

УДК 551.4:330.15 (476)

UDC 551.4:330.15 (476)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА КОМФОРТНОСТИ
КЛИМАТА г. ГРОДНОGEOECOLOGICAL ESTIMATION
OF COMFORTABLE CLIMATE
IN THE CITY OF GRODNO**А. Н. Витченко,***доктор географических наук, профессор
кафедры геоэкологии БГУ;***И. А. Телеш,***кандидат географических наук, доцент
кафедры геоэкологии БГУ***A. Vitchenko,***Doctor in Geography, Professor
of the Department of Geoecology, BSU;***I. Telesh,***PhD in Geography, Associate Professor
of the Department of Geoecology, BSU*

Поступила в редакцию 03.06.20

Received on 03.06.20.

Дана краткая характеристика климата города Гродно в 1980–2018 гг. Выполнен анализ отдельных и интегрального эколого-климатических показателей комфортности климата города.

Ключевые слова: климат, комфортность, город, человек.

The paper gives brief characteristics of climate in the city of Grodno in 1980–2018. It presents the analysis of separate and integral ecological-climatic indices of climatic comfort of the city.

Keywords: climate, comfort, city, human.

Введение. Одним из актуальных направлений в области современных исследований качества окружающей среды является изучение влияния климата на психическое и физиологическое здоровье человека. Находясь в реальных условиях городской среды, человек подвергается влиянию множества локальных, сложно взаимодействующих между собой факторов. В то же время организм человека является сложной живой системой, которая неразрывно связана с окружающей средой. Исследование климатических условий городов имеет фундаментальное и прикладное значение, является составной частью комплексной оценки геоэкологического потенциала среды жизнедеятельности населения урбанизированных территорий.

Влияние неблагоприятных климатических условий на человека проявляется в патологических реакциях у так называемых метеочувствительных больных и в ухудшении самочувствия у здоровых людей [1–4]. Существуют различные подходы к оценке влияния климатических условий на человека [5–7]. Для их характеристики используют либо отдельные метеорологические параметры [8–10], либо комплексные показатели [11,12], отражающие их совокупное воздействие на человека. Несмотря на значительный объем исследований, выполненных авторами этих работ, до сих пор остаются неразработанными ряд вопросов, связанных с оценкой комфортности климата урбанизированных территорий. Анализ литературных источников и собственные исследования авторов позволили разработать оригинальную методику геоэкологической оценки комфортности климата городов [13]. Основная цель исследования – геоэкологическая оценка комфортности климата города Гродно и возможных тенденций ее изменения. 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.

Основная часть. Методика геоэкологической оценки комфортности климата городов 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. Для характеристики комфортности климата г. Гродно использованы средние суточные данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности и туманах за 38-летний период (1980–2018 гг.), которые были обобщены и интерпретированы авторами с учетом их сезонной динамики и межгодовой изменчивости.

Для оценки комфортности климата г. Гродно были определены: индексы изменчивости погоды ($K_{ип}$) [14] и холодового стресса ($K_{дп}$) [15,16], нормальные эквивалентно-эффективные температуры ($K_{нэрт}$) [17,18], количество дней: душных с $t_{\text{в}} \geq 20^{\circ}\text{C}$, $f \geq 80\%$ ($K_{дд}$); холодных с $t_{\text{в}} \leq -15^{\circ}\text{C}$ ($K_{хд}$); с межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 10 мб/сут ($K_{ад}$); с относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$ ($K_{овв}$), со скоростью ветра ≥ 6 м/с ($K_{св}$); с осадками ≥ 1 мм ($K_{ос}$); с облачностью $\geq 5б$ ($K_{об}$), а также климатический потен-

циал самоочищения атмосферы ($K_{\text{кпс}}$) [19], продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений ($K_{\text{эжс}}$) [20], среднемесячные температуры января и июля.

Интегральный показатель комфортности климата ($K_{\text{ипкк}}$) рассчитывался по уравнению: $K_{\text{ипкк}} = C_1 F_1 + C_2 F_2 + C_3 F_3 + \dots + C_n F_n / F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$, 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 города 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, $3,00$ – $3,99$ – умеренно ком-

фортные, $2,00$ – $2,99$ – малокомфортные, $\leq 1,99$ – дискомфортные. Расчеты эколого-климатических показателей были выполнены на основе комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата [21].

