

«Сокращение углеродных выбросов на уровне сообщества»: методы расчета, характеристики выбросов и пути реализации

LI Xiaojang, LÜ Xiaobei, SHAO Ling, YU Miao, XIAO Yinghe, HU Jingjing, ZHOU You, SHI Shuai

Аннотация. В условиях достижения целей пика выбросов и углеродной нейтральности Китай развернул масштабные меры по сокращению выбросов. Города, являющиеся основными центрами энергопотребления и углеродных выбросов, несут ключевую ответственность, однако эффективные механизмы декарбонизации на уровне сообществ еще не выработаны. В статье предлагается модель расчета углеродных выбросов городских сообществ, основанная на поведении жителей. Ее применение к пяти сообществам Шанхая, Шэньчжэня, Чунцина и Цюйчжоу позволяет выявить различия в структуре выбросов. Результаты показывают, что на объем выбросов существенно влияют как социально-экономические факторы — уровень доходов, повседневные практики и модели проживания, — так и физико-пространственные факторы — степень функциональной смешанности, строительные технологии и планировочно-архитектурные решения. На этой основе предложены основные пути декарбонизации: улучшение локального микроклимата, применение адаптированных зеленых строительных технологий, развитие экологичной мобильности, продвижение низкоуглеродных моделей жизни и потребления, а также усиление государственной поддержки.

Ключевые слова: сокращение выбросов на уровне сообщества; углеродные выбросы; углеродный учет; зеленое обновление сообществ.

Классификационный индекс Китайской библиотечной классификации: TU984. Код документа: A. DOI: 10.16361/j.urpf.202405006. Номер статьи: 1000-3363 (2024) 05-0040-07.

* Статья является одним из основных результатов тематического исследования политики 2020-2021 гг. Китайского совета по международному сотрудничеству в области окружающей среды и развития (CCICED) «Крупные инновации в зеленых технологиях и механизмы их внедрения (этап II)». Проект возглавляли Китайская академия городского планирования и проектирования и Всемирный экономический форум (WEF); в нем участвовали Шэньчжэньский институт строительных исследований, Федеральное ведомство по охране окружающей среды Германии (UBA), Китайский совет бизнеса по устойчивому развитию и другие международные организации. Результаты были совместно опубликованы в 2021 г. CCICED, Программой развития ООН (ПРООН) и Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП).

В сентябре 2020 г. председатель КНР Си Цзиньпин объявил, что Китай достигнет углеродной нейтральности до 2060 г., вновь подтвердив решимость развивать зеленую экономику в логике экологической цивилизации. Исследования показывают, что уровень урбанизации к моменту пика выбросов может составить около 74 % [1]. Поэтому при дальнейшем продвижении урбанизации выбор траектории выхода на пик имеет принципиальное значение. Города, на которые возложены крупные стратегические задачи развития, являются одновременно ключевым рычагом и важнейшей модельной площадкой низкоуглеродного развития [2-3]. На них приходится около 85 % энергопотребления. Международный опыт показывает, что после достижения ВВП на душу населения порядка 10 тыс. долл. потребление энергии ускоряется (рис. 1). Энергетические потребности городской жизни будут продолжать расти, а по мере структурной перестройки экономики преобладание производственного потребления будет постепенно сменяться преобладанием бытового. Уровень потребления городских жителей Китая пока значительно ниже, чем в развитых

странах Европы и Северной Америки, поэтому будущий рост спроса повлечет дополнительное энергопотребление и выбросы. Следовательно, низкоуглеродное обновление сообществ, обладающих одновременно пространственной и социальной природой, с учетом поведения жителей является одним из ключевых направлений достижения климатических целей в жилом и строительном секторах [4].

При переходе к анализу декарбонизации городских сообществ обнаруживается, что единый подход к измерению и учету выбросов пока не сложился. В рамках проекта CCICED «Зеленое обновление сообществ в контексте целей пика выбросов и углеродной нейтральности: крупные инновации в зеленых технологиях и механизмы их внедрения» авторы системно разработали модель углеродного учета городских сообществ, проследили данные пяти типичных китайских сообществ и комплексно проанализировали факторы, влияющие на выбросы в процессе обновления. Задача исследования — выявить точечные, эффективные и доступные стратегии и технологии, способные обеспечить локальный вклад в качественное выполнение национальных климатических обязательств.

1 Значение сокращения выбросов сообществ в контексте углеродной нейтральности

1.1 Ключевая роль для городской декарбонизации и зеленого обновления сообществ

По мере роста запросов на лучшую жизнь выбросы сообществ, вероятно, продолжат увеличиваться. Доклад XIX съезда КПК переопределил основное противоречие китайского общества: вместо противоречия между «растущими материальными и культурными потребностями народа и отсталым общественным производством» оно стало описываться как противоречие между «растущей потребностью народа в лучшей жизни и неравномерным и недостаточным развитием». Лучшая жизнь означает больше материальных благ, потребления и энергии. В десяти китайских городах с высоким уровнем потребления — располагаемый доход на душу населения не менее 50 тыс. юаней — бытовое энергопотребление на душу за последние двадцать лет выросло в два-три раза (рис. 2). Без системного вмешательства потребление ресурсов и энергии, а также углеродные выбросы в городских сообществах могут значительно увеличиться и стать серьезным препятствием для достижения двойной климатической цели.

Зеленое обновление сообществ открывает широкий спектр возможностей для сокращения выбросов. С 2020 г. государство рассматривает обновление старых жилых районов как крупный социальный и развивающий проект [5]. К концу XIV пятилетки планируется в основном завершить реконструкцию нуждающихся в ней городских районов, построенных до конца 2000 г., — около 220 тыс. жилых комплексов. В июле 2020 г. шесть ведомств, включая Министерство жилищного и городско-сельского строительства и Государственную комиссию по развитию и реформам, совместно выпустили План действий по созданию зеленых сообществ. Документ предусматривает включение принципов зеленого развития во все этапы проектирования, строительства, управления и обслуживания и улучшение среды проживания на основе умеренности, простоты и низкой углеродоемкости. По мере реализации национальной стратегии углеродной нейтральности обновление сообществ будет получать больше государственной и финансовой поддержки, но ему необходима надежная научная база.

Рисунок 2. Динамика бытового энергопотребления на душу населения в десяти городах Китая
Источник: CCICED, проект «Зеленое обновление сообществ в контексте климатических целей: крупные инновации в зеленых технологиях и механизмы их внедрения», 2021.

1.2 Потребности и современное состояние исследований

1.2.1 Потребность в точном расчете углеродных выбросов сообщества

На основе Руководящих принципов МГЭИК по национальным инвентаризациям парниковых газов Китай разработал и опубликовал руководства по составлению инвентаризаций на уровне провинций и городов. Они охватывают пять групп: энергетику, сельское хозяйство, землепользование и лесное хозяйство, промышленные процессы и использование продукции, а также отходы; расчеты выполняются по общему потреблению и отраслевой статистике. Однако для сообщества, являющегося важной единицей действий по борьбе с глобальным изменением климата, единая система измерения пока не создана.

Выбросы сообщества обычно включают три компонента: прямые выбросы парниковых газов в его географических границах; косвенные выбросы, связанные с производством и транспортировкой потребляемых электроэнергии, тепла и других ресурсов; мобильные выбросы от трансграничных поездок и обращения с отходами. Ученые предложили разные модели, основными показателями которых служат энергопотребление, транспорт и отходы [6]. В некоторых исследованиях дополнительно учитываются дыхание людей, потребление пищи и одежды, использование воды [7] и компенсация за счет общественных зеленых насаждений [8]. Однако из-за отсутствия единой нормативной системы в Китае пока нет признанной методики оценки низкоуглеродности сообществ и стандартов для долгосрочного мониторинга их выбросов и хода строительства [9].

1.2.2 Потребность в дифференцированном развитии с учетом множества факторов

Исследования факторов углеродных выбросов на уровне сообщества немногочисленны и часто ограничены одним городом, поэтому выводы различаются. В работе Ян Сюаньмэй и соавт. [6] по 1 000 домохозяйствам Нанкина установлено, что основными факторами являются число постоянных жителей, поездки и площадь жилья. Исследование Чжу Сюэмэй и соавт. [10], охватившее 2 045 домохозяйств Гуанчжоу, выявило значительные различия по типу жилого района, группе доходов и площади жилья. Поэтому необходимо сравнивать сообщества разных городов и типов при единых методах и критериях, чтобы раскрыть внутренние причины различий.

1.2.3 Потребность в разнообразном применении зеленых технологий и низкоуглеродных моделей жизни

В последние годы китайские исследования технологий декарбонизации городских кварталов постепенно сформировали системы решений и стратегии внедрения, сочетающие эффективность и реализуемость [11]. Изучение сообществ находится на начальной стадии и развивается по двум направлениям. Первое обобщает зарубежные пилотные практики и предлагает энергоэффективные здания, новые источники энергии, экологические материалы, оптимизацию землепользования, зеленую мобильность и участие населения [12-13]. Второе систематизирует отечественный опыт: низкоуглеродное управление, энергетическую модернизацию зданий, инфраструктуру, культуру и образ жизни, благоустройство и комфортность [14]. В целом стратегии включают технологии и поведение, однако связь зарубежного опыта с китайской практикой остается слабой, а пилотные

проекты редко проходят оценку реального эффекта. Научность и результативность предлагаемых мер нуждаются в дальнейшей проверке.

Таким образом, исследования декарбонизации сообществ в Китае остаются фрагментарными: учет выбросов, их структура, факторы и стратегии изучаются разрозненно, что не позволяет сформировать надежную системную траекторию обновления. Настоящая работа исходит из поведения жителей и рассчитывает выбросы, связанные с энергией, поездками, питанием и одеждой, вычитая поглощение зеленых насаждений. На этой основе создается модель полного учета, анализируются пять сообществ и посредством межобъектного сравнения выявляются связи выбросов с социальными факторами и характеристиками застроенной среды. Результаты призваны поддержать выбор зеленых технологий и формирование низкоуглеродного поведения при обновлении сообществ.

1.3 Исследовательская схема зеленого обновления городских сообществ

Исследование проводит эмпирический анализ измерения, характеристик и факторов выбросов с точки зрения жителей. Сначала рассчитываются выбросы от энергопотребления, поездок и повседневного потребления — питания и одежды, — после чего вычитается поглощение зелеными насаждениями и формируется модель полного учета. Затем отбираются пять типичных сообществ в четырех городах, анализируются их структуры выбросов и посредством горизонтального сравнения выявляются внутренние связи между выбросами, социальными факторами и застроенной средой. Эта схема должна обеспечить технологическую и поведенческую поддержку зеленого обновления.

2 Построение модели учета углеродных выбросов сообщества с позиции поведения жителей

2.1 Четыре измерения расчета

Выбор измерений опирается на существующие исследования и доступность данных полевого обследования. В итоге выделены четыре блока: энергопотребление сообщества, поездки жителей, повседневная жизнь, связанная с питанием и одеждой, и поглощение зелеными насаждениями. Первый блок учитывает выбросы при производстве и транспортировке основных энергоресурсов, потребляемых внутри сообщества. Второй включает выбросы всех поездок жителей, даже совершаемых за пределами квартала. Третий оценивает полный цикл обращения с отходами и потребления пищи. Четвертый рассчитывает поглощение углерода зелеными пространствами.

2.2 Построение модели и выбор параметров

Модель сформирована на основе существующих методов углеродного учета, адаптирована к доступным локальным данным и скорректирована с учетом параметров, приведенных в литературе. Итоговое уравнение:

$$E = E_e + E_m + E_l - E_g$$

E — общие выбросы сообщества; E_e — выбросы, связанные с энергопотреблением; E_m — выбросы поездок; E_l — выбросы повседневной жизни, питания и одежды; E_g — поглощение зелеными насаждениями.

2.2.1 Расчет выбросов от энергопотребления сообщества

Общий объем энергетических выбросов (E_e) включает полный цикл производства, транспортировки и использования трех основных ресурсов — электроэнергии, газа и воды.

$$E_e = E_{\text{электричество}} + E_{\text{газ}} + E_{\text{вода}}$$

$$E_{\text{электричество}} = Q_{\text{электричество}} \times f_{\text{электричество}}$$

$$E_{\text{газ}} = Q_{\text{газ}} \times f_{\text{газ}}$$

$$E_{\text{вода}} = Q_{\text{вода}} \times f_{\text{вода}}$$

Q — общий объем потребления соответствующего ресурса, f — его коэффициент выбросов. Для газа используется $2,2 \text{ кг/м}^3$ [15], для воды — $0,3 \text{ кг/т}$ [16]. Поскольку коэффициенты региональных электросетей существенно различаются, для каждого сообщества применяется коэффициент его энергосистемы^①.

2.2.2 Расчет выбросов от поездок жителей

Общий объем выбросов от поездок (E_m) равен сумме выбросов всех индивидуальных перемещений, начинающихся или заканчивающихся в пределах сообщества.

$$E_m = \sum k A_k \cdot L_k \cdot GHG_k$$

A_k — частота поездок на виде транспорта k ; L_k — расстояние; информация о частоте получена из опросов, о расстоянии — из данных мобильной сигнализации. GHG_k — коэффициент выбросов соответствующего вида транспорта (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты выбросов различных видов транспорта

Вид транспорта	Исследование Пекина	Исследование Гуанчжоу	Исследование дорожного транспорта Шэньчжэня	Исследование маятниковых поездок Шанхая
Легковой автомобиль	0,2500	0,2331	0,240	0,1630
Рельсовый транспорт	0,0286	0,0209	0,026	0,0073
Обычный автобус	0,0540	0,0260	—	0,0213
Велосипед	0,0072	—	—	0,0153
Грузовой автомобиль	—	—	0,388	—
Служебный автобус	—	0,0203	—	0,0266

Единица: $\text{кг CO}_2/(\text{чел.} \cdot \text{км})$. Источник: проект CCICED «Крупные инновации в зеленых технологиях и механизмы их внедрения».

2.2.3 Расчет выбросов от питания, одежды и повседневной жизни

Соответствующие выбросы (E_l) включают прежде всего полный цикл обращения с твердыми отходами и сточными водами, а также выбросы, связанные с потреблением пищи.

$$E_l = E_{\text{твердые отходы}} + E_{\text{сточные воды}} + E_{\text{питание}}$$

$$E_{\text{твердые отходы}} = W_{\text{твердые отходы}} \times f_{\text{твердые отходы}}$$

$$\text{Есточные воды} = W_{\text{сточные воды}} \times f_{\text{сточные воды}}$$

$$\text{Епитание} = P \times f_{\text{питание}}$$

Wтвердые отходы и Wсточные воды — объемы образования отходов и стоков; f — соответствующие коэффициенты выбросов. Для твердых отходов используется локальное значение; в районах с раздельным сбором принимается европейско-американский ориентир 0,62 кг/кг. Коэффициент очистки сточных вод составляет $6,7 \times 10^{-4}$ кг/кг [4]. P — плотность населения; $f_{\text{питание}}$ — среднегодовой объем выбросов от потребления пищи на одного человека, 62,8 кг/(чел.·год) [3].

2.2.4 Расчет поглощения зелеными насаждениями

Общий объем поглощения зелеными насаждениями (E_g) определяется главным образом для зеленых пространств значительного размера.

$$E_g = O \times T \times S$$

O — поглощение CO_2 зелеными насаждениями, принятое равным 62 г/(м²·сут) [17]; T — число дней эффективного фотосинтеза в соответствующем городе; S — площадь зеленых насаждений.

3 Эмпирическое исследование и анализ характеристик выбросов

3.1 Выбор сообществ с учетом социальных и физических факторов

3.1.1 Отбор разнотипных случаев

При отборе учитывались социальные и материальные условия. Факторы углеродных выбросов можно разделить на две группы. Социальные включают экономический уровень, структуру домохозяйств и модель проживания; физические — положение, планировочную структуру, качество зданий и применение зеленых технологий. Для комплексного анализа выбраны пять сообществ в четырех городах: Шибодзяюань и Цзинцзянюань в Шанхае, Хэи в Шэньчжэне, Дунтан в Цзяншане города Цюйчжоу и Хунъюйпо в Чунцине.

3.1.2 Социально-экономические и физико-пространственные условия

Пять сообществ заметно различаются по материальным и социальным характеристикам (табл. 2). Шибодзяюань и Цзинцзянюань — стандартные жилые сообщества Шанхая, расположенные близко друг к другу примерно в 15 км от центра, обеспеченные рельсовым транспортом и полноценным кругом повседневных услуг. Основной тип домохозяйства — нуклеарная семья. Главное различие связано со строительными технологиями: в Шибодзяюане применены теплоизоляционные стены и двухслойное остекление.

Хэи в Шэньчжэне — недавно сформировавшееся арендное сообщество городского поселения рядом с промышленным парком. Здесь живут главным образом молодые производственные рабочие; площадь жилья на человека мала, общественных услуг недостаточно. Дунтан в Цзяншане — старое сообщество частной собственности с низкими доходами и наиболее низкими уровнями образования и доходов. Оно примыкает к объектам центра города, но качество зданий и муниципальной инфраструктуры низкое. Хунъюйпо в Чунцине — старое сообщество дворового типа при бывшей производственной единице, с выраженным старением населения. Оно расположено в центральном районе и удобно связано рельсовым транспортом, но качество общественной среды и объектов обслуживания невысоко.

Таблица 2. Экономические, социальные, физические и пространственные условия исследуемых сообществ

Показатель	Шибодзяюань	Цзинцзянюань	Хэи	Дунтан	Хунъюйпо
Тип	Стандартное городское сообщество с низкоуглеродными технологиями	Стандартное городское сообщество без низкоуглеродных технологий	Молодое арендное сообщество городского поселения	Старое сообщество с низкими доходами	Стареющее сообщество дворового типа при производственной единице
Расположение	Поселок Пуцзян, район Миньхан, Шанхай	Поселок Пуцзян, район Миньхан, Шанхай	Подрайон Шацзин, район Баоань, Шэньчжэнь	Центр старого города Цзяншань	Район Цзюлунпо, Чунцин
Период строительства	2006	2004	2010	1990-е годы	1970-1980-е годы
Численность жителей	10 119	6 268	Около 9 000	1 734	Около 16 000
Уровень доходов	Средне-высокий	Средний	Относительно низкий	Относительно низкий	Средний
Структура домохозяйств	Нуклеарные семьи	Нуклеарные семьи	Одинокие или парные арендаторы	Нуклеарные семьи	Расширенные семьи
Доля жителей 60+	35 %	22 %	1 %	13 %	60 %
Доля аренды	20 %	29 %	98 %	0 %	60 %
Форма собственности	Коммерческое жилье	Коммерческое жилье	Сельская коллективная собственность	Частная собственность	Смешанная: частная собственность и коммерческое жилье
Условия расположения	15 км от центра	15 км от центра	Непосредственно у промышленной зоны	Центр города	Традиционный торговый центр города

Показатель	Шибодзяюань	Цзинцзянюань	Хэи	Дунтан	Хунъюйпо
Общественные зеленые пространства	Центральный парк и озеленение между группами зданий	Центральный парк и озеленение между группами зданий	Нет парков и зеленых зон	Разрозненное озеленение	Озеленение между группами зданