

На правах рукописи

Мягков Михаил Сергеевич

**МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА
В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ**

Специальность 25-00-36 - геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2004 г.

Работа выполнена в Научно-исследовательском и проектно-исследовательском
Институте экологии города (НИИПИ ЭГ) Москомархитектуры Правительства Москвы

Научный руководитель:

Кандидат географических наук
Курбатова Анна Сергеевна

Официальные оппоненты

Доктор технических наук, профессор
Баранов Владимир Николаевич

Доктор географических наук, профессор
Исаев Анатолий Алексеевич

Ведущая организация

Географический факультет
Иркутского государственного университета

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2004 года в « _
на заседании Диссертационного совета Д220.025.01 при Государственном универ-
ситете по землеустройству по адресу: 105064 Москва, ул. Казакова, д. 15, Государ-
ственный университет по землеустройству.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного университета по
землеустройству. Отзывы на диссертацию (в двух экземплярах, заверенных печатью
учреждения) просьба отправлять по указанному адресу ученому секретарю совета.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2004 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
К.т.н.

З.В.Козелкина

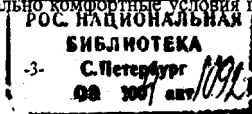
Общая характеристика работы

Актуальность темы

Климат городов является социально и экономически значимым фактором. Доля населения, живущего в городах, особенно в странах с умеренным и суровым климатом, в частности - в России, постоянно увеличивается. Поэтому все больше людей ощущают на себе специфику городских климатических условий. Эти условия, в свою очередь, все больше отличаются от климатических условий окружающих города территорий за счет воздействия непрерывно усиливающихся антропогенных факторов. Вследствие этого особенности городского климата, как по степени воздействия, так и по числу жителей, испытывающих его, становятся по актуальности сопоставимыми с исходными природно-климатическими условиями той или иной территории. Техногенная эмиссия тепла в окружающее пространство, наравне с эмиссией загрязняющих веществ, ионизирующим и неионизирующим излучением, стала одной из центральных проблем городской экологии. В современной литературе по экологии и климатологии уже устоялся такой термин, как «тепловое загрязнение окружающей среды». Этот вид загрязнения является причиной целого спектра реакций экосистем различного ранга, начиная от трансформации мезо- и микроклиматических условий и биоты вмещающих город ландшафтов и заканчивая изменением концентраций озона в тропосфере.

Ведущими специалистами в области городской климатологии (Ландсберг, Оке, Гриммонд и др.) признано существование аномалий метеоусловий внутри городской застройки по сравнению с окружающей их неурбанизированной территорией. Однако не ясно соотношение механизмов, вызывающих эти аномалии. В числе причин происхождения «острова тепла» и других метеоклиматических аномалий выделяются несколько ведущих факторов: использование в городах большого количества энергоресурсов; уменьшение альбедо при увеличении теплоемкости искусственных покрытий; уменьшение затрат тепла на испарение.

Выявление количественного соотношения составляющих теплового баланса урбанизированной территории необходимо для решения ряда задач, относящихся к прикладной экологии - определения политики развития систем теплоснабжения, направленной на минимизацию аэротехногенной нагрузки, создания мезомасштабных моделей атмосферной циркуляции над городом для уточнения прогнозов погоды, выбором проектных решений в градостроительной и архитектурно-строительной документации, которые позволили бы создать максимально комфортные условия проживания насе-



ния и ряда других. Отсюда возникает научная актуальность и практическая значимость в изучении механизма формирования городских климатических условий.

Цель настоящей кандидатской диссертации - выявление механизмов формирования теплового баланса территории, наиболее сильно преобразованной антропогенной деятельностью - городской застройки. Для анализа был выбран Московский мегаполис как наиболее показательный в плане разнообразия источников выработки и потребления всех видов тепловой энергии и связанных с этим климатических процессов. Указанная цель достигалась путем постановки и решения следующих **задач**:

1. Определение изменения суммарной солнечной радиации за счет техногенного воздействия на атмосферу.

2. Моделирование баланса коротковолновой радиации поверхности деятельного слоя на урбанизированной территории.

3. Выявление размера влияния зданий и искусственных покрытий и отвода части поверхностного стока системами ливневой канализации на затраты тепла на испарение.

4. Количественная оценка соотношения техногенных и естественных приходных частей теплового баланса, выявление ведущих факторов, определяющих тепловой баланс городских территорий, структуры его аномалии по сравнению с окружающими город территориями.

5. Определение пространственно-временной изменчивости естественных и техногенных потоков тепла в различных типах городской застройки и на окружающих город фоновых территориях.

В основу диссертационной работы положен фактический материал, собранный в процессе исследовательской и производственной деятельности автора за период **1991—2004** гг. Исследования выполнены с привлечением большого объема данных организаций и ведомств, отвечающих за вопросы инженерного обеспечения и энергоснабжения города и сведений из действующей градостроительной документации о технико-экономических и морфометрических показателях городской застройки. Также были привлечены фондовые материалы МосЦГМС, НИиПИ экологии города, Москомархитектуры и других организаций, работающих в сфере градостроительства.

Защищаемые положения

1. Прямая солнечная радиация в городе сокращается по сравнению с пригородами, рассеянная - увеличивается. Эти изменения компенсируют друг друга. В результате суммарная солнечная радиация в городе и на прилегающих к нему территориях практически не различается.

2. Интегральное альbedo урбанизированной территории во все сезоны года ниже, чем альbedo окружающих город естественных ландшафтов. Изменения альbedo имеют выраженную внутригодовую динамику и характеризуются достаточно высокой пространственной изменчивостью. Методика определения альbedo городской застройки должна учитывать ее морфометрические и иные параметры, содержащиеся в градостроительной документации и нормируемые действующими строительными нормами и правилами.

3. Увеличение коэффициента поверхностного стока является одной из основных причин изменения структуры теплового баланса в городе. Отвод части осадков сетями ливневой канализации вызывает значительные изменения затрат тепла на испарение с территории городской застройки.

4. Для природно-климатических условий Москвы техногенное энергопотребление по своим размерам сопоставимо с поглощенной радиацией и затратами тепла на испарение.

5. В теплый период года основное воздействие застройки на суммарный тепловой баланс происходит за счет перераспределения потоков энергии естественного происхождения. Зимой ведущая роль в тепловом балансе Московского мегаполиса и возникновении его аномалии принадлежит техногенному энергопотреблению. Величины техногенного энергопотребления различных участков городской застройки могут различаться более чем в 3 раза. Это приводит к дифференциации микроклиматических условий на территории города.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в том, что механизм формирования теплового баланса территории города впервые изучен в едином пространственно-временном масштабе для потоков энергии естественного и техногенного происхождения. При этом определение компонентов теплового баланса выполнено для различных по функциональному назначению и степени градостроительного освоения городских застроек.

