

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ ВО ВРЕМЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ВОЛНЫ ТЕПЛА ЛЕТА 2010 ГОДА

Шевченко О. Г., Снижско С. И.

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
ул. Владимирская, 64/13, г. Киев, Украина, e-mail: olga.s.meteo@gmail.com*

Рассмотрены биоклиматические условия на территории Украины во время экстремальной волны тепла лета 2010 года. Показано, что во время волны тепла 2010 года, население большей части территории Северного, Центрального, Восточного и Южного регионов Украины подвергалась длительному воздействию теплового стресса. В 70.4 % случаев тепловой стресс зафиксирован в течение 12 часов, а в 97.6 % случаев – на протяжении 9 часов подряд. При этом, в дневные часы преобладал сильный и экстремальный тепловой стресс – повторяемость этих двух градаций теплового стресса в 12.00 часов составляла 100 % на всех исследуемых станциях, за исключением Овруча и Измаила.

Ключевые слова: биоклимат; волна тепла; тепловой стресс; Украина.

THERMAL COMFORT CONDITIONS DURING EXTREME HEAT WAVE OF THE SUMMER 2010 IN UKRAINE

Shevchenko O., Snizhko S.

*Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13, Volodymyrska Street, City of Kyiv, Ukraine, e-mail:
olga.s.meteo@gmail.com*

The thermal comfort conditions of the territory of Ukraine during the extreme heat wave of summer 2010 are considered. It is shown that during the heat wave of 2010, the population of most of the territory of the Northern, Central, Eastern and Southern regions of Ukraine exposed to long-term impact of heat stress. Heat stress for 12 hours occurred in 70.4 % cases and for 9 hours in 97.6% of cases. Strong and extreme heat stress prevailed during the daytime. The frequency of occurrence of these two grades of heat stress at 12:00 amounted 100 % at all researched stations (with the exception of Ovruch and Izmail).

Keywords: thermal comfort condition; heat wave; heat stress; Ukraine.

Волна тепла (ВТ) – это атмосферное явление, которое проявляется в виде аномально теплой погоды, которая сохраняется в течение определенного периода и охватывает значительные территории. Волны тепла в последние годы привлекают к себе все больше внимания ученых всего мира. Для этого есть как минимум несколько серьезных причин – рост повторяемости этого явления по всему миру в последние десятилетия, негативное влияние на здоровье людей, повышение риска возникновения лесных пожаров, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, формирование или усиление засух, повышение уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах, др. И

хотя, одной из первых, как правило, называют именно негативное влияние на население (которое может приводить не только к ухудшению состояния здоровья значительного количества людей, но и к росту смертности во время периодов аномальной жары), однако биоклиматические условия во время волн тепла изучаются меньше, чем повторяемость, продолжительность и интенсивность этих явлений.

Анализ волн тепла и их характеристик за период 1961 – 2015 гг. показал, что волна тепла конца июля–середины августа 2010 г. была наиболее продолжительной и интенсивной почти для Северного, Центрального, Восточного и Южного регионов Украины (таблица). На большей части территории начало ВТ было зарегистрировано 30 – 31 июля, за исключением Одессы (5 августа), Мариуполя (28 июля), Днепра и Луганска (26 июля), а также – Семеновки (13 июля).

Таблица – Повторяемость (%) дней с разными градациями ФЭТ в 12:00 МСВ в период с 31 июля по 12 августа 2010 г.

