

УДК 551.583

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ГОРОДА УФЫ ПО ДАННЫМ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

¹Хайрулина С.Н., ¹Смертин Г.Ю., ¹Васильева Е.А.,
¹Насырова Э.С., ¹Елизарьев А.Н., ²Хамитов А.Р.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su;
²ГКУ РБ «Информационные технологии», Уфа

Территории городских центров, особенно в городах-миллионерах, характеризуются высокой запечатанностью, что приводит к накоплению тепла (более высокие температуры воздуха, чем на окраинах города). Данное явление названо «городской остров тепла». Исследование городского острова тепла в связи с высокими темпами урбанизации особенно важно для оценки глобального потепления. Среди основных факторов, влияющих на интенсивность городского острова тепла, выделяют городскую планировку. В работе рассмотрена проблема теплового загрязнения в городах. Избыточное тепло может негативно сказываться на здоровье населения и вызвать тепловой удар или гипертермию. При планировке города, как правило, не учитываются возможное изменение микроклимата в пределах микрорайона (квартала). Следствием игнорирования вопросов городского планирования может стать увеличение смертности и заболеваемости, например, во время аномальной жары в Европе в 2003 г. Первоочередным является выявление в городе «островов тепла» для принятия дальнейших решений. Проблема городского острова тепла широко исследуется зарубежными исследователями, а отечественные исследователи в основном рассматривают данное явление только в городах-миллионерах. В работе проанализирован эффект городского острова тепла в г. Уфе и рассмотрены его основные теоретические аспекты. В соответствии с полученными результатами выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения городского острова тепла. Установлено, что в 2000 г. в городе Уфе присутствовал городской остров тепла, характеризующийся высоким значением среднесуточной и максимальной температуры воздуха. Предполагается, что городской остров тепла г. Уфы располагался вокруг ПНЗ № 5.

Ключевые слова: городской остров тепла, атмосфера, изменение климата, городское планирование, биоклиматическая архитектура

RESEARCH OF THE UFA CITY HEAT ISLAND ACCORDING TO OBSERVATION POINTS

¹Khayrulina S.N., ¹Smertin G.Yu., ¹Vasileva E.A.,
¹Nasyrova E.S., ¹Elizarev A.N., ²Khamitov A.R.

¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: Nasyrova.ES@ugatu.su;
²State institution «Information Technologies», Ufa

The urban centers territories, especially in millionaire cities, are characterized by high sealing, which leads to heat accumulation (higher air temperatures than on the city suburb). This phenomenon is called «urban heat island». The research of the urban heat island in connection with the high rates of urbanization and is especially important for global warming assessment. Among the main factors affecting the urban heat island intensity is the urban planning. The research considers the problem of thermal pollution in cities. Excessive heat can negatively effect on health of the population and cause heat stroke or hyperthermia. When planning a city, as a rule, a possible change in the microclimate within the neighborhood (quarter) is not taken into account. Ignoring urban planning issues can lead for increasing in mortality and morbidity, for example, during the abnormal heat in Europe in 2003. The first priority is to identify «heat islands» in the city for making further decisions. The problem of urban heat island is widely studied by foreign researchers, and Russian researchers mainly consider this phenomenon only in cities with a population of more than a million. The paper analyzes the effect of the urban heat island in Ufa city and considers its main theoretical aspects. In accordance with the obtained results, it was found out that Ufa city is poorly studied from the point of urban heat island. It was established that in 2000 year in Ufa city there was an urban heat island characterized by a high value of the average daily and maximum air temperature. It is assumed that the urban heat island of Ufa city was located around the monitoring station № 5.

Keywords: urban heat island, atmosphere, climate change, urban planning, bioclimatic architecture

Запечатанность территории городских центров приводит к накоплению тепла, здесь наблюдаются более высокие температуры воздуха, чем на окраинах города. Данное явление называется «городской остров тепла» (ГОТ). Исследование городского острова тепла из-за увеличения урбанизации особенно важно для оценки глобального потепления. Среди факторов, влияющих

на интенсивность городского острова тепла, выделяют городскую планировку. Она взаимодействует с обменным излучением между землей и атмосферой с последующими явлениями отражения, поглощения и накопления тепла. Геометрическое сочетание горизонтальных и вертикальных внутригородских поверхностей часто называют «городским каньоном» [1–3].

Изменение климатических параметров в городской среде, а именно повышенная температура, сказывается на здоровье человека. В связи с этим забота о комфортном тепловом микроклимате в городской среде является одной из задач градостроительства. Прогнозируемые изменения температуры как в результате глобального потепления, так и в результате формируемого городского острова тепла окажут прямое и косвенное воздействие на здоровье человека. По данным Национальной академии наук США и Королевского научного общества (2014), небольшое повышение глобальной температуры приведет к повсеместным изменениям региональной температуры с увеличением теплового стресса в районах. Региональные изменения температуры повышают риск возникновения аномальной жары и представляют серьезную проблему для здравоохранения. Тепловые волны могут вызвать тепловой удар, гипертермию и увеличить уровень смертности. Однако такие нюансы планировки, связанные с изменением климата, часто игнорируются в городском планировании. Последствия выражаются в ухудшении здоровья и комфорта жителей, особенно в больших городах. Следствием игнорирования вопросов городского планирования может стать увеличение смертности и заболеваемости, особенно в городских районах. Об этом уже сообщалось в 2003 г. во время аномальной жары в Европе. Существует острая необходимость в оценке стратегий, которые могут смягчить дальнейшее повышение температуры в городских районах и связанное с этим негативное воздействие на тепловой комфорт человека с точки зрения городского планирования. Соответственно, первоочередным является выявление в городе островов тепла для принятия дальнейших решений.

Проблема городского острова тепла широко исследуется зарубежными исследователями, а отечественные исследователи в основном рассматривают данное явление только в городах-миллионерах. Например, в работе по исследованию городского острова тепла в Индии [4] обсуждаются методы классификации тепловых островов при их изучении.

Yunfei Li и др. [5] моделировали городской климат различных городов при одинаковых погодных условиях. Изучая различные формы городов, авторы обобщили и предложили сокращенную форму оценки

интенсивности ГОТ, основанную только на структуре городских объектов, а также на их относительных расстояниях.

Для того чтобы понять величину и характеристики ГОТ в Сеуле, Jin Woo Oh и др. [6] разработали две модели городского острова тепла: временную и пространственную. Кроме того, авторы разработали и предложили новую метрику – ГОТ-часы, которая определяет общее количество часов, в течение которых городской остров тепла существует в данной области.

В работе [7] проведено исследование влияния социально-экономических факторов на динамику ГОТ в крупных китайских городах. Авторы использовали обобщенную аддитивную модель для моделирования нелинейных/линейных связей между экономикой, населением, промышленной структурой, географическими особенностями и ГОТ на уровне сезонных и климатических изменений.

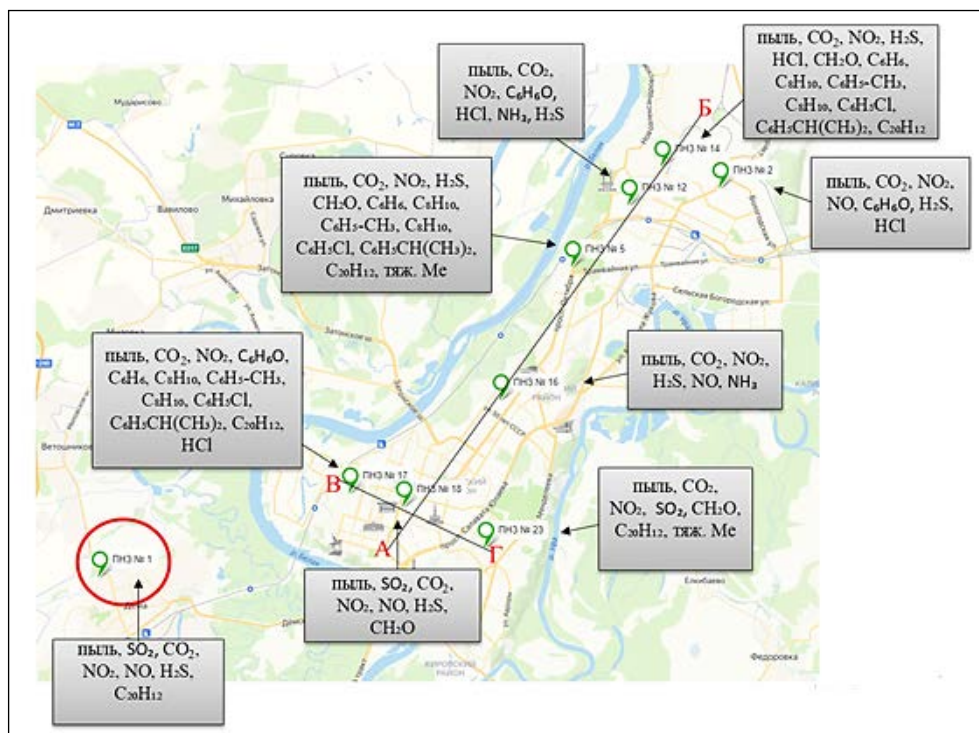
Примером города-миллионера, для которого возможно наличие городского острова тепла, является г. Уфа. В работе [8] рассмотрена проблема теплового загрязнения в городах. Проанализированы основные условия возникновения городского острова тепла в г. Уфе. Эффект городского острова тепла в г. Уфе и его основные теоретические аспекты рассмотрены в работе [9]. В ходе анализа выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения городского острова тепла. В связи с этим целью данной работы является исследование городского острова тепла в городе-миллионере Уфе.

Материалы и методы исследования

Эффект городского острова тепла возможно определить по данным пунктов наблюдения за загрязнением воздуха (ПНЗ). В г. Уфе находится 9 пунктов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (рисунок).

Как видно из рисунка, 8 станций находятся в основной части г. Уфы, а одна станция – в Демском районе города. Поскольку данная станция расположена за пределами основной части города и за рекой Белая, то она может условно рассматриваться как фоновая для оставшихся 8 станций.

Город Уфа является пятым по протяженности в России, имея длину 54 км. В связи с территориальной особенностью города пункты наблюдения можно объединить в две группы, условно расположенные на отрезках АБ и ВГ (рисунок).



Пункты наблюдения загрязнения атмосферного воздуха г. Уфы

ПНЗ № 1 по улице Минская, 64, с одной стороны окружен частным сектором и садоводческими некоммерческими товариществами, с другой располагается многоквартирный жилой комплекс «Белые Росы». За СНТ находятся административные и производственные корпуса научно-производственного объединения «Микроген Иммунопрепарат».

ПНЗ № 2 по улице Свободы, 44, окружают многоквартирные и частные жилые дома. К северо-западу от него располагается большое количество хозяйственных и производственных корпусов.

С одной стороны от ПНЗ № 5 по проспекту Октября, 141, находится Уфимский трамвайно-троллейбусный завод, с другой большая территория парка имени Калинина. К югу – городской дворец культуры и многоквартирные жилые дома.

ПНЗ № 12 по ул. Мира, 11, находится в жилом многоквартирном квартале.

ПНЗ № 14 по ул. Ульяновых, 57, расположен в производственном секторе и окружен производственными и хозяйственными помещениями.

ПНЗ № 16 по проспекту Октября, 65/4, располагается в черте жилых многоквартирных домов.

Рядом с ПНЗ № 17 по улице Гафури, 101, находятся как жилые дома, так и производственные корпуса.

ПНЗ № 18 по улице Достоевского, 102/1, опоясан жилыми домами и бизнес-центром.

ПНЗ № 23 улица Злобина, 11, расположен посреди жилых домов и строящихся многоквартирных объектов.

По данным 9 ПНЗ исследована динамика изменения температуры воздуха в г. Уфе в 2000 г. Учитывались значения температуры, замеренные в 1:00, 7:00, 13:00 и 19:00 на протяжении 365 дней. Проанализировано 12 тыс. данных. Рассчитаны среднесуточные и максимальные значения температур за каждый день 2000 г. ПНЗ № 1 не входит в основной анализ, но данные обработаны так же, как и для других пунктов наблюдения.

Результаты исследования и их обсуждение

Поскольку в г. Уфе ранее эффект городского острова тепла непосредственно по суточной температуре воздуха не изучался, и подобное исследование для города проводится впервые, то за начало исследований взят один из пяти самых теплых лет прошедшего столетия, по которому имеются данные, – 2000 год. В 2000 г.

на территории России в целом температура приземного слоя воздуха превышала норму на 1,1° С. Более теплыми годами по сравнению с 2000 г. считались 1995, 1990, 1983, 1989 гг. Среднесезонные температуры для России в целом в 2000 г. превышали норму во все сезоны, кроме осени. Зима в этом году более теплая, чем в 1999 г. Она вошла в число четырех самых теплых зим на территории России. Более теплые зимы в 1914, 1983 и 1995 гг. Особенно теплыми были декабрь и февраль. Весна в России была очень теплой. Положительные аномалии темпера-

туры отмечались на всей территории России. Как и зима, весна вошла в число пяти самых теплых за 100 лет (1990, 1997, 1995, 1967 гг.). Рекордно теплым был апрель.