Анализ эколого-климатических показателей комфортности климатических условий в Гродно показал, что в теплый период года наиболее значимой ее характеристикой является количество дней с нормальной эквивалентно-эффективной температурой воздуха $K_{\text{нээт}}$, отражающей воздействие на человека совокупности метеорологических факторов: скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха. Наибольшее значение $K_{\text{нээт}}$ наблюдалось в 2018 г. и составило 46 дней, а наименьшее – в 1991 г. – 10 дней (таблица).

Таблица – Средние годовые эколого-климатические показатели климата в Гродно за 1980–2018 гг.

Год	Эколого-климатические показатели							
	$K_{\text{нээт}}$, дни	$K_{\text{дд}}$, дни	$K_{\text{дп}}$, дни	$K_{\text{хд}}$, дни	$K_{\text{ип}}$, дни	$K_{\text{ад}}$, дни	$K_{\text{ов}}$, дни	$K_{\text{ипкк}}$, отн. ед.
1980	12	4	88	20	169	48	245	1,98
1981	30	4	90	8	167	45	213	2,54
1982	23	4	69	5	132	44	188	2,48
1983	40	7	102	3	167	57	177	2,72
1984	12	0	75	4	131	34	198	2,60
1985	12	5	102	41	147	38	249	2,08
1986	21	2	97	31	153	46	213	2,02
1987	15	2	111	33	160	45	227	2,14
1988	17	10	101	10	161	55	230	1,98
1989	22	1	73	4	145	40	219	2,48
1990	16	3	80	2	150	44	227	2,12
1991	10	5	84	10	155	32	198	2,22
1992	32	1	91	2	150	56	196	2,72
1993	16	0	106	7	146	42	192	2,42
1994	15	0	80	6	150	56	198	2,46
1995	29	2	94	11	152	65	216	2,36
1996	18	1	77	29	136	34	178	2,40
1997	22	2	87	13	134	52	182	2,34
1998	16	6	85	9	162	53	224	2,12
1999	35	9	73	4	137	49	213	2,50
2000	33	2	55	3	131	31	183	2,98
2001	28	21	60	13	168	33	210	2,08
2002	32	6	71	15	127	34	158	2,80
2003	23	6	61	16	139	45	194	2,32
2004	23	3	68	10	150	52	212	2,22
2005	33	2	69	11	119	39	180	2,84
2006	36	4	53	16	145	29	210	2,76

Год	Эколого-климатические показатели							
	$K_{нзэт}$, дни	$K_{дд}$, дни	$K_{дп}$, дни	$K_{хд}$, дни	$K_{ип}$, дни	$K_{ад}$, дни	$K_{ов}$, дни	$K_{ипкк}$, отн. ед.
2007	25	5	62	7	146	43	188	2,24
2008	25	3	49	2	153	29	197	2,58
2009	28	9	47	12	160	34	195	2,54
2010	21	17	65	27	158	32	212	2,12
2011	28	10	60	12	127	32	197	2,56
2012	28	8	75	23	164	35	208	2,38
2013	23	12	65	10	136	33	208	2,48
2014	25	5	51	15	143	19	188	2,60
2015	29	3	46	1	140	41	160	2,88
2016	31	6	62	7	156	46	195	2,56
2017	19	4	51	6	160	51	205	2,28
2018	46	7	61	10	131	43	175	2,96
За 1980–2018 гг. Среднее	24,3	5,15	74,3	12	147,6	41,9	201,5	2,43
Максимальное	46	21	111	41	169	65	249	2,98
Минимальное	10	0	46	1	119	19	158	1,98
σ	8,29	4,44	17,85	9,47	13,13	9,81	20,31	0,28
C_v	34,11	86,21	24,02	78,92	8,89	23,41	10,08	11,52

Количество душных дней $K_{дд}$ со среднесуточной температурой воздуха $\geq 20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью воздуха $\geq 75\%$ в течение года небольшое – в среднем 5 дней. Максимальное значение $K_{дд}$ наблюдалось в 2001 г. (21 день). В 1984, 1993, 1994 гг. подобные климатические условия и вовсе не наблюдались. В холодный период года важной характеристикой комфортности климатических условий является количество дней с индексом холодового стресса по Хиллу $K_{дп} \geq 4,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{с}$. Максимальное количество дней с дискомфортными значениями наблюдались в 1987 г. (111 дней), а минимальное в 2015 г. – 46 дней. 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. (41 день), а минимальное – в 2015 г., когда наблюдался всего один холодный день. Количество случаев с контрастными изменениями погоды $K_{ип}$ в среднем за рассматриваемый период составило 147 дней. При этом более выраженные погодные контрасты наблюдались в 1980 г. (169 дней), а наиболее стабильные погодные условия отмечались в 2005 г. (119 дней).

Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений $K_{эжс}$ определяется с учетом влияния на них различных сочетаний среднесуточной температуры и относительной влажности воздуха. Количество дней с комфортными значениями $K_{эжс}$ за 1980–2018 гг. в среднем составило 107. Наименее благоприятные условия наблюдались в 1980 г. (78 дней), наиболее комфортные – в 2018 г. (136 дней). Климатический потенциал

самоочищения атмосферы $K_{кпс}$ в условиях города определяется как функция комплексного влияния количества дней со штилем, туманами, осадками более 1 мм, сильным ветром свыше 5 м/с. Наиболее неблагоприятные значения $K_{кпс}$ зафиксированы в 1982, 1989, 1996, 2006 и 2009 гг. – 0,4. Существенное влияние на изменение комфортности климата имеет количество дней с резким межсуточным изменением атмосферного давления $K_{ад} \geq 9 \text{ гПа/сут}$; со среднесуточной: относительной влажностью воздуха $K_{ов} \geq 80\%$, скоростью ветра $K_{ов} \geq 5 \text{ м/с}$; осадками $K_{ос} \geq 1 \text{ мм}$; облачностью $K_{об} \geq 6$ баллов. На протяжении исследуемого периода самые неблагоприятные условия с резким межсуточным изменением атмосферного давления наблюдались в 1995 г. (65 дней), наиболее комфортные – в 2014 г. (19 дней); наибольшее количество дней с дискомфортными значениями $K_{ов}$ отмечалось в 1985 г. (249 дней), наименьшее – в 2002 г. (158 дней); максимальное количество дней с высокой среднесуточной скоростью ветра было в 1990 г. (119 дней), а в 2009 г. минимальное (34 дня); наибольшее количество дней с осадками более 1 мм соответствовало 1980 г. (139 дней), а наименьшее – в 2011 г. (83 дня); самые неблагоприятные условия с дискомфортными значениями $K_{об}$ отмечались в 1990 г. (277 дней), а наиболее комфортные в 1980 г. (49 дней). 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 Гродно наблюдалась в июле 2010 г. (22°C) и ян-

варе 1983 г. (1,8 °C), а минимальная – в июле 1984 г. (15,5 °C) и январе 1987 г. (–15,5 °C).

Заключение. Анализ изменения интегрального показателя комфортности климата в Гродно в 1980–2018 гг. выявил незначительное повышение уровня комфортности климатических условий для жизнедеятельности его населения. Однако на протяжении исследуемого периода в Гродно отмечается устойчивая тенденция к повышению количества дней с нормально эквивалентно-эффективной температурой воздуха от 17 до 21 °C и среднемесячной температурой воздуха в июле; количества душных дней и продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, фиксируется незначительное увеличение среднемесячной температуры воздуха в январе и небольшое повышение интегрального показателя комфортности климата.

Наблюдается устойчивая тенденция к снижению продолжительности периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5$ Вт/м²·с, количества дней со скоростью ветра ≥ 5 м/с и дискомфортными значениями облачности ≥ 6 баллов.

Сокращается количество случаев с контрастными изменениями погоды. Уменьшается количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления ≥ 9 гПа/сут, относительной

влажностью воздуха ≥ 80 %, холодных дней с температурой воздуха ≤ -10 °C, с осадками ≥ 1 мм. Отмечается тенденция к снижению климатического потенциала самоочищения атмосферы. В Гродно в 1980–2018 гг. преобладали малокомфортные (84 %) и дискомфортные комфортные (12 %) климатические условия. Умеренно комфортные климатические условия наблюдались в 2000 и 2018 гг. Комфортность климата в Гродно отличается умеренной межгодовой изменчивостью. Коэффициент вариации $K_{\text{ипкк}}$ составил 11,52 %.