В техногенном тепловом балансе впервые выделены значимые расходные части - отвод тепла со сточными водами и связывание энергии, а в числе приходных частей рассмотрено термическое уничтожение отходов как потенциально значимый член теплового баланса города с учетом современных тенденций в ведении городского хозяйства, при этом впервые выполнена количественная оценка изменения затрат тепла на испарение с территории города. Интегральная оценка альbedo территории города выполнена с детализацией по градостроительным условиям. Составлена карта альbedo терри-

тории города Москвы, а также серия карт, отражающих размер составляющих теплового баланса с учетом градостроительной ситуации и на основе схем инженерного обеспечения и данных эксплуатирующих организаций. Это позволило совместить теоретические основы климатологии с практикой градостроительства и городского хозяйства.

Практическая значимость

Выявленные механизмы формирования техногенного теплового баланса и полученные расчетным путем величины альbedo и расходов тепла на испарение позволили определить ведущие факторы формирования микроклиматических аномалий в различных типах городских застроек в условиях Московского мегаполиса и предложить основные пути и механизмы их оптимизации при разработке градостроительной документации. Результаты исследований были учтены при подготовке градостроительной и архитектурно-строительной документации для обеспечения комфортности условий проживания, формирования оптимальных биоклиматических характеристик проектируемой городской среды.

Полученные сведения о структуре техногенного энергобаланса определили выбор стратегии развития систем теплоснабжения, направленной на сокращение потерь тепловой энергии и минимизацию связанных с этим теплового и химического загрязнения городской среды ЭЖР Куркино, рна «Центральный» г. Долгопрудный.

Построенные карты альbedo территории Москвы и районов Московской области, а также собранные сведения о теплотности городских застроек использованы в НИиПИ экологии города при создании ГИС мезомасштабных климатических условий территории Московского мегаполиса.

Личный вклад автора

Все представленные в работе материалы обобщения первичных данных, расчетов альbedo и других характеристик теплового баланса, в том числе проведенных впервые, а также анализ полученных результатов выполнены автором самостоятельно.

Апробация работы

Отдельные темы, вошедшие в диссертационную работу, были представлены на 6 научно-практических конференциях и семинарах: V международной научно-практической конференции «Проблемы управления качеством окружающей среды» (Москва, 2001), «Москва - энергоэффективный город» (Москва, 2002 г.), 5-м международном симпозиуме «Urban environment» (Ванкувер, Канада, 2004), Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.П. Хромова (Москва,

МГУ, 2004) и др. Материалы диссертационной работы изложены в 1 монографии, 1 учебном пособии, были использованы при подготовке 2 нормативно-методических документов (СанПиН «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», МГСН «Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории г. Москвы»).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (97 наименований, в т.ч. 32 - зарубежные публикации). Объем основной части рукописи - 128 стр., в том числе 31 рисунок и 33 таблицы.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю работы Курбатовой А.С., а также д.г.н., проф. Башкину В.Н. и д.т.н., проф. Шишину А.В. за консультативную помощь при анализе диссертационного материала. Особую благодарность автор выражает ю.н. Алексеевой Л.И. за помощь в течение всей работы над диссертацией. Автор также благодарит Корневу Е.Н., Павлова Н.В., Мякокина А.В., Колчаеву О.Н. и других сотрудников НИиПИ экологии города за техническую помощь в подготовке работы.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность проблемы, формулируются цели и задачи работы, показана научная новизна и практическое значение исследования, обосновывается состав материалов, использованных в диссертации.

Глава 1. Изменение поступления суммарной радиации

В первой части главы дается общая характеристика влияния Московской агломерации на микро- и мезоклиматические условия, формирующиеся на ее территории. Рассматривается изменение таких климатических показателей, как температура воздуха, количество осадков и их режим, скорость ветра в приземном слое атмосферы. Сравнение климатических характеристик выполнено по данным инструментальных наблюдений на метеостанциях Москвы и Подмосковья. Показаны различия, наблюдающиеся между климатическими характеристиками города и окружающей его территории. Деформации полей метеозащитных элементов связаны с изменением размера естественных составляющих теплового баланса в условиях городской застройки, в частности - балансом

коротковолновой радиации, являющегося одним из основных клиштообразующих факторов.

На территории города все составляющие радиационного баланса изменяются под воздействием хозяйственной деятельности, например, прямая солнечная радиация ослабляется за счет увеличения содержания в воздухе аэрозолей, химического загрязнения атмосферы и увеличения общей облачности; рассеянная солнечная радиация, напротив, увеличивается за счет тех же факторов; альbedo поверхности изменяется в результате строительства искусственных поверхностей, применения отделочных и кровельных материалов с поглощающими и отражающими свойствами, отличающимися от природных элементов рельефа.

Интенсивность потока прямой солнечной радиации (S) в городе (данные МО МГУ) при ясном небе на 8% меньше, чем за городом. Наибольшие различия отмечают при низком солнце (утро и вечер) и в зимнее время, когда интенсивность S в наибольшей степени зависит от оптической массы атмосферы. Сокращение S происходит также за счет увеличения балла общей и нижней облачности в городе. Однако летом, когда S достигает максимальных значений, различий между городом и пригородом почти не наблюдается. Годовая сумма S в Москве меньше, чем в Подмосковье.

Рассеянная радиация (D) при безоблачном небе либо одинакова, либо в Москве больше, чем в пригороде. За счет влияния облачности D в городе оказывается на 45% больше, чем при безоблачном небе, что компенсирует снижение S . В результате размер приходящей к поверхности города суммарной радиации (Q) практически не отличается от Q за городом. Различия составляют не более 2%, что укладывается в погрешность инструментальных измерений.

Глава 2. Преобразование физических свойств деятельного слоя

Фактором, определяющим размер тепловых ресурсов деятельного слоя и, как следствие, влияющим на размер потоков явного и скрытого тепла и собственное излучение земной поверхности, является альbedo (A) - свойство деятельной поверхности поглощать приходящую к ней солнечную радиацию. Поглощенная радиация (B_p) в естественных условиях является основной приходной частью теплового баланса.

Для отдельных типов поверхностей величины A изучены достаточно хорошо. Для многих поверхностей A существенно зависит от высоты Солнца, а также состояния этих поверхностей - увлажненности, загрязненности, фенологической фазы, состава применяемых в искусственных покрытиях материалов и т.д. Кроме того, для многих

поверхностей, в частности - растительного покрова A зависит от длины волны. Например - для зеленых насаждений характерно минимальное отражение солнечной радиации в полосе поглощения хлорофилла (около 0.68 μm) и воды (около 1.4 μm).

Для определения A городской застройки требуется расчет A отдельных ее «граней». Каждая из «граней» состоит из разнородных по отражательной способности поверхностей. Например, для стен зданий это различные по характеру отделки и окраски участки фасадов, светопроемы, декор.

Поступающая внутрь городской застройки солнечная радиация, падая на «границы» застройки, последовательно отражается и передается на другие грани, теряя при каждом переотражении часть своей энергии. В результате, при каждом переотражении «гранями» дополнительно поглощается какая-то часть этой радиации и общее поглощение радиации каждой из «граней» становится больше, чем у аналогичной по отражательной способности «границы» в случае, если бы она была расположена на открытом пространстве.