Станция	Легкий тепловой стресс (23.1–29.0°C)	Умеренный тепловой стресс (29.1–35.0°C)	Сильный тепловой стресс (35.1–41.0°C)	Экстремальный тепловой стресс (>41.1°C)
Белая Церковь	0.0	0.0	69.2	30.8
Глухов	0.0	0.0	7.7	92.3
Киев	0.0	0.0	46.2	53.8
Овруч	7.7	15.4	30.8	46.2
Семеновка	0.0	0.0	15.4	84.6
Гадяч	0.0	0.0	15.4	84.6
Днепр	0.0	0.0	7.7	92.3
Кропивницкий	0.0	0.0	7.7	92.3
Полтава	0.0	0.0	0.0	100.0
Умань	0.0	0.0	15.4	84.6
Лозовая	0.0	0.0	0.0	100.0
Луганск	0.0	0.0	0.0	100.0
Мариуполь	0.0	0.0	84.6	15.4
Харьков	0.0	0.0	0.0	100.0
Аскания Новая	0.0	0.0	15.4	84.6
Гуляйполе	0.0	0.0	0.0	100.0
Измаил	0.0	7.7	38.5	53.9
Николаев	0.0	0.0	0.0	100.0
Одесса	0.0	0.0	46.2	53.8
Симферополь	0.0	0.0	23.1	76.9

Окончание ВТ зафиксировано 16 – 18 августа практически на всех станциях. В июле и августе 2010 г. аномально высокие температуры зафиксированы не только на территории Украины, но и на западе России [1, 2]. Основываясь на интенсивности и пространственному охвату Барриопедро и др. [2] оценили эту волну тепла – как мега волну тепла. Территория,

подверженная экстремальной жаре, составляла более двух миллионов квадратных километров, а очень высокие температуры сохранялись в среднем от 15 до 61 дня [3]. Аномальная длительность и интенсивность волны тепла обусловлена блокирующим антициклоном над Москвой, а также над центральной частью европейской территории России [4, 5].

Для оценки биоклиматических условий во время волны тепла 2010 г. на территории Украины был использован индекс физиологически-эквивалентная температура (ФЭТ), в основе расчётов которого лежит уравнение энергетического баланса человеческого организма. Значения индекса получены на основе информации о температуре и относительной влажности воздуха, облачности и скорости ветра в 12:00 по международному скоординированному времени (МСВ) на 20 метеорологических станций, расположенных на территории Украины. Физиологически-эквивалентная температура рассчитана с использованием модели «RayMan» [6].

В период с 31 июля по 12 августа 2010 г. ВТ наблюдалась практически на всех станциях Северного, Центрального, Восточного и Южного регионов Украины, и в этот период зафиксированы очень высокие температуры воздуха: 42.1°C в Луганске (12 августа), 39.8°C в Харькове (8 и 10 августа), 39.6°C в Гадяче (2 августа), 39.4°C в Кропивницком и Полтаве (8 августа), 39.1°C в Лозовой (8 августа), 37.2°C в Мариуполе (9 Август), 37.0°C в Умани (7 августа). Средние значения ФЭТ в 12:00 МСВ в этот период колебались от 38.9°C в Мариуполе до 47.9°C в Луганске. Самые высокие средние значения ФЭТ были обнаружены на востоке (47.9°C в Луганске) и на северо-востоке (44.8°C в Глухове, 45.0°C в Семеновке), а также на некоторых станциях центрального (45.2°C в Днепре) и южного районов (45.2°C в Аскании-Нова), за исключением прибрежных станций. Средние значения ФЭТ на этих станциях варьировались от 38.9 до 41.5°C.

На станциях, где зафиксирована ВТ, в 12:00 МСВ с 31 июля по 12 августа преобладал сильный и экстремальный тепловой стресс (таблица 1). Только на станциях Овруч и Измаил зафиксированы случаи с легким и умеренным тепловым стрессом. Овруч расположен недалеко от западного региона, где исследуемая ВТ не наблюдалась, поэтому на этой станции температура воздуха была более низкой, что соответственно стало причиной более низких значений ФЭТ. Экстремальный тепловой стресс в 12:00 МСВ зафиксирован каждый день в период с 31 июля по 12 августа в Полтаве, Лозовой, Луганске, Харькове, Гуляйполе и Николаеве; один день с сильным тепловым стрессом и другие с экстремальным – был обнаружен в Кропивницком, Глухове и Днепре.

