль приходится  $45 \div 50$  % годовой  $Q$ , а на ноябрь–январь – всего около 5 %. Месячная сумма  $Q$  в июле примерно в 14 раз больше, чем в декабре. Средний годовой радиационный баланс  $R$  за рассматриваемый период составил  $1503,8$  МДж/м<sup>2</sup> при  $C_v$  7,67 %, максимальный отмечался в 2009 г. ( $1758,0$  МДж/м<sup>2</sup>), минимальный – в 2001 г. ( $1255,0$  МДж/м<sup>2</sup>).

Таблица 1. Средние годовые показатели климата в Минске за 1980–2015 гг.

| Год              | Климатические показатели |                       |       |        |        |      |        |           |
|------------------|--------------------------|-----------------------|-------|--------|--------|------|--------|-----------|
|                  | Q, МДж/м <sup>2</sup>    | R, МДж/м <sup>2</sup> | t, °С | P, гПа | V, м/с | F, % | Ос, мм | Об, баллы |
| 1980             | 3291,0                   | 1397,0                | 4,8   | 986,9  | 3,1    | 79,3 | 646,3  | 3,2       |
| 1981             | 3595,0                   | 1622,0                | 6,4   | 986,4  | 2,9    | 77   | 737,8  | 7,5       |
| 1982             | 3547,0                   | 1566,0                | 6,4   | 988,8  | 2,8    | 78   | 695,5  | 3,5       |
| 1983             | 3705,0                   | 1532,0                | 7,4   | 985,8  | 3,0    | 76,1 | 592,4  | 3,6       |
| 1984             | 3421,0                   | 1369,0                | 6,0   | 989,5  | 2,9    | 78,2 | 656,3  | 7,2       |
| 1985             | 3539,0                   | 1533,0                | 4,6   | 986,9  | 2,7    | 79,1 | 706,9  | 7,2       |
| 1986             | 3608,0                   | 1628,1                | 5,8   | 988,1  | 2,8    | 77,7 | 610,4  | 6,8       |
| 1987             | 3604,0                   | 1490,0                | 4,3   | 988,2  | 2,8    | 78,7 | 726,0  | 6,6       |
| 1988             | 3583,0                   | 1414,3                | 6,3   | 986,5  | 2,7    | 79,0 | 665,2  | 6,8       |
| 1989             | 3476,0                   | 1588,3                | 7,9   | 987,1  | 2,6    | 79,9 | 746,4  | 7,1       |
| 1990             | 3520,0                   | 1650,0                | 7,7   | 986,2  | 2,7    | 78,3 | 766,4  | 7,4       |
| 1991             | 3437,0                   | 1532,1                | 6,9   | 989,0  | 2,5    | 79,1 | 541,3  | 7,3       |
| 1992             | 3684,0                   | 1622,0                | 7,1   | 987,4  | 2,6    | 75,5 | 568,8  | 6,9       |
| 1993             | 3479,0                   | 1647,0                | 5,8   | 988,4  | 2,6    | 77,3 | 725,3  | 7,2       |
| 1994             | 3645,0                   | 1464,0                | 6,5   | 987,0  | 2,2    | 77,2 | 747,7  | 7,4       |
| 1995             | 3736,1                   | 1472,0                | 6,9   | 986,8  | 2,2    | 76,7 | 558,2  | 7,1       |
| 1996             | 3738,8                   | 1293,0                | 5,6   | 989,7  | 2,1    | 76,4 | 672,3  | 7,1       |
| 1997             | 3605,5                   | 1546,5                | 6,2   | 986,6  | 2,3    | 77,5 | 693,7  | 7,4       |
| 1998             | 3447,8                   | 1302,0                | 6,3   | 986,8  | 2,1    | 79,2 | 965,4  | 7,4       |
| 1999             | 4008,3                   | 1447,0                | 7,8   | 987,5  | 2,1    | 73,7 | 575,2  | 7,1       |
| 2000             | 3580,7                   | 1518,9                | 7,8   | 987,8  | 2,1    | 77,1 | 588,3  | 7,3       |
| 2001             | 3711,0                   | 1255,0                | 7,0   | 987,4  | 2,2    | 77,1 | 714,1  | 7,2       |
| 2002             | 4086,6                   | 1503,2                | 7,7   | 988,7  | 2,2    | 72,6 | 587,8  | 6,9       |
| 2003             | 3822,4                   | 1356,5                | 6,4   | 989,4  | 2,2    | 77,5 | 615,0  | 7,2       |
| 2004             | 3698,4                   | 1281,5                | 6,6   | 987,6  | 2,1    | 77,8 | 809,4  | 7,3       |
| 2005             | 3780,2                   | 1466,3                | 6,8   | 989,3  | 2,0    | 77,3 | 765,8  | 7,0       |
| 2006             | 3937,0                   | 1596,3                | 6,9   | 989,2  | 1,9    | 77,4 | 727,7  | 6,9       |
| 2007             | 3895,0                   | 1609,0                | 7,8   | 987,2  | 1,9    | 76,8 | 585,9  | 7,4       |
| 2008             | 3769,0                   | 1556,0                | 7,9   | 987,9  | 2,0    | 78,5 | 684,3  | 7,5       |
| 2009             | 3930,0                   | 1758,0                | 7,0   | 988,1  | 1,6    | 79,4 | 899,2  | 3,5       |
| 2010             | 3818,0                   | 1441,6                | 6,9   | 987,3  | 1,5    | 79,4 | 820,2  | 3,5       |
| 2011             | 4139,0                   | 1513,0                | 7,6   | 989,7  | 1,4    | 75,7 | 631,1  | 3,6       |
| 2012             | 3806,0                   | 1504,0                | 6,8   | 987,3  | 1,5    | 77,0 | 839,1  | 3,3       |
| 2013             | 3821,0                   | 1520,0                | 7,5   | 987,2  | 1,4    | 77,0 | 677,0  | 3,4       |
| 2014             | 3885,0                   | 1602,0                | 7,8   | 989,4  | 1,5    | 74,5 | 604,6  | 3,5       |
| 2015             | 3639,0                   | 1539,0                | 8,7   | 989,0  | 1,6    | 73,2 | 563,2  | 5,9       |
| За 1980-2015 гг. |                          |                       |       |        |        |      |        |           |
| Среднее          | 3694,1                   | 1503,8                | 6,8   | 987,8  | 2,2    | 77,3 | 686,4  | 6,2       |
| Максимальное     | 4139,0                   | 1758,0                | 8,7   | 989,7  | 3,1    | 79,9 | 965,4  | 7,5       |
| Минимальное      | 3291,0                   | 1255,0                | 4,3   | 985,8  | 1,4    | 72,6 | 541,3  | 3,2       |
| $\sigma$         | 194,01                   | 115,39                | 0,99  | 1,11   | 0,49   | 1,75 | 99,90  | 1,63      |
| Cv               | 5,25                     | 7,67                  | 14,54 | 0,11   | 22,02  | 2,27 | 14,55  | 26,36     |