Научный и практический интерес представляет определение A городской застройки в таком территориальном масштабе, при котором становится невозможно усреднить частные альбедо отдельных «граней». Для решения этой задачи в зарубежной практике используются инструментальные измерения с борта самолета или со спутников при соответствующих синхронных измерениях на поверхности изучаемого рельефа. Такие исследования широко ведутся с конца 80-х годов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что альбедо застроенных территорий во многом определяется двумя параметрами: морфологией застройки - ее вертикальной структурой и плотностью и наличием озелененных территорий в застройке. Для большинства городов умеренного климата интегральное альбедо находится в пределах 10-30%, при наиболее часто встречающемся значении 15%. Озелененные территории, как правило, имеют большую отражательную способность по сравнению с застройкой и более широкий диапазон сезонных изменений.

Для Москвы инструментальные измерения интегрального альбедо застроенных территорий не выполнялись. В связи с этим в работе использован метод математического моделирования этих процессов для расчета интегрального A различных территорий г. Москвы. Основные зависимости между характеристиками городской застройки и значениями интегрального A , полученные теоретическим путем с использованием численного моделирования процесса переноса и поглощения солнечной энергии внутри городской застройки, реализованы в программном средстве «Albedo calculator», разра-

ботанном в Высшей межотраслевой школе прикладных наук университета Куоши, Япония. По опубликованным данным, получаемые с помощью этой программы результаты показали хорошую сходимостью рассчитанных значений A с A тех же участков городской застройки, полученных на основании инструментальных наблюдений. Расчеты и измерения A выполнены для территорий с различными морфотипами и различным функциональным назначением в крупных городах Японии, что показывает применимость метода в широком диапазоне градостроительных условий. Это дало возможность применить программу «Albedo calculator» для территории г. Москвы.

При создании виртуальной модели застройки программой «Albedo calculator» задаются следующие исходные параметры:

- плотность застройки (% проекции зданий по отношению ко всей площади территории застройки);
- характерное отношение расстояния между зданиями к их высоте;
- высотная контрастность застройки (разновысокая, одинаковой высоты);
- соотношение количества высоких/низких зданий в застройке;
- средневзвешенный коэффициент отражения кровель;
- средневзвешенный коэффициент отражения фасадов;
- средневзвешенный коэффициент отражения подстилающей поверхности;
- высота солнца;
- процентное соотношение прямой и рассеянной радиации в суммарной радиации.

С использованием программного средства «Albedo calculator» выполнена оценка A наиболее распространенных морфотипов городской застройки, распространенных на всей территории Москвы в пределах МКАД. Для этого в качестве исходных данных для расчетов использовались следующие действующие градостроительные документы, определяющие характер использования различных территорий и параметры застройки на территории Москвы: Генеральный план развития г. Москвы на период до 2020 года, части: «Основные направления градостроительного развития города Москвы», «Градостроительное зонирование территории города Москвы»; проекты градостроительных планов развития административных округов г. Москвы; единая государственная картографическая основа г. Москвы (ЕГКО) масштаба 1:10000; сведения об общей площади застройки различного функционального назначения с детализацией по МР г. Москвы, полученные в МосГорБТИ.

На начальном этапе подготовки исходных данных к расчету выделялись 4 типа функциональных зон: территория жилых кварталов, включая проходящую по ним улично-дорожную сеть; территория коммунально-складского и производственного назначения, включая проходящую по ним улично-дорожную сеть; слабозастроенные тер-

ритории и незалесенные территории природного комплекса и территории ПК, занятые древесно-кустарниковой растительностью. Всего выделено 97 участков жилой застройки общей площадью 375.4 км², 63 участка производственной и коммунально-складской застройки общей площадью 173.8 км², 1607 участков, занятых преимущественно древесной растительностью (городские леса, лесопарки, парки и скверы) общей площадью 140.0 км², 155.5 км² слабозастроенных участков смешанного функционального использования, включая расположенную на них улично-дорожную сеть (УДС).

Деление территории Москвы на районы по признаку высотной контрастности застройки было выполнено по материалам «Генеральной схемы градостроительного зонирования г. Москвы». Плотность застройки - соотношение территории, занятой проекцией зданий к общей площади расчетного участка, определялась суммированием площадей зданий по их проекции на ЕГКО. Отражательная способность кровельных материалов определялась визуально по аэрофотоснимкам в пределах расчетных массивов застройки различного функционального назначения. Всего было выделено 3 основных типа кровельных материалов: рулонные или битумные с защитной посыпкой, металлические окрашенные (как правило, в средней светлоты тона) и металл кровельный, оцинкованный и 3 наиболее распространенные их сочетания.

Отражательная способность фасадов зданий также определялась индивидуально для каждой из выделенных расчетных застроек согласно характеристикам соответствующих материалов (табл. 1) с учетом площади остекления. Для определения преобладающего цвета (светлоты) фасадов производилось натурное визуальное обследование расчетных территорий специалистами НИИПИ экологии города.

Таблица 1. Светлота и отражательная способность отделки и фасадов

Цвет и материал отделки	$\rho_{\text{отд}}$ %	$A_{\text{фас}}$
Белый: белая кремнийорганическая фасадная краска, мрамор, гипс, белая керамическая плитка, очень светлые фасадные краски, бетон и декоративные штукатурки на белом цементе, керамическая плитка, ракушечник	70	0.55
Светлый: светлые фасадные краски, светлая штукатурка, светло-серый бетон, известняк, доломит, желтый песок, светлый мрамор, силикатный кирпич, светлая керамическая плитка, латунь матовая, пластик	50	0.41
Средне-светлый: офактуренный или серый неокрашенный бетон, серая или цветная фасадная краска, светлое (не почерневшее) дерево, цветные штукатурки, керамический кирпич, цветная керамическая плитка	40	0.34
Темный: темно-бежевая, коричневая и др. густых цветов фасадные краски, штукатурки и керамические плитки, потемневшее дерево, красный кирпич	30	0.27

Отражательная способность рельефа для каждого расчетного участка городской застройки принималось как средневзвешенное A основных типов поверхностей с уче-

том занимаемых ими площадей, баланс которых нормируется МГСН 1.01-99 «Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы» и «МГСН 1.02-02. Благоустройство». Частные значения A для основных типов составляющих территорию города поверхностей принимались по данным инструментальных наблюдений, содержащимся в отечественных и зарубежных публикациях. Расчет A выполнялся для летнего и зимнего времени года. При оценке величины A территорий Москвы в зимнее время учитывались условия залегания снежного покрова и степень его загрязнения на различных участках городских территорий.