Средние значения ФЭТ на исследуемой территории в 12:00 МСВ были в диапазоне от 41.6 (31 июля) до 45.3°C (8 августа) и принадлежали к экстремальному тепловому стрессу. Очень высокие температуры воздуха и значения ФЭТ были зафиксированы 8 августа на многих станциях, что позволяет считать этот день одним из дней с наибольшей тепловой нагрузкой

на организм человека во время этой аномальной волны тепла. Самые высокие значения ФЭТ 8 августа были обнаружены на некоторых станциях южного региона (48.7°C в Аскании-Нова) и северо-востока (48.2°C в Семеновке), а также на некоторых станциях центрального (47.7°C в Днепре) и восточного региона (47.5°C в Луганске). Более низкие значения ФЭТ в этот день были обнаружены на южных прибрежных станциях (39.8°C в Мариуполе, 40.7°C в Измаиле, 42.1°C в Одессе), а также на некоторых станциях северного региона (41.6°C в Овруче и 43.4°C в Белой Церкви), расположенных близко к западному региону, где ВТ 2010 г. не наблюдалось, и, следовательно, эти станции показали более низкие значения ФЭТ.

Для оценки термической нагрузки на организм человека во время ВТ на протяжении суток были рассчитаны значения ФЭТ за каждые три часа начиная с 00:00 по Восточно-европейскому летнему времени (Eastern European Summer Time (EEST)) за период с 31 июля по 17 августа 2010 г. для станций Глухов, Киев, Кропивницкий, Луганск, Харьков и Симферополь.

Суточный ход значений ФЭТ для выбранных станций был очень похож на суточный ход температуры воздуха с минимальными значениями перед восходом Солнца или ранним утром (3:00 или 6:00 EEST) и максимум в полдень или после полудня (12:00 или 15:00 EEST) (рисунок). Более высокие значения ФЭТ в 6:00 EEST, чем в 3:00 EEST, были обнаружены в 28.7 % случаев, а в 18.5 % случаев ФЭТ были выше в 12:00 EEST, чем в 15:00 EEST. Практически такой же суточный ход ФЭТ описан для эпизодов ВТ другими исследователями [4, 7, 8]. Во время волн тепла в Польше и в Страсбурге самые низкие значения ФЭТ были зарегистрированы между 1:00 и 4:00 по поясному времени [7, 8], во время ВТ 2010 года в Москве – около 6:00 часов [4], самые высокие значения ФЭТ были обнаружены в полдень и в ближайшие часы после него.

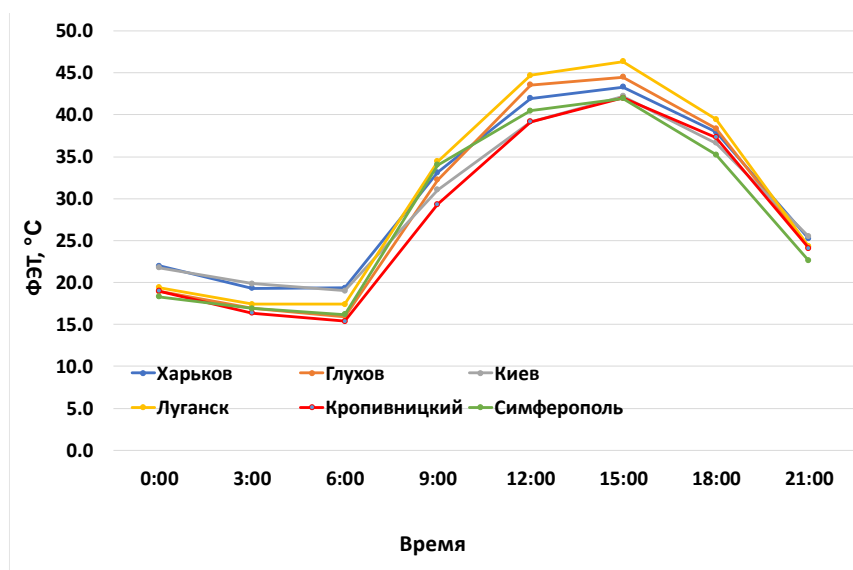


Рисунок – Суточный ход значений ФЭТ, усредненных за +период 31 июля–17 августа 2010 г.

