

## **ОЦЕНКА КОМФОРТНОСТИ КЛИМАТА ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ**

*Дана территориально дифференцированная геоэкологическая оценка комфортности климата городов Беларуси и предложен прогнозный сценарий ее изменения в 2020 году. Полученные результаты могут быть использованы в практике рационального природопользования Беларуси для принятия грамотных управленческих решений по оптимизации функционирования и развития урбанизированных территорий страны.*

**Ключевые слова:** *город, жизнедеятельность, комфортность, климат, человек.*

### **Вступление.**

В настоящее время уделяется значительное внимание проблемам развития городов требующих квалифицированного решения. Многогранность города как природно-социального комплекса, архитектурной и градостроительной системы требует участия в исследовании его проблем представителей многих наук. Изучение комфортности климатических условий городов является составной частью комплексной оценки геоэкологического потенциала среды жизнедеятельности человека на урбанизированных территориях.

Достижения в области исследовании климатической системы и развитие компьютерных технологий позволили разработать ряд глобальных климатических моделей, определить тенденции изменения климата Земли. Разработана Всемирная климатическая программа. Проведено значительное количество международных конференций, выполнено много международных и национальных научных программ направленных на всесторонне изучение климата и оценку последствий его возможных вариаций.

Из наиболее значимых работ последнего десятилетия по изучению климата в Беларуси следует отметить монографии [1, 2]. В Беларуси разработана Национальная климатическая программа. В соответствии с обязательствами по выполнению Рамочной Конвенцией ООН об изменении климата ведутся исследования тенденций изменения климата и его воздействия на окружающую среду. Вместе с тем, несмотря на значительный объем исследований, выполненных с помощью традиционных подходов к оценке и прогнозу воздействия климата и погоды на различные сферы хозяйственной деятельности, они не могут удовлетворить современные запросы практики. Проблема геоэкологической оценки комфортности климата городов, как самостоятельная задача, рассмотрена пока еще недостаточно.

### **Цель и методы исследований.**

Анализ литературных источников и собственные исследования позволили авторам разработать методику геоэкологической оценки комфортности климата городов. Она 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 современных ГИС-технологий [3-5].

### **Результаты исследований и их анализ.**

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. Для оценки комфортности климата городов была разработана система ранжирования эколого-климатических показателей с учетом их весовых коэффициентов, согласно которой оптимальным эколого-климатическим па-

раметрам в пределах городов соответствует высший балл, а низший – неблагоприятным, табл. 1.

Таблица 1 – Эколого-климатические показатели геоэкологической оценки комфортности климата городов Беларуси

Значимость, F	Показатели комфортности климата	Диапазон данных				
5	Продолжительность комфортного периода с НЭЭТ от 17 до 21 °С, (K <sub>нээт</sub> ) дни	≥41	40-36	35-31	30-26	≤25
4	Количество душных дней с t <sub>в</sub> ≥ 20 °С, f ≥ 75 %, (K <sub>дд</sub> ) дни	0	1-3	4-6	7-9	≥10
5	Продолжительность дискомфортного периода с индексом холодового стресса по Хиллу ≥4,5 Вт/м <sup>2</sup> ·с, (K <sub>дп</sub> ) дни	≤20	21-25	26-30	31-35	≥36
4	Количество холодных дней с t <sub>в</sub> ≤ -10 °С, (K <sub>хд</sub> ) дни	≤5	6-10	11-15	16-20	≥21
5	Изменчивость погоды, (K <sub>ип</sub> ) отн. ед.	≤130	131-140	141-150	151-160	≥161
4	Количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления ≥9 гПа/сут, (K <sub>ад</sub> ) дни	≤30	31-35	36-40	41-45	≥46
4	Количество дней с относительной влажностью воздуха ≥80 %, (K <sub>овв</sub> ) дни	≤150	151-165	166-180	181-195	≥196
3	Количество дней со скоростью ветра ≥5 м/с, (K <sub>св</sub> ) дни	≤5	6-10	11-15	16-20	≥21
3	Количество дней с осадками ≥1 мм, (K <sub>ос</sub> ) дни	≤100	101-110	111-120	121-130	≥131
3	Количество дней с облачностью ≥6 баллов, (K <sub>об</sub> ) дни	≤240	241-250	251-260	261-270	≥271
3	Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, (K <sub>эжс</sub> ) дни	≤120	119-110	109-100	99-90	≥89
3	Климатический потенциал самоочищения атмосферы, (K <sub>кпс</sub> ), отн. ед.	≤0,2	0,3-0,4	0,5-0,6	0,7-0,8	≥0,9
2	Средняя температура июля, (t <sub>и</sub> ) °С	19,0-20,0	20,1-20,5 18,9-18,5	20,6-21,0 18,4-18,0	21,1-21,5 17,9-17,5	≥21,6; ≤17,4
2	Средняя температура января, (t <sub>я</sub> ) °С	≥-4	-4,1- -6,0	-6,1- -8,0	-8,1- -10,0	≤-10,1
Уровень комфортности эколого-климатических показателей, (С) баллы		5	4	3	2	1

Интегральный показатель комфортности климата дает представление о степени благоприятности климата городов для жизнедеятельности людей с учетом воздействия всего комплекса рассматриваемых метеорологических факторов и рассчитывается по уравнению:

$$K_{инткк} = C_1F_1 + C_2F_2 + C_3F_3 + \dots + C_nF_n / F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n,$$

где  $K_{инткк}$  – интегральный показатель комфортности климата, отн. ед.;

$C$  – уровень  $i$ -го эколого-климатического показателя, баллы;

$F$  – коэффициент значимости  $i$ -го эколого-климатического показателя.

В крупных городах Беларуси можно выделить 4 категорий комфортности климатических условий:  $K_{инткк} \geq 4,00$  – комфортные,  $3,00-3,99$  – умеренно комфортные,  $2,00-2,99$  – мало комфортные,  $\leq 1,99$  – дискомфортные.

Предложенная методика была реализована в виде географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата крупных городов (ГИС «ГОКК»). Разработка ГИС «ГОКК» базируется на методологии системного анализа и ее структура состоит из трех основных подсистем: ввода и управления данными, их сортировки и классификации по заданным признакам; вычислительной обработки и комбинирования данных по заданной программе; представления полученных расчетных характеристик в виде таблиц. Программа ГИС «ГОКК» написана в среде Delphi на языке Object Pascal.

Оценка комфортности климата городов Беларуси выполнялась на основе средне-суточной метеорологической информации (средние суточные данные о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности, туманах) по данным 6 метеостанций областных центров страны за 25-летний период (1984-2008 гг.). Такой временной интервал позволяет выявить тенденции пространственно-временной динамики эколого-климатических показателей (ЭКП) городов.

Анализ полученных результатов показал, что, в городах Беларуси в теплый период года количество дней с нормальной эквивалентно-эффективной температурой (НЭЭТ) воздуха, отражающей воздействие на человека совокупности метеорологических условий: скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха, отличаются значительной пространственно-временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{нээт}$  наблюдалось в 2000 г. в Минске – 53 дня, а наименьшее – в 1990 г. в Могилеве – 8 дней. Коэффициент вариации ( $C_v$ )  $K_{нээт}$  изменяется от 20,21 % в Гомеле до 34,85 % в Гродно. Уровень комфортности  $K_{нээт}$  отличается значительно большей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{нээт}$  варьирует от 33,15 в Минске до 63,88 % в Могилеве. В среднем большее количество дней с комфортными значениями НЭЭТ за период с 1984 по 2008 год отмечается в Минске, Бресте и Гомеле, немного меньше – в Витебске и минимальное – в Гродно и Могилеве.

Количество душных дней со средней суточной температурой воздуха  $\geq 20$  °С и относительной влажностью воздуха  $\geq 75$  % ( $K_{од}$ ) в городах Беларуси в течение года не большое (3-5), но отличается значительной пространственной и межгодовой изменчивостью. Максимальные значения  $K_{од}$  наблюдались в 2001 г. в Гомеле и Гродно (21 день). В тоже время во всех городах страны, в отдельные годы, подобные климатические условия не наблюдались: в Бресте – 1984-1985; Витебске – 1984, 1993-1994, 2006; Гомеле – 1987; Гродно – 1984, 1993, 1994; Минске – 1992, Могилеве – 1984, 1993. Коэффициент вариации  $K_{од}$  изменяется от 68,79 % в Бресте до 110,25 % в Гродно. Уровень комфортности  $K_{од}$  отличается меньшей изменчивостью, чем абсолютный показатель.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{од}$  варьирует от 21,74 в Минске до 38,49 % в Гомеле.

В холодный период года важной характеристикой комфортности климатических условий является количество дней с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{с}$ , отражающей воздействие на человека совокупности метеорологических условий: скорости ветра, температуры и упругости водяного пара воздуха. Максимальное значение  $K_{\text{дн}}$  наблюдалось в 1993 г. в Могилеве и составило 127 дня, а наименьшее – в 2000 г. в Минске – 8 дней. Коэффициент вариации  $K_{\text{дн}}$  изменяется от 13,95 % в Могилеве до 62,7 % в Минске. Уровень комфортности  $K_{\text{дн}}$  в Гродно и Могилеве самый низкий и стабильный среди областных центров Беларуси. В тоже время  $C_v$  уровня комфортности  $K_{\text{дн}}$  в Витебске составляет 80,7 %. В среднем большее количество дней с дискомфортными значениями  $K_{\text{дн}}$  за период с 1984 по 2008 год отмечается в Гродно и Могилеве, далее по убыванию этого показателя следуют Витебск, Гомель, Минск и Брест.

Количество холодных дней с температурой воздуха  $\leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$  в городах Беларуси в течение года относительно небольшое. Во всех городах страны наибольшие значения  $K_{\text{хд}}$  наблюдалось в 1985 г. в Гомеле и Могилеве – 57 дней, в Витебске – 53, Минске – 46, Гродно – 41 и Бресте – 35. Минимальное количество холодных дней в Витебске было в 1990 и 2008 годах (3 дня), в Гомеле, Гродно, Минске и Могилеве – в 1990 году (2), а в Бресте в 1984 и 1990 годах вообще не было холодных дней. Коэффициент вариации  $K_{\text{хд}}$  изменяется от 57,57 % в Витебске до 103,91 % в Бресте.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{\text{хд}}$  в Бресте, Гомеле, Гродно и Минске меньше, а в Витебске и Могилеве выше, чем у абсолютных значений этого ЭКП и варьирует от 38,02 % в Бресте до 69,9 % в Могилеве. В среднем за период с 1984 по 2008 год меньшее количество холодных дней в отмечается в Бресте (9,2), далее в порядке возрастания средних значений этого эколого-климатического показателя располагаются Гродно (12,4), Минск (16,0), Гомель (17), Витебск (21,4) и Могилев (22).

Количество случаев с контрастными именениями погоды ( $K_{\text{ип}}$ ) в городах Беларуси в течение года, отличается незначительной пространственно-временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{\text{ип}}$  наблюдалось в 1995 г. в Витебске и в 1994 г. в Минске – 179 дней, а наименьшее – в 2002 г. в Гомеле – 116 дней. Коэффициент вариации  $K_{\text{ип}}$  небольшой и изменяется от 7,6 % в Бресте до 9,07 % в Гродно. Уровень комфортности  $K_{\text{ип}}$  отличается значительно большей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{\text{ип}}$  варьирует от 36,59 в Бресте до 57,97 % в Витебске. В среднем большее количество случаев с контрастными именениями погоды в период с 1984 по 2008 год отмечается в Витебске (157,6), в остальных городах этот эколого-климатический показатель различается незначительно, от 145,9 в Гродно до 149,2 в Могилеве.

Количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9 \text{ гПа/сут}$  отличается небольшой пространственно и временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{\text{ад}}$  наблюдалось в 1995 г. в Витебске – 72 дня, а наименьшее – в 1996 г. в Гомеле и в 2006 году в Минске – 23 дня. Коэффициент вариации ( $C_v$ )  $K_{\text{ад}}$  изменяется от 21,83 % в Бресте до 25,03 % в Гомеле. Уровень комфортности  $K_{\text{ад}}$  отличается значительно большей изменчивостью, чем абсолютные значения этого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{\text{нэрт}}$  варьирует от 48,1 в Бресте до 87,93 % в Витебске. В среднем большее количество дней с резким межсуточным изменением атмосферного давления за период с 1984 по 2008 год отмечается в Витебске, Гродно, Минске и Могилеве, минимальное – в Гомеле и Бресте.

Важной характеристикой комфортности климатических условий в городах является количество дней с относительной влажностью воздуха  $\geq 80 \text{ } \%$ , неблагоприятной для жизнедеятельности населения. Максимальное значение  $K_{\text{ов}}$  наблюдалось в 1985 г. в Гродно и составило 249 дней, а наименьшее – в 2000 г. в Бресте – 135 дней. Коэффициент вариации  $K_{\text{ов}}$  небольшой и изменяется от 8,75 % в Минске до 10,02 % в Гомеле.

Уровень комфортности  $K_{ов}$  в Могилеве и Гродно самый низкий среди областных центров Беларуси.  $Cv$  уровня комфортности  $K_{ов}$  варьирует от 26,77 % в Бресте до 55,41 % в Гродно. В среднем большее количество дней с дискомфортными значениями относительной влажности воздуха за период с 1984 по 2008 год отмечается в Гродно, далее по убыванию этого показателя следуют Могилев, Витебск, Минск, Гомель и Брест.

Количество дней со скоростью ветра  $\geq 5$  м/с отличается значительной пространственно-временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{св}$  было отмечено в 1997 г. в Могилеве – 134 дня. Отсутствие дней со скоростью ветра  $\geq 5$  м/сек наблюдалось в Витебске в 2006 году и в Минске 2006 и 2008 годах. Коэффициент вариации  $K_{св}$  изменяется от 18,6 % в Могилеве до 97,62 % в Минске. Уровень комфортности  $K_{св}$  отличается значительно меньшей изменчивостью, чем абсолютные значения этого ЭКП.  $Cv$  уровня комфортности  $K_{св}$  варьирует от 0 в Гродно и Могилеве, до 55,68 % в Витебске. В среднем большее количество дней с высокой скоростью ветра за период с 1984 по 2008 год отмечается в Гродно (78,5) и Могилеве (918), минимальное – в Минске (5,9).

Количество дней с осадками  $\geq 1$  мм ( $K_{ос}$ ) в городах Беларуси в течение года, отличается незначительной пространственно-временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{ос}$  наблюдалось в 1988 г. в Витебске – 154 дня, а наименьшее – в 2002 г. в Гродно – 85 дней. Коэффициент вариации  $K_{ос}$  небольшой и изменяется от 9,62 % в Бресте до 10,75 % в Могилеве. Уровень комфортности  $K_{ос}$  отличается значительно большей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $Cv$  уровня комфортности  $K_{ос}$  варьирует от 23,02 в Гродно до 54,79 % в Витебске. В среднем большее количество дней с осадками  $\geq 1$  мм в городах Беларуси в период с 1984 по 2008 год отмечается в Витебске (126,5), в остальных городах этот эколого-климатический показатель различается незначительно, от 104,0 в Бресте до 1116,8 в Минске.

Существенной характеристикой комфортности климатических условий в городах является количество дней с облачностью  $\geq 6$  баллам ( $K_{об}$ ), имеющей негативное психолого-физиологическое воздействие на жизнедеятельность населения городов. Максимальное значение  $K_{об}$  наблюдалось в 2008 г. в Витебске и составило 289 дней, а наименьшее – в 2006 г. в Бресте – 208 дней. Коэффициент вариации  $K_{об}$  небольшой и изменяется от 11,21 % в Бресте до 14,32 % в Витебске. Уровень комфортности  $K_{об}$  в Витебске и Могилеве самый низкий среди областных центров Беларуси.  $Cv$  уровня комфортности  $K_{об}$  варьирует от 10,92 % в Бресте до 50,42 % в Витебске. В среднем большее количество дней с дискомфортными значениями облачности за период с 1984 по 2008 год отмечается в Витебске, далее по убыванию этого показателя следуют Минск, Могилев, Гродно, Гомель и Брест.

В городах Беларуси продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений ( $K_{эжс}$ ), определяемого влиянием различных сочетаний средней суточной температуры и относительной влажности воздуха характеризуются небольшой пространственно-временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{эжс}$  наблюдалось в 2000 г. в Бресте – 147 дней, а наименьшее – в 1987 г. в Гродно – 81 день. Коэффициент вариации ( $Cv$ )  $K_{эжс}$  изменяется от 8,48 % в Бресте и Минске до 11,21 % в Гродно. Уровень комфортности  $K_{эжс}$  отличается большей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $Cv$  уровня комфортности  $K_{эжс}$  варьирует от 14,25 в Бресте до 39,08 % в Гродно. В среднем большее количество дней с комфортными значениями  $K_{эжс}$  за период с 1984 по 2008 год отмечается в Бресте и Гомеле, несколько меньше – в Минске и Витебске, а минимальное – в Гродно и Могилеве.

Климатический потенциал самоочищения атмосферы ( $K_{кис}$ ) в городах Беларуси определяется как функция комплексного влияния число дней со штилем, туманами, осадками  $\geq 1$  мм, сильным ветром  $\geq 5$  м/с и характеризуются небольшой простран-

венной существенной временной изменчивостью. Максимальное значение  $K_{кпс}$  наблюдалось в 1991 г. в Минске – 0,7, а наименьшее – в 1991 и 1995 г. в Витебске и 2007-2008 г. в Бресте – 0,1. Коэффициент вариации ( $C_v$ )  $K_{кпс}$  изменяется от 23,33 % в Гродно до 36,67 % в Витебске. Уровень комфортности  $K_{кпс}$  отличается меньшей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $K_{кпс}$  варьирует от 11,18 в Могилеве до 19,72 % в Минске. В среднем более высокий климатический потенциал самоочищения атмосферы за период с 1984 по 2008 год отмечается в Могилеве, несколько меньше – в Бресте, Витебске, Гомеле и Гродно, а минимальный – в Минске.

По сравнению с другими ЭКП температура воздуха в июле отличается небольшой пространственно-временной изменчивостью. Максимальная температура воздуха в июле наблюдалась в 2001 г. в Гомеле (24,0 °С), а минимальная – в 1984 г. в Могилеве (15,4 °С). Коэффициент вариации  $t_{и}$  изменяется от 9,04 % в Гомеле до 10,5 % в Гродно. Уровень комфортности  $t_{и}$  отличается значительно большей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $t_{и}$  варьирует от 47,81 в Гомеле до 61,69 % в Минске. В среднем более высокая температура в июле в период с 1984 по 2008 год отмечается в Гомеле (19,7 °С) и Бресте (19,2 °С), в остальных городах она различается незначительно, от 18,0 °С в Гродно и Могилеве, до 18,3 °С в Витебске и 18,4 °С в Минске.

Температура воздуха в январе, по сравнению с температурой воздуха в июле, отличается значительно большей временной изменчивостью. Минимальная температура воздуха в январе наблюдалась в 1987 г. в Могилеве (-17,0 °С), а максимальная – в 2007 г. в Бресте (2,6 °С). Коэффициент вариации  $t_{я}$  очень большой и изменяется от 77,5 % в Витебске до 180,45 % в Бресте. Уровень комфортности  $t_{я}$  отличается значительно меньшей изменчивостью, чем абсолютные значения рассматриваемого ЭКП.  $C_v$  уровня комфортности  $t_{я}$  варьирует от 24,11 в Бресте до 33,75 % в Могилеве. В среднем более низкая температура воздуха в январе в период с 1984 по 2008 год отмечается в Витебске и Могилеве (- 4,8 °С), далее в соответствии повышением температуры воздуха следуют Гомель (- 4,1 °С), Минск (- 4,0 °С), Гродно (- 3,1 °С) и Брест (- 2,2 °С).

Анализ изменения интегрального показателя комфортности климата ( $K_{инкк}$ ) за 1984-2008 гг. показывает, что в городах Беларуси преобладали мало комфортные (51%) и умеренно комфортные (37%) климатические условия, комфортные климатические условия (7%) наблюдались в Бресте, Минске и Гомеле, а дискомфортные (5%) - в Могилеве, Гродно и Витебске, табл. 2.

Максимальное значение  $K_{инкк}$  наблюдалось в 2005 г. в Бресте – 4,48, а минимальное – в 1998 г. в Могилеве – 1,7. Комфортность климата в областных центрах Беларуси отличается умеренной межгодовой и пространственной изменчивостью. Коэффициент вариации  $K_{инкк}$  изменяется от 11,75 % в Бресте до 16,79 % в Витебске. Более благоприятные климатические условия за период с 1984 по 2008 год отмечаются в Бресте (3,66) и далее по убыванию средних значений  $K_{инкк}$  следуют Гомель (3,29), Минск (3,19), Гродно (2,64), Витебск (2,62) и Могилев (2,38).

Проведенные исследования показали, что в период с 1984 по 2008 год в крупных городах Беларуси отмечается тенденция к повышению: количества дней с комфортными значениями нормальных эквивалентно-эффективных температур; количества душных дней; продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений; среднемесячной температуры воздуха в июле и январе. Тенденция к снижению характера для: количества дней дискомфорта; количества случаев с контрастными изменениями погоды; количества дней с неблагоприятным для человека резким изменением атмосферного давления и значениями относительной влажности воздуха; количества дней со скоростью ветра  $\geq 5$  м/с; количества дней с осадками  $\geq 1$  мм.

Кроме того для Бреста, Гомеля, Гродно, Могилева и особенно Минска отмечается устойчивая тенденция к повышению, а для Витебска понижению климатического потенциала самоочищения атмосферы; для Бреста, Витебска и Гродно тенденция к снижению, а для Гомеля, Минска и Могилева к увеличению количества дней с дискомфортными значениями облачности.