Климатофизиология человека в погодных условиях Гродно в значительной мере проявляется в реакциях приспособления к меняющимся условиям внешней среды. Учет и своевременная профилактика метеотропных реакций позволяют в значительной степени ослабить отрицательное действие неблагоприятных климатических условий на организм человека. Проведенные исследования направлены на более рациональное использование природных ресурсов города Гродно при планировании и проектировании природопользования для его устойчивого развития и оптимизации среды жизнедеятельности населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков, В. Г. Метеочувствительность / В. Г. Щербаков. – М., 2012. – 89 с.
2. Зуннунов, З. Р. Основные этиологические факторы, патогенетические механизмы и клинические формы метеопатических реакций / З. Р. Зуннунов // Вопр. курортотол. – 2013. – № 6. – С. 5–9.
3. Hales, S. Implications of global climate change for housing, human settlements and public health / S. Hales, M. Baker, P. Howden-Chapman. // Rev Environ Health. – 2007. – Vol. 22. – № 4. – P. 295–302.
4. Метеотропные реакции сердечно-сосудистой системы и их профилактика / А. В. Лапко [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2005. – 196 с.
5. Погода и климат: новые методы и технологии исследований / под ред. Н. А. Калинина : сб. науч. тр. – Пермь : ПТУ, 2010. – 124 с.
6. Григорьев, И. И. Погода и здоровье человека (медицинская керосология) / И. И. Григорьев, А. И. Григорьев, К. И. Григорьев – М. : АТиСО, 2008. – 128 с.
7. Mayer, H. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. Proceed / H. Mayer, A. Matzarakis // Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island. – Fujisawa, Japan. 1998. – P. 155–168.
8. Головина, Е. Г. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов) / Е. Г. Головина, М. А. Трубина. – СПб., 1997.
9. Hoppe, P. R. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment / P. R. Hoppe // Int. J. Biometeorol. – 1999. – P. 71–75.
10. Matzarakis, A. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature / A. Matzarakis, H. Mayer, M. Iziomon // Int. J. Biometeorol. – 1999. – P. 76–84.
11. Григорьев, А. И. Об исследованиях влияния изменений погоды и климата на здоровье человека в программе Президиума РАН «Фундаментальные науки медицине» / А. И. Григорьев, А. А. Макошко // Земля и Вселенная. – 2009. – № 3. – С. 20–26.

REFERENCES

1. Shcherbakov, V. G. Meteochuvstvitel'nost' / V. G. Shcherbakov. – M., 2012. – 89 s.
2. Zunnunov, Z. R. Osnovnye etiologicheskie faktory, patogeneticheskie mekhanizmy i klinicheskie formy meteopaticheskikh reakcij / Z. R. Zunnunov // Vopr. kurortol. – 2013. – № 6. – S. 5–9.
3. Hales, S. Implications of global climate change for housing, human settlements and public health / S. Hales, M. Baker, P. Howden-Chapman. // Rev Environ Health. – 2007. – Vol. 22. – № 4. – P. 295–302.
4. Meteotropnye reakcii serdechno-sosudistoj sistemy i ih profilaktika / A. B. Lapko [i dr.]. – Novosibirsk : Nauka, 2005. – 196 s.
5. Pogoda i klimat: novye metody i tekhnologii issledovanij / pod red. H. A. Kalinina : sb. nauch. tr. – Perm' : PTU, 2010. – 124 s.
6. Grigor'ev, I. I. Pogoda i zdorov'e cheloveka (medicinskaya kerosologiya) / I. I. Grigor'ev, A. I. Grigor'ev, K. I. Grigor'ev – M. : ATISO, 2008. – 128 s.
7. Mayer, H. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. Proceed / H. Mayer, A. Matzarakis // Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island. – Fujisawa, Japan. 1998. – P. 155–168.
8. Golovina, E. G. Metodika raschetov biometeorologicheskikh parametrov (indeksov) / E. G. Golovina, M. A. Trubina. – SPb., 1997.
9. Hoppe, P. R. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment / P. R. Hoppe // Int. J. Biometeorol. – 1999. – P. 71–75.
10. Matzarakis, A. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature / A. Matzarakis, H. Mayer, M. Iziomon // Int. J. Biometeorol. – 1999. – P. 76–84.
11. Grigor'ev, A. I. Ob issledovaniyah vliyaniya izmenenij pogody i klimata na zdorov'e cheloveka v programme Prezidiuma RAN «Fundamental'nye nauki medicine» / A. I. Grigor'ev, A. A. Makosko // Zemlya i Vselennaya. – 2009. – № 3. – S. 20–26.