Примечание. Здесь и в табл. 2:  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение.

Температура воздуха  $t$  в городе отличается значительной временной изменчивостью и устойчивой тенденцией к повышению среднегодовых значений. Наиболее низкая среднегодовая температура воздуха отмечалась в 1987 г. (4,3 °С), максимальная – в 2015 г. (8,7 °С). Максимальная среднемесячная температура воздуха в основном наблюдалась в июле, минимальная – в январе–феврале.

Среднегодовое атмосферное давление воздуха  $P$  в Минске характеризуется незначительной межгодовой изменчивостью и небольшой тенденцией к повышению. Более высокие значения атмосферного давления, как правило, отмечаются зимой, более низкие – летом. За период 1980–2015 гг. наиболее низкое среднемесячное атмосферное давление в январе наблюдалось в 2007 г. (977,6 гПа), наиболее высокое – в 2006 г. (1000,8 гПа). В июле данный показатель отличается меньшей изменчивостью: самое низкое атмосферное давление зафиксировано в 2000 г. (981,0 гПа), наиболее высокое – в 2006 г. (992,5 гПа).

Относительная влажность воздуха  $F$  в Минске характеризуется незначительной временной изменчивостью и устойчивой тенденцией к уменьшению средних годовых значений. Она имеет достаточно выраженный годовой ход с минимумом в весенние месяцы (апрель–май) и максимумом – в осенне-зимний период (ноябрь–январь). Средняя годовая относительная влажность воздуха в 1980–2015 гг. варьировала от 72,6 % в 2002 г. до 79,9 % в 1989 г. Анализ относительной влажности воздуха в разрезе сезонов года показал, что наибольшая ее межгодовая изменчивость отмечается в июле, наименьшая – в декабре.

