

УДК 551.584.5:712.4

И. В. Попова, Е. Э. Бурак, Ю. А. Воробьева

**ОЦЕНКА РОЛИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ФОРМИРОВАНИИ КОМФОРТНЫХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

47

Рассмотрено значение зеленых насаждений как наиболее важного фактора снижения перегрева городских поверхностей. На примере участка жилой застройки повышенной этажности, расположенного в левобережной части Воронежа, было выполнено моделирование микроклиматических условий в летний период. В качестве фоновых климатических условий заданы следующие параметры: день летнего солнцестояния, безоблачно, штиль, температура воздуха 25°С. Выполнена оценка уровня теплового комфорта при существующем варианте благоустройства территории жилого комплекса и с учетом предложенных климатомелиоративных мероприятий, в качестве которых было рассмотрено озеленение вечнозелеными и листопадными породами деревьев. Уровень теплового комфорта оценивался с помощью индекса PMV. В существующих условиях благоустройства территория жилого комплекса характеризуется крайне высоким уровнем перегрева, а результаты моделирования с учетом озеленения показывают снижение индекса PMV на основных площадках отдыха детей и взрослых за счет уменьшения средней радиационной температуры.

Against the background of global warming and a decline in urban vegetation, they pose a danger of overheating in summer. In this article, we stress the significance of green spaces as a principal factor in reducing the overheating of urban surfaces. We analyse a high-rise residential area in the left-bank part of the city of Voronezh to perform a simulation of microclimatic conditions in summer. The following parameters were used as background climatic conditions: the day of the summer solstice, cloudless and calm weather, air temperature 25°С. We assessed the level of thermal comfort in the current landscaping situation in the residential area, taking into account proposed climate improvement initiatives, particularly, planting evergreen and deciduous trees. We evaluated the level of thermal comfort using the PMV index. In the current landscaping situation, the residential area studied is severely overheated. Our simulation, which allows for the effects of planted trees, shows a reduction in the PMV index in parks enjoyed by children and adults. The reduction is accounted for by a decrease in the average radiation temperature.

Ключевые слова: климат города, глобальное потепление, городской «остров тепла», микроклимат, тепловой комфорт, predicted mean vote (PMV), зеленые насаждения.

Keywords: urban climate, global warming, urban heat island, microclimate, thermal comfort, predicted mean vote (PMV), green spaces.



Климат является важнейшим фактором природной среды обитания человека, влияющим на все сферы его жизнедеятельности. В условиях глобального потепления, которым по мнению ряда авторов [1; 2] характеризуется современное состояние земной климатической системы, изменения температурно-влажностного режима могут вызывать биоклиматические эффекты со стороны здоровья и благополучия населения. В периоды летней жары возникает риск перегрева, терморегуляторные функции организма испытывают при этом повышенные нагрузки и человек становится более уязвим для других неблагоприятных факторов окружающей среды, таких как повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха, некачественная питьевая вода, шумовое загрязнение и др. Известны случаи, когда во время экстремально высоких летних температур, так называемых волн жары в России и Европе, увеличивалась общая заболеваемость населения, в большей степени нарушения происходят в сердечно-сосудистой системе, которые нередко заканчиваются смертельным исходом [3; 4]. Так, по данным социально-гигиенического мониторинга в Воронеже, в период аномальной жары летом 2010 г. были выявлены статистически достоверные зависимости между среднесуточной температурой воздуха и общей смертностью, смертностью от болезней системы кровообращения и органов дыхания [5]. При этом фактором риска в данном случае выступает среднесуточная температура воздуха, от которой зависит циркуляция крови, дыхание, снабжение кислородом тканей. Среднегодовая температура воздуха в Воронеже по данным ГУ «Воронежский ЦГМС» составляет $6,3^{\circ}\text{C}$, в то время как по данным архива погоды за период 2006–2016 гг. с сайта meteocenter.net отмечается увеличение среднегодовой температуры воздуха до $8,1^{\circ}\text{C}$, причем наибольший рост температур наблюдается в период с июля по декабрь (рис. 1) [6].



Рис. 1. Годовой ход среднемесячных температур воздуха в Воронеже



Этот факт приобретает особую актуальность в условиях городской среды, поскольку на территории города формируются особые микроклиматические условия, характеризующиеся более высокими температурами воздуха по сравнению с окружающими пригородными районами. Рост урбанизации ведет к изменениям теплового баланса городских пространств и росту температур в приземном слое атмосферы. Температура воздуха в центре крупного города может быть на несколько градусов выше, чем в пригородных районах. Это явление в городской климатологии принято называть городским «островом тепла» [7]. Если бы город был теплоизолирован от окружающей местности, то температура в нем поднялась бы на 10°C [1].