Таблица 2 – Интегральный показатель комфортности климата ( $K_{интк}$ ) в городах Беларуси за 1984-2008 гг., относительные единицы

Год	Интегральный показатель комфортности климата, отн. ед.						
	Брест	Витебск	Гомель	Гродно	Минск	Могилев	Ср. за год
1984	3,52	2,2	3,62	3	2,84	2,56	2,96
1985	2,82	1,68	2,6	2,06	2,16	1,98	2,22
1986	3,28	2,2	3,16	2,22	2,42	2,1	2,56
1987	2,8	2,1	3	1,96	2,46	1,9	2,37
1988	2,98	1,84	2,52	1,9	2,6	1,98	2,3
1989	4,14	2,56	3,86	2,72	3,36	2,12	3,13
1990	3,52	2,28	2,54	2,36	2,7	2,06	2,58
1991	3,8	2,56	3,1	2,42	3,34	2,22	2,91
1992	3,72	2,9	3,28	3,02	3,56	2,78	3,21
1993	3,82	2,54	3	2,8	3,06	2,28	2,92
1994	3,54	2,7	3,04	2,7	2,96	2,26	2,87
1995	3,72	2,62	3,52	2,62	3,06	2,52	3,01
1996	3,54	2,92	3,7	2,64	3,4	3	3,2
1997	3,74	2,58	2,94	2,66	3,06	2,08	2,84
1998	3,5	2,22	2,84	2,16	2,76	1,7	2,53
1999	4	2,66	2,92	2,96	3,6	2,9	3,17
2000	4,22	3,5	3,66	3,38	4,1	2,66	3,59
2001	3,28	2,54	2,32	2,12	2,82	1,9	2,5
2002	3,96	2,98	3,98	3,5	4	3	3,57
2003	4,24	2,52	3,42	2,72	3,52	2,66	3,18
2004	3,54	3,02	3,3	2,3	2,98	2,24	2,9
2005	4,48	3,12	4,22	3,42	4,02	2,86	3,69
2006	3,94	3,26	3,74	2,96	3,92	2,66	3,41
2007	3,38	2,72	3,72	2,62	3,44	2,34	3,04
2008	4,14	3,26	4,14	2,72	3,6	2,72	3,43
Средн	3,66	2,62	3,29	2,64	3,19	2,38	2,96
Max	4,48	3,5	4,22	3,5	4,1	3	3,69
Min	2,8	1,68	2,32	1,9	2,16	1,7	2,22
$\delta$	0,43	0,44	0,52	0,44	0,53	0,38	0,41
Cv, %	11,75	16,79	15,81	16,67	16,61	15,97	13,85

В целом на протяжении исследуемого периода отмечается устойчивая тенденция к улучшению комфортности климата крупных городов Беларуси, в среднем во всех рассматриваемых городах наименее благоприятные условия наблюдались в 1985 (2,22) и 1988 (2,3) годах, наиболее комфортные в 2002 (3,57) и 2005 (3,69) годах.

На основе изложенных выше результатах исследований был разработан прогнозный сценарий изменения эколого-климатических показателей комфортности климата крупных городов Беларуси в 2020 году. Двенадцатилетний лаг прогноза обусловлен небольшим пе-

риодом выборки исходной информации. При анализе исходной выборки ЭКП выполнялась процедура проверки «выбросов», далее определялись уравнения регрессии изменения ЭКП, вычислялись среднеквадратические отклонения и доверительные интервалы, рассчитались прогнозные значения ЭКП [6-8].

При определении уравнений регрессии изменения ЭКП были выполнены расчеты для линейной и экспоненциальной регрессионной модели изменения ЭКП. Следует отметить, что в соответствии с физическими особенностями рассматриваемых ЭКП, для прогнозных оценок изменения продолжительность периода с комфортными НЭЭТ ( $K_{нээт}$ ); количества душных дней ( $K_{од}$ ); количества дней с контрастными именениями погоды ( $K_{ин}$ ); количества дней с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9$  гПа/сут ( $K_{ад}$ ); количества дней с относительной влажностью воздуха  $\geq 80$  % ( $K_{ов}$ ); количества дней с осадками  $\geq 1$  мм ( $K_{ос}$ ); количества дней с облачностью  $\geq 6$  баллам ( $K_{об}$ ); продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений ( $K_{эжс}$ ); климатического потенциала самоочищения атмосферы ( $K_{кпс}$ ); средней температуры июля ( $t_{и}$ ); средней температуры января ( $t_{я}$ ) и интегрального показателя комфортности климата ( $K_{инкк}$ ) в городах Беларуси предпочтительно использовать уравнение линейной регрессии, а для прогнозирования изменения продолжительности дискомфортного периода с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с ( $K_{он}$ ); количества холодных дней ( $K_{хд}$ ) и количества дней со скоростью ветра  $\geq 5$  м/с ( $K_{св}$ ) – уравнение экспоненциальной регрессии.