Следующим шагом в подготовке морфологических характеристик застройки к расчету интегрального A была «парцелизация» застройки. Ее суть состоит в определении усредненного по территории параметра «Ш/В» (отношение ширины разрывов между зданиями к их высоте). Для этого, исходя из плотности и общей площади застройки, определялась средняя этажность зданий в пределах расчетного участка, а по этажности определялась их высота. Далее предполагалось, что на 1 гектаре (характерный размер придомовой территории здания) размещается одно гипотетическое здание с ранее определенной расчетной высотой и в плане имеющее проекцию в форме квадрата, площадь которого составляет долю застроенной части всего расчетного участка застройки. Следовательно, если плотность застройки составляет 15%, то здание в плане представляется квадратом, площадь которого составляет 1500 м^2 (15% от 1 га), а каждая из сторон - около 39 м. Отсюда видно, что при квадратной форме «парцеллы», имеющей площадь 1 га ($100 \times 100 \text{ м}$) расстояние между зданиями составит $100 - 39 = 61 \text{ м}$.

Всего было выбрано 3 варианта расчета A городских застроек:

1. Июнь, полдень (высота солнца 57.8°), средние условия облачности. Отношение прямой солнечной радиации к суммарной составляет 50%.

• 2. Июнь, вечер, высота солнца около 25° при ясном небе, прямая радиация составляет 71% от суммарной (по данным МО МГУ);

3. Январь, полдень, высота солнца около 20° , средние условия облачности. Отношение прямой солнечной радиации к суммарной составляет 24%.

Результаты расчетов A и баланс земель г. Москвы в пределах МКАД для определения среднего для города A представлен в табл. 2. Расчетные значения A также представлены в виде карт, одна из которых приведена на рис. 1.

Расчетами установлено, что A застроенных участков города имеет хорошо выраженную пространственную неоднородность. Его значения для участков жилой и общественной застройки, осредненных до размеров МР летом днем изменяются в диапазоне от 13.6% (Бибирево) до 19.7% (Замоскворечье). На участках производственно-коммунальной застройки летом A днем изменяется в более широком диапазоне - от 13.1% (Площадь развилки, Тушино) до 19.9% (Курьяново). При этом A , осредненное с учетом площадей производственно-коммунальных зон на 0.5% меньше, чем A жилой застройки. При низких углах солнца интегральное A большинства застроек увеличивается на 0.3-0.5%.

По степени значимости факторы, определяющие A застроенной части Москвы, можно выстроить в следующем порядке: отражающие свойства кровель, плотность застройки, светлота фасадов, контрастность застройки. Отражающие свойства кровель, в свою очередь, зависят от их конструкции, связанной с назначением зданий и временем их постройки.

Таблица 2. Альbedo территорий г. Москвы

Тип территории	Площадь, %	Лето, день, ср. условия облачности	Лето, вечер, безоблачно	Зима, день, ср. условия облачности
Жилая застройка с УДС	42.9	15.3	15.7	31.9
Производственная застройка с УДС	19.8	14.8	14.9	31.8
В среднем по застроенной территории	-	15.1	15.5	31.9
Слабозастроенные и др. территории с травянистым покровом, без УДС	16.1	22.5	25.0	62.0 (зимой их S увеличивается на 1.5%)
Городские леса и лесопарки, без УДС	16.0	15.0	19.0	30.0
УДС вне жилой и производственной застройки	1.7	15.0	15.0	28.4
Водные поверхности: лето	3.5	6.0	12.0	
зима	2.0*			12.0
среднее в пределах МКАД	100	16.0	17.4	36.4

* - площадь незамерзающего русла р. Москвы. Остальные водные поверхности, покрытые льдом и снегом, отнесены к категории «Слабозастроенные и др. территории с травянистым покровом, без УДС».

Наименьшее A в дневные и вечерние часы характерно для средней части города, занятой жилой застройкой и производственными зонами. К центру города A увеличивается за счет высоких отражающих свойств кровельных материалов даже при том, что в центральной планировочной зоне плотность застройки в несколько раз выше, чем во многих современных районах массовой жилой застройки (следствие менее жестких

требованиям к условиям инсоляции и естественной освещенности). К окраинам города *А* также несколько увеличивается вследствие того, что территории города, прилегающие к МКАД, в основном заняты коммунально-складскими зонами с низкой плотностью застройки и большой долей открытых поверхностей, занятых травяным покровом, а также городскими лесами и лесопарками. Исключение составляет северная часть САО и СВАО, где достаточно плотная жилая и производственная застройка практически вплотную подходит к МКАД.

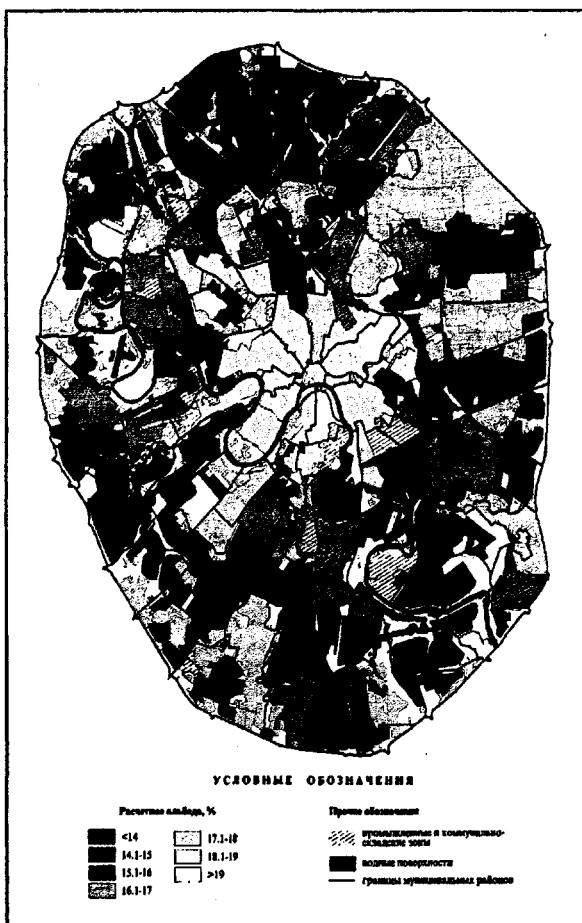


Рис. 1. Альbedo территории городских застроек. Лето, день.

Для определения контрастности *A* Москва - Подмосковье был проведен анализ землепользования районов Московской области (МО) с расчетом средневзвешенного *A* в зависимости от удельной площади различных по назначению и использованию территорий. С этой целью земли районов МО были разделены на следующие категории, имеющие различные значения *A*:

- леса,
- сельскохозяйственные земли, в т.ч.:
 - пашня,
 - луга, сенокосы,
 - сады,
- освоенные территории, в т.ч.:
 - застройка,
 - территории транспортной инфраструктуры,
- водные поверхности,
- прочие территории (неудобья, полигоны ТБО, карьеры и т.д.).

При определении альbedo прилегающих к МКАД районов МО, па которых расположены территории, относящиеся по административному делению к Москве, альbedo этих территорий усреднялось по территории соответствующего района. Альbedo присоединенных территорий принималось в размере среднего для Москвы значения.

Выполненными расчетами установлено, что контраст альbedo Москва-Подмосковье в летнее время составляет 1.7%, в зимние месяцы - 16.2% (рис. 2), что приводит к формированию на территории города аномалии поглощенной солнечной радиации (табл. 3). Основной причиной этой аномалии является летом - наличие на территории города искусственных сооружений и покрытий, зимой - трансформация снежного покрова. В большинстве случаев территория города поглощает больше энергии, чем МО.

Таблица 3. Различия альbedo и месячных сумм поглощенной радиации, МДж/м² (М - москва, П - Подмосковье)

Параметр		Суммарная рад.		Альbedo, %		Поглощенная рад.		Аномалия
		М	П	М	П	М	П	
Лето (июнь)	Ясно	883	915	16.0	17.7	741.7	753.0	-11.3
	средние условия облачности	624	618			524.2	508.6	+15.6
Зима (декабрь)	Ясно	73	93	36.4	52.6	46.4	44.1	+2.3
	средние условия облачности	40	40			25.4	19.0	+6.4

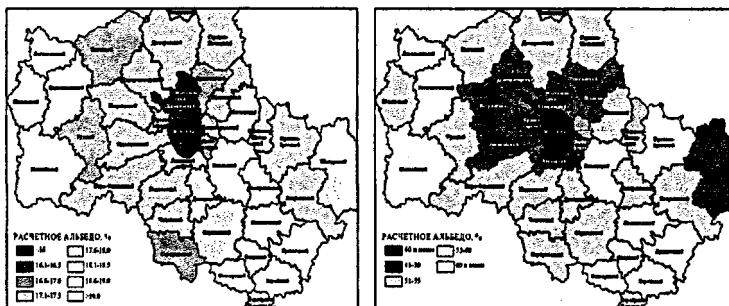


Рис 2. Альbedo районов Московской области (слева - лето, справа - зима)

Таблица 4. Слой поверхностного стока для различных территорий города (ХП - холодный период года, ТП - теплый период года)

Вид поверхности	Площадь, тыс.га	Сток и снегоуборка, мм		Инфильтрация, мм		Испарение и транспирация, мм	
		ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
Непроницаемые (асфальт, бетон, кровли и др.)	26.8	180	190	-	-	40	230
Полупроницаемые и проницаемые (щебень, плитка грунт, зеленые насаждения и т.п.)	25.4	160	20	20	200	40	200
Открытые водные поверхности (включенные в водосточную систему)	0.8	-	-	70		570	
Вся территория	53.0	144.80 млн.м³		56.52 млн.м³		137.87 млн.м³	

Антропогенное преобразование физических свойств поверхности деятельного слоя приводит не только к изменению его A , но и его проницаемости для атмосферных осадков и грунтовых вод, изменяя коэффициент стока и слоя испарения с территории городской застройки. Для получения количественных оценок влияния Москвы на величину стока и испарения была рассмотрена структура водного баланса в пределах города (табл. 4).

Выполненные расчеты свидетельствуют о существовании значительного климатического эффекта работы ливневой канализации. Расчеты показали, что около 40% от годового количества осадков, выпадающих в г. Москве на канализованную территорию, перехватывается ливневой канализацией и, таким образом изымается из величины естественного водного баланса. В результате на испарение с территории Москвы в среднем за теплый период недорасходуется около 90 МДж/м^2 в месяц, в т.ч. в июле - 48 МДж/м^2 . За счет снижения затрат тепла на испарение энергия радиационного баланса в большей степени расходуется на турбулентный теплообмен с атмосферой и собственное ИК излучение земной поверхности, усиливая эффект «острова тепла».

Глава 3. Техногенный энергобаланс в городе

Городское хозяйство, промышленность и транспорт создают колоссальную электрическую и тепловую нагрузку на топливно-энергетическое хозяйство города. Покрытие этой нагрузки требует расхода огромного количества топлива, что, в свою очередь, приводит к масштабному воздействию на состояние городской среды - в частности, к ее химическому и тепловому загрязнению.

В техногенном энергобалансе города можно условно выделить 3 основные приходные части, связанные с прямым выделением тепла в окружающее пространство:

1. прямое энергопотребление, состоящее в сжигании органического топлива для выработки тепла и электроэнергии, а также получения механической энергии, включая автотранспорт;

2. потребление продуктов питания с последующим выделением метаболического тепла;

3. термическое уничтожение органической части отходов товарно-сырьевой массы, используемой городом в хозяйстве и промышленности.

Среди перечисленных приходных частей энергобаланса прямое энергопотребление играет доминирующую роль. Москва является крупнейшим в России потребителем энергетических ресурсов всех видов. В среднем за 1998-2002 гг. отпуск по видам энергоресурсов (не считая моторного топлива) московским потребителям составил: электроэнергия - 104×10^{15} Дж, тепло - 435×10^{15} Дж. На эти цели израсходовано

23.2×10^9 м³ природного газа (рис. 3). Поставки газа в Москву увеличиваются с каждым годом на 10-15%. Суммарная рабочая мощность Московских электростанций на конец 2001 г. составляла 12236 МВт.

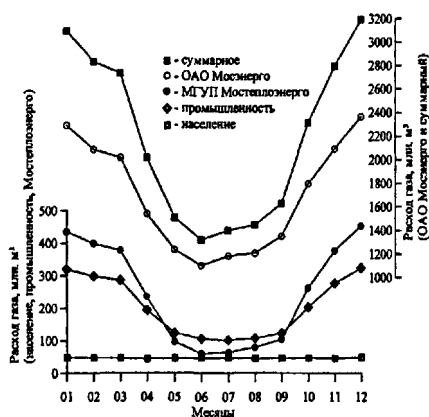


Рис. 3. Расход газа потребителями г. Москвы

Для выявления размера техногенного теплового потока в атмосферу, определения его пространственной структуры и сезонной дина-

мики, автором выполнен анализ потребления энергоресурсов в Москве с расчетом среднегодовых, зимних и летних показателей.

Теплоснабжение Москвы обеспечивается от 16 ТЭЦ ОАО «Мосэнерго», ТЭЦ «ЗИЛ», 39 районных и квартальных тепловых станций (РТС и КТС) ГУП «Мостеплоэнерго», а также от промышленных и 106 местных отопительных котельных. Тепловая мощность источников централизованного теплоснабжения на 01.01.2001 составляла: ТЭЦ - 35.4 ГВт; РТС, КТС - 13.8 ГВт. Годовая выработка тепловой энергии при средних за 1998-2002 г. нагрузках по отоплению составляла $410-420 \cdot 10^{15}$ Дж. Из этого количества около 70% тепла отпущено с коллекторов ОАО «Мосэнерго» и 22% покрыто за счет мощностей ГУП «Мостеплоэнерго». В целом по городу на эти цели расходовалось 26.3 млрд. м³/год природного газа, в том числе в июне-июле 1.3-1.4 млрд. м³/мес, в декабре-январе - 3.1-3.2 млрд. м³/мес.

Годовая неравномерность потребления тепла обусловлена, прежде всего, сезонными колебаниями температуры наружного воздуха. Кроме того, потребление тепла зависит от сезонных изменений потребностей населения в ГВС, температурой забираемой из открытых источников водоснабжения воды и техническими нуждами по обслуживанию и профилактике теплосетей. Используемый летом средний суточный объем горячей воды составляет 80% от зимнего.

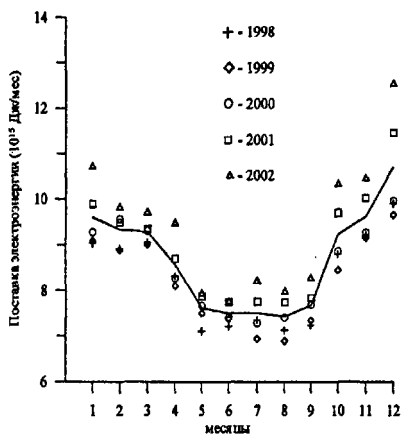


Рис. 4. Потребление электроэнергии в г. Москве

Электроснабжение Москвы осуществляется от 14 ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» и ТЭЦ «ЗИЛ», вырабатывающих комбинированно тепловую и электрическую энергию и соединенных в единую энергосистему. ТЭЦ-22 и Северная ТЭЦ расположены на территории Московской области и 30% электрической мощности выдают потребителям в области. Суммарная мощность электрогенерирующих мощностей московских ТЭЦ в 2000 г. составляла около 9500 МВт, электрическая нагрузка по потребителям, находящимся на территории Москвы - 6700 МВт. Потребление электроэнергии имеет хорошо выраженную суточную и сезонную неравномерность (рис. 4).

Передача электроэнергии абонентам на 75% осуществляется по воздушным и кабельным линиям электропередачи напряжением 500, 220 и 110 кВ. 25% электрической нагрузки города покрывается с шин генераторного напряжения ТЭЦ. Потери электроэнергии при транспортировке до конечного потребителя составляют около 9×10^{15} Дж/год (2.5 млрд.кВт.час/год), что составляет 7-8% от общего потребления.

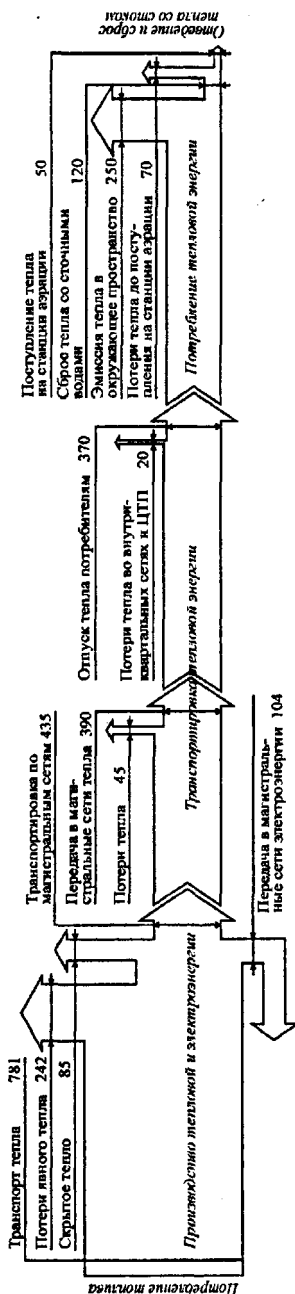
Для определения размера и места потоков в окружающую среду города тепла, образующегося за счет работы объектов теплоэнергетики (ОАО «Мосэнерго», ГУЛ «Мостеплоэнерго») составлена укрупненная схема городского теплохозяйственного баланса (рис. 5). Из приведенной схемы видно, что на стадиях выработки и транспортировки теряется более 60% тепла, получаемого от сжигания топлива, а до конечного потребителя доходит немного более 30% тепла. Часть этого тепла сбрасывается в системы хозяйственно-бытовой канализации и отводится за пределы города.

Рис 5. Укрупненный теплохозяйственный баланс Москвы (ед. измерения - 10^{15} Дж/год).

Примечания: в величину «сброс тепла в канализацию» входит тепло, передаваемое стокам от внутренних источников тепловыделения в зданиях (электроэнергия, метаболизм); в величину «потери тепла до поступления на СА» включены потери от стоков некоторых присоединенных территорий за пределами МКАД.

* - в величину сброса входит тепло, передаваемое стокам от внутренних источников тепловыделения в зданиях (электроэнергия, метаболизм).

** - включая стоки некоторых присоединенных территорий за пределами МКАД



В Московском регионе, как и во всей России, уровень автомобилизации населения продолжает неуклонно расти. По данным Управления транспорта и связи при Правительстве Москвы в период 1998-2002 гг. на территории Москвы реализовывалось в среднем 3900 тыс. т. в год бензина различных марок и других видов моторного топлива (табл. 5), суммарная теплота сгорания которого составляет около 163.8×10^{15} Дж.

Величина потребления моторного топлива и, соответственно, выделение энергии по сезонам года зависят от интенсивности эксплуатации автотранспорта и метеословий, влияющих на режим движения транспортных средств - времени прогрева двигателей, средней скорости движения транспортных потоков, времени работы двигателей на холостом ходу. Ориентировочно можно принять, что объем используемого в Москве бензина изменяется по сезонам года следующим образом: зима - 100%, весна - 105%, лето - 120%, осень - 110%.

Таблица 5. Фактическое потребление моторного топлива в г. Москве (тыс. т.).

Год	Жидкое топливо			Газообразное топливо	
	Всего	Бензин	ДТ	Пропан-бутан	Метан (экв. тыс. т)
1998	3783	2754	1029	30	0.90
1999	3841	2795	1046	71	1.04
2000	3895	2832	1063	100	2.48
2001	3980	2885	1095	105	3.74
2002	4033	2910	1123	107	2.65
Среднее	3906	2835	1071	82.6	2.2

Еще одной техногенной составляющей теплового баланса, на которую пока редко обращают внимание специалисты в области городской климатологии, является выделение тепла в процессе термического уничтожения отходов на мусоросжигательных заводах (МСЗ). Выполненные автором расчеты показали, что при сжигании ТБО может выделяться около 16×10^{15} Дж/год. Фактически до недавнего времени сжигалось не более 10% отходов. По «оптимистичным» прогнозам эта доля к 2005 г. достигнет 20%, т.е. будет выделяться $3-3.5 \times 10^{15}$ Дж/год, что составляет почти 10% от теплоты, получаемой при сжигании мазута. Таким образом, пока термическое уничтожение отходов как компонент техногенного теплового баланса не играет значительной роли, однако в будущем при достижении цели полного термического уничтожения отходов, получаемая при этом теплота окажется сопоставимой с теплотой, выделяемой при использовании на территории города других видов органического топлива.

Последней по значимости в числе приходных частей антропогенного теплового баланса принято считать метаболическое тепловыделение. Суммарно за год в Москве выделяется около 4.34×10^{15} Дж. Таким образом, размер метаболического тепловыделе-

ния составляет не более 1-2% от затрат тепла на отопление и ГВС жилых и общественных зданий и им можно пренебречь при интерпретации причин мезомасштабных климатических аномалий.

Расход тепла со стоками является основной расходной частью техногенного энергобаланса. До настоящего времени в работах по городской климатологии эта составляющая теплового баланса не рассматривалась. В данной работе расчет количества тепла, выносимого за пределы города, определялся как разница теплосодержания забираемой для водоснабжения воды и воды, поступающей на территорию города в руслах водотоков и теплосодержания воды, уходящей с территории города в русло р. Москвы и по канализационным коллекторам. Требуемые для этого значения температуры и объемов воды приняты по данным МосЦГМС и МГУП «Мосводоканал». Из результатов расчетов (рис. 6) видно, что за черту города со сточными водами выносятся в среднем за год около 122.5×10^{15} Дж тепловой энергии. Минимальные значения теплового стока наблюдаются в летние месяцы: $2.5-2.8 \times 10^9$ Дж/с, максимальные - $4.5-5.8 \times 10^9$ МДж/с - могут наблюдаться в марте-апреле. Полученные величины сопоставимы с другими компонентами техногенного энергобаланса.

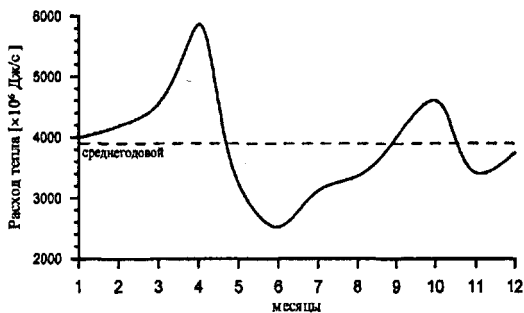


Рис 6. Расход тепла со сточными водами и через русло р. Москвы

«Малыми компонентами» можно считать приходные или расходные составляющие теплового баланса, чей размер не превышает 5% от суммы всех его приходных или расходных частей соответственно. К ним можно отнести упоминавшееся выше метаболическое тепловыделение, передаваемую за пределы города электроэнергию (менее 4%) и связывание энергии в промышленности (менее 1%).

Глава 4. Пространственно-временная изменчивость теплового баланса

Составляющие теплового баланса на территории города имеют выраженную пространственно-временную изменчивость. В связи с этим встает вопрос - на каких участках и в какое время года определяющими величину теплового баланса являются

техногенные или естественные потоки энергии, и каково их соотношение в среднем за год, в отдельные сезоны, а также в каких пределах структура теплового баланса изменится на различных участках городской застройки?

Характер и пространственная неоднородность поглощения солнечной радиации и техногенных потоков тепла представлены в табл. 6 и 7 (в диссертации - в виде серии карт города). Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии градостроительной структуры территории на гидротермические показатели микроклиматических условий и существенной дифференциации территории города по этим показателям. Это приводит к различиям в условиях залегания снежного покрова, формирования растительного покрова и усиливает существующую дифференциацию микроклиматических показателей уже на более низкомасштабном уровне членения урбоэкосистем.

Таблица 6. Поглощенная солнечная радиация в июле и январе

Тип территории	Площадь, км ²	Июль, альбедо, %	Поглощенная радиация, 10 ¹⁵ Дж	Январь, альбедо, %	Поглощенная радиация, 10 ¹⁵ Дж
Жилая застройка с УДС	375.4	15.3	186.7	31.9	17.2
Производственная застройка с УДС	173.8	14.8	86.9	31.8	7.9
По застроенной территории	-	15.1	273.6	31.9	25.0
Слабозастроенные территории, без УДС					
лето	155.5*	22.5	70.7		
зима	168.3			62.0	4.4
Городские леса и лесопарки, без УДС	140.0	15.0	70.1	30.0	6.6
УДС вне жилой и производственной застройки	14.9	15.0	7.5	28.4	0.7
Водные поверхности:					
лето	30.4	6.0	16.9		
зима	17.6*			12.0	
Сумма в пределах МКАД	890.0	средн. 16.0	438.8	средн. 36.4	37.9

* изменение площади происходит за счет водных поверхностей. Покрытые льдом и снегом, зимой они отнесены к категории «Слабозастроенные и др. территории с травянистым покровом, без УДС».

** - площадь незамерзающего русла р. Москвы.

Таблица 7. Теплотность основных видов застроек г. Москвы

Характер использования территории	Единица измерения	Территории города				
		Городской градостроительный узел	Примагистральные территории	Межмагистральные территории с размером кварталов		
				< 5 га	5-10 га	10-50 га
Теплотность	кВт/м ²	0.535	0.233-0.466	0.210-0.512	0.093-0.210	0.140

На основании приведенных в гл. 3 данных о потреблении энергоресурсов и расчетных значений $V_{т}$, составлены карты эмиссии техногенного тепла в окружающее пространство для января, июля и в целом за год. Максимальные значения эмиссии техно-

генного тепла в январе отмечаются в МР ЦАО: Тверской (258 МДж/м²мес), Арбат (263 МДж/м²мес), минимальные значения характерны для периферии города: Щукино (118 МДж/м²мес), Черемушки (111.3 МДж/м²мес). В июле размер эмиссия техногенного тепла сокращается до 43 МДж/м²мес (в среднем по застроенной части города). Минимальные значения - 27.5-30.0 МДж/м²мес - характерны для районов с преобладанием малоэтажной низкоплотной застройки и высокой долей озеленения (Покровское-Стрешнево, Марфино). Также отличаются низкой плотностью эмиссии районы с застройкой средней этажности, но «насыщенные» озелененными и незастроенными территориями - Тропарево-Никулино, Кунцево, Очаково-Матвеевское (32.4, 32.1, 33.0 МДж/м²мес соответственно). Эти районы расположены преимущественно по периферии города. Наиболее высокие значения техногенной эмиссии тепла летом характерны для всей центральной части города и составляют от 55-65 МДж/м²мес в МР Мещанский, Красносельский, Арбатский, Якиманка, Замоскворечье и до 73 МДж/м²мес в МР Тверской.

Годовые значения эмиссии техногенного тепла в окружающее пространство находятся в основном пределах 900-1600 МДж/м²год. Для большинства производственных территорий, как зимой, так и летом характерны более высокие, чем для жилой застройки значения эмиссии техногенного тепла.

