

УДК 711.2

DOI 10.25628/UNIIP.2025.65.2.005

ЛИТОВСКИЙ В. В.

Пространственное развитие Екатеринбурга: использование в градопланировке потенциала городского острова тепла¹

В русле идеологии развития Екатеринбурга как «умного» города в статье рассмотрены проблемы его пространственного расширения и высотной застройки с учетом потенциала городского острова тепла. Для этого на основе урбанизационной метрической системы (Urban Metric System — UMS) и двухфакторной модели тяготения населения к местам работы исследован статус современного Екатеринбурга в иерархии поселений UMS. Оценены масштабы его увеличения с ростом численности населения для градопланировки с учетом эффекта городского острова тепла. Показано, что таким условиям отвечает модель компактного города с высотной застройкой, подчиняющейся распределению Гаусса.

Ключевые слова: Екатеринбург, пространственное и высотное развитие, модельное градопланирование, эффект городского острова тепла.

Litovskiy V. V.
Spatial development of Yekaterinburg: use of the urban heat island potential in urban planning

The article discusses the problems of spatial and high-altitude development of Yekaterinburg as a «smart city» using the potential of the urban heat island. For this purpose, on the basis of the Urban Metric System (UMS) and a two-factor model of the selective attraction of the population to places of work, the status of modern Yekaterinburg in the UMS hierarchy of world cities and the prospects for increasing its size and population for urban planning, taking into account the effect of the «urban heat island», were investigated. It is shown that the most adequate is a compact model of a city with high-rise buildings that obey the Gaussian distribution.

Keywords: Yekaterinburg city, spatial and high-altitude development, Model urban planning, urban heat island effect.



Литовский
Владимир
Васильевич

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник сектора размещения производительных сил и территориального планирования, Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru

Впервые феномен городского острова тепла обнаружен в начале XIX в. английским метеорологом-любителем Люком Говардом (Luke Howard) [13] при изучении синхронных температурных измерений в разных местах Лондона и сравнении их с температурой воздуха в окрестностях. Оказалось, что в любое время года температура воздуха в городе была несколько выше, чем в его окрестностях. С тех пор аналогичные результаты получены и для ряда крупных городов мира, что подтвердило неслучайность явления, его более заметное проявление с ростом численности населения в городе. В XX в. в книге «Климат Лондона» (1965 г.) [11] английский климатолог Тони Чендлер (T. Chandler) ввел специальный термин «городской остров тепла», который закрепился в научных исследованиях.

В прикладном аспекте проблема использования так называемого городского острова тепла или зоны в городе, где температура выше загородной из-за городской инфраструктуры, обогналась с развитием мегаполисов в 1960-е гг. Американский специалист по проблемам окружающей среды Леонард О. Майруп (L. О. Мутур)

в 1969 г. разработал приемлемую модель для количественных оценок явления [14]. К 2020-м гг. модели оценки «городских островов тепла» стали более комплексными и совершенными. В них учтено влияние нагрева зданий и асфальта, воздуха из-за его застоя в высотной застройке, тепло от промышленных и автомобильных выбросов и тепловых эффектов кондиционеров, создающих локальный парниковый эффект, что в итоге создало основу для пространственно-временного описания городского острова тепла с учетом локальных деталей и сезонных особенностей [15]. Благодаря этому возникли предпосылки для их учета в градопланировочной и градостроительной практике, в частности, перспектива проектирования «умных» городов [5].

Это повлекло интерес к проблеме и в России, в частности, в Екатеринбурге [2–4], который в XX в. претендовал на статус регионального центра Большой Свердловск [1], а ныне на статус мегаполиса Большой Екатеринбург² [10]. Должного внимания к выгодам использования городского острова тепла при градопланировке и градостроении пока не проявлено.

1 Статья подготовлена в соответствии с планом НИР Института экономики УрО РАН на 2025 г.: тема № 0327-2024-0004.

2 Проект организационно-правовой схемы создания Большого Екатеринбурга: [сайт] — URL: https://zemlya96.ru/stati/bolshoi_ekaterinburg/ (дата обращения: 12.04.2025).

Для использования в градостроительных целях потенциала городского острова тепла и преобразования города в «умный» мегаполис нужно обратить внимание на оптимизацию размерного городского фактора и унифицированную типологию городов, которая в градостроительных документах не всегда используется корректно, что приводит к серьезным разночтениям и неверным масштабам планировки. Так, проникшие даже в научные публикации представления о Екатеринбурге как о мегаполисе в реальности не соответствуют этому, если пользоваться качественными критериями мегаполиса, под которым понимается не неопределенно огромный город, на территории которого сливаются несколько городов³, а две или более смыкающиеся городские агломерации, т. е. объединение как минимум двух крупных городов, вместе включающих от 10 и более миллионов человек [12]. По количественным размерным критериям урбанизационной метрической системы (Urban Metric System) — UMS Екатеринбург не является мегаполисом (Таблица 1) [16]. Это в лучшем случае — развивающийся агломерационный центр, т. е. центральное поселение с совокупностью более мелкоранговых окрестных поселений.

