



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы (МКОА)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **«Исследование особенностей острова мегаполиса Минск»**

Исполнитель **Кишкурно Анна Анатольевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Кашлева Лариса Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о.заведующего кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Кашлева Лариса Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

« » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

		стр.
	Введение	3
1	Теоретические положения об острове тепла	5
1.1	История исследований острова тепла	5
1.2	Понятие острова тепла	7
1.3	Причины образования острова тепла	12
1.4	Современные исследования острова тепла	17
2	Климатическое описание Минска	22
2.1	Климат Минска	22
2.2	Микроклимат отдельных районов города	26
2.3	Анализ температурного режима и влажности на территории Минска и Минской области 2021-2022 гг.	29
3	Урбанистические рекомендации для снижения городского острова тепла	34
	Заключение	47
	Список использованных источников	49

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время городские острова тепла являются значимой проблемой в городах всего мира, включая Минск. Острова тепла могут приводить к существенному изменению микроклимата города, что в свою очередь может оказывать негативное воздействие на здоровье населения и экологическую обстановку в городе. Однако, несмотря на серьезность этой проблемы, существует ограниченное количество исследований, посвященных оценке влияния островов тепла на городскую среду и здоровье населения в Минске.

Цель данного исследования заключается в проведении выборочного анализа острова тепла в Минске, выявлении основных факторов, влияющих на его формирование, а также определении влияния острова тепла на окружающую среду и здоровье населения. В рамках исследования также планируется разработка рекомендаций и стратегий для уменьшения влияния острова тепла в Минске.

Для достижения поставленной цели будут осуществлены:

1. изучение научной литературы и экспертные оценки,
2. использованы различные методы исследования, включая анализ климатических данных,
3. изучение архива данных,
4. проведены аналитические исследования и даны оценки для снижения острова тепла в мегаполисе.

Результаты данного исследования будут полезны для городской администрации, экологических и климатических организаций, а также для населения Минска, которые заинтересованы в поддержании здоровой и безопасной городской среды.

Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Во введении сформулированы актуальность исследования, цель и задачи выполненной работы. В первой главе рассмотрены теоретические положения об острове тепла. Во второй главе мы рассмотрели климат города Минск и его микроклимат, проанализировали данные за 2021-2022 года. В третьей главе даны рекомендации и методики для улучшения климата Минска и снижения городского острова тепла. В заключении сформулированы выводы их проделанной работы.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ОСТРОВЕ ТЕПЛА

1.1. История исследований острова тепла

Уже издревле при возникновении первых городов в древнем мире люди заметили, что городской воздух отличается от сельского. Сжигание угля, выбросы отходов, масштабное развитие антропогенной деятельности человека и усиленная урбанизация — все это постепенно оказало значительное влияние на городской климат.

Впервые о разнице температур воздуха города и сельской местности заговорил Люк Ховард в 1820 году. Ховард выделил наиболее важные изменения метеорологического режима в городе, а именно сообщил о измерениях температуры воздуха в центре Лондона и в районе Тоттенхэм Грин, являющимся в 1820-е годы сельской местностью на севере от Лондона. Его измерения, которые были проведены в течение нескольких месяцев показали, что температура в Лондоне был заметно выше, чем температура в Тоттенхэм Грин, особенно в ночное время. Он очень просто отметил разницу между температурами воздуха по уравнению:

$$\Delta T(\text{город-село}) = T_{\text{город}} - T_{\text{село}}$$

Ховард считал, что остров тепла возникает из-за большого количества топлива в городе.

В дальнейшем и другие исследователи занимались этим вопросом, например, Эмильен Рено также заметил, что наиболее сильное вечернее различие температуры между городом и сельской местностью наблюдается, когда погода способствует интенсивному

радиационному выхолаживанию. Также он заметил, что скорость ветра в городе меньше, чем в сельской местности.

Также нужно упомянуть об Августе Шмауссе, который изучал влияние Мюнхена на локальный климат, и выявил результат этого влияния - увеличение осадков на подветренной стороне города.

В период до 1960-х проводились аналогичные измерения в других городах, и так называемый эффект городского острова тепла был зафиксирован в различных городских районах. Этот период исследований, основанный на измерении разницы температур между городской и окружающей её сельской местностью, называют «наблюдательной эпохой» городской климатологии.

После 1960-х годов, ученые пытались описать и оценить разницу температур, используя метод “описательной климатологии”. Например, Оке, пытался связать разницу температур между городской и сельской местностью лишь на основе численности населения города (P):

$\Delta T(\text{город-село}) = 2,96 \log P - 6,41$ - для населённого пункта в Северной Америке.

$\Delta T(\text{город-село}) = 2,01 \log P - 4,06$ - для населённого пункта в Европе.

Но все-таки данных для эмпирических уравнений было недостаточно для того, чтобы описать всю сложность зависимости температур между городской и сельской местностью.

В. Р. Лоури был первым ученым, который инициировал “физическую климатологию”, призывая к изучениям и описаниям физических процессов в городской климатологии. Также он предложил такую схему, когда берутся два ряда данных, где в одном- климатические данные города, в другом - характеристики той же местности, но до ее урбанизации. Как видно, что такая модель идеализирована и достаточно сложна в практике.

Также были предложены более объективные эксперименты на моделях в аэродинамических трубах и измерения, проводимые до начала, в течение и после застройки моделируемого города. Конечно, этот подход также более применим для новых городов и достаточно трудно добиться динамически подобных модельных и реальных процессов.

Поэтому возможность проведения таких наблюдений на практике мала, хотя и эта процедура позволяет оценить антропогенные изменения климата.

1.2 Понятие острова тепла

Городской остров тепла (ГОТ) – площадь во внутренней части большого города, характеризующаяся повышенными, по сравнению с периферией, температурами воздуха. На детальном картах синоптического распределения температуры обрисовывается замкнутыми изотермами. Центр городского острова тепла обычно сдвинут от центра города в ту сторону, куда направлены преобладающие ветры.

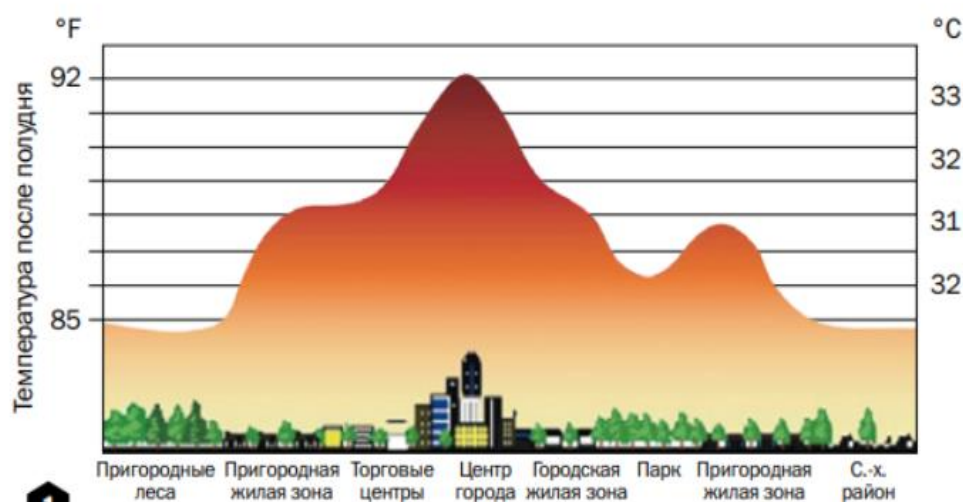


Рисунок 1.1 - Иллюстрация городского острова тепла.

Эффект теплового острова понимается следующим образом: Большая часть города представляет “плато” теплого воздуха с повышением температуры по направлению к центру города. Термическая однородность “плато” нарушается “разрывами” поверхности островками холода (парки, водоемы) и областей генерации тепла (транспорт, промышленные предприятия, плотные застройки зданий). На границе город - сельская местность, или промышленная зона-жилая зона может возникнуть значительный вертикальный перепад температуры, иногда несколько градусов, так называемый “ утес острова тепла”. В центральной части больших городов располагается „пик" острова тепла, где температура воздуха максимальна. Разность между этой температурой и фоновой температурой окружающей сельской местности называется интенсивностью городского острова тепла. В крупных городах может наблюдаться несколько пиков острова тепла, обусловленных плотной застройкой. „Рельеф" острова тепла определяется специфической структурой каждого большого города. При достаточно устойчивых погодных условиях интенсивность острова тепла имеет четко выраженный суточный ход с максимумом через несколько часов после захода солнца и минимумом в середине дня.

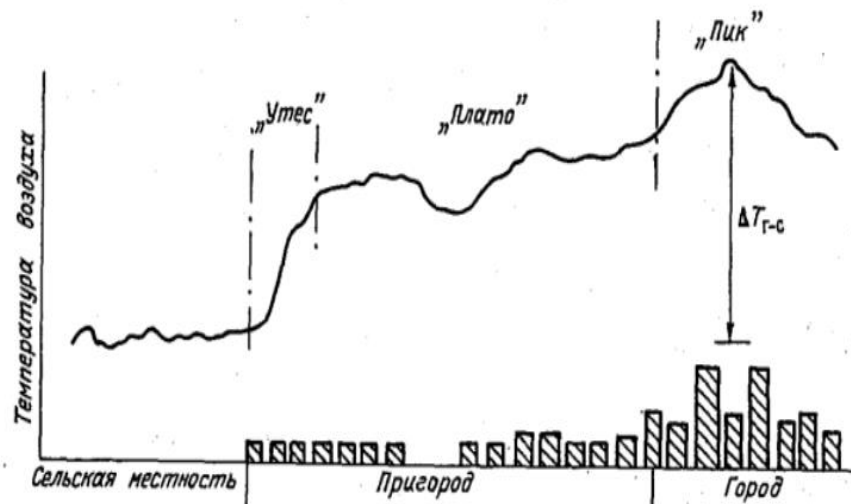


Рисунок 1.2 - Вертикальный разрез острова тепла над городом.

Большая разница температур на поверхности земли чаще всего возникает в дневное время при солнечном свете. Разница температур воздуха между городом и окрестностями формируется вечером, после захода солнца. Остров тепла в дневное время (температура поверхности почвы) является причиной ночного острова тепла (температура воздуха). В дневное время почва, поверхностные воды и застроенная территория нагреваются. Затем тепло выделяется ночью. В результате тепло в городе задерживается на длительное время вечером и ночью.

Как следствие перепада температур, в городской застройке формируются “городские бризы” - относительно постоянные конвекционные потоки воздуха, которые явно проявляются при безветрии. При наличии таких “бризов” загрязненный воздух может переноситься из промышленных районов в центр и создавать так называемый “тепловой купол”. Этот эффект наблюдается на высотах до нескольких сотен метров. Из-за инверсии над островом тепла граница облаков ниже, чем в его окрестностях.

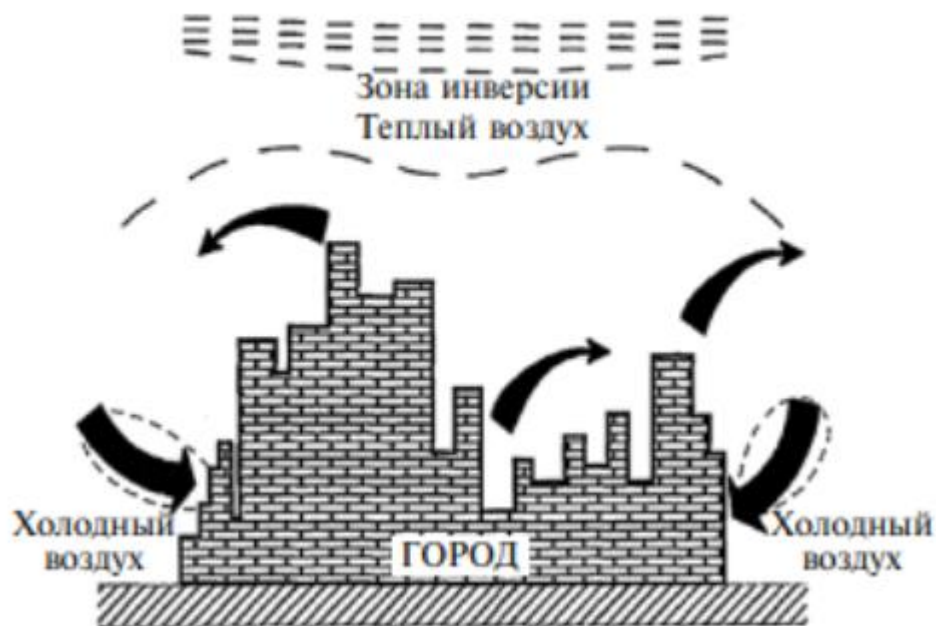


Рисунок 1.3 Иллюстрация понижения высоты нижней границы облаков над городским островом тепла.

Т. Р. Оке в своем исследовании выделил несколько слоев в масштабах города. Слой, располагающийся ниже уровня крыш зданий (так называемый пологий городской слой, urban canopy layer, UCL) и между особо стоящих зданий, относится к микромасштабу. Здесь важную роль в этом городском микроклимате играют характеристики радиационного обмена, между стенами зданий, растениями и геометрией улиц. Слой, до 100-150 м высотой и в пределах нескольких кварталов, улиц, так называемый городской пограничный слой (urban boundary layer, UBL) относится к локальному масштабу климата города. И последний слой в рамках 1 км высотой над городом относится к планетарному пограничному слою (planetary boundary layer, PBL), где воздух свободный и мало подвержен влиянию города.

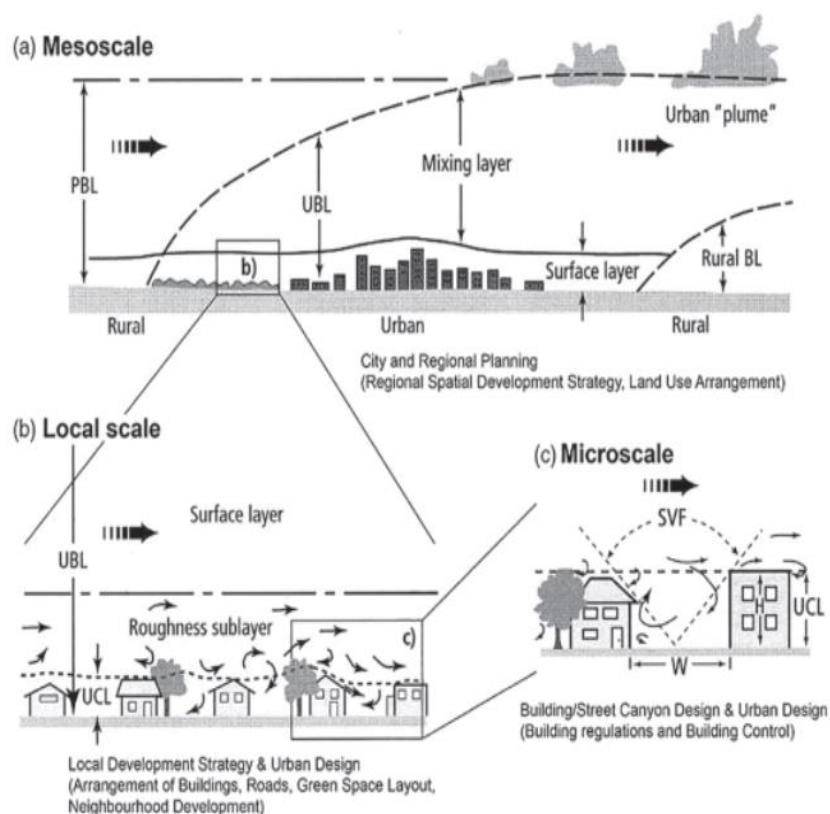


Рисунок 1.4 - Схема острова тепла в «планетарном» масштабе и в «локальном» масштабе (изменено, Т. Р. Оке, 1997)

Тепло, которое мы ощущаем в городе, является продуктом того, что мы называем балансом поверхностной энергии. Он основывается на принципе сохранения энергии. Это означает, что чистая энергия, которую получает от солнца поверхность земли в городе (чистое солнечное излучение) равна количеству энергии в тепловых процессах, протекающих в городе, таких как нагревание воздуха путем конвекции (явная теплота), испарение воды и транспирация деревьев и растений (скрытая теплота), а также поглощение тепла землей, зданиями и поверхностной водой (приземной тепловой поток). Баланс поверхностной энергии можно выразить через формулу:

$$Q^* = QE + QH + QS \quad (1.1)$$

где Q^* = чистое солнечное излучение, полученное поверхностью земли, Q_E = энергия, потребляемая при испарении (воды и растений), Q_H = явная теплота (переход тепла от поверхности земли в воздух), Q_S = энергия, поглощенная водой, зданиями и поверхностной водой.

1.3 Причины образования острова тепла

Остров тепла часто напрямую связан с загрязнением воздуха, объясним почему. Обычно температура воздуха падает с высотой. Но в городе крыши в течение дня находятся на солнце и нагреваются сильнее, чем поверхности улиц, которые значительную часть времени затенены. В результате формируется температурная инверсия. Из-за инверсии температуры конвекции воздуха не происходит, и загрязнение оказывается «запертым» у поверхности. Явление запирающего слоя крыш стало известно около 50 лет назад с появлением качественных тепловых карт, построенных по данным спутниковых наблюдений. В городе много источников загрязнения воздуха, а кроме того, скорости протекания химических реакций в высоких температурах часто тоже повышаются.

Твёрдые жидкие и газообразные аэрозоли выбрасываются предприятиями, образуются от сжигания топлива в стационарных установках и в двигателях транспорта и, кроме того, механически «вырабатываются» при его движении. К этим источникам добавляются мусоросжигательные установки и станции. Большую роль в ухудшении качества воздуха играют мощные тепловые электростанции, работающие на пылевидном низкосортном топливе. Также в составе воздуха города присутствует огромное количество пыли, угарный газ, сернистый ангидрид, оксид азота, двуокись азота,

тяжёлые металлы. Большой вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит автотранспорт, на его долю приходится примерно 65% от общих выбросов загрязняющих веществ по городу (72,5 тыс. т).(minpriroda.gov.by)

С каждым годом доля автотранспорта в загрязнении воздушного бассейна города увеличивается, что связано с интенсивным ростом количества автотранспортных средств. Следует сказать, что городской остров тепла (ГОТ) концентрируют в себе вредные для человека и окружающей среды газообразные и пылевые выбросы от промышленности, энергетики и транспорта, которые выпадают на территории города, но, как правильно, на некотором расстоянии от ГОТ (в сторону преобладающего ветра).

Кроме того, остров ветра играет не последнюю роль в формировании острова тепла. Большинство исследователей отмечает, что скорость ветра в городе снижается по сравнению с открытой территорией. Но в некоторых случаях в городе возможно усиление скорости ветра. Например, в городах, расположенных на всхолмленной территории, при направлениях ветра, совпадающих с направлением улицы, ограниченной многоэтажными зданиями. Различия в распределении ветра с высотой в городе и пригороде бывают обусловлены не только влиянием шероховатости, но и характером стратификации.

Исследователи определили, что городские острова тепла также вызваны эффектом городского каньона. Это происходит из-за высоких зданий в непосредственной близости, которые обеспечивают множество поверхностей для отражения и поглощения солнечного света. Кроме того, эти здания препятствуют прохождению ветра через город. Там, где ветер не может течь свободно, конвекционное охлаждение не происходит, а загрязнение

воздуха может застаиваться и увеличиваться. Увеличение поглощения и отражения солнечного света, накопление загрязнений и отсутствие конвекционного охлаждения - все вместе работают над повышением температуры окружающей среды. Поскольку городская температура повышается из-за этой комбинации событий, уровни озона в городе также уменьшаются.