Скорость ветра  $V$  имеет умеренную временную изменчивость, устойчивую тенденцию к снижению, относительно плавный годовой ход. Среднегодовая скорость ветра изменялась от 3,1 м/с в 1980 г. до 1,4 м/с в 2011 и 2013 гг. Максимальная скорость ветра в основном характерна для осенне-зимнего сезона, минимальная наблюдается весной и особенно летом. Сезонная динамика скорости ветра достаточно устойчивая, но в отдельные годы существенно варьирует. Преобладающее направление ветра летом – западное, северо-западное, осенью и зимой – западное, южное, юго-западное, весной – восточное, юго-восточное. В исследуемый период в Минске преобладал западный ветер (17,1 %). Минимальная повторяемость характерна для северо-восточного ветра (8,1 %), значительная повторяемость – для южного ветра до 16,3 %. Повторяемость штилей заметно увеличилась к концу рассматриваемого периода и в среднем составила – 8,6 %.

Атмосферные осадки  $Ос$  характеризуются значительной временной изменчивостью и тенденцией к увеличению их годового количества. В среднем минимум осадков наблюдается в зимние месяцы, максимум – в летние, достигая пика в июле. В экстремальных ситуациях годовой ход атмосферных осадков имеет более сложный характер. Количество атмосферных осадков варьировало от 541,3 мм в 1991 г. до 965,4 мм в 1998 г. Самыми дождливыми и засушливыми месяцами за исследуемый период были август 2006 г. (250,3 мм) и октябрь 2000 г. (1,5 мм) соответственно.

Облачность  $Об$  в городе характеризуется незначительной временной изменчивостью. В годовом ходе облачности минимум приходится на теплый период года (май–август), максимальные значения отмечаются в ноябре–январе. Но в отдельные экстремальные годы он имеет более сложный вид. Наблюдаются месяцы, когда не бывает ни одного ясного дня. Среднегодовая облачность за рассматриваемый период изменялась от 3,2 балла в 1980 г. до 7,5 балла в 2008 г.

Анализ эколого-климатических показателей комфортности климатических условий в Минске показал, что в теплый период года наиболее значимой ее характеристикой является количество дней с нормальной эквивалентно-эффективной температурой воздуха  $K_{нэ\text{э}т}$ , отражающей воздействие на человека совокупности метеорологических факторов: скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха. Наибольшее значение  $K_{нэ\text{э}т}$  наблюдалось в 2011 г. и составило 56 дней, а наименьшее – в 1980 г. – 16 дней (табл. 2).

Количество душных дней  $K_{дд}$  со среднесуточной температурой воздуха  $\geq 20$  °C и относительной влажностью воздуха  $\geq 75$  % в течение года небольшое – в среднем 3,7 дня. Максимальное значение  $K_{дд}$  наблюдалось в 2010 г. (15 дней). В 1992, 2005, 2012 и 2015 гг. подобные климатические условия совсем не наблюдались.

В холодный период года важной характеристикой комфортности климатических условий является количество дней с индексом холодового стресса по Хиллу  $K_{дп} \geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с. Максимальное количество дней с дискомфортными значениями наблюдались в 1980 г. (76 дней), а минимальное в 2015 г. – 3 дня.

Таблица 2. Средние годовые эколого-климатические показатели климата в Минске за 1980–2015 гг.