12. Романова, Е. Н. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций / Е. Н. Романова, Е. О. Гобарова, Е. Л. Жильцова. – СПб. : Гидрометеоздат, 2000. – 159 с.
13. Витченко, А. Н. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси / А. Н. Витченко, И. А. Телеш // Вестник БГУ. Сер.2, Химия, Биология, География. – 2011. – № 2. – С. 73–78.
14. 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.
15. Бочаров, М. И. Терморегуляция организма при холодовых воздействиях / М. И. Бочаров // Журнал медико-биологических исследований. – 2015. – № 1 и 2.
16. Каюмов, А. К. Влияние экстремальных климатических условий на морфофизиологические показатели организма / А. К. Каюмов // Гигиена и санитария. – 2000. – № 5. – С.14–17.
17. Айзенштадт, Б. А. Тепловой баланс человека и его здоровье / Б. А. Айзенштадт // Климат и здоровье человека. – 1988. – Т. 1. – С. 197–209.
18. Бутьева, И. В. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий / И. В. Бутьева, Т. Г. Швейнова // Комплексные биоклиматические исследования. – 1988. – С. 97–106.
19. Аргучинцева, А. В. Потенциал самоочищения атмосферы / А. В. Аргучинцева, Е. А. Кочугова // Известия Иркутского государственного университета. Серия. Науки о Земле. – 2019. – Т. 27. – С. 3–15.
20. Хайруллин, К. Ш. Биоклиматические показатели для градостроительных целей на территории России / К. Ш. Хайруллин, В. М. Пивкин // Биометеорология человека: матер. Междунар. конгресса. – СПб., 2000. – С. 71–72.
21. Витченко, А. Н. Алгоритм и географическая информационная система геоэкологической оценки комфортности климата крупных городов Беларуси / А. Н. Витченко, А. А. Витченко, И. А. Телеш // Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтоведения: сб. науч. ст. / редкол.: А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. Вып. 1 – Минск : БГУ, 2013. – С. 21–24.
12. Romanova, E. H. Metody ispol'zovaniya sistematizirovannoy klimaticheskoy i mikroklimaticheskoy informacii pri razvitii i sovershenstvovanii gradostroitel'nyh koncepcij / E. H. Romanova, E. O. Gobarova, E. L. Zhil'cova. – SPb. : Gidrometeoizdat, 2000. – 159 s.
13. Vitchenko, A. N. Geoekologicheskaya ocenka komfortnosti klimata krupnyh gorodov Belarusi / A. N. Vitchenko, I. A. Telesh // Vestnik BGU. Ser.2, Himiya, Biologiya, Geografiya. – 2011. – № 2. – S. 73–78.
14. Rusanov, V. I. Kompleksnye meteorologicheskie pokazateli i metody ocenki klimata dlya medicinskih celej / V. I. Rusanov. – Tomsk : Izd-vo Tomskogo un-ta, 1989. – 186 s.
15. Bocharov, M. I. Termoregulyaciya organizma pri holodovyh vozdejstviyah / M. I. Bocharov // Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovanij. – 2015. – № 1 i 2.
16. Kayumov, A. K. Vliyanie ekstremal'nyh klimaticheskikh uslovij na morfofiziolgicheskie pokazateli organizma / A. K. Kayumov // Gigiena i sanitariya. – 2000. – № 5. – S.14–17.
17. Ajzenshtadt, B. A. Teplovoj balans cheloveka i ego zdorov'e / B. A. Ajzenshtadt // Klimat i zdorov'e cheloveka. – 1988. – T. 1. – C. 197–209.
18. But'eva, I. V. Metodicheskie voprosy integral'nogo analiza mediko-klimaticheskikh uslovij / I. V. But'eva, T. G. Shvejnova // Kompleksnye bioklimaticheskie issledovaniya. – 1988. – S. 97–106.
19. Arguchinceva, A. V. Potencial samoochishcheniya atmosfery / A. V. Arguchinceva, E. A. Kochugova // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. Nauki o Zemle. – 2019. – T. 27. – S. 3–15.
20. Hajrullin, K. Sh. Bioklimaticheskie pokazateli dlya gradostroitel'nyh celej na territorii Rossii / K. Sh. Hajrullin, V. M. Pivkin // Biometeorologiya cheloveka: mater. Mezhdunar. kongressa. – SPb., 2000. – S. 71–72.
21. Vitchenko, A. N. Algoritm i geograficheskaya informacionnaya sistema geoekologicheskoy ocenki komfortnosti klimata krupnyh gorodov Belarusi / A. N. Vitchenko, A. A. Vitchenko, I. A. Telesh // Aktual'nye problemy geoekologii i landschaftovedeniya: sb. nauch. st. / redkol.: A. N. Vitchenko (gl. red.) [i dr.]. Vyp. 1 – Minsk : BGU, 2013. – S. 21–24.