Причинами возникновения термической аномалии над городом считаются изменения в структуре теплового баланса городской подстилающей поверхности, которые можно охарактеризовать следующим образом [7–9]:

1) уменьшение интегрального альбеда городских поверхностей, и, как следствие, увеличение доли поглощенной солнечной радиации по сравнению с естественными ландшафтами;

2) поступающие в атмосферный воздух различные твердые примеси и аэрозоли от производственных объектов, транспорта и других источников загрязнения атмосферы снижают ее прозрачность, что приводит к уменьшению прямой солнечной радиации, в то же время растет доля рассеянной радиации;

3) уменьшение потерь тепла за счет длинноволновой радиации вследствие геометрии каньона и многократного переотражения радиационных потоков;

4) большая часть тепловой энергии, вырабатываемой на нужды теплоснабжения в результате работы транспорта и в различных технологических процессах, диссоциируется в окружающее воздушное пространство и почвогрунты, приводя к их нагреванию;

5) увеличение строительного объема из материалов с высокой удельной теплоемкостью приводит к накоплению и хранению теплоты элементами застройки;

6) за счет сокращения площадей с естественным почвенным покровом и зелеными насаждениями снижается расход тепла на испарение, что приводит к росту теплового баланса;

7) снижение потерь тепла за счет длинноволнового излучения происходит внутри плотно застроенных районов вследствие увеличения уровня шероховатости и снижения скоростей ветра, что приводит к формированию зон застоя воздуха, препятствующих турбулентному перемешиванию приземного слоя атмосферы и выносу избыточного тепла в ее вышележащие слои.

В Европе был инициирован ряд научных исследований, направленных на изучение городского «острова тепла» и разработку мероприятий по снижению тепловой нагрузки в городах. В качестве защитных мер от жары предлагается использование светоотражающих материалов, озеленение фасадов и крыш зданий, но особая роль в регулировании теплового баланса города отводится зеленым насаждениям. Влияние городских зеленых насаждений на температурно-влажностный режим в городском пограничном слое атмосферы описано в ис-



следованиях по всему миру [8–13]. Мелиоративный эффект заключается в создании благоприятной тени, увлажнении воздуха и регулировании тем самым средней радиационной температуры [14–16]. Таким образом, главный способ борьбы с перегревом городской застройки — это грамотное озеленение, но такое функциональное назначение зеленых насаждений не учтено в документах градостроительного проектирования СП 42.13330.2016 и региональных нормативах по градостроительству [17; 18].

Одним из примеров климатомелиорации города является размещение зеленых насаждений вдоль улицы у фасада южной экспозиции (рис. 2), благоприятный эффект заключается также в регулировании микроклимата помещений, окна которых выходят на солнечную сторону [19].



а



б

Рис. 2. Высадка зеленых насаждений у фасада южной экспозиции вдоль улицы, ориентированной с востока на запад (Германия) (фото И. В. Поповой):

а — 2012 г., <https://voronezh.vsedomarossii.ru/city/1819/foto/sight/s40>;

б — 2018 г., <https://letskick.ru/baza-znaniy/puteshestvie-s-samokatom-yug-rossii>



В то же время в Воронеже за последние 30 лет наблюдается неуклонное снижение площади городских озелененных территорий как при реконструкции улиц и застройки, так и при новом строительстве [20; 21]. Наглядным примером может служить историческая улица Кольцовская, при реконструкции которой были вырублены все возрастные ширококронные деревья, взамен местами высадили остролистные клены с компактной небольшой кроной, которые не обеспечивают в полной мере защиту от перегрева (рис. 3) [17].



Рис. 3. Бульвар по ул. Кольцовская в Воронеже (<http://vif-vrn.ru/viewtopic.php?t=291>)

Начиная с 2014 г. в городе вводится в эксплуатацию рекордное количество жилья. Большинство построенных за последние годы жилых комплексов — это территории застройки повышенной этажности, характеризующиеся высокой долей искусственных покрытий и низкой долей озеленения, а имеющиеся участки с естественным покрытием заняты в основном газонной растительностью [6; 9].

Исследование роли зеленых насаждений в формировании комфортных микроклиматических условий при различных вариантах благоустройства внутривороневского пространства проводилось на примере современного жилого комплекса повышенной этажности в левобережной части Воронежа (51°40'19" с. ш., 39°11'3" в. д.). Застройка жилого комплекса представлена 17–25-этажными жилыми домами, расположенными по периметру, в центре находятся автомобильная парковка, детская площадка и зона отдыха. Используемое покрытие дворовых проездов — асфальт, пешеходных дорожек — тротуарная плитка, детских площадок — прессованная резиновая крошка. Палисадники и участки газонов засеяны газонным разнотравьем. Древесные насаждения представлены скудно, отдельными деревьями вдоль кромки водохранилища, а с юга жилой комплекс граничит с участком соснового леса.