Анализ прогнозных данных показал, что в 2020 году во всех городах страны ожидается существенное увеличение продолжительности периода с комфортными НЭЭТ. По сравнению со средними значениями за период с 1984 по 2008 год  $K_{нээт}$  возрастет от 10 дней в Гомеле до 16-17 дней в Гродно и Минске и достигнет в Минске 54 дней.

Количество душных дней увеличится незначительно: на 1-2 дня в Витебске, Гродно, Минске, Могилеве и на 3-4 дня в Бресте, Гомеле и составит в Витебске, Минске, Могилеве 4-5 дней, а в Бресте и Гомеле 8-9 дней.

Продолжительности дискомфортного периода с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с значительно сократится: в Могилеве до 72 дней, в Гродно до 43 дней, в других городах страны до 5-10 дней.

Ожидается уменьшение числа холодных дней в Витебске и Могилеве на 11 дней, в Гомеле, Гродно и Минске на 6-7 дней, а в Бресте на 3-4 дня.

Количество дней с контрастными именениями погоды сократится и составит в Могилеве, Гродно и Бресте 132-138 дней, в Минске и Гомеле 143-145 дней, а в Витебске 153 дня.

Количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9$  гПа/сут уменьшится, но незначительно и составит в Витебске и Могилеве 39-40 дней, а в других рассматриваемых городах 35-37 дней.

В Бресте и Гомеле ожидается небольшое увеличение (на 3-10 дней), а в других городах, особенно в Гродно и Могилеве существенное уменьшение (до 30 дней) количества дней с относительной влажностью воздуха  $\geq 80$  %.

Количество дней со средней скоростью ветра  $\geq 5$  м/с в 2020 году в крупных городах Беларуси вероятно значительно сократится. В Минске, Витебске, Гомеле и Бресте их количество составит всего 2-6 дней. В Гродно и Могилеве, по сравнению со средними значениями за период с 1984 по 2008 год, количество дней со средней скоростью ветра  $\geq 5$  м/с в 2020 году уменьшится, соответственно на 34 и 25 дней.

Количество дней с осадками  $\geq 1$  мм в рассматриваемых городах уменьшится незначительно, несколько большие их число ожидается в Витебске (120 дней) и минимальное в Бресте (100 дней).

Количество дней с облачностью  $\geq 6$  баллам в Бресте и Витебске в 2020 году существенно не измениться. В Гомеле, Минске и Могилеве их количество увеличится, а в Гродно уменьшится на 6-8 дней.

Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений в 2020 году, в Бресте Гродно и Витебске увеличится на 4-6 дней, в Минске и Могилеве – на 10-12 дней. В тоже время ожидается сокращение этого периода в Гомеле на 6 дней, в основном за счет увеличения дней с неблагоприятным сочетанием температуры и относительной влажности воздуха.

Климатический потенциал самоочищения атмосферы в 2020 году немного увеличится только в Витебске. В Бресте, Гомеле, Гродно и Могилеве  $K_{кнс}$  незначительно уменьшится за счет сокращения количества дней сильным ветром  $\geq 5$  м/с и осадками  $\geq 1$  мм. Наиболее значительное снижение  $K_{кнс}$  ожидается в Минске, где кроме сокращения количества дней сильным ветром  $\geq 5$  м/с и осадками  $\geq 1$  мм, увеличится число дней со штилем.

Во всех крупных городах страны ожидается повышение средней месячной температуры воздуха в июле и январе. По сравнению со средними значениями температуры воздуха за период с 1984 по 2008 год, в июле 2020 года она увеличится 3-3,5 °С, а в январе – на 1,5-2,5 °С.

В 2020 году во всех крупных городах Беларуси предполагается повышение уровня комфортности климатических условий для жизнедеятельности их населения, таблица 3. Интегральный показателя комфортности климата, по сравнению со средними значениями  $K_{инткк}$  за период с 1984 по 2008 год увеличится от 0,56 в Могилеве до 1,22 в Минске. Наиболее высокие абсолютные значения  $K_{инткк}$ , соответствующие комфортным климатическим условиям, ожидаются в Бресте (4,48), Минске (4,41) и Гомеле (4,1), несколько меньше  $K_{инткк}$ , соответствующие умеренно комфортным климатическим условиям, в Витебске (3,73), Гродно (3,25) и минимальные  $K_{инткк}$ , соответствующие мало комфортным климатическим условиям, в Могилеве (2,94).