В большинстве случаев значения ФЭТ в 00:00 EEST принадлежали в градации «комфортные условия». Но все же на некоторых станциях они относились к градациям «легкий тепловой стресс» и «легкий холодовой стресс». Амплитуда значений в отдельные дни была незначительной – например, 4 августа диапазон значений ФЭТ на исследуемых станциях составлял 3.4°C, и все значения относились к одной и той же градации термической нагрузки. Самая большая амплитуда значений на разных станциях в 00:00 EEST была зафиксирована 13 августа и достигала 10.3°C, а значения ФЭТ относились к трем градациям термической нагрузки. Значения ФЭТ в 03:00 EEST во время эпизода ВТ были ниже и в основном относились к градациям «легкий холодовой стресс» и «комфортные условия», но также был зафиксирован «умеренный холодовой стресс» (31 июля на станциях Кропивницкий и Луганск) и «легкий тепловой стресс» (12, 13 и 14 августа в Луганске). Самая низкая амплитуда значений (4.2°C) наблюдалась 2 и 4 августа, самая высокая (11.2°C) – 13 августа. Как упоминалось выше, в большинстве случаев значения ФЭТ в 06:00 EEST были лишь немного ниже, а в одной трети случаев они были немного выше, чем в 03:00 EEST, но они принадлежали к тем же градациям термической нагрузки.

Быстрый рост значений ФЭТ наблюдался между 06:00 и 09:00 EEST. Значения ФЭТ в 09:00 EEST в основном принадлежали к градации «умеренный тепловой стресс», но в отдельные дни на некоторых станциях также был зафиксирован легкий холодовой стресс, сильный и даже экстремальный тепловой стресс. Комфортные тепловые условия в 09:00 EEST наблюдались на станции Кропивницкий 12, 13 и 16 августа. Диапазон значений ФЭТ был небольшим (4.4°C) 3 и 4 августа и высоким (19.0°C) 13 августа. Во время волны тепла в 12:00 EEST преобладал сильный и экстремальный тепловой стресс (за исключением отдельных дней в Киеве, Кропивницком, Симферополе). Следует отметить, что самые высокие значения ФЭТ были обнаружены на станции Глухов 9 и 16 августа (они достигали 55.5 и 51.1°C) и были самыми высокими значениями ФЭТ во время данной ВТ на территории Украины. Диапазон значений в некоторые дни был очень низким (2.6°C – 8 августа и 3.0°C 7 августа), в то время как в другие – был довольно высоким (15.0°C – 9 августа). Значения ФЭТ в 15:00 EEST принадлежали к градациям «сильный тепловой стресс» и «экстремальный тепловой стресс» и во время ВТ находились в диапазоне от 34.8°C (Харьков, 13 августа) до 49.9°C (Луганск, 1 августа). Однако, было зафиксировано много дней, когда разница в значениях ФЭТ в 15:00 EEST на разных станциях была небольшой. В суточном ходе значения ФЭТ заметно снизились между 15:00 и 18:00 EEST. Значения ФЭТ в 18:00 EEST в основном принадлежали к градации «сильный тепловой стресс» и немного меньше значений – к градации «умеренный тепловой стресс». Экстремальный тепловой стресс зафиксирован лишь на станциях Харьков (2 дня), Глухов (2 дня) и Луганск (10 дней). Диапазон значений в отдельные дни был очень маленьким (1.4°C 8 августа, 3.0°C 14 августа). Самый большой диапазон значений на разных

станциях в 18:00 EEST был обнаружен 3 августа (12.0°C). В 21:00 EEST во время ВТ преобладал легкий тепловой стресс. Комфортные условия также зафиксированы в отдельные дни на разных станциях. Умеренный тепловой стресс выявлен лишь четыре раза (на станциях Киев, Кропивницкий, Харьков, Луганск). Диапазон значений на отдельных станциях в разные дни был не очень высоким (2.8 – 9.1°C).

На всех станциях во время волны тепла наблюдались дни, в которые тепловой стресс разной интенсивности был зафиксирован с 9:00 до 18:00 EEST, то есть – на протяжении суток длительность периода с тепловым стрессом была 9 часов. Такие дни составляли 97.6 % (кроме трех дней на станции Кропивницкий). Умеренный, сильный и экстремальный тепловой стресс с 9:00 до 18:00 EEST зафиксирован в 84.3 % случаев. Тепловой стресс в течение 12 часов (9:00–21:00 EEST) наблюдали в 70.4 % случаев. Также следует отметить, что в отдельные дни тепловой стресс зафиксирован даже в 06:00 EEST (станции Глухов, Киев, Харьков, Луганск) и в 00:00 EEST (станции Киев, Харьков, Луганск). Во время эпизода ВТ выявлено десять суток с продолжительностью теплового стресса 15 часов, а также один день с продолжительностью теплового стресса 18 часов (на станции Харьков). Тринадцать раз наблюдались периоды сильного и экстремального теплового стресса продолжительностью девять часов (на всех станциях, кроме Киева) и четырнадцать раз – периоды сильного теплового стресса продолжительностью шесть часов (на станциях Харьков, Луганск, Глухов).

Таким образом, в ходе данного исследования установлено, что во время волны тепла 2010 года, население большей части территории Северного, Центрального, Восточного и Южного регионов Украины подвергалась длительному воздействию теплового стресса. В 70.4 % случаев тепловой стресс зафиксирована в течение 12 часов, а в 97.6 % случаев – на протяжении 9 часов подряд. При этом, в дневные часы преобладал сильный и экстремальный тепловой стресс – повторяемость этих двух градаций теплового стресса в 12.00 часов составляла 100 % на всех исследуемых станциях, за исключением Овруча и Измаила. Результаты, полученные в этом исследовании, могут использоваться при разработке и внедрении системы оповещения о жаркой погоде, которая может навредить здоровью (Heat Health Warning System – HHWS), а также – при разработке планов адаптации к изменению климата и тепловому стрессу.

Библиографические ссылки

1. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe / D. Barriopedro [et al.] // *Science*, 2011. – Vol. 332. – P. 220–224.
2. Grumm, R.H. The Central European and Russian heat event of July – August 2010 / R.H. Grumm // *Bull. of the Am. Meteorological Soc.*, 2011. – Vol. 92. – P. 1285–1296.
3. Basarin, B. Review of Biometeorology of Heatwaves and Warm Extremes in Europe / B. Basarin, T. Lukic, A. Matzarakis // *Atmosphere*, 2020. – Vol. 11. – P. 1276.
4. Konstantinov, P.I. Modeling of thermal comfort conditions inside the urban boundary layer during Moscow's 2010 summer heat wave (case-study) / P.I. Konstantinov, M.I. Varentsov, E P. Malinina // *Urban Climate*, 2014. – Vol. 10. – P. 3. – P. 563–572.

5. Шевченко, О.Г. Характеристика синоптических процессов над территорией Украины во время волны тепла в июле-августе 2010 г. / О.Г. Шевченко, Е.В. Самчук, С.И. Снежко // Учен. зап. РГМИ, 2013. – № 29. – С. 85–94.
6. Matzarakis, A. Modeling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model / A. Matzarakis, F. Rutz, H. Mayer // International J. of Biometeorology, 2007. – Vol. 51. – P. 323–334.
7. Tomczyk, A.M. Human-biometeorological conditions during heat waves in Poland / A.M. Tomczyk, E. Bednorz, A. Matzarakis // International J. of Climatology, 2020. – Vol. 40. – Is. 12. – PP. 5043–5055.
8. Matzarakis, A. Thermal bioclimate in Strasbourg – the 2003 heat wave / A. Matzarakis, M. De Rocco, G. Najjar // Theoretical and Appl. Climatology, 2009. – Vol. 98. – P. 209–220.