Моделирование микроклимата проводилось в программном комплексе ENVI-met v.4.2, использующем уникальный целостный подход, при котором все различные микроклиматические характеристики связываются и моделируются вместе в одной комплексной CFD (computational fluid dynamics) – модели, обеспечивающей всесторонний анализ [22]. Физическая составляющая ENVI-met, основанная на решении системы уравнений трехмерного движения вязкой среды (Навье-Стокса), замкнутого уравнением неразрывности, описывается в материалах разработчиков программы [23], расчет ведется в жесткой регулярной сетке. Максимальный размер моделируемого поля составляет 100×100 ячеек в горизонтальной плоскости и 30 клеток в вертикальном направлении. Здания, растительность и поверхности исследуемой области представлены в трехмерной модели с разрешением 4 м. Всего было выполнено моделирование двух ситуаций: 1) с существующим вариантом благоустройства; 2) с учетом климатомелиоративных мероприятий. Моделирование проводилось в день летнего солнцестояния, фоновая температура воздуха 25°C , штиль.

С целью снижения перегрева рекомендована посадка полосы вечнозеленых насаждений с западной, северо-западной, северной и северо-восточной сторон, которые выполняют также ветрозащитную функцию. При высадке древесных пород необходимо придерживаться требований СанПин 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» по максимальному сохранению условий инсоляции на придомовой территории и жилых помещений первых этажей в холодное время года, поэтому с восточной, юго-восточной, южной и юго-западной сторон центральной детской площадки рекомендуется высаживать листопадные породы деревьев, которые в летнее время дополнительно защищают от действия прямых солнечных лучей и перегрева, а зимой не препятствуют инсоляции жилых помещений.

В таблице представлены результаты моделирования микроклиматической ситуации участка застройки в существующих условиях и с учетом климатомелиоративных мероприятий, дано сравнение и уровня теплового комфорта в условиях перегрева. Оценка теплоощущений человека велась с помощью индекса predicted mean vote (PMV), методика расчета которого описана в стандарте ISO 7730 («Эргономика тепловых условий»). Состояние теплового баланса человека с окружающей средой оценивается по 7-балльной шкале: «+3» – жарко; «+2» – тепло; «+1» – немного тепло; «0» – нейтрально; «-1» – немного прохладно; «-2» – прохладно; «-3» – холодно.

**Результаты расчета уровня перегрева в летний период в 15:00:
индекс теплового комфорта PMV на высоте 2 м**

Показатель	Вариант 1*	Вариант 2**
Минимальное значение индекса PMV_{\min}	1,82	1,81
Максимальное значение индекса PMV_{\max}	3,97	3,98
Среднее значение индекса PMV_{mean}	2,67	2,56
Доля территории с индексом $PMV > 2,5$	0,49	0,40

Примечание: * с существующим вариантом благоустройства; ** с учетом климатомелиоративных мероприятий.



Оценка уровня теплового комфорта в условиях перегрева с учетом и без климатомелиоративных мероприятий показала, что при температуре воздуха выше 25°C и в условиях шттиля большая часть исследуемого участка жилой застройки характеризуется дискомфортными условиями перегрева (индекс $\text{PMV}_{\text{mean}} > 2,5$), системы терморегуляции человека при этом испытывают сильные нагрузки, длительное нахождение на открытом воздухе может приводить к тепловым ударам. Рекомендуемое озеленение территории эффективно влияет на снижение тепловой нагрузки, значение индекса PMV на площадках отдыха и игр детей снижается с 3,33 до 2,89, также уменьшается доля территории с перегревными условиями ($\text{PMV} > 2,5$).

Заключение

На примере участка жилой застройки повышенной этажности выполнено моделирование микроклимата, рассмотрен план климатомелиоративных мероприятий, дана оценка уровня теплового комфорта и эффективности предлагаемых решений: в летнее время биоклиматический эффект заключается в увлажнении воздуха и снижении средней радиационной температуры на основных площадках отдыха детей и взрослых. Результаты моделирования могут быть использованы при проведении технической экспертизы объекта и разработке градостроительных мероприятий, направленных на создание комфортных микроклиматических условий.

При разработке экологической стратегии Воронежа необходимо учесть влияние повышенной температуры летнего периода на здоровье населения города и разработать ряд мер по улучшению качества окружающей среды. Решение городского озеленения на всех стадиях проектирования, начиная от выбора системы зеленых насаждений и заканчивая приемами озеленения отдельных участков застройки, должно производиться на основе последовательного учета состояния окружающей среды, ее отдельных компонентов и режима их функционирования в локальном масштабе [21].

Список литературы

1. *Изменение климата: последствия, смягчение, адаптация* : учеб.-метод. комплекс / М.Ю. Бобрик [и др.]. Витебск, 2015.
2. *Морозова С.В.* Исследование циркуляции атмосферы в атлантико-евразийском секторе полушария на фоне настоящих климатических изменений летом (на примере июля) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Науки о земле. 2015. Т. 15, вып. 1. С. 21–24.
3. *Дмитриева В.А.* Термический режим г. Воронежа на фоне глобального потепления климата // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География и геоэкология. 2001. №1. С. 129–135.
4. *Гидротермические тенденции и ответные реакции геосистем на региональные климатические изменения в Воронежской области* / под общ. ред. В.И. Федотова. Воронеж, 2013.
5. *Жара в Центральном Черноземье: последствия, причины, прогнозы* / под ред. В.И. Федотова. Воронеж, 2012.



6. Сазонов Э. В., Попова И. В. Архитектурно-климатический анализ городской среды (на примере г. Воронежа) // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. №4 (3). С. 61 – 69.

7. Попова И. В., Куролан С. А., Виноградов П. М. Моделирование «городского острова тепла» средствами геоинформационного анализа // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. №2 (5). С. 87 – 95.

8. Bründl W., Mayer H., Baumgartner A. Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten // Abschlußbericht zum Teilprogramm «Klimamessungen München». München, 1986.

9. Куролан С. А., Попова И. В., Сарычев Д. В. и др. Оценка техногенного загрязнения воздушного бассейна и микроклиматической комфортности городской среды // Экологическая ситуация и риски для здоровья населения города Воронежа : сб. науч. ст. Воронеж, 2018. С. 34 – 56.

10. Katzschner L. Urban bioclimate and open space planning // Fifth International Conference on Urban Climate. Lodz, 2003. Vol. 2. P. 55 – 61.

11. Ланпони М. Возвращение в природу // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития : матер. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2018. URL: www.greenconf.ru (дата обращения: 12.03.2019).

12. Исаньюлова Р. Р. Характеристика и экологическое значение городских насаждений (на примере г. Уфы) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2011.

13. Косицына Э. С., Рубанова Е. Ю. К вопросу о роли и влиянии озеленения на формирования микроклимата городов степной и полупустынной зон // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2012. Вып. 27 (46). С. 170 – 173.

14. Liang Ch., Yu B., Yang F., Mayer H. Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heatwaves: A GIS-based approach // Energie and Buildings. 2016. №130. P. 829 – 842.

15. Березин Д. В. Снижение перегрева на придомовой территории путем рационального размещения зеленых насаждений // Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. Т. 13, №2. С. 16 – 21.

16. Bongardt B. Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks : Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Dr. rer. nat. des Fachbereichs Biologie und Geografie an der Universität Duisburg Essen. Düsseldorf, 2005.

17. Бурак Е. Э., Гриева Е. Ю., Фернюк В. Д. Эволюция системы озеленения в г. Воронеж // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. №2 (7). С. 9 – 14.

18. Бурак Е. Э., Воробьева Ю. А., Егорова С. П. Анализ соответствия проектов планировки застроенных территорий градостроительным регламентам // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. №1 (4). С. 72 – 78.

19. Куролан С. А., Катцинер Л., Катцинер А. и др. Экологическая оценка микроклимата и загрязнения воздушного бассейна индустриально-развитых городов Германии и России // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2011. №2. С. 7 – 16.

20. Попова И. В., Бурак Е. Э., Воробьева Ю. А. Применение геоинформационных систем для мониторинга и развития системы зеленых насаждений города // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. №4 (7). С. 67 – 75.

21. Смольянинов В. В., Сазонов Э. В. Зонирование территорий при градостроительном проектировании с позиции обеспечения экологической безопасности // Научный журнал строительства и архитектуры. 2010. №3. С. 120 – 130.



22. *Bruse M.* Die vorliegende Dokumentation beschreibt die aktuelle Version von ENVI-met inklusive der vorgenommenen Änderungen. (Einzelne Abschnitte können hierbei noch von der aktuellen Version abweichen). URL: <http://www.envi-met.com/documents/Envimet30.PDF> (дата обращения: 05.03.2019).

23. *Мягков М. С.* Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда // Вестник ВолГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2013. Вып. 32 (51). С. 220 – 228.

Об авторах

Ирина Владимировна Попова – ст. преп., Воронежский государственный технический университет, Россия.

E-mail: iradobr@yandex.ru

Екатерина Эдуардовна Бурак – канд. техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет, Россия.

E-mail: burak.e@mail.ru

Юлия Александровна Воробьева – канд. техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет, Россия.

E-mail: cccp38@yandex.ru

The authors

Irina V. Popova, Senior Lecturer, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Russia.

E-mail: iradobr@yandex.ru

Dr Ekaterina E. Burak, Associate Professor, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Russia.

E-mail: burak.e@mail.ru

Dr Yulia A. Vorob'eva, Associate Professor, Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Russia.

E-mail: cccp38@yandex.ru