Среднесуточная динамика изменения температуры воздуха в г. Уфе по данным ПНЗ для января 2000 г. приведена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, не на всех ПНЗ в один день измерялась температура, и это не позволяет полноценно проанализировать все дни. Рассчитана повторяемость по средней температуре воздуха за все месяцы 2000 г. (табл. 2).

Таблица 1

Среднесуточная динамика изменения температуры воздуха
в г. Уфе в январе по данным ПНЗ

Дата	№ 1	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
1	-5,67			-3,3	-3,3			-4,5	
2	-11,88			-11,5	-12,2	-12,8			
3	-10,75	-12,7				-12,0			
4	-8,50	-8,7						-5,7	
5	-10,03	-9,7	-8,0	-5,3	-9,0	-9,7	-9,8	-8,4	
6	-9,78	-10,0	-9,2			-11,0	-9,5	-8,5	
7	-7,30		-6,3					-6,7	
8	-14,55	-13,3				-12,7			
9	-5,80			-6,0	-7,7	-7,1			
10	-1,83			-1	-2,2		-2,0		
11	-1,35	-1,7	-0,8	-0,3	-1,3	-1,9	-1,5	-1,0	
12	-2,10	-2,2	-2,4	-0,7	-2,4	-2,5	-2,3	-2,8	
13	-1,85	-2,1	-1,8	-1,3	-1,6	-1,7	-1,5	-1,1	
14	-1,50	-1,5	-1,4	-0,7	-1,5	-1,3	-1,2	-1,6	
15	-2,60			-1,3	-2,0	-3,1		-3,1	
16	-7,48	-4,7	-3,5				-4,2		
17	-9,25	-8,9	-7,9		-8,3	-9,4	-9,4	-8,2	-10,5
18	-7,70	-7,85	-7,475		-7,4	-9,4	-7,5	-7	-9,2
19	-4,55	-5,0	-5,3		-5,5	-4,7	-3,5	-4,9	-6,0
20	-2,13	-2,4	-1,9		-1,8	-5,0	-2,5	-2,1	-3,3
21	-5,65	-4,5	-4,5		-3,7	-5,0	-4,7	-4,4	-5,7
22	-15,10				-12,7	-12,4		-9,9	
23	-11,33	-10,2	-9,0				-9,5		-11,3
24	-15,80	-12,8	-12,4		-15,0	-16,7	-16,2	-12,6	-16,6
25	-21,53	-20	-20,1			-19,6	-18,7	-18,6	-22,4
26	-5,40	-5,13	-4,13			-4,2	-4,1	-4,53	-6,6
27	-9,68	-7,8	-6,3			-7,7	-8,3	-7,1	-7,8
28	-17,98	-16,8	-15,3			-15,3	-11,5	-15,9	-18,6
29	-10,00					-9,53		-8,8	
30	-1,63	-2,0	-1,3				-1,7		-3,7
31	-1,68	-1,525	-1,5			-1,53	-1,7	-0,8	-2,3

Таблица 2

Повторяемость ПНЗ по среднесуточной температуре

Дата	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
Январь	0	7	9	2	2	2	9	0
Февраль	1	9	3	0	1	2	16	0
Март	4	1	8	1	3	10	5	0
Апрель	4	5	6	1	0	9	6	0
Май	5	8	3	0	4	6	7	0
Июнь	1	19	1	0	1	6	2	0
Июль	1	18	1	4	1	6	0	0
Август	1	18	2	0	0	6	3	0
Сентябрь	0	12	2	0	2	8	8	0
Октябрь	0	26	0	0	0	3	2	0
Ноябрь	1	5	10	0	2	3	11	0
Декабрь	2	5	8	0	2	6	8	1
Сумма	20	133	53	8	18	67	77	1
Порядок	5	1	4	7	6	3	2	8

Таблица 3

Повторяемость ПНЗ по максимальной температуре

Дата	№ 2	№ 5	№ 12	№ 14	№ 16	№ 17	№ 18	№ 23
Январь	5	8	9	6	3	2	9	0
Февраль	4	8	9	5	0	1	11	0
Март	10	1	8	2	1	11	6	0
Апрель	3	11	9	8	0	3	2	1
Май	9	10	6	8	3	2	4	2
Июнь	4	15	4	6	0	3	1	1
Июль	3	21	3	6	0	1	0	0
Август	3	20	4	6	0	2	0	5
Сентябрь	2	15	3	4	1	3	3	8
Октябрь	2	27	2	1	0	2	1	0
Ноябрь	1	10	15	2	1	4	4	0
Декабрь	3	8	13	1	1	6	9	1
Сумма	49	154	85	55	10	40	50	18
Порядок	5	1	2	3	8	6	4	7

По данным табл. 2, наибольшая среднесуточная температура многократно зафиксирована на ПНЗ № 5.