Кроме того, в городе специфически перераспределяется поле осадков. Высокие здания работают как непроницаемые горные хребты, осадки выпадают на их наветренной стороне, а уже через улицу может быть совсем сухо. В городе один и тот же холодный фронт в одних районах иногда выливает в 5-6 раз больше дождя, чем в других. Картина осложняется большим количеством мелких турбулентных циркуляций воздуха между постройками. Все это очень трудно прогнозировать.

Во многих городских районах также отсутствует зеленое покрытие, например, растительность. Растения помогают создавать эвапотранспирацию, важный этап круговорота воды. Во время эвапотранспирации происходят два обмена: испарение и транспирация. При испарении вода испаряется из почвы, верхушек деревьев и водоемов в окружающий воздух. При транспирации растительное содержание воды теряется в виде пара через устьица листьев растений. Процесс суммарного испарения помогает охладить окружающий воздух. Мало того, что города испытывают более низкие уровни суммарного испарения, чем сельские районы, но они также имеют меньшую площадь охлаждающей тени и пониженное выделение углекислого газа (парниковый газ, который способствует повышению температуры).

Солнечная радиация оказывается пониженной в городе вследствие уменьшения прозрачности из-за дыма и пыли. Из-за мутности атмосферы может теряться в среднем до 20% солнечной

радиации, особенно сильно снижается поступление ультрафиолетовой радиации. Это снижение усиливается высокой узкой застройкой. Также выделяется радиация, отраженная от стен и крыш зданий, что и обуславливает чувство зноя и духоты. Таким образом, эффективное излучение снижается, отсюда и ночное выхолаживание также исчезает. Изменение радиационного баланса, дополнительное поступление тепла в атмосферу за счет сжигания топлива и малый расход тепла на испарение приводят к более высоким температурам внутри города по сравнению с окрестностями.

Влажность воздуха в крупных городах ниже, чем в окрестностях, что связано с повышением температуры и общим понижением влаги в атмосфере над городом вследствие уменьшения испарения. Экспериментальные исследования в различных городах показали, что в отдельных случаях различия в парциальном давлении могут достигать 2,0-2,5 гПа и относительной влажности 11-20 %.

Существует мнение, согласно которому туманов в городе в связи с повышением температуры и понижением относительной влажности может быть меньше, чем за городом. С другой стороны, в ряде климатических зон, таких, например, как Сибирь или Северный Казахстан, в городах число дней с туманом может быть и больше, чем в пригороде. Одной из возможных причин такого распределения является ослабление скорости ветра в городе или значительное загрязнение воздуха, усиливающееся при устойчивой стратификации.

Возникновение островов тепла является примером непреднамеренных изменений климата. Интенсивность и размеры острова тепла изменяются во времени и в пространстве под влиянием фоновых метеорологических условий, местных особенностей и характеристик города. Таким образом, остров тепла

является отражением суммы микроклиматических изменений, связанных с антропогенным преобразованием горизонтальной поверхности. Даже изолированный комплекс зданий создает микроклимат, отличный от того, который был бы на этой местности в естественном состоянии.

По всем этим факторам можно сделать вывод, что в городе присутствует свой микроклимат. Городской микроклимат включает в себя все климатические факторы (температуру воздуха, относительную влажность, солнечную радиацию), которые влияют на некоторое число зданий в определённой окрестности. В городской среде микроклимат может быть различным для каждой окрестности. К примеру, после того как городской микроклимат изменяется, например, с благоустройством территории – возведением городского парка, то энергопотребление зданий в районе парка будет отличаться от среднего энергопотребления зданий целого города.

Основываясь на исследовании Оке, мы можем определить семь причин, которые имеют наибольшее влияние на городской микроклимат:

- Усиленное коротковолновое излучение (многократные отражения от фасадов зданий или от поверхности земли).
- Усиленное длинноволновое излучение (в основном вызвано загрязнением воздуха).
- Снижение потерь тепла длинноволнового излучения (геометрия «городского каньона» или аналогичных городских элементов, препятствующих высвобождению длинноволнового излучения).
- Антропогенные источники тепла (например, тепла, выделяемого автомобилями, промышленностью и т. д.).
- Увеличение запаса тепла (использование строительных материалов, тротуарных материалов и т. д.)

- Снижение испарения (уменьшение числа водных объектов, растительности)
- Снижение турбулентного переноса тепла (низкая скорость ветра в городских районах, низкий уровень городской вентиляции).

1.4 Современные исследования острова тепла

Так как сам по себе ГОТ может находиться на разных участках города, в разных масштабах и в разных слоях, то возникает вопрос о комплексном и точном исследовании острова тепла.

На сегодняшний день специалисты выделяют три 3 типа городских островов тепла по методу наблюдения или определение поверхности:

- Пограничные острова тепла (BLUHI) полностью подчиняются погодным условиям. Они представляют собой видимый «шлейф», который нависает над городом и зависит от характера ветра, находясь под его влиянием. В этот «шлейф» также включается тепло, исходящее с крыш зданий, вентиляционных отверстий и дымоходов. Существует лишь несколько обычных способов измерения этого типа городского острова тепла. Самый распространенный метод — это использование датчиков температуры, установленных на самых высоких зданиях в городе и его окрестностях. Второй метод - использование привязных шаров и профилей температуры, но их функциональность ограничена из-за

авиации, штормов и ветров.

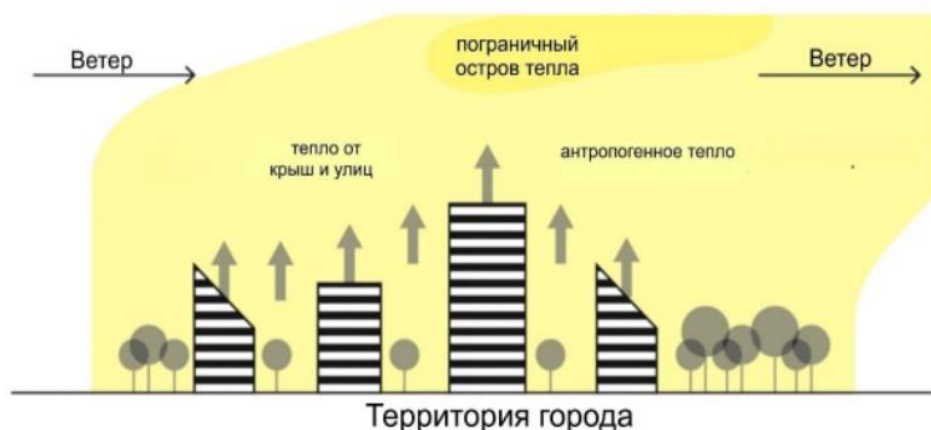


Рисунок 1.5 - Размещение пограничного острова тепла над городом.

- Навесной слой тепла, известный как CLUNI, формируется вдоль верхней части каждого здания в городе, особенно в многоэтажных зданиях. Он возникает из-за поглощения солнечного излучения поверхностями с низкой отражательной способностью и изолированными поверхностями, что приводит к высокой дневной температуре. В этом слое также присутствуют антропогенное тепло, влажность и загрязняющие вещества, но влияние местных ветров и турбулентности практически отсутствует. Измерение CLUNI осуществляется с помощью сети датчиков на стандартном или экранном уровне (примерно 1-1,5 метра). В общем, остров тепла в навесном слое достигает своего максимума ночью и может быть незначительным или даже ниже нуля в течение дня.

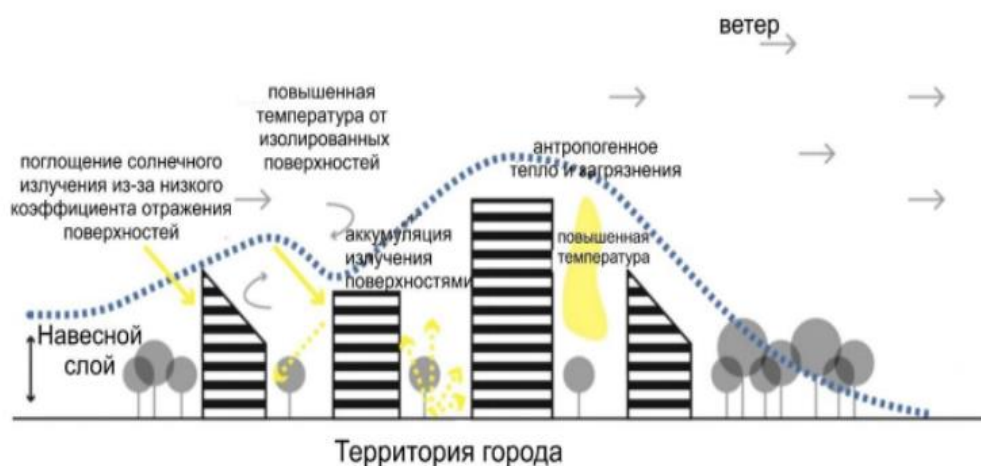


Рисунок 1.6 - Размещение навесного слоя над городом (CLUH)

- Измерение городских островов тепла на земле, известных как SUHI, может осуществляться с использованием космических снимков или аэрофотосъемки. Однако этот метод имеет явные ограничения, связанные с погодными условиями, а также с атмосферными и поверхностными эффектами, требующими коррекции. Наиболее распространенным способом оценки городских островов тепла является использование данных инфракрасных тепловых спутников, однако они не всегда предоставляют точную информацию, так как сбор данных осуществляется в основном в дневное время. Кроме того, спутник измеряет температуру яркости поверхностей, в основном крыш зданий, не учитывая температуру воздуха.

Детальность изображения зависит от пространственного разрешения снимков. На тепловых снимках высокого пространственного разрешения, таких, как ASTER/Terra, TM/Landsat-5 и ETM+/Landsat-7 (90, 120 и 60 м соответственно) можно проследить внутреннюю структуру тепловых островов городов, четко выявляются объекты, формирующие остров тепла; на разносезонных снимках отчетливо прослеживаются различия в

относительной интенсивности теплового излучения разных объектов в пределах города. На основе многовременных разносезонных тепловых снимков, фиксирующих тепловые контрасты города в разные сезоны года, проводится районирование (классификация) городской территории по степени выраженности и устойчивости тепловых аномалий.

Температура поверхности строго связана с энергетическим балансом, который определяется ее свойствами:

- Влияние и ориентация солнца, ветра и неба;
- Способность излучать и отражать солнечные и инфракрасные волны;
- Влажность поверхности и ее способность испаряться;
- Относительная шероховатость поверхности;
- Проводимость и распространение тепла.

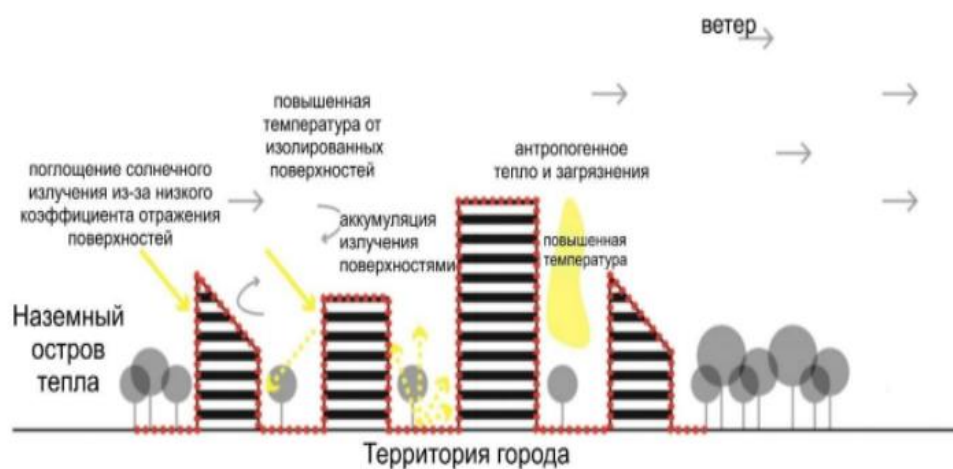


Рисунок 1.7 - Размещение наземного острова тепла над городом (SUHI)

Соответственно, все ГОТ можно исследовать несколькими методами:

- наземные — когда используются данные, в пределах города, наземных метеостанций, автоматических метеостанций

(АМС), ручных измерений, автомобильных или других транспортных средств перемещения метеоаппаратуры;

- дистанционные – использование спутниковых снимков для определения поверхностной температуры (land surface temperature, LST) и расчета на основе этих данных ГОТ;
- численные – применение математических моделей для описания метеопараметров в рамках городской застройки с учетом радиационных и теплофизических свойств подстилающей поверхности.

В каждом из методов есть свои преимущества и недостатки.

Например, численные модели позволяют полностью отразить все критерии ГОТ, но могут иметь погрешности в степени параметризации и интерполяции ГОТ.

Спутниковые методы позволяют оценить LST с учетом реальной городской застройки в широком пространственном охвате в один момент времени, но имеют малый временной интервал (раз в две недели получить снимок над конкретным регионом и только в конкретное время суток) или грубую степень съемки (шаг съемки от 30 м до 1 км масштаба).

Наземные методы позволяют определить метеопараметры только в локальной точке местности и степень достоверности будет высока в зависимости от калибровки прибора, но не учитывать состояние климата на соседней улице или внутри квартала. Так или иначе все методы актуальны для исследования ГОТ.

ГЛАВА 2. КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МИНСКА

2.1 Климат Минска

Основные черты климата Минска определяются его географическим положением и формированием во взаимодействии солнечной радиации, циркуляции атмосферы, влагооборота и условий подстилающей поверхности. Минск расположен в северном полушарии в умеренных широтах, поэтому имеет умеренно-континентальный климат по классификации Алисова. Минск находится в переходной зоне между поясами морского и континентального типа климата. Он расположен на холмистой равнине, в центре Европы.

Для морского климата характерны высокая влажность и небольшие изменения температуры, и морские воздушные масса, приносимые к нам циклонами с Атлантического океана или Средиземного моря, в холодный период вызывают оттепели, а иногда даже могут смягчить всю зиму. В теплый период с приходами таких масс погода становится пасмурная и дождливая.

Континентальный же климат характеризуется меньшей влажностью и большими изменениями температуры в течение года, что вызывает в Минске летом жаркую сухую погоду, а зимой- сильные холода.

Для минской погоды не характерны резкие изменения, хотя погода и не отличается большой устойчивостью, что вызвано чередованием разных воздушных масс. Давление изменяется чаще всего на несколько миллибар, а температура на 2-3 градуса.

Для такого климата характерны теплое, но не жаркое лето, с частыми дождями и грозами. Много солнца и света весной. Осенью

часто идут затяжные дожди. Зима в Минске мягкая, с неустойчивой и пасмурной погодой, с частыми оттепелями и не обильными осадками.

На климат влияют западные ветры, которые дуют с Атлантического океана. Зимой они приносят теплый и влажный воздух, а вместе с ними дожди и облака. Ветер умеренный и слабый, иногда может достигать 15-20 м/с. Летом атлантические ветра несут свежесть и дожди.

Ежегодное количество осадков в Минске — около 700 мм, зимой осадки выпадают довольно часто, летом реже, но количество осадков увеличивается более чем в два раза. Пасмурных дней в году почти половина, и только 30 дней в году стоит ясная в течение всего дня погода. Туманных дней — 43, что даже больше, чем в Лондоне.

Зимой сильное влияние на климат Европы оказывает атмосферная циркуляция. Как результат, в январе изотермы идут не в широтном, а в меридиональном направлении. В летние месяцы активность атмосферной циркуляции уменьшается, и большую роль для формирования климата играет солнечная радиация, что приводит к более четкой широтной зональности климата. Поэтому, в Европе при переходе с запада на восток температура зимой быстро понижается, а летом медленно повышается.

По классификации М.И. Будыко, Минск относится к области с влажным, теплым климатом с умеренно мягкой зимой. Влажными считаются районы, где годовой радиационный баланс несколько меньше количества тепла, которое нужно для испарения годового количества осадков. В Минске выпадает осадков больше, чем, например, в Москве, Киеве и Санкт-Петербурге. Вообще по годовому количеству осадков Минск относится к наиболее

увлажненной равнинной части ЕТС. Радиационный баланс Минска также больше, чем в вышеназванных городах.

По классификации Будыко теплый климат означает, что сумма среднесуточных температур подстилающей поверхности за период, когда температура воздуха выше 10°C , составляет $2200-4000^{\circ}\text{C}$, как раз в этой области и находится город Минск.

Умеренная мягкая зима означает, что среднемесячная температура января от 0 до -13°C , как раз в этот диапазон и входит температура Минска (-6.9°C)

По классификации географа Л.С. Берга, основанной на ландшафтно-географических зонах, климат Минска относится к климатам лиственных лесов умеренной зоны, для климата этой зоны характерно преобладание летних осадков (в Минске месячные суммы осадков летом примерно вдвое больше, чем зимой), средняя температура четырех летних месяцев - от 10 до 22°C (в Минске - от 12, 6 до 17, 8°C).

Самым теплым месяцем в Минске считается июль: средняя дневная температура составляет $+23,8^{\circ}\text{C}$, а ночная — около $+14,6^{\circ}\text{C}$. А вот самым солнечным месяцем считается август — больше 15 ясных дней.

Самый холодный месяц — январь: днем около $-4,7^{\circ}\text{C}$, ночью холодает до $-6,8^{\circ}\text{C}$. Февраль считается самым сухим месяцем, осадков в этом месяце меньше всего в году.

Лето. Лето в столице Беларуси умеренно теплое, с частыми дождями. Средняя температура воздуха днем составляет $+21...+23^{\circ}\text{C}$, ночью опускается до $+12...+14^{\circ}\text{C}$. Нередки кратковременные

дожди и грозы. На каждый летний месяц приходится около 10 дождливых дней.

Осень. Осень в Минске яркая и красивая, начинается она с середины сентября. В начале осени средняя дневная температура составляет $+16^{\circ}\text{C}$, а ночная — около $+10^{\circ}\text{C}$. Потом приходят первые холода, а за ними «бабье лето». К концу осени температура постепенно снижается. К ноябрю днем холодает до $+3^{\circ}\text{C}$, ночью — до 0°C . Часто с Атлантики приходят дожди.

Зима. Зимой в столице красиво и относительно тепло. Средняя дневная температура держится около 0°C в декабре, $-4,7^{\circ}\text{C}$ в январе и $-2,7^{\circ}\text{C}$ в феврале. Ночью температура опускается до $-3...-6^{\circ}\text{C}$. Снег выпадает в начале декабря и лежит до начала весны. На протяжении зимы часто случаются оттепели, и снег тает. Потом возвращаются морозы, и дороги покрываются льдом. Не редкость в Беларуси и мокрый снег, который плавно превращается в дождь.

Весна. Весна солнечная, но заморозки могут возвращаться до середины мая. В марте средняя дневная температура $+2,7^{\circ}\text{C}$, ночью холодает до -2°C . К маю днем воздух прогревается до $+18^{\circ}\text{C}$, а ночью — до $+9,4^{\circ}\text{C}$.

По исследованиям Гольберга М. А 1960-64 гг., в Минске среднемесячные температуры были выше, чем в пригороде на $0,2 - 0,6^{\circ}\text{C}$. То есть уже в то время можно было судить об острове тепла, хотя город еще только недавно возродился как крупный промышленный центр. Гольберг выявил, что наибольшие различия температур были в июле, и наиболее четко они прослеживались в тихую и ясную погоду вечером и ночью, так как из-за ослабления ветра уменьшается турбулентное перемешивание в приземном слое

атмосферы и город еще долго сохраняет тепло из-за городской дымки.

Также ученый провел закономерность увеличения температуры воздуха в Минске по мере развития города, когда он сравнил разные периоды времени температуры города и пригорода.

В связи с ростом и расширением города меняется и метеорологические факторы в городе. Например, из-за отсутствия в Минске больших испаряющих поверхностей, небольшая эвапотранспирация, отвод выпавших осадков создают меньшее количество водяных паров в воздухе, что приводит к тому, что меньшая абсолютная влажность в сочетании с более высокой температурой создают меньшую относительную влажность (на 3-6%), чем в пригородах.

Соответственно в Минске и меньше влажных дней, и увеличивается количество сухих дней.

Наличие в городском воздухе большого количества ядер конденсации способствует дополнительному образованию облачности. В Минске на 18-19 пасмурных дней больше, чем в малых городах. Этой же причиной и обусловлено увеличение количества осадков.

Глава 2.2 Микроклимат отдельных районов города

Как мы уже знаем, в разных частях города может быть свой микроклимат. По исследованию Гольберга за 1971-72 гг, который взял информацию с 4 разных метеостанций города с окраин, а также

организовал метеорологические наблюдения в стационарных точках в центре города, были выделены следующие корреляции:

Температура воздуха. Так как она тесно связано с особенностями местоположения пункта, то во многоэтажном внутреннем районе города температура воздуха на $0,2 - 0,3^{\circ}\text{C}$ выше, чем на окраинах. Было заметно, что в ясные дни температурные особенности разных районов города прослеживались наиболее четко. Температурные различия достигали максимальных различий в темное время суток, так как после захода солнца нагретые днем здания и асфальт остывают, излучая тепло. Значительную часть уходящей длинноволновой радиации городская дымка возвращает приземному слою воздуха. Наиболее прогретым был воздух центрального и заводского районов города. Высокая плотность застройки в заводском районе, насыщенность промышленными предприятиями приводит к тому, что температура здесь в темное время суток такая же, как в центре.

В дневные часы, когда город медленнее нагревается и усиливается конвективное и турбулентное перемешивание воздуха, различия в температуре между районами города невелики и не превышают 1°C .

Также можно было проследить температурные различия на разных станциях города из-за направления ветра. Ветры, дующие со стороны города, выносили на одну из станций более теплый и загрязненный воздух, на другую - более прохладный воздух окраин.

Ветер. Как и температура, ветер различен в разных районах города. Сам по себе город как преграда уменьшает скорость ветра и увеличивает его порывистость. Уменьшение больших скоростей ветра происходит достаточно резко.

Городские улицы в зависимости от направления и ширины изменяют ветровой поток, но скорость ветра не только может уменьшиться, но и увеличиваться. Это может происходить на открытых площадках и на улицах, ориентация которых совпадает с направлением ветра.

При проведенным исследовании за февраль 1973 года было выявлено, что на станции на северо-восточной окраине скорость ветра составляла 3 м/с, в то время как в самом центре, но на открытых площадках ветер достигал 4,1-5,6 м/с, но скорость уменьшалась на теневых по отношению к ветру улицах до 2,0-2,8 м/с. Также ветер менял свое направление, перестраиваясь вдоль улиц.

Влажность воздуха. В городе в теплое время года она несколько ниже, чем на окраинах. Это получается из-за того, что выпадающие осадки и вода быстро испаряются нагретым асфальтом улиц, из-за водоотвода и маленькой эвопотранспирации. В среднем за месяц относительная влажность на северо-восточной станции на 3-5% ниже, чем на окраинах. А вот центральные районы в ясную погоду суше на 3-4% северо-восточной станции.

Зимой различия влажности воздуха сглаживаются. Так как снег тает быстрее из-за высокой температуры воздуха, движения транспорта и загрязнения, то содержание влаги в воздухе увеличивается, и в среднемесячных значений влажность оказывается одинаковой во всех районах города.

Глава 3. Анализ температурного режима и влажности на территории Минска и Минской области 2021-2022 гг.

Так как в архиве мы можем найти данные за долгий период времени только на станций Минск - Уручье(5 км от город) и Минск-Аэропорт (24 км) от города, нам показалось не релевантно брать станции, которые не смогут дать достаточно данных для анализа острова тепла.

Было решено взять отдельные дни за года 21-22 в летний период времени и понаблюдать тенденцию развития острова тепла в Минске и проанализировать местные особенности развития острова тепла по городу.

Были выбраны дни ясные и безоблачные, 15 июля 2021(+31°C) и 21 июля 2022(+24). Информация была взята с сайта <https://rp5.ru>.

Таблица 1 – Температура и влажность в городе за дни 15 июля 2021 и 21 июля 2022

15 июля 2021	Город							
	Время	ул. Нестерова	пр. Рокоссовского	ул. Кирова	ул. Тимошенко	ул. Каштановая	Княгининский пер.	ул. Леонида Беды
Температура, °C	12.00	30.0	28.3	25.9	28.1	25.1	25.4	30.9
	23.00	26,4	28.5	27.5	27.5	24.7	24.7	25.2
Влажность, %	12.00	66	69	78	68	94	98	68
	23.00	88	64	76	67	85	89	78
21 июля 2022								
Температура, °C	12.00	23.4	21.9	20.5	22.3	20.7	21.0	21.7
	23.00	20.2	22.5	22.1	21.8	19.6	20.0	19.2
Влажность, %	12.00	75	62	69	58	68	70	63
	23.00	76	64	69	66	76	77	78

Таблица 2 – Температура и влажность в пригороде за дни 15 июля 2021 и 21 июля 2022

15 июля 2021	Пригород					
	Время	Минск/Уручье	Минск/Аэропорт	Раубичи	Семково	ул. К. Острожского
Температура, °С	12.00	26.9	26	24.3	29.5	26.3
	23.00	23.2	23	23.8	26.3	24.5
Влажность, %	12.00	68	74	74	74	78
	23.00	84	89	76	77	78
21 июля 2022						
Температура, °С	12.00	22.7	24	20.7	21,2	21.5
	23.00	18.5	20	19.3	19,5	20.7
Влажность, %	12.00	55	50	61	64	65
	23.00	77	69	68	67	69

По таблице мы видим, что в городе преобладает температура выше, чем в пригороде, однако и в некоторых пригородных зонах температура высока.

Исходя из предоставленных данных за 15 июля 2021, можно проанализировать следующее относительно температуры и влажности:

1. Температура:

- Пр. Рокоссовского (город) имеет самую высокую температуру в городе в 12:00, составляющую 30.0°С.

- Минск/Уручье (пригород) также имеет высокую температуру, достигающую 30.9°С.

2. Влажность:

- Княгининский пер. (город) имеет наивысший уровень влажности в городе в 12:00, составляющий 98%.

- Ул. Каштановой (город) и ул. К. Острожского (пригород) также имеют высокий уровень влажности, составляющий соответственно 94% и 78%.

Это может указывать на то, что пр. Рокоссовского является одним из самых жарких мест в городе в указанное время, а Минск/Уручье имеет схожие высокие температуры в пригородной зоне.

Высокий уровень влажности на Княгининском пер., ул. Каштановой и ул. К. Острожского может свидетельствовать о более влажных условиях в этих местах в сравнении с остальными точками измерения.

Проанализируем данные за 21 июля 2022 г.

1. Анализ температуры, время 12:00:

- Самая высокая температура (24°C) была зарегистрирована в пригороде Минска (ул. К. Острожского).

- Самая низкая температура (20.7°C) была зарегистрирована на улице Каштановая в городе Минске.

- Время 23:00:

- Самая высокая температура (22.5°C) была зарегистрирована на проспекте Рокоссовского в городе Минске.

- Самая низкая температура (18.5°C) была зарегистрирована в пригороде Минска (Семково).

2. Анализ влажности, время 12:00:

- Самый высокий уровень влажности (75%) был зарегистрирован на улице Нестерова в городе Минске.

- Самый низкий уровень влажности (50%) был зарегистрирован в пригороде Минска (ул. К. Острожского).

- Время 23:00:

- Самый высокий уровень влажности (78%) был зарегистрирован на проспекте Рокоссовского в городе Минске.

- Самый низкий уровень влажности (64%) был зарегистрирован в пригороде Минска (Раубичи).

Теперь посмотрим на распределение температур на карте.

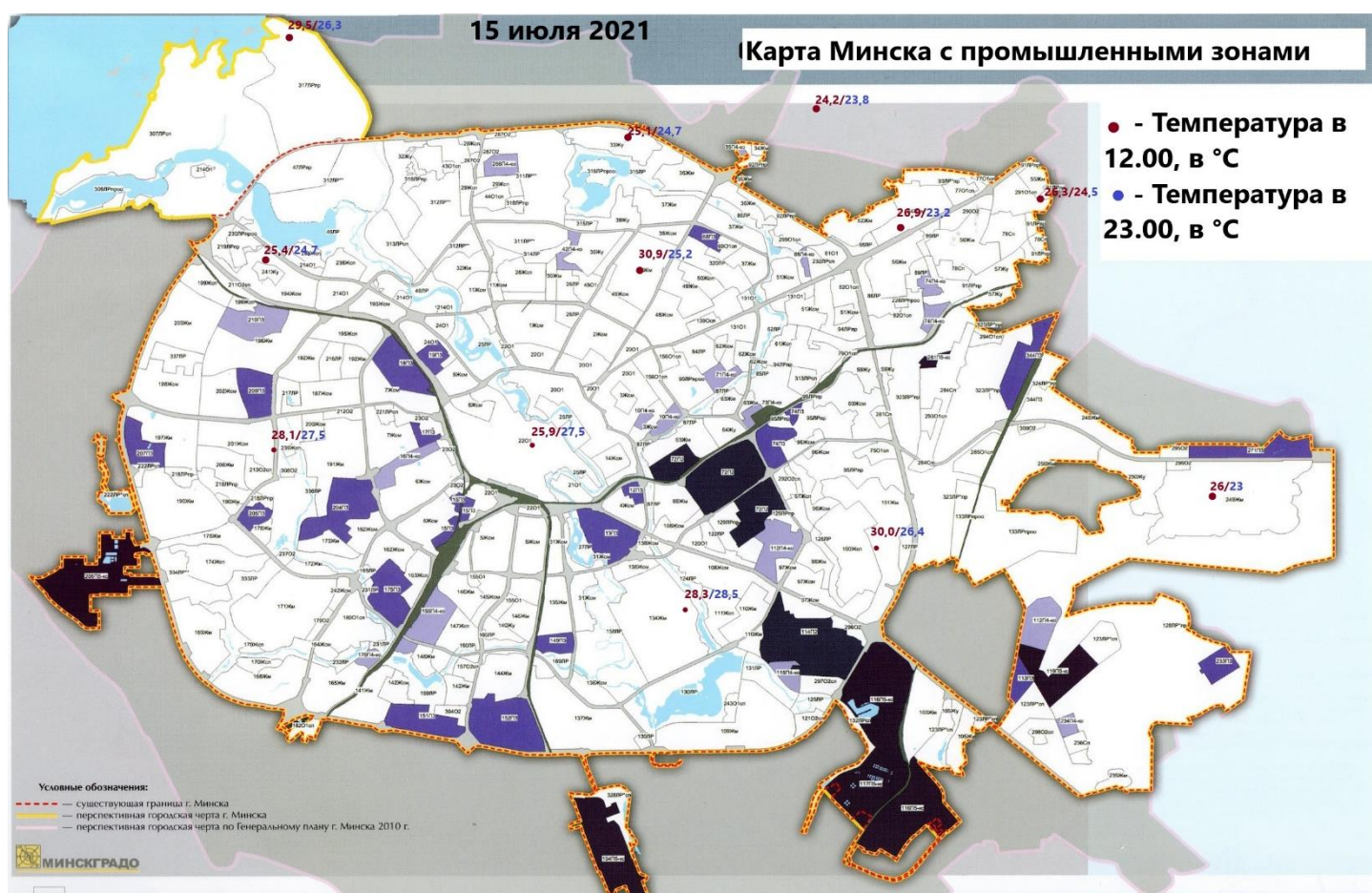


Рисунок 2.1 Карта Минска с температурами за 15 июля 2021

Так как нас интересует больше вечерняя температура, мы видим, что температура в городе в 23.00 превышает температуру в пригороде на 2-5 °С. Больше всего температура сохраняется в плотных застройках и в центре города.

Посмотрим на карту за 2022 год.

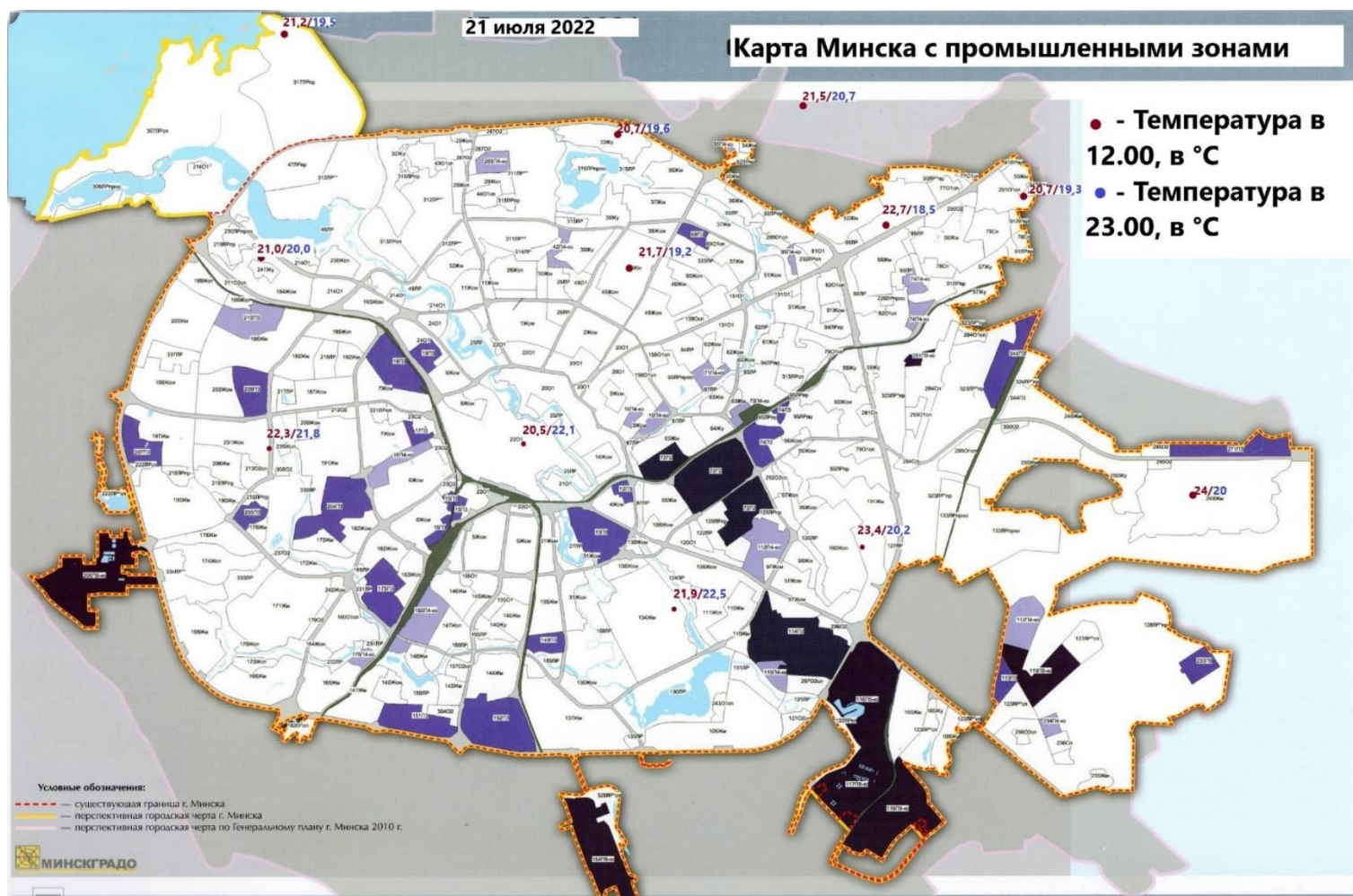


Рисунок 2.2 Карта Минска с температурами за 21 июля 2022

По карте видно, что самое большое тепло приходится также на зоны с плотными постройками и промышленными комплексами.

ГЛАВА 3. УРБАНИСТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА

Микроклимат включает пять основных компонентов, которые влияют на состояние открытых пространств: солнечная радиация, земная радиация, ветер, температура и влажность воздуха. Эти компоненты являются ключевыми элементами для создания комфортной тепловой среды. Физические характеристики микроклимата могут быть изменены с помощью элементов ландшафта. Существуют четыре основных способа изменения микроклимата через ландшафтные элементы, особенно с использованием зеленых насаждений. Эти способы включают модификацию скорости ветра, относительной влажности, поглощения солнечной радиации и земной радиации от поверхностей.

Использование растений в городском ландшафте является важным элементом для достижения желаемой внешней тепловой среды. Однако большинство дизайнеров обращают больше внимания на эстетическую ценность растительности и других элементов ландшафта, игнорируя их технические аспекты. Функции растений должны стать основой для их использования в экологическом дизайне. Основная цель озеленения состоит в использовании растений для решения экологических проблем, таких как городской остров тепла в тропическом и умеренном климатах летом.

Однако, несмотря на наличие знаний о функциональных возможностях растений, их применение в практике все еще ограничено. В связи с потенциалом растений в решении проблем городского острова тепла, необходимо продвигать правильное

понимание теорий и рекомендаций по использованию растений в дизайне общей внешней среды в городских районах.

Согласно исследованию Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, можно выделить несколько урбанистических решений для снижения острова тепла:

- Сокращение использования материалов с высокой теплоемкостью.

Бетон - материал с "высокой тепловой массой" и способностью накапливать тепло, что является основной причиной городского острова тепла. Однако, если мы найдем альтернативу бетону и другим материалам с высокой тепловой емкостью, мы сможем значительно снизить эффект городского острова тепла. Следует ограничить использование материалов с высокой отражающей способностью, таких как стекло или металлы, чтобы помочь уменьшить тепловой эффект и сохранить окружающую среду.

Также имеет эффект использование светоотражающих материалов или специальных покрытий для дорог и тротуаров. Это позволяет уменьшить количество тепла, которое поглощается поверхностью дорог и тротуаров, и уменьшить температуру окружающей среды. Использование специальных покрытий для дорог может снизить температуру на поверхности дороги на 20-30 градусов по Цельсию, в зависимости от типа покрытия и условий эксплуатации. Однако, стоит отметить, что эффективность таких покрытий может снижаться при интенсивном движении автомобилей или в жаркую погоду.

На данный момент "прохладных тротуаров" не имеет официального определения. Ранее этот термин относился к дорожным покрытиям, способным отражать солнечное тепло и снижать поверхностную температуру. С развитием проницаемых

покрытий, которые позволяют воздуху, воде и пару проникать внутрь, сохраняя материал в прохладном состоянии во время увлажнения, определение "прохладных покрытий" расширилось и теперь включает в себя такие проницаемые покрытия. Исследования проницаемых дорожных покрытий имеют важное значение, так как они имеют разные воздействия на окружающую среду по сравнению с обычными дорожными покрытиями. С развитием экологически более дружелюбных технологий и улучшением понимания влияния тротуаров на городской климат, ожидается появление новых технологий, направленных на снижение температуры.

Для понимания работы прохладных тротуаров необходимо знать, как солнечная энергия нагревает тротуары и как они влияют на воздух над ними. Температура дорожного покрытия зависит от таких факторов, как солнечная энергия, коэффициент отражения солнечного света, теплоемкость материала, шероховатость поверхности, скорость теплопередачи, коэффициент теплового излучения и проницаемость. Обычные материалы, такие как бетон или плитка, поглощают от 60% до 95% солнечной энергии из-за их низкого коэффициента отражения. Однако существуют светлые тротуары с высоким коэффициентом отражения, которые могут значительно снизить поверхностную температуру. Увеличение коэффициента отражения тротуаров на 10% может снизить температуру поверхности на 7°F (4°C). Если коэффициент отражения по всему городу увеличится с 10% до 35%, температура воздуха может снизиться на 1 °F (0,6 °C).

Исследования также показывают, что для более эффективного снижения температуры в городских районах необходимо использовать разные подходы, включая увеличение коэффициента отражения тротуаров и крыш, а также большее использование зеленых насаждений. При использовании сочетания этих методов

можно достичь значительного снижения температуры поверхности и окружающей среды.

Таким образом, исследования и разработка новых технологий для прохладных тротуаров имеют важное значение для борьбы с городским островом тепла и создания более комфортной и экологически устойчивой городской среды.

- Улучшение городской геометрии для уменьшения вызываемого ею эффекта городского каньона.

Для борьбы с эффектом городского острова тепла необходимо улучшить геометрию городской застройки, особенно в контексте городского каньона. Один из способов - расширение улиц для обеспечения более свободного движения воздуха. Это позволит улучшить циркуляцию и снизить блокировку воздуха, вызываемую узкими улицами, окруженными домами. Кроме того, важно поддерживать наличие растительности, чтобы создать дополнительные зоны для циркуляции воздуха и снизить тепловой эффект.

Высокие здания в городе также могут влиять на городской остров тепла. Они создают большую поверхность, поглощающую и излучающую тепло, что вносит вклад в повышение температуры окружающей среды. Один из способов снизить этот эффект - использование вертикального ландшафтного дизайна на фасадах высоких зданий. Такой подход позволяет снизить площадь поверхности, которая взаимодействует с солнечной энергией и воздухом, и тем самым уменьшить вклад в тепловой эффект городского острова. Кроме того, это также может способствовать уменьшению эффекта городского каньона, который возникает из-за высоты зданий в городских районах.

Одним из способов измерения воздействия городской геометрии на городской остров тепла является использование коэффициента обзора неба (SVF). Этот коэффициент отражает видимую область неба, видимую из определенной точки на поверхности города. Например, открытая автостоянка или поля с небольшим количеством препятствий имеют высокий коэффициент SVF (близкий к 1), так как видимая область неба значительна. Напротив, городской каньон, окруженный высокими зданиями, имеет низкий коэффициент SVF (близкий к 0), так как видимая область неба ограничена.

- Покрытие крыш зданий зелеными насаждениями, такими как газоны, кустарники или деревья.

Одним из эффективных способов уменьшения поглощения тепла крышами зданий и его передачи в атмосферу является зеленое покрытие крыш. Зеленые крыши состоят из растительного слоя, выращенного на крыше здания, и они могут значительно снизить температуру поверхности крыш. Это влияет на окружающую среду, а именно на улицы и городскую атмосферу.

Зеленые крыши имеют несколько преимуществ. Они способны снизить температуру на крышах зданий на 30-60 градусов по Цельсию. Важно отметить, что точная величина снижения зависит от типа растительности и плотности зеленого покрытия. Кроме того, исследования показывают, что зеленые крыши способны снизить температуру на улицах на 1-2 градуса по Цельсию. Это достигается за счет поглощения и испарения тепла, которое иначе отражалось бы обратно в атмосферу.

Зеленые крыши являются новой технологией, которая помогает смягчить воздействие городских островов тепла. Растительность на зеленой крыше затеняет поверхности и отводит

тепло из воздуха благодаря эвапотранспирации. Это два основных механизма, которые способствуют снижению температуры как на крыше, так и в окружающем воздухе. Кроме того, зеленые крыши могут быть установлены на различных типах зданий, включая промышленные, образовательные и государственные учреждения, а также офисы.

Преимущество зеленых крыш заключается в их способности затенять крышу и снижать попадание солнечного света на ее поверхность. Растительность на крыше блокирует солнечный свет и, таким образом, предотвращает его прямое воздействие на крышу. При этом эвапотранспирация усиливает охлаждающий эффект, так как растения испаряют воду, что способствует дополнительному охлаждению поверхности крыши и окружающего воздуха.

Температура зеленой крыши зависит от различных факторов, таких как состав кровли, влажность растительной среды, географическое положение и солнечное воздействие. Однако, благодаря затенению и эвапотранспирации, поверхности зеленых крыш остаются прохладнее по сравнению с обычными крышами. Исследования проведены в различных сообществах и исследовательских центрах показали снижение температуры поверхности зеленых крыш. Например, в Чикаго в августовский день при температуре 90°F (32°C), поверхность зеленой крыши колебалась от 91°F до 119°F (33°C до 48°C), в то время как обычная крыша была 169°F (76°C). Температура воздуха над зеленой крышей была примерно на 7°F (4°C) ниже, чем над обычной крышей. Аналогичные исследования во Флориде показали, что средняя максимальная температура поверхности зеленой крыши составляла 86°F (30°C), в то время как у светлой крыши она достигала 134°F (57°C).

Пониженная температура поверхности зеленых крыш способствует сохранению прохлады внутри зданий, так как меньше тепла проникает через крышу. Кроме того, это также помогает снизить температуру городского воздуха, поскольку меньше тепла передается в атмосферу. Некоторые исследования предлагают количественную оценку потенциального снижения температуры в результате широкого использования зеленых крыш. Например, моделирование для Торонто показало, что добавление зеленых крыш на 50 процентов доступных поверхностей в центре города может охладить весь город на 0,2-1,4°F (0,1-0,8°C). Орошение зеленых крыш может дополнительно снизить температуру примерно на 3,5°F (2°C) и расширить зону охлаждения на 1-2°F (0,5-1°C) в большей географической области. Таким образом, зеленые крыши могут сыграть важную роль в сокращении атмосферных городских островов тепла.

Кроме зеленых крыш, владельцы зданий могут устанавливать зеленые стены, которые также известны как живые стены или вертикальные сады. Эти стены могут состоять из шпалер или кабелей, размещенных перед внешними стенами, позволяющих растениям расти на них. Они также могут быть более сложными, с растениями, фактически встроенными в стену. Зеленые стены помогают снизить температуру воздуха, так как предотвращают прямое попадание солнечного света на стены и замедляют образование приземного озона путем снижения температуры.

Таким образом, зеленые крыши и зеленые стены представляют собой новые технологии, которые помогают смягчить воздействие городских островов тепла и способствуют сохранению прохлады в зданиях, а также снижению температуры городского воздуха.

- Установка водных объектов, таких как фонтаны, озера или водопады, имеет ряд преимуществ для снижения жары в городе. Вот некоторые из них:

Охлаждение воздуха: Водные объекты создают охлаждающий эффект, поскольку вода испаряется и отводит тепло из окружающей среды. Процесс испарения поглощает тепло, что приводит к снижению температуры воздуха вокруг водных объектов. Это может помочь создать более комфортные условия для жителей города во время жаркой погоды.

Увлажнение воздуха: Водные объекты также увлажняют окружающий воздух. В сухих климатических условиях, характерных для многих городов, влажный воздух может создать ощущение прохлады и снизить дискомфорт, связанный с жарой.

Фильтрация воздуха: Водные объекты, особенно фонтаны и водопады, могут помочь фильтровать загрязненный воздух. Падающая вода улавливает пыль, грязь и другие загрязнители из воздуха, улучшая его качество и делая его более здоровым для дыхания.

Создание микроклимата: Водные объекты могут создать микроклиматическую зону вокруг себя. Вода охлаждает близлежащую территорию и создает прохладный микроклимат, который может быть особенно полезен в городских районах, где температура может быть выше из-за урбанизации и отражения тепла от зданий и дорог.

- Создание зеленых насаждений и затенения.

Увеличение зеленых насаждений в городских районах, путем посадки большего количества деревьев и растительности, имеет ряд преимуществ для снижения жары и создания более комфортной окружающей среды. Эти меры способствуют снижению поглощения

тепла поверхностью города. Исследования показывают, что зеленые зоны в городах могут снижать окружающую температуру на 1-2 градуса по Цельсию, что значительно уменьшает острова тепла.

Затенение является еще одним эффективным способом борьбы с жарой. Листья и ветки деревьев уменьшают количество солнечного излучения, достигающего земли под кроной. Затенение зависит от вида растений, и летом обычно 10-30% солнечной энергии доходит до земли под деревьями, остальная часть поглощается листьями и отражается обратно в атмосферу. Зимой проходящее через деревья солнечное света может варьироваться от 10 до 80% в зависимости от вида деревьев.

Эвапотранспирация, как самостоятельное явление или в сочетании с затенением, способствует снижению пиковых летних температур воздуха. Различные исследования показали следующие снижения температуры:

- В рощах максимальная температура воздуха была на 9°F (5°C) ниже, чем над открытой местностью.
- Над орошаемыми сельскохозяйственными полями температура воздуха была на 6°F (3°C) ниже, чем над голой землей.
- В пригородных районах с установившейся растительностью температура была на 4-6°F (2-3°C) ниже, чем в новых пригородах без деревьев.
- Над травяными спортивными площадками температура была на 2-4°F (1-2°C) ниже, чем над смежными территориями.

Затенение тротуаров, парковок и улиц с помощью деревьев является эффективным способом охлаждения городской среды. Деревья могут быть размещены по периметру парковок или вдоль улиц, обеспечивая стратегически размещенные тени. Это также может быть полезно для игровых площадок, школьных дворов, футбольных полей и других открытых пространств.

Прямое затенение от деревьев и растительности также приводит к экономии энергии для охлаждения зданий. Эффективность зависит от ориентации, размера насаждений и расстояния от здания. Большие деревья, размещенные близко к западной стороне здания, обеспечивают большую экономию энергии для охлаждения по сравнению с другими растениями.

Кроме экономии энергии, использование деревьев и растительности как стратегии смягчения последствий также приводит к улучшению качества воздуха и снижению выбросов парниковых газов. Листья улавливают различные загрязнения из воздуха, уменьшая сухое осаждение. Теневые деревья снижают выбросы от припаркованных транспортных средств. Деревья и растительность удаляют и накапливают углерод, а также сокращают выбросы парниковых газов электростанциями за счет снижения потребности в энергии.

- Установка крышек на парковочных местах, которые могут предотвратить прямое солнечное излучение на поверхности автомобилей, что позволяет уменьшить нагревание. Установка крышек на парковочных местах может снизить температуру на поверхности автомобилей на 10-20 градусов по Цельсию, что также может снизить температуру окружающей среды. Однако, стоит отметить, что установка крышек может быть дорогостоящей мерой и может не подходить для всех типов парковок.

- Установка охлаждающих систем в городских районах, которые могут понижать температуру воздуха. Эти системы могут работать на основе испарения воды, а также использовать технологии, такие как кондиционирование воздуха на открытом воздухе и использование тепловых насосов. Охлаждающие системы

в городских районах могут снизить температуру на улицах на 2-5 градусов по Цельсию, в зависимости от типа системы и погодных условий. Однако, стоит учитывать, что такие системы потребляют большое количество электроэнергии, что может привести к увеличению выбросов углекислого газа.

- Повышение эффективности систем водоотведения, которые могут снизить количество тепла, которое выделяется в окружающую среду из-за высоких температур стоков и канализации. Повышение эффективности систем водоотведения может снизить температуру стоков на 2-5 градусов по Цельсию, что может снизить количество тепла, которое выделяется в окружающую среду.

Вот несколько общих формул, которые могут быть использованы для снижения жары в мегаполисе с умеренными широтами:

Альбедо (отражающая способность):

Альбедо = (Отраженная солнечная энергия) / (Входящая солнечная энергия)

Поверхности с более высоким альбедо отражают больше солнечной энергии и нагреваются меньше. Поэтому использование светлых материалов для дорог, крыш зданий и других поверхностей может помочь снизить поглощение солнечной энергии.

Теплоизоляция:

U-значение = $1 / (\text{Сумма тепловых сопротивлений каждого слоя материала})$

R-значение = $\text{Толщина материала} / (\text{Теплопроводность материала})$

Использование изоляционных материалов с высокими значениями R-значения и низкими значениями U-значения помогает снизить передачу тепла через стены, крыши и окна зданий.

Расчет коэффициента теплопроводности:

$$Q = (k \times A \times \Delta T) / d$$

Где Q - тепловой поток, k - коэффициент теплопроводности материала, A - площадь поверхности, ΔT - разница температур, d - толщина материала.

Оптимальный выбор материалов с низким коэффициентом теплопроводности поможет снизить передачу тепла через стены, крыши и окна зданий.

Вентиляция и циркуляция воздуха:

$$\text{Объем воздуха} = \text{Площадь} \times \text{Скорость} \times \text{Высота}$$

Расчет объема воздуха может помочь определить необходимое количество воздуха для эффективной вентиляции и циркуляции в городе. Расчет скорости вентиляции и площади открытий для притока свежего воздуха также являются важными параметрами.

Эффект испарения:

Оценка эффекта испарения:

$$\text{Охлаждающая мощность} = (m \times H) / t$$

Где m - расход воды, H - удельная теплота испарения, t - время.

Использование водных элементов, таких как фонтаны или искусственные пруды, может способствовать испарению воды и созданию охлаждающего эффекта. Эта формула позволяет оценить охлаждающую мощность, основанную на расходе воды и удельной теплоте испарения.

Важно отметить, что конкретные значения и параметры в этих формулах будут зависеть от местных условий и требований конкретного мегаполиса. Поэтому для более точного и адаптированного расчета и реализации мер по снижению жары в городе, рекомендуется обратиться к специалистам в области градостроительства, архитектуры и окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе было проведено исследование о явлении "острова тепла" в городе Минск. Остров тепла представляет собой географически ограниченную область, где температура выше, чем в окружающих территориях. Цель работы заключалась в анализе факторов, влияющих на формирование острова тепла в городе Минск и изучении его последствий для климатического комфорта и энергетической эффективности.

В ходе исследования были проанализированы различные факторы, включая городскую застройку, использование материалов с разной теплоемкостью, наличие зеленых насаждений, водных объектов и топографических особенностей. Были проведены измерения температуры в разных районах города Минск и сравнены средние значения с окружающими территориями.

Результаты исследования показали, что в городе Минск существуют определенные зоны, где образуется остров тепла. Такие зоны обычно связаны с плотной застройкой, недостатком зеленых насаждений и наличием асфальтированных поверхностей, которые поглощают и задерживают тепло. Также наблюдаются влияние водных объектов, которые могут усиливать острова тепла.

Острова тепла в городе Минск имеют как положительные, так и отрицательные последствия. С одной стороны, они способствуют повышению температуры в этих зонах, что может быть полезным для комфорта людей и роста растений. С другой стороны, они могут вызывать перегрев и повышенное потребление энергии для охлаждения зданий.

В заключение, исследование острова тепла в городе Минск позволяет лучше понять факторы, влияющие на формирование и распределение тепла в городской среде. Полученные результаты

могут быть использованы для разработки стратегий городского планирования и дизайна с целью создания более комфортной и энергоэффективной городской среды. Дальнейшие исследования в этой области могут помочь оптимизировать использование ресурсов и улучшить качество жизни горожан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Монографии:

1. Григорьев В. А., Огородников И. А. "Экологизация городов в мире, России, Сибири." Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН, Новосибирск, 2001.
2. Груза, Г. В., Ранькова, Э. Я. "Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха." ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012.
3. Дроздов, О. А., «Климатология», Ленинград Гидрометеиздат, 1989.
4. Касимов, Н. С. "Экогеохимия ландшафтов." ИП Филимонов М. В., 2013.
5. Касимов, Н. С. "Экология города." Научный мир, 2004.
6. Климат города. Г. Е. Ландсберг, 1981.
7. Климат Минска. Под ред. М. А. Гольберга. Минск, "Вышэйш. школа", 1976.
8. Луканин, В. Н., Трофименко, Ю. В. "Промышленно-транспортная экология." Под ред. В. Н. Луканина, М.: Высш. шк., 2003.
9. Метеорология и климатология: учебник. Хромов, С. П., Петросянц, М. А. Москва, Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006.

Статьи из журналов:

1. Allen, Nathan A., et al. "The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures." Nature.com, www.nature.com/scientificreports.

3. Beluskob, Martin, et al. "Heat stress risk and resilience in the urban environment." *Sustainable Cities and Society* 26 (2016): 278–288.
4. Bloken, Bert, et al. "The Phenomenon of the Urban Heat Island." *Весна 2015: Buildings of High Technologies*.
7. Duckworth, R. S., and Sandberg, J. S. "The Effect of Cities upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients." Stanford University, Stanford, California.
8. Geneletti, Davide, et al. "Nature-based Solutions for Sustainable Urban Planning." *Nature.com*.
9. Griizenko, M. Yu., and Baldina, E. A. "Mapping of thermal anomalies in Moscow based on multi-seasonal thermal images." In the collection: *Geocological Problems of New Moscow*. Moscow: Media-PRESS Moscow, 2013. pp. 70-76.
10. Hatvani-Kovacs, Gertrud, et al. "Heat stress risk and resilience in the urban environment." *Sustainable Cities and Society* 26 (2016): 278–288.
11. Howard, Luke. "The Climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighborhood of the metropolis." 2 volumes, London, 1818
12. Khayrullina, Adelya, et al. "The Urban Heat Island Phenomenon." *Spring 2015: High-Tech Buildings*.
13. Menne, Matthew J., and Peterson, Thomas C. "Land Use Change and Temperature Trends." NOAA National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina.
14. Minor, Rebecca L., et al. "The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures." *Nature.com*, www.nature.com/scientificreports.
15. Oke, T. R. "City Size and the Urban Heat Island." *Atmospheric Environment*, Vol. 7, 1973

16. Peeters, Aviva, and Shashua-Bar, Limor. "A decision support tool for calculating effective shading in urban streets."
17. Shahidan, Mohd Fairuz, and Jones, Philip. "Plant Canopy Design in Modifying Urban Thermal Environment: Theory and Guidelines." Welsh School of Architecture, Cardiff University, Cardiff, United Kingdom.
18. Shkljaev, V. A., et al. "Investigation of the microclimate of the city for assessing biometeorological indicators of the residential area." *Geographical Herald* 3(14), Meteorology.
19. Tiwari, Shreya. "Architectural Solutions to Urban Heat Island Effect." RR Institute of Modern Technology, Lucknow, Uttar Pradesh. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 10 Issue 01, January-2021.
20. Toparlar, Yasin, and Bloken, Bert. "The Urban Heat Island Phenomenon." Spring 2015: High-Tech Buildings.
21. Van der Huven, Frank, and Vandl, Alexander. "Creating a map of the urban heat island." Rotterdam.
22. Алексашина, В. В., and Ле Минь Туан. "Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса." Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), mgsu.ru, г. Москва, Россия.
23. Балдина, Е. А., and Грищенко, М. Ю. "Исследование «теплового острова» Москвы по разносезонным снимкам Landsat-7/ETM+." *Геоинформатика*, № 3, 2011, pp. 62-69.
24. Балдина, Е. А., and Константинов, П. И., et al. "Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне." *Земля из Космоса*, 2015, pp. 38-42.

25. Шкляев, В. А., et al. "Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории." Географический вестник, 3(14), 1997.

26. Шлендер, Т. В., et al. "Изменение температуры воздуха в г. Минске за период 2020–2021 гг. по данным автоматических метеорологических станций."