Иерархия урбосистем в UMS строится, исходя из модельных представлений, в которых для каждого уровня задаются условно приемлемые и неприемлемые для работы населения расстояния, как в «своем» районе города, так и в соседних, а также некие условные границы городских районов, их центры и доминантные «ядра». В последующем, по мере застройки города жилыми и производственными зданиями, расстояния до мест работы жителей меняются, а с ними — и зоны тяготения, деформирующие исходные контуры и размеры районов в соответствии с приемлемыми и неприемлемыми местами работы. В итоге это может вести к переподчинению той или иной локации района к соседнему или новому городскому районам. Если при планировке на будущее следовать ранжированию городов UMS, это необходимо учитывать исходно.

Как видно из Таблицы 1, в модели UMS исходное идеальное расстояние до работы в поселении ранга микрорайона-квартала или четверти района закладывается в 1,25 км, что с учетом средней скорости ходьбы человека 5 км/ч предполагает временные затраты в 15 минут. В последующем с каж-

Таблица 1. Классификация городских территорий в городской метрической системе (UMS) [16]

Уровень №	Городской район	Расстояние, на котором сила притяжения = силе отталкивания, км	Значение β , км
-2	Микрорайон 1 (квартал)	$10 \times 2^{-3} = 1,25$	1,625
-1	Микрорайон 2 (микрорайон)	$10 \times 2^{-2} = 2,5$	2,25
0	Район	$10 \times 2^{-1} = 5$	3,5
1	Центральный город	$10 \times 2^0 = 10$	6
2	Агломерация	$10 \times 2^1 = 20$	11
3	Метрополис	$10 \times 2^2 = 40$	21
4	Патрополис	$10 \times 2^3 = 80$	41
5	Мегаполис	$10 \times 2^4 = 160$	81
6	Городская система	$10 \times 2^5 = 320$	161
7	Городская макросистема	$10 \times 2^6 = 640$	321

Примечание. В первой колонке в соответствии с [16] приведены уровни городской метрической системы, состоящей из трех нижних уровней и десяти верхних уровней, начиная от центрального города (уровень 1) и заканчивая мировыми системами (уровень 10). К нижним (с отрицательной и нулевой нумерацией) в оригинале отнесены сектор, район и округ, соотносимые с подсистемами наших внутригородских районов — кварталом, микрорайоном и районом (частью города — городским округом).

дым следующим этапом роста городской системы в UMS закладывается кратное удвоение расстояния в сравнении с предыдущим, что обеспечивает достижение рабочей локации при движении пешком за полчаса, час, 2 часа и т. д. Скрытым эволюционным фактором увеличения расстояния до работы для следующей городской генерации жителей является удвоение численности населения города в сравнении с предшествующей генерацией. При таком условии прирост числа рабочих $N(t)$ за время t к их исходному числу $N(0)$ описывается формулой: $N(t) = N(0) \times 2^{t/T}$, где T — время удвоения численности населения или возраст поколения удвоения, что в принципе позволяет увязывать рост поселения с числом его жителей.

При выявлении наиболее притягательных для работы и проживания мест считается, что в каждой точке пространства урбанизированной среды на жителя городского района действуют силы притяжения, которые побуждают его перебираться как можно ближе к привлекательным для него местам-аттракторам, например, при прочих равных условиях, — к месту работы, минимизирующему транспортные издержки. С другой стороны, от избранного места на жителя города могут действовать и силы отталкивания, которые заставляют его удаляться от него, например, из центра города, вследствие меньшей стоимости жилья на окраине города или из-за меньшей плотности населения там и отсутствия пробок. В итоге допустимая приемлемость мест работы в каждой точке города

определяется совокупностью притягивающих и отталкивающих сил. Их оптимизации соответствуют точки баланса спроса и предложения, а сами зоны притяжения в модели UMS определяются полями векторов, соответствующих разностям сил по всему урбанизированному пространству с преобладанием в них по величине сил притяжения. В идеале, если все рабочие места сосредоточены в центре города, а места проживания равномерно распределены на одинаковом удалении от них, то векторное поле будет представлять собой круг с векторами, направленными к его центру, т. е. по кратчайшим расстояниям вдоль радиусов, проложенных от мест проживания.

При появлении рабочих мест в новых локациях или вблизи границ своего и соседнего района их притягательность также определяется векторными полями разностей сил притяжения и отталкивания, которые задаются выражениями $A = 1/(1 + d)$ и $R = 1/(\beta + d/2)$, соответственно, а их новая точка равновесия, определяющая приоритет выбора, находится из их баланса: $(A - R) = 0$ [16]. В этих выражениях d — расстояние от места проживания жителя до рабочего места в пределах своего микрорайона, β — расстояние от центра района с допущением захода в соседний на 1 км. На деле этот параметр означает, что притяжение к чужому микрорайону тем больше, а заход глубже, чем ближе к нему житель находится в соседнем районе с учетом появления там дополнительных рабочих мест. Для городской территории

3 Мегаполис: [сайт] — URL: <https://ecolog.academic.ru/639/МЕГАПОЛИС> (дата обращения: 12.04.2025).