На следующем шаге аналогично проанализирована динамика изменения максимальных значений температуры воздуха в каждом месяце 2000 г. (табл. 3).

Как видно из табл. 3, максимальная температура воздуха также многократно зафиксирована на ПНЗ № 5. Данный ПНЗ распола-

гается в Институте нефтехимии и катализа Российской академии наук по центральной улице Уфы, долгое время считавшейся самой длинной, проспекту Октября. Напротив института простирается большая территория парка имени Калинина, площадью не менее 60 га земли. В настоящее время парк представляет собой неухоженный лесной массив, через который пролегает аллея. С другой стороны, от ПНЗ № 5 находится

Уфимский трамвайно-троллейбусный завод, предприятие по производству троллейбусов, производящее около 100 троллейбусов в год. Ближе к центру идут городской дворец культуры и многоквартирные жилые дома.

Выявление городского острова тепла с практической точки зрения позволит внедрить биоклиматическую архитектуру в выявленном районе. Данное решение в свою очередь снизит тепловой эффект и создаст комфортные условия для жителей. Стратегическими направлениями по развитию биоклиматической архитектуры города являются увеличение альбедо поверхности, озеленение, обводнение и уменьшение запечатанности территорий.

Заключение

В работе рассмотрены основные теоретические аспекты эффекта городского острова тепла. В соответствии с полученными результатами выяснено, что г. Уфа является малоизученным с точки зрения данной проблемы. 2000 г. в числе пяти самых теплых лет прошедшего столетия и в связи с этим взят за начало исследований. Установлено, что в 2000 г. в г. Уфе присутствовал городской остров тепла, характеризующийся высоким значением среднесуточной и максимальной температуры воздуха. Предполагается, что городской остров тепла г. Уфы располагался вокруг ПНЗ № 5. В дальнейших исследованиях будут проанализированы оставшиеся

годы до настоящего времени и предложены решения для биоклиматической архитектуры города.

Список литературы

1. Shi Y., Zhang Y. Remote sensing retrieval of urban land surface temperature in hot-humid region. *Urban Climate*. 2018. Vol. 24. P. 299–310. DOI: 10.1016/j.uclim.2017.01.001.
2. Darmanto N.S., Varquez A.C.G., Kawano N., Kanda M. Future urban climate projection in a tropical megacity based on global climate change and local urbanization scenarios. *Urban Climate*. 2019. Vol. 29. P. 100482. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100482.
3. Шукуров И.С., Хонгорова И.В. Теплофизическое моделирование в градостроительстве // *Вестник МГСУ*. 2012. № 1. С. 12–16. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.1.12-16.
4. Veena K., Parammasivam K.M., Venkatesh T.N. Urban Heat Island studies: Current status in India and a comparison with the International studies. *Journal of Earth System Science*. 2020. Vol. 129. P. 85. DOI: 10.1007/s12040-020-1351-y.
5. Li Y., Schubert S., Jürgen P.K., Rybski D. On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. P. 2647. DOI: 10.1038/s41467-020-16461-9.
6. Woo Oh J., Ngarambe J., Nzivugira Duhirwe P., Young Yun G., Santamouris M. Using deep-learning to forecast the magnitude and characteristics of urban heat island in Seoul Korea. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 3559. DOI: 10.1038/s41598-020-60632-z.
7. Ying L. Sun Y., Li J., Gao C. Socioeconomic drivers of urban heat island effect: Empirical evidence from major Chinese cities. *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 63. P. 102425. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102425.
8. Марванов Р.В., Насырова Э.С. Особенности температурного режима крупных городов (на примере г. Уфы) // *Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях: материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции*. 2018. С. 170–172.
9. Насырова Э.С., Новикова Д.О., Хайрулина С.Н. Городской остров тепла // *Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FireSafety 2020)*. Уфа: УГАТУ, 2020. С. 235–239.