| Год              | Эколого- климатические показатели |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                             |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                  | К <sub>нээт</sub> , дни           | К <sub>дд</sub> , дни | К <sub>дп</sub> , дни | К <sub>хд</sub> , дни | К <sub>ип</sub> , дни | К <sub>ад</sub> , дни | К <sub>ов</sub> , дни | К <sub>ипкк</sub> , отн. ед |
| 1980             | 16                                | 7                     | 76                    | 26                    | 161                   | 43                    | 197                   | 1,94                        |
| 1981             | 42                                | 5                     | 61                    | 12                    | 160                   | 46                    | 184                   | 2,72                        |
| 1982             | 25                                | 3                     | 40                    | 8                     | 138                   | 39                    | 176                   | 2,68                        |
| 1983             | 47                                | 3                     | 53                    | 10                    | 170                   | 51                    | 143                   | 3,02                        |
| 1984             | 18                                | 1                     | 73                    | 7                     | 128                   | 33                    | 192                   | 2,44                        |
| 1985             | 31                                | 2                     | 60                    | 46                    | 151                   | 43                    | 198                   | 2,40                        |
| 1986             | 32                                | 2                     | 53                    | 33                    | 167                   | 50                    | 179                   | 2,50                        |
| 1987             | 27                                | 2                     | 67                    | 34                    | 150                   | 36                    | 173                   | 2,52                        |
| 1988             | 42                                | 6                     | 54                    | 16                    | 167                   | 53                    | 185                   | 2,76                        |
| 1989             | 37                                | 3                     | 21                    | 6                     | 146                   | 37                    | 204                   | 3,18                        |
| 1990             | 22                                | 2                     | 25                    | 2                     | 158                   | 41                    | 191                   | 2,66                        |
| 1991             | 31                                | 4                     | 32                    | 11                    | 128                   | 32                    | 181                   | 2,84                        |
| 1992             | 33                                | 0                     | 33                    | 4                     | 156                   | 57                    | 165                   | 3,28                        |
| 1993             | 46                                | 1                     | 43                    | 14                    | 143                   | 41                    | 166                   | 2,94                        |
| 1994             | 27                                | 1                     | 13                    | 18                    | 155                   | 52                    | 166                   | 2,94                        |
| 1995             | 36                                | 1                     | 19                    | 18                    | 153                   | 64                    | 182                   | 3,12                        |
| 1996             | 37                                | 2                     | 30                    | 32                    | 138                   | 25                    | 174                   | 3,22                        |
| 1997             | 38                                | 3                     | 25                    | 13                    | 154                   | 57                    | 166                   | 3,12                        |
| 1998             | 41                                | 6                     | 22                    | 15                    | 156                   | 53                    | 199                   | 2,80                        |
| 1999             | 40                                | 6                     | 22                    | 7                     | 147                   | 46                    | 154                   | 3,30                        |
| 2000             | 53                                | 1                     | 8                     | 5                     | 143                   | 29                    | 174                   | 3,78                        |
| 2001             | 37                                | 14                    | 27                    | 20                    | 158                   | 37                    | 175                   | 2,72                        |
| 2002             | 44                                | 4                     | 16                    | 19                    | 131                   | 36                    | 136                   | 3,66                        |
| 2003             | 40                                | 4                     | 19                    | 18                    | 152                   | 41                    | 175                   | 3,32                        |
| 2004             | 33                                | 4                     | 15                    | 12                    | 160                   | 47                    | 182                   | 3,12                        |
| 2005             | 36                                | 0                     | 24                    | 13                    | 128                   | 43                    | 160                   | 3,56                        |
| 2006             | 50                                | 3                     | 15                    | 25                    | 137                   | 23                    | 194                   | 3,62                        |
| 2007             | 38                                | 3                     | 13                    | 9                     | 153                   | 41                    | 172                   | 3,34                        |
| 2008             | 51                                | 2                     | 10                    | 3                     | 157                   | 39                    | 192                   | 3,44                        |
| 2009             | 56                                | 3                     | 8                     | 14                    | 150                   | 28                    | 203                   | 3,66                        |
| 2010             | 37                                | 15                    | 15                    | 34                    | 158                   | 29                    | 196                   | 3,08                        |
| 2011             | 56                                | 10                    | 9                     | 17                    | 140                   | 34                    | 159                   | 3,48                        |
| 2012             | 46                                | 0                     | 9                     | 33                    | 162                   | 36                    | 167                   | 3,70                        |
| 2013             | 46                                | 8                     | 7                     | 10                    | 144                   | 30                    | 169                   | 3,94                        |
| 2014             | 46                                | 2                     | 8                     | 18                    | 133                   | 21                    | 147                   | 3,98                        |
| 2015             | 44                                | 0                     | 3                     | 3                     | 145                   | 40                    | 146                   | 4,10                        |
| За 1980-2015 гг. |                                   |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                             |
| Среднее          | 38,4                              | 3,7                   | 28,6                  | 16,3                  | 149,4                 | 40,4                  | 175,6                 | 3,14                        |
| Максимальное     | 56                                | 15                    | 76                    | 46                    | 170                   | 64                    | 204                   | 4,1                         |
| Минимальное      | 16                                | 0                     | 3                     | 2                     | 128                   | 21                    | 136                   | 1,94                        |
| $\sigma$         | 9,84                              | 3,53                  | 20,72                 | 10,6                  | 11,5                  | 10,12                 | 17,5                  | 0,5                         |
| Cv               | 25,64                             | 95,49                 | 72,55                 | 65,23                 | 7,72                  | 25,07                 | 9,97                  | 15,98                       |