Анализ диаграммы, отображающие структуру приходных частей теплового баланса Москвы в пределах МКАД в июле и январе (рис. 7) позволяет сделать вывод, что летом основную часть тепла деятельная поверхность и приземный слой атмосферы получает за счет поглощения солнечной радиации. Вклад техногенной эмиссии тепла при этом составляет 12.4%. Зимой суммарная радиация сокращается, альbedo увеличивается в несколько раз, резко увеличивается потребление тепловой и электрической энергии. В результате ведущая роль в тепловом балансе переходит от поглощенной солнечной радиации к эмиссии техногенного тепла, доля которого превышает 2/3 от всей суммы приходных частей теплового баланса приземного слоя атмосферы.

Город, создавая собственные дополнительные потоки энергии, перераспределяет и естественные потоки, что показывает анализ структуры положительных аномалий теплового баланса (рис. 8). Летом положительная аномалия более чем наполовину формируется за счет преобразования физических свойств поверхности деятельного слоя, а в зимнее время основной причиной формирования положительной аномалии теплового баланса является эмиссия техногенного тепла в окружающее пространство.

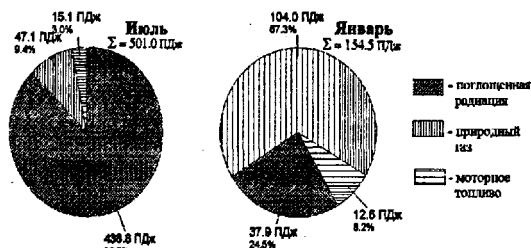


Рис. 7. Соотношение приходных частей теплового баланса Москвы (ПДж = 10^{15} Дж)

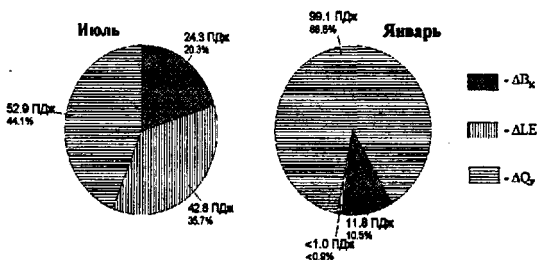


Рис. 8. Структура положительных аномалий теплового баланса: ΔB_K - аномалия поглощенной радиации, ΔLE - аномалия расхода тепла на испарение, ΔQ_F - техногенный тепловой баланс (ПДж = 10^{15} Дж)

Ведущей причиной возникновения положительной аномалии в летнее время является уменьшение затрат тепла на испарение (LE). В зимнее время, когда затраты на испарение незначительны, аномалия LE между Москвой и областью составляет менее 1% от суммарной аномалии. Аномалия поглощенной радиации также сокращается из-за низких значений суммарной радиации, даже несмотря на увеличение контраста значений альбедо между Москвой и пригородами.

В **Заключении** приведены основные результаты диссертационного исследования и сформулированы выводы работы.

Выводы

1. За счет техногенного загрязнения атмосферы прямая солнечная радиация в Москве ниже, чем на прилегающих к ней территориях. Рассеянная радиация при различных условиях облачности либо одинакова, либо в Москве больше, чем в пригороде. В результате размер приходящей к поверхности деятельного слоя суммарной радиации в городе и области практически не отличается. Различия составляют не более 2%, что укладывается в погрешность инструментальных измерений.

2. Различия в тепловом балансе приземного слоя атмосферы во многом связаны с техногенным преобразованием физических свойств земной поверхности. В результате градостроительного освоения территории ее альbedo уменьшается. Среднее альbedo территории Москвы в пределах МКАД составляет летом 16%, зимой - 36.4%. Для застроенных территорий эти значения составляют соответственно 15.1 и 31.9%. Контраст альbedo Москва-Подмосковье в летнее время составляет 1.7%, в зимние месяцы - 16.2%, что приводит к формированию на территории города аномалии баланса коротковолновой радиации.

3. Наличие в городе искусственных водонепроницаемых поверхностей и отвод части поверхностного стока системой ливневой канализации оказывает значительный эффект на климатические условия. На испарение с территории Москвы в среднем за теплый период недорасходуется около 90 МДж/м² в месяц, в т.ч. в июле - 48 МДж/м². Снижение затрат тепла на испарение приводит к увеличению потока тепла от поверхности деятельного слоя в атмосферу в виде потоков явного тепла и ИК излучения, усиливая положительную аномалию теплового баланса приземного слоя атмосферы.

4. Потоки техногенного тепла на территории Московского мегаполиса из-за расходования большого количества энергоресурсов по своим размерам сопоставимы с естественными составляющими теплового баланса.

5. Техногенный тепловой баланс имеет как приходные, так и расходные компоненты. За год с территории города отводится 122.5×10^{15} Дж тепловой энергии. Зимой этот компонент сопоставим с балансом коротковолновой радиации.

6. Тепловой баланс города летом формируется в основном за счет поглощения солнечной радиации. Летние аномалии теплового баланса города более чем на половину формируются за счет техногенного преобразования физических свойств поверхности деятельного слоя. Зимой в тепловом балансе ПСА и его аномалии ведущим фактором является техногенное потребление энергии.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Оценка устойчивости природно-антропогенных территориальных комплексов (на примере г. Москвы). М.: Изд-во НИИПИ ЭГ. 1995. (в соавторстве).
2. Экологические проблемы реконструкции объектов массовой жилой застройки первого периода индустриального домостроения. Сб. докл. V Международной научно-практической конференции «Проблемы управления качеством окружающей среды». М.: Прима-Пресс-М. 2001. с. 206-210. (в соавторстве)
3. Экологическое решение вопроса по теплоснабжению Куркино // Энергосбережение. 2002. № 3. с. 50-54.
4. Санитарные правила и нормативы «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (СанПиН 2.1/2.1.1.984-00). М., Минздрав России. 2000 (в соавторстве)
5. Доклад о состоянии окружающей среды в Москве за 2000–2001 года. М.: изд-во НИИПИ ЭГ. 2002.84 С. (в соавторстве)
6. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды города Москва в 2002 году. М.: Изд-во РЭФИА. 2003.388 С. (в соавторстве)
7. Экология города (учебное пособие). - М.: Научный мир, 2004. 650 С. (в соавторстве).
8. Экологические решения в Московском мегаполисе. - Смоленск: Маджента. 2004.574 С. (в соавторстве).
9. Расход тепла со стоками в г. Москве // Вестник МГУ. Сер. 5: География. 2004. № 6. с. 44-49.
10. Urban heat budget and waste water discharge in Moscow // Proc. 5-th Symp. of Urban Environment. 23-28 Aug. 2004. Vancouver. Canada.
11. Влияние мегаполиса Москвы на величину испарения // Метеорология и гидрология. 2005. № 1, в печати.

Издательство ООО "МАКС Пресс".

Лицензия ИД № 00510 от 01.12.99 г.

Подписано к печати 19.10.2004 г.

Формат 60x90 1/16. Усл.печ.л. 1,5. Тираж 200 экз. Заказ 1059.

Тел. 939-3890,939-3891,928-1042. Тел./факс 939-3891.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова.

2-й учебный корпус, 627 к.

№ 27299