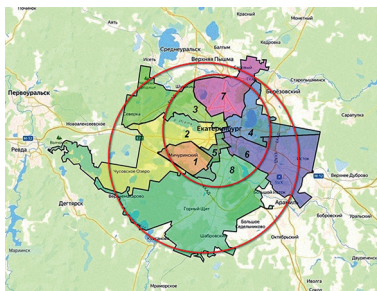


Иллюстрация 1. Внутригородские районы (нумерация в Таблице 2) Екатеринбурга с подчиненными населенными пунктами, входящие в круг с осредненным диаметром 25 км, и районы муниципального образования Екатеринбурга с подчиненными ему населенными пунктами (круг с осредненным диаметром 40 км). Источник: <https://ekb.ginfo.ru/rayoni/> с окружностями, построенными автором

того или иного ранга β легко находится из условия $A = R$. Откуда для микрорайона с приемлемым расстоянием в 2,5 км до работы $\beta = 1 + d/2 = 2,25$ км. Для района размером 5 км $\beta = 3,5$ км, а для центрального города в форме круга с радиусом 5 км $\beta = 6$ км. Для агломерации диаметром 20 км $\beta = 11$ км. Из этих примеров видно, что чем выше иерархия городской районной структуры, тем уже становится ее буферная зона. При развитии городских систем с учетом конкретного распределения рабочих мест и мест проживания работающих жителей векторные поля приобретают сложный вид и с течением времени могут заметно меняться, характеризую городские «поветрия» в распределении рабочих мест. За достаточно длительный период это позволяет выявлять и создавать наиболее комфортные для проживания и работы зоны и ядра районов в городе. В частности, внутри правильно сформированных районов результирующие векторы будут ориентированы к центру, а за пределами границы — от центра. В первом случае в городской среде это будет указывать на преобладание стабилизирующих «центростремительных сил» (район притягателен), во втором — «центробежных» или дестабилизирующих его (городской район становится неприглядным). Соответственно, во избежание негативных процессов в городских районах для своевременного принятия адекватных градостроительных решений анализ таких карт должен быть в фокусе муниципальных властей.

Для центрального города, к категории которого как областной центр относится и Екатеринбург, подбор параметров UMS обусловлен доступ-

ностью рабочего места, исходя из допустимых временных затрат до места работы в 2 часа, что при движении пешком (5 км/ч $\times$ 2 ч) предопределяет предельно приемлемый размер города в 10 км. Особенно это очевидно, если учесть 8-часовой рабочий день и дополнительные два часа на возвращение. При необходимости работать на максимальном удалении от дома это доводит временные затраты до 12 ч. Для минимизации таких издержек в урбанизированной среде необходимо заблаговременное планирование транспорта и транспортной инфраструктуры, обеспечивающих «сжатие» центрального города, агломерации или мегаполиса до «шаговой доступности» района или микрорайона (Таблица 1). Иначе говоря, внутригородские перемещения за час для центрального города с использованием транспорта должны осуществляться со скоростью не менее 10 км/ч, для агломерации — 20 км/ч, а для мегаполиса — 160 км/ч. Для Екатеринбурга, где на перспективу до 2030 г. ныне заложено увеличение средней скорости движения общественного транспорта с 13 до 19 км/ч⁴, это означает, что при последней планировке город рассматривался в лучшем случае как агломерация, но не мегаполис.

Действительно, как следует из планов городского районирования и развития с городскими районами и подчиненными им населенными пунктами⁵, осредненный диаметр внутригородских районов Екатеринбурга закладывался примерно в 25 км, а для муниципального образования с учетом подчиненных ему населенных пунктов — в 40 км (Иллюстрация 1). Формально по размерам с подчиненными населенными пунктами в иерархии UMS заявку города можно рассматривать как претензию на статус метрополиса, т. е. на главный региональный центр (от греч. *metrópolis* — главный город), а идею формирования Большого Екатеринбурга и вовсе — как заявку на столицу или патрополис, т. е. ключевой город Отечества (от греч. *Pátra* и *polis* — отеческий город или петрополис — имперский город). Такие города предполагают численность населения от 2,5 и 5 млн жителей до 10 млн человек, что для Екатеринбурга вместе с областью в 4,2 млн человек, как са-

моразвивающейся системы, пока мало реалистично (Таблица 2).

В адаптированной к закономерностям Екатеринбурга авторской модели пульсирующего развития города [7] рост численности населения увязывается с расширением городской территории самосогласованным образом, а именно, на основе сохранения неизменной плотности населения. Моделирование пространственного развития города в ней исходило из трансформации квадрата, по площади совпадавшего с исходной крепостью-законом, в окружность, описываемую вокруг него. Далее вокруг окружности описывался новый квадрат, и процедура повторялась. При известной площади исходного города и численности его жителей это позволяло рассчитывать плотность населения и, по мере увеличения модельной площади города, рассчитывать прирост населения, сопоставляя на очередной итерации с реальными показателями [8]. В итоге в 16-й генерации жителей города расчетное число трудоспособного населения достигло 800 тыс. человек. В реальности из-за миграционных потоков на 2016 г. оно составило около 900 тыс. человек. Для следующей генерации численность работающего населения оценивалась уже в 1,025 млн чел., а для 21-й — в 4,1 млн чел. Отсюда следует, что при численности населения в Екатеринбурге на 2024 г. в 1,536 млн человек и в Свердловской области в 4,220 млн человек на ближайшую перспективу такой прирост можно обеспечить лишь за счет экстраординарной внешней миграции.