Количество холодных дней с температурой воздуха  $K_{хд} \leq -10^{\circ}\text{C}$  в течение года значительно больше, чем количество душных дней. Максимальное число  $K_{хд}$  зафиксировано в 1985 г. (46 дней), а минимальное – в 1990 г., когда наблюдалось всего 2 холодных дня.

Количество случаев с контрастными изменениями погоды  $K_{ип}$  в среднем за рассматриваемый период составило 149 дней. При этом более выраженные погодные контрасты наблюдались в 1983 г. (170 дней), а наиболее стабильные погодные условия отмечались в 1984, 1991 и 2005 гг (128 дней).

Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений  $K_{эжс}$  за 1980–2015 гг. в среднем составило 110 дней. Наименее благоприятные условия наблюдались в 2010 г. (80 дней), наиболее комфортные – в 1983 г. (134 дня).

Климатический потенциал самоочищения атмосферы  $K_{кпс}$  в условиях города определяется как функция комплексного влияния числа дней со штилем, туманами, осадками более 1 мм, сильным ветром свыше 5 м/с. Наиболее неблагоприятные значения  $K_{кпс}$  зафиксированы в 1991 г. – 0,7.

Существенное влияние на изменение комфортности климата имеет количество дней с резким межсуточным изменением атмосферного давления  $K_{ад} \geq 9$  гПа/сут; со среднесуточной: относительной влажностью воздуха  $K_{ов} \geq 80$  %, скоростью ветра  $K_{св} \geq 5$  м/с; осадками  $K_{ос} \geq 1$  мм; облачностью  $K_{об} \geq 6$  баллов. На протяжении исследуемого периода самые неблагоприятные условия с резким межсуточным изменением атмосферного давления наблюдались в 1995 г. (64 дня), наиболее комфортные – в 2014 г. (21 день); наибольшее количество дней с дискомфортными значениями  $K_{ов}$  отмечалось в 1989 г. (204 дня), наименьшее – в 2002 г. (136 дней); максимальное количество дней с высокой среднесуточной скоростью ветра было в 1980 г. (28 дней), а в 2006, 2008, 2009 и 2011 гг. были зафиксированы нулевые значения показателя  $K_{св}$ ; наибольшие количество дней с осадками более 1 мм соответствовало 1998 г. (142 дня), а наименьшее – 2014 г. (94 дня); самые неблагоприятные условия с дискомфортными значениями  $K_{об}$  отмечались в 1981 г. (284 дня), а наиболее комфортные в 2012 г. (71 день).

Для характеристики комфортности климатических условий города были также использованы среднемесячные температуры самого холодного и теплого месяцев года, отражающие общие особенности климата. Наиболее высокая среднесуточная температура воздуха в Минске наблюдалась в июле 2010 г. (22,6 °С) и январе 1989 г. (0,5 °С), а минимальная – в июле 1984 г. (15,6 °С) и январе 1987 г. (–15,2 °С).

Анализ изменения интегрального показателя комфортности климата в Минске в 1980–2015 гг. выявил повышение уровня комфортности климатических условий для жизнедеятельности его населения. На протяжении исследуемого периода в Минске отмечалась устойчивая тенденция к повышению количества дней с нормально эквивалентно-эффективной температурой воздуха от 17 до 21 °С и среднемесячной температурой воздуха в июле и январе; незначительное увеличение количества душных дней, продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, повышение интегрального показателя комфортности климата. Тенденция к снижению характерна для продолжительности периода с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с и количества случаев с контрастными изменениями погоды; уменьшается количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9$  гПа/сут, относительной влажностью воздуха  $\geq 80$  %, холодных дней с температурой воздуха  $\leq -10$  °С, с дискомфортными значениями облачности  $\geq 6$  баллов, со скоростью ветра  $\geq 5$  м/с, с осадками  $\geq 1$  мм; снижается климатический потенциал самоочищения атмосферы. В Минске в 1980–2015 гг. преобладали умеренно комфортные (61 %) и малокомфортные (36 %) климатические условия. Комфортные климатические условия наблюдались в 2013–2015 г.г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Витченко А.Н., Телеш И.А. Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов / А.Н. Витченко, И.А. Телеш // Вестник БГУ. – 2007. – Сер.2. № 2. – С. 99–104.
2. Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей / В.И. Русанов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1989. – 186 с.
3. Бартон А. Человек в условиях холода / А. Бартон, О. Эдхолм. – Москва: Изд-во «Иностранная литература», 1957. – 47 с.
4. Золотокрылин А.Н. Районирование территории России по степени экстремальности природных условий для жизни / А.Н. Золотокрылин, И.В. Канцеровская, А.Н. Кренке // Известия РАН. – 1992. – Сер. геогр. № 6. – С. 16–30.

5. Бутьева И.В. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий / И.В. Бутьева, Т.Г. Швейнова // Комплексные биоклиматические исследования. – 1988. – С. 97-106.

6. Селегей Т.С. Потенциал рассеивающей способности атмосферы / Т.С. Селегей, И.П. Юрченко // География и природные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 132-137.

7. Гербурт-Гейбович А.А. Оценка климата для типового проектирования жилищ / А.А. Гербурт-Гейбович. – Ленинград. Изд-во: «Гидрометеиздат», 1971. – 157 с.

## **ВАРИАЦИИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ В СВЕТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

*Г.Н. Григорьев, Е.П. Новикова*  
*[grigoryev.gn@yandex.ru](mailto:grigoryev.gn@yandex.ru)*

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Белгород, Россия*

За последние десятилетия усилились колебания климатических характеристик как в планетарном масштабе, так и в отдельных регионах. Это вызывает повышенный интерес не только у ученых и специалистов, но и широкого круга населения. Климатологи эти процессы объясняют прежде всего изменением формы циркуляции атмосферы с субширотной до 1980 гг. на субмеридиональную за последние десятилетия [1,2]. Другой причиной называют глобальное потепление в северном полушарии.

Изменение характера циркуляции атмосферы оказывает существенное влияние на формирование погодных условий, во многом определяя формирование аномальных значений метеорологических характеристик. В зависимости от продолжительности и интенсивности широтных или меридиональных типов циркуляции атмосферы могут формироваться периоды с экстремальными погодно-климатическими характеристиками.

В целях выявления особенностей циркуляции в ЦЧР за период с 1981 по 2010 гг. нами проведен анализ ветрового режима на 12 метеорологических станциях. Станции выбраны с таким расчетом, чтобы охватить всю территорию. Известно, что ветровой режим характеризуется направлением и скоростью за определенный интервал времени. Повторяемость направлений в среднем за год на этих станциях приведена на рисунке.

Из рис.1 видно, что в северных районах преобладают южные и юго-западные ветры (от 15 до 20%). В западных районах (Курск, Белгород) преобладают ветра западной составляющей (33–47%). В целом за год на всех станциях преобладают ветра западной составляющей. На втором месте по повторяемости среднегодовых направлений оказываются ветра восточной составляющей – до 43% на южных станциях. Самая небольшая повторяемость составила направление северных ветров. Следует также отметить, что на направлении ветра сказываются орографические особенности местоположения станции. Например, на станции Богучар, расположенной на юге Воронежской области в долине реки, ориентированной с юго-запада на северо-восток, повторяемость этих направлений больше.

Иная картина наблюдается по месяцам сезонов года. Повторяемость направления ветра в январе на вышеуказанных станциях приведена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что практически на всех станциях зимой преобладают ветры южной, юго-западной и западной составляющей. На станции Богучар эти направления достигают 51%, на станции Курск 56%, а на севере – Моршанск – до 60%. Некоторые отличия по направлениям объясняются орографическими особенностями. Например, на станции Богучар сохраняется преимущество направлений юго-запад – северо-восток из-за конфигурации местоположения станции в долине реки, имеющей названный азимут. Такое