Таблица 3 – Изменение интегрального показателя комфортности климата ( $K_{инткк}$ ) в городах Беларуси согласно возможного сценария на 2020 год, относительные единицы

Город	Уравнение регрессии	Среднеквадратическое отклонение, $\delta$	Доверительный интервал при $p (\alpha = 0,05)$	Средний $K_{инткк}$ за 1984-2008	$K_{инткк}$ в 2020
Брест	$y = 0,033x + 3,23$	0,43	$\pm 0,17$	3,66	4,48
Витебск	$y = 0,045x + 2,03$	0,45	$\pm 0,17$	2,62	3,73
Гомель	$y = 0,034x + 2,85$	0,52	$\pm 0,21$	3,29	4,1
Гродно	$y = 0,025x + 2,31$	0,44	$\pm 0,17$	2,64	3,25
Минск	$y = 0,05x + 2,54$	0,53	$\pm 0,21$	3,19	4,41
Могилев	$y = 0,023x + 2,08$	0,38	$\pm 0,15$	2,38	2,94

Для верификации разработанного сценария изменения ЭКП крупных городов Беларуси на основе выборки  $K_{инткк}$  за 1984-2003 годы, по алгоритму определения прогнозных значений ЭКП для 2020 года, были рассчитаны прогнозные значения  $K_{инткк}$  для 2004-2008 годов. Коэффициент корреляции расчетных и фактических значений  $K_{инткк}$  для 2004-2008 годов составил 0,73, а с учетом доверительного интервала выборки 0,87, что указывает на удовлетворительный уровень достоверности предложенного сценария изменения комфортности климата крупных городов страны в 2020 году.

### Выводы.

Геоэкологическая оценка комфортности климата городов Беларуси позволяет своевременно проводить профилактику метеотропных реакций, устранять или ослаблять отрицательное действие неблагоприятных погодных условий на жизнедеятельность их населения. Полученные результаты могут быть использованы в практике рационального природопользования Беларуси для принятия грамотных управленческих решений по оптимизации функционирования и развития крупных городов страны. Созданные методика и компьютерная географическая информационная система геоэкологической оценки комфортности климата крупных городов могут быть применены при проведении аналогичных исследований в других регионах. Кроме того материалы исследований могут быть использованы для ведения и совершенствования климатического мониторинга в Беларуси на региональном и локальном уровнях, являются основой для разработки сценариев возможного изменения климата в крупных городах Беларуси и предложений по адаптации человека к его вариациям.

### Список литературы

1. *Логинов В.Ф., Сачок Г.И., Микуцкий В.С., Мельник В.И., Коляда В.В.* Изменение климата Беларуси и их последствия. – Минск: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.
2. *Логинов В.Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
3. *Витченко А.Н.* Теоретические и прикладные аспекты оценки влияния погоды на человека в природно-хозяйственных регионах Беларуси // Брэсцкі геаграфічны веснік. 2002. – Т II, №. 2. – С. 14–23.
4. *Витченко А.Н., Телеш И.А.* Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов // Вестник БГУ. - Сер.2. 2007. – № 2. – С. 99-104.
5. *Телеш И.А.* Методические подходы к оценке комфортности климата // Весці БДПУ.- Сер.3. 2007. – № 1. – С. 76-80.
6. *Айвазян С. А., Мхитарян В. С.* Прикладная статистика и основы эконометрии. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.
7. *Пузаченко Ю. Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. – М., 2004. – 416 с.
8. *Лудерер Б., Ноллау А., Феттерс К.* Высшая математика в экономике, технике, информатике / Пер с нем.; Под ред. А.В. Самусенко, В.В. Казаченка. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 279 с.

#### Оценка комфортности климата городов Беларуси.

**Витченко А.Н., Телеш И.А.**

*Дана територіально диференційована геоэкологічна оцінка комфортності клімату міст Білорусі і пропонується прогностичний сценарій її зміни в 2020 році. Отримані результати можуть бути використані в практиці раціонального природопольовання Білорусі для прийняття грамотних управлінських рішень по оптимізації функціонування і розвитку урбанізованих територій країни.*

**Ключевые слова:** город, жизнедеятельность, комфортность, климат, человек.

#### Estimation of the climatic comfort of Belorussian cities.

**Vitchenko A., Telesh I.**

*The geoecological estimation of the climatic comfort of Belorussian cities was done. A prognostic scenario of this estimation in 2020 was proposed. This results may be used in rational nature management of Belarus and practical human activity connected with optimal function and change of urban territories of Belarus.*

**Key words:** urban territory, human activity, comfort, climate