Теоретическое достижение численности населения Екатеринбурга свыше 10 млн возможно лишь на 24-й генерации его жителей, что при самом благополучном сценарии и среднем времени удвоения генерации в 25 лет возможно лишь через 200 лет. По размерам город в форме квадрата для 8,2 млн взрослых жителей достигнет 32 км, а для следующей за ним в модели окружности, вмещающей 12,9 млн жителей, — 64 км в диаметре. Таким образом, закладывать в градостроительные планы на перспективу до 2045 г. проекты мегаполиса пока преждевременно. Более продуктивно, исходя из принципов экологической комфортности населения, учета рельефа и микроклимата города [9], сосредоточиться на формировании энергоэффективного компактного города с наиболее рациональными подходами к высотному проектированию городской застройки. Одним из таких факторов энергосбережения

4 Стратегия пространственного развития Екатеринбурга на период до 2030 г. 2017 г. 36 с.: [сайт] — URL: <https://ekaterinburg.rf/file/05cb08432aba985ef0f3331bf8f94f6d> (дата обращения: 12.04.2025).

5 Районы Екатеринбурга на карте: [сайт] — URL: <https://ekb.ginfo.ru/rayoni/> (дата обращения: 12.04.2025).

Таблица 2. Площади и численность населения внутригородских районов и подчиненных населенных пунктов муниципального образования Екатеринбург

Наименование внутригородского района (микрорайоны)	Площадь, км²/ Население, тыс. чел. (плотность)	Подчиненные населенные пункты	Площадь, км²/ Население, тыс. чел.
1 — Академический район 6 мкр: Европейский, УНЦ, Широкая Речка, Лиственный	45,4/125 (2751)	Мичуринский Московский	0,985/8,4 0,426/0,7
2 — Верх-Исетский район (мкр: Визовский, Заречный, Волгоградский)	219,79/241 (1098)	Карасьеозерский Медный Палкинский Торфяник Чусовское озеро	— 1,593/0,35 0,624/0,10 1,481/0,68
3 — Железнодорожный район (6 городских микрорайонов): Вокзальный, Завокзальный, Звездочка, Новая Сортировка, Старая Сортировка, Семь Ключей	125,4/159 (1265)	Палкино Северка Шувакиш	1,1/0,65 2,817/3,50 0,971/1,06
4 — Кировский район (6 мкр): Пионерский, Втузгородок, Комсомольский, Изоплит, Калиновский, Шарташский	86,25/221 (2567)	Калиновский Шарташский Изоплит	0,54/ — 17,05/ — 5,99/ —
5 — Ленинский район (3 мкр): Центральный, Юго-Западный	22,19/222 (9919)	Совхозный	2,833/7,1
6 — Октябрьский район 12 мкр: Сибирский, Парковый, Восточный, Синие Камни, Восточный Берег, Кольцово, Новокольцовский, Птицефабрика, Малый Исток, Семь Ключей	158,2/152 (959)	Исток	6,775/6,4
7 — Орджоникидзевский район (2 городских мкр): Уралмаш, Эльмаш	98,9/264 (2667)	Ягодный Березит Садовый	0,2/0,09 0,73/0,10 1,961/3,4
8 — Чкаловский район (15 мкр): Вторчермет, Ботанический, Уктусский, Елизавет, Нижнеисетский, Химмаш, Приисковый, Рудный, Южный	388,7/286 (736)	Верхнемакарово Горный Шит Зеленый Бор Полеводство Сысерть Шабровский Широкая Речка	0,736/0,14 7,323/5,7 0,260/0,16 0,986/0,92 0,620/0,74 3,927/4,25 0,770/0,32

Источник: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Административно-территориальное_деление_Екатеринбурга

для создания по-настоящему «умного», компактного города и следовало бы рассматривать «городской остров тепла».

Для количественных оценок его потенциала в самом простом варианте можно использовать модельный город на идеальной плоской дневной поверхности в форме круга с концентрически симметрично расположенной вокруг его центра застройкой, снижающейся по высотности к периферии. Пространственное распределение температуры в нем достаточно корректно может быть описано трехмерной колоколообразной функцией распределения Гаусса (Иллюстрация 2). Для упрощенных оценок $T(x)$ вдоль одной из пространственных осей, например, x , по мере удаления от центра, принятого за начало координат ($x = 0; y = 0$) с температурой $T(0)$, из-за симметрии достаточно пользоваться одномерным распределением Гаусса:

$$T(x) = \frac{T(0)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}.$$

В этой формуле μ — среднее значение удаления от центра города пика кривой (при совпадении $\mu = 0$), $\pi \approx 3,14$, $e \approx 2,72$ — основание натурального логарифма, а σ — так на-

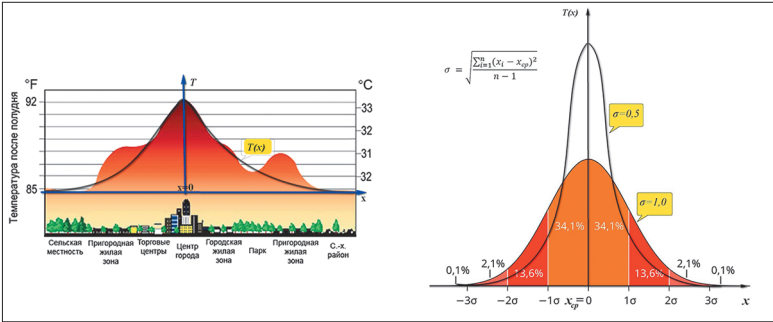


Иллюстрация 2. Реальный городской остров тепла (слева)⁶. Источник: <http://www.livestreets.ru/2020/07/yekaterinburg-gorod-ischezayushih-ulichnyh-derevyev/> с авторским наложением функции распределения Гаусса и описывающая его распределение температуры «колоколообразная» функция распределения Гаусса (справа). Источник: авторская иллюстрация функции распределения Гаусса с различными стандартными отклонениями σ температуры $T(x)$ от центра города вдоль оси x

зываемое стандартное отклонение по всему набору расстояний до центра, которое характеризует степень значимых случайных изменений температуры по мере удаления от центра (Иллюстрация 2). Важность σ состоит в том, что оно определяет расстояние от центра, на котором изменения температуры, обусловленные «островом тепла», играют роль. Практически все значения городского острова тепла (99,7%) лежат в интервале 3σ , 95% — в интервале 2σ и 68% — 1σ .

Температурные отклонения в профиле городского острова тепла чаще всего обусловлены его высотной периферийной застройкой.

Соответственно, чем больше зданий попадут в зону городского острова тепла, тем меньше требуется в «умном» городе энергозатрат на их теплообеспечение. Это важно

6 Злоказов В. Екатеринбург — город исчезающих уличных деревьев: [сайт] — URL: <http://www.livestreets.ru/2020/07/yekaterinburg-gorod-ischezayushih-ulichnyh-derevyev/> (дата обращения: 12.04.2025)

при наличии должных перепадов температур в городском центре и на его периферии, а также для адекватной политики городской высотной застройки.

Прежде чем показать это на примере Екатеринбурга, отметим важность для оценки эффектов городского острова тепла географического местонахождения городов, их климатических характеристик, размеров, внутригородской планировки, наконец, преобладающих в них строительных материалов. Это связано с тем, что темные поверхности асфальта или бетона поглощают заметно больше солнечного тепла, чем пригородные и сельские дороги без покрытий. Особенно, если к этому прибавляется и «эффект городского каньона», обусловленный поглощением солнечного света в высотной застройке при многократных его отражениях от стен с блокированием ветра. Тепловой нагрев городской среды дополнительно усиливает тепло от автомобилей и кондиционеров, промышленных предприятий, котелен и т. п. Это приводит к заметной разнице температуры городской и сельской местности, особенно в ночное время. В итоге среднегодовая температура воздуха в городах с населением в 1 млн человек на 1–3 °C выше, чем в его пригородах, а в южных городах вечером такая разница может достигать до 12 °C. Дополнительное влияние на «городской остров тепла» оказывает рельеф городской поверхности, специфика землепользования, распределение населения, дорожная инфраструктура, транспорт. Так, на открытой поверхности при подъеме на 100 м температура воздуха падает примерно на 0,6 °C, но с «эффектом городского каньона» падение температуры существенно снижается, и влияние острова тепла распространяется и на многоэтажную застройку.

В планировочных решениях с учетом такого фактора следует принимать во внимание и пространственную структуру городской среды с высокой плотностью застройки, и среднюю высоту зданий, и коэффициент застройки (отношение площади застройки к общей площади района), и объемную плотность застройки (отношение объема застройки в районе к ее объему в районе с самой высокой застройкой).

Исследования по многолетним измерениям характеристик городского острова тепла [2; 4] в Екатеринбурге выявили следующее. Долговременные температурные изменения ΔT среднегодовых значений городского острова тепла с 1950-х по 2020 гг. коррелированы с ростом численности населения ΔN . При возрастании численности населения с 650 тыс. до 1,35 млн человек ΔT увеличилось с 0,3 до 0,8 °C. В последующем это значение почти не менялось, в среднем составляя 0,8 °C. С одной стороны, такое явление было связано с приостановкой на некоторое время роста населения города, а с другой стороны, с его преимущественным размещением в 2010-х гг. в новых окраинных районах города. При более равномерном и центрированном размещении жилой застройки и населения эффект прироста температуры можно ожидать в 0,07 °C на каждые 100 тыс. человек, что следует из данных, приведенных выше: $\Delta T / \Delta N = (0,8 - 0,3) / (1,35 - 0,65) = 0,07 \text{ °C} / 100 \text{ тыс. чел.}$ Выявлено также, что среднемесячные значения превышения температуры в годовом цикле, вызванные «городским островом тепла», в Екатеринбурге варьируются от 0,6 до 1,1 °C, а их максимумы наблюдаются в феврале — марте и июне — августе. Таким образом, в среднемесячной статистике максимумы до 1 °C температуры городского острова тепла в годовом цикле приходится на отопительный период февраля — марта, а в летний период — на неотапливаемый период.

В суточном цикле во все сезоны «городской остров тепла» характеризуется U-образной кривой ΔT с послепо-

луденным максимумом до 0,8 °C и максимальным проявлением эффекта после захода солнца, достигающим 2,4 °C в мае — июле. В осенне-зимний период и в начале весны суточная амплитуда его проявления несколько спадает из-за общего сглаживания суточных температурных колебаний. Сходные закономерности в проявлениях суточного эффекта городского острова тепла наблюдаются и в других крупных городах мира. Особенно отчетлив ночью максимум летом в ясную погоду.

Наряду с температурными эффектами надземного острова тепла Екатеринбурга в работах [4] изучался его потенциал в подземной среде по температурам пород в скважинах на разных глубинах. Установлено, что зоны распространения техногенного воздействия с повышением подземной температуры также находятся в центральной части Екатеринбурга. Территориально зональность подземного острова тепла города в основном оказалась совпадающей с зональностью острова тепла приземного воздуха. Максимальные значения зафиксированы в плотно застроенном историческом центре, а наиболее высокие значения температурного поля — в подземной зоне самих зданий и вблизи них. Под зданиями и рядом с ними на глубине 10 м относительно фоновых значений среднегодовой температуры эффект острова тепла ΔT достигал 7 °C, а на глубине в 50 м — 3,5 °C. На открытых городских территориях вдали от зданий аномалии в скважинах были умеренными, как и фоновые, расположенных на окраинах города и в лесопарковых зонах.

Для использования эффекта тепловой шапки города высотную застройку следовало бы в соответствии с предложенной моделью концентрировать в центральной части города. Причем по высотности было бы целесообразно руководствоваться не только экологическими предписаниями по сглаживанию воздействия перепадов давления на население в городе, обусловленного его рельефом [9], но и соображениями оптимального использования эффекта «тепловой шапки города», пользуясь предписаниями распределения Гаусса.

Чтобы воспользоваться этим для Екатеринбурга, используем статистические данные сервиса «Дом. МинЖКХ»⁷ о жилом фонде Екатеринбурга на настоящее время, а также данные о численности населения в 1 536 183 жителя на 2024 г. На 7 808 домов города с 732 026 квартирами приходится общая площадь в 46 130 734 м², что дает среднюю площадь квартиры в 63 м², а в пересчете на одного жителя — 30 м².

Соответственно, если «тепловая шапка» по закону Гаусса будет охватывать 68,2% города с условно равномерным распределением жилой застройки ($\sigma = 1$), то в зону со среднегодовым превышением температуры в 0,8 °C попадет 499 242 квартиры или округленно 500 тыс. квартир со средней площадью 30 м². За 8 месяцев отопительного сезона в городе при месячном тарифе за тепловую энергию в 2 500 руб./Гкал и теплопотреблении в 0,75 Гкал для такой квартиры, затраты составят 15 000 руб. Откуда получаем потенциал экономии годовых затрат на теплообеспечение горожан в 7,5 млрд руб. Укажем, что энергии в 1 Гкал соответствует энергия нагрева на 1 °C 1 000 тонн воды. В свою очередь, использование эффекта острова тепла с $\Delta T = 1 \text{ °C}$ избавляет городские ТЭЦ от потребности дополнительного нагрева на один градус 375 млн м³ воды или квадратного резервуара со стороной в 19,4 км и глубиной в 1 м. При потребности нагрева воды на 100 °C в квадратном

7 Жилой фонд в Екатеринбурге: [сайт] — URL: <https://dom.mingkh.ru/sverdlovskaya-oblast/ekaterinburg/> (дата обращения: 10.04.2025).

резервуаре той же глубины его размер сократится до 1,9 км, но и это огромная площадь, сопоставимая с площадью городских прудов.

В центре города высокая плотность населения характерна лишь для Ленинского района — 9919 чел./км² (Таблица 2). В других районах она заметно отличается и в большей мере обусловлена периферией. Так, следующий по плотности (2751 чел./км²) Академический район не примыкает к центру, а в Орджоникидзевском районе (2667 чел./км²) с Эльмашем и Уралмашем, в Кировском районе (2567 чел./км²) со «спальным» Комсомольским микрорайоном жилой фонд сконцентрирован преимущественно на периферии. Еще большую неоднородность в размещении населения имеют инфраструктурно насыщенный Железнодорожный район (1265 чел./км²) и старопромышленный Верх-Исетский район (1098 чел./км²) с прудом и неудобными для застройки торфянистыми территориями. Наконец, есть еще насыщенный инфраструктурой Октябрьский район (959 чел./км²) и включающий пойму Исети с прудами и Уктусскими горами Чкаловский район (736 чел./км²). Все это с учетом тяготения высотной жилой застройки к периферии позволяет для оценок к центру отнести лишь четверть от общего жилого фонда (183 тыс. квартир). В таком случае эффектом теплового острова окажется не охвачено 316,2 тыс. квартир, на отоплении которых можно было бы ежегодно экономить свыше 4,7 млрд руб. В расчет при этом не приняты офисные и производственные помещения.

Заключение

Для того, чтобы Екатеринбургу ориентироваться не на формальное доведение размеров города до размеров мегаполиса или амбициозные задачи — стать третьей столицей [10], следовало бы в большей мере ориентироваться на умные, экономичные и экологичные пространственно-планировочные решения, сохраняющие его компактность, доступность, уральскую идентичность с сохранением прудов и плотин города-завода, дополнением их функций рекреацией для горожан. Для этого городу вполне достаточно той территории, которую он занимает ныне [9]. Чтобы она использовалась умно, а именно: была максимально доступной, производственно достаточной, функционально рациональной, экономичной и экологичной — в пространственных планах города должна сохраняться идея компактности города, его самосоглазованного роста с ростом населения, высокой степени симметризации городской застройки и дорожной инфраструктуры. Для этого во избежание проблем с рельефом и одноуровневыми перекрестками наиболее естественными и экономичными представляются не подземные, а надземные варианты размещения инфраструктуры. Но не в тяжелом исполнении с мощными бетонными эстакадами, а в изящном и многообещающем варианте размещения струнно-рельсовой инфраструктуры первого, второго, третьего уровня, поднятой над землей, по скоростным характеристикам и комфорту отвечающей приведенным выше критериям пригородного, внутригородского и межрегионального обслуживания.

Для максимального использования эффекта «острова городского тепла» высотная застройка в городе также должна как можно симметричнее распределяться вокруг центра и понижать свою этажность в соответствии с «колоколообразным» распределением Гаусса (Иллюстрация 2). Для сохранения уже существующей инфраструктуры и зданий задачу симметризации городской дорожной сети целесообразнее всего было бы осуществлять дополнением ее инновационной высокосимметричной струнно-рельсовой инфраструктурой, приподнятой над землей на разные

уровни [9]. Наконец, максимальную городскую этажность для наибольшего экологического комфорта жителей следовало бы рассчитывать, исходя из условия непревышения максимального в городе высотного перепада рельефа [9].

С такой идеологией Екатеринбург по-настоящему может стать «умным» и привлекательным городом, сохранить все свои достоинства и высокую моду градостроения. Это поспособствует и его амбициозным устремлениям.

Список использованной литературы

- [1] Букин В. П., Пискунов В. А. Свердловск: перспективы развития до 2000 года. — Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1982. — 255 с.
- [2] Горностаева А. А., Демежко Д. Ю., Хацкевич Б. Д. Временная изменчивость городского острова тепла Екатеринбурга // Изв. Иркут. гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. — 2023. — Т. 43. — С. 3–18. — URL: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.3> (дата обращения: 10.04.2025).
- [3] Горностаева А. А., Факаева Н. Р., Демежко Д. Ю., Хацкевич Б. Д. Основные характеристики и особенности формирования городского острова тепла Екатеринбурга // Материалы I Белорусского географического конгресса, Минск, 8–13 апреля 2024 г. — Минск: БГУ, 2024. — С. 66–70: [сайт] — URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/312699/1/66-70.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
- [4] Демежко Д. Ю., Горностаева А. А., Хацкевич Б. Д. и др. Подземный городской остров тепла Екатеринбурга // Литосфера. — 2024. — Т. 24. — № 3. — С. 566–581. — URL: <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-566-581> (дата обращения: 10.04.2025).
- [5] Кукарских В. В., Дэви Н. М., Бубнов М. О. и др. Городской остров тепла г. Екатеринбурга: есть ли влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной? // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. — 2022. — Т. 15 (2). — С. 264–278: [сайт] — URL: https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/147500/08_Kukarskih.pdf;jsessionid=C4C70625D3C5DC0618C43D5A39022B0B?sequence=1 (дата обращения: 10.04.2025).
- [6] Лаврикова Ю. Г., Акбердина В. В. Технологии проектирования пространственного развития индустриального мегаполиса // J. of New Economy. — 2019. — Т. 20 (2). — С. 85–99. — URL: <https://doi.org/10.29141/2073-1019-2019-20-2-5> (дата обращения: 10.04.2025).
- [7] Литовский В. В. Моделирование численности населения и роста населенных пунктов при освоении территорий // Демографические процессы на постсоветском пространстве: сб. материалов VI Урал. демогр. форума с междунар. участием. — Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2015. — С. 71–79: [сайт] — URL: <https://www.bsu.by/upload/pdf/767813.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
- [8] Литовский В. В. Пространственное развитие Большого Екатеринбурга и его лимитирующие факторы // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2020. — № 1. — С. 16–19. — URL: <https://doi.org/10.25628/UNIP.2020.44.1.003> (дата обращения: 10.04.2025).
- [9] Литовский В. В. Пространственное развитие Большого Екатеринбурга и его лимитирующие факторы по высотности // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2019. — № 3 (46). — С. 17–21. — URL: <https://doi.org/10.25628/UNIP.2020.46.3.003> (дата обращения: 10.04.2025).
- [10] Смирнов А. Большой Екатеринбург. Как стать третьей столицей России? // Аргументы и факты. — 2022. — Октябрь. — 26. — № 43: [сайт] — URL:

- https://ural.aif.ru/society/bolshoy_ekaterinburg_kak_stat_tretye_stolicey_rossii (дата обращения: 10.04.2025).
- [11] Chandler T.J. The Climate of London. — London: Hutchinson, 1965. — 282 p.
- [12] Gottmann J. Megalopolis: The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States. — New York: The Twentieth Century Fund, 1961. — 810 p.
- [13] Howard L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis, T. 1. — London: Published by W. Phillips, George Yard, 1818. — 376 p.
- [14] Myrup L. O. Numeral Model of the Urban Heat Island // J. of Applied Meteorology. — 1969. — Vol. 8. — № 6. — P. 908–918. — URL: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2) (дата обращения: 10.04.2025).
- [15] Shi Y., Katzschnher L., Edward Ng. Modeling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity // Science of the Total Environment. — 2018. — Vol. 618. — № 3. — P. 891–904. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.252> (дата обращения: 10.04.2025).
- [16] Tellier L.-N., Quesnel F., Bur J. Estimating urban sprawl standards by means of the Urban Metric System // Regional Science Policy & Practice. — 2024. — Vol. 16. — Iss. 11. — P. 1–20. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.rsp.2024.100131> (дата обращения: 10.04.2025).
- References**
- [1] Bukin V.P., Piskunov V.A. Sverdlovsk: perspektivy razvitiya do 2000 goda. — Sverdlovsk: Sred.-Ural. kn. izd-vo, 1982. — 255 s.
- [2] Gornostaeva A.A., Demezhko D.Yu., Hackevich B.D. Vremennaya izmenchivost' gorodskogo ostrova tepla Ekaterinburga // Izv. Irkut. gos. un-ta. Seriya: Nauki o Zemle. — 2023. — T. 43. — S. 3–18. — URL: <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.3> (дата обращения: 10.04.2025).
- [3] Gornostaeva A.A., Fakaeva N.R., Demezhko D.Yu., Hackevich B.D. Osnovnye harakteristiki i osobennosti formirovaniya gorodskogo ostrova tepla Ekaterinburga // Materialy I Belorusskogo geograficheskogo kongressa, Minsk, 8–13 aprelya 2024 g. — Minsk: BGU, 2024. — S. 66–70: [sajt] — URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/312699/1/66-70.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
- [4] Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A., Hackevich B.D. i dr. Podzemnyj gorodskoj ostrov tepla Ekaterinburga // Litosfera. — 2024. — T. 24. — № 3. — S. 566–581. — URL: <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-566-581> (дата обращения: 10.04.2025).
- [5] Kukarskih V.V., Devi N.M., Bubnov M.O. i dr. Gorodskoj ostrov tepla g. Ekaterinburga: est' li vliyanie na radial'nyj prirost sosny obyknovnoy? // Zhurn. Sib. feder. un-ta. Biologiya. — 2022. — T. 15 (2). — S. 264–278: [sajt] — URL: https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/147500/08_Kukarskih.pdf;jsessionid=C4C70625D3C5DC0618C43D5A39022B0B?sequence=1 (дата обращения: 10.04.2025).
- [6] Lavrikova Yu.G., Akberdina V.V. Tekhnologii proektirovaniya prostranstvennogo razvitiya industrial'nogo megapolisa // J. of New Economy. — 2019. — T. 20 (2). — S. 85–99. — URL: <https://doi.org/10.29141/2073-1019-2019-20-2-5> (дата обращения: 10.04.2025).
- [7] Litovskij V.V. Modelirovanie chislennosti naseleniya i rosta naselennykh punktov pri osvoenii territorij // Demograficheskie processy na postsovetском prostranstve: sb. materialov VI Ural. demogr. foruma s mezhdunar. uchastiem. — Ekaterinburg: In-t ekonomiki UrO RAN, 2015. — S. 71–79: [sajt] — URL: <https://www.bsu.by/upload/pdf/767813.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
- [8] Litovskij V.V. Prostranstvennoe razvitie Bol'shogo Ekaterinburga i ego limitiruyushchie faktory // Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN. — 2020. — № 1. — S. 16–19. — URL: <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.44.1.003> (дата обращения: 10.04.2025).
- [9] Litovskij V.V. Prostranstvennoe razvitie Bol'shogo Ekaterinburga i ego limitiruyushchie faktory po vysotnosti // Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN. — 2019. — № 3 (46). — S. 17–21. — URL: <https://doi.org/10.25628/UNIIP.2020.46.3.003> (дата обращения: 10.04.2025).
- [10] Smirnov A. Bol'shoj Ekaterinburg. Kak stat' tret'ej stolicej Rossii? // Argumenty i fakty. — 2022. — Oktyabr'. — 26. — № 43: [sajt] — URL: https://ural.aif.ru/society/bolshoy_ekaterinburg_kak_stat_tretye_stolicey_rossii (дата обращения: 10.04.2025).
- [11] Chandler T.J. The Climate of London. — London: Hutchinson, 1965. — 282 p.
- [12] Gottmann J. Megalopolis: The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States. — New York: The Twentieth Century Fund, 1961. — 810 p.
- [13] Howard L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis, T. 1. — London: Published by W. Phillips, George Yard, 1818. — 376 p.
- [14] Myrup L. O. Numeral Model of the Urban Heat Island // J. of Applied Meteorology. — 1969. — Vol. 8. — № 6. — P. 908–918. — URL: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0908:ANMOTU>2.0.CO;2) (дата обращения: 10.04.2025).
- [15] Shi Y., Katzschnher L., Edward Ng. Modeling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity // Science of the Total Environment. — 2018. — Vol. 618. — № 3. — P. 891–904. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.252> (дата обращения: 10.04.2025).
- [16] Tellier L.-N., Quesnel F., Bur J. Estimating urban sprawl standards by means of the Urban Metric System // Regional Science Policy & Practice. — 2024. — Vol. 16. — Iss. 11. — P. 1–20. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.rsp.2024.100131> (дата обращения: 10.04.2025).

Статья поступила в редакцию 11.04.2025.

Опубликована 30.06.2025.

Литовский Владимир Васильевич

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник сектора размещения производительных сил и территориального планирования, Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4241-7846

Litovskiy Vladimir V.

Dr. Sci. (Geograph.), Leading Researcher of sector of productive forces and spatial planning, Institute of Economics UB RAS, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: vlitovskiy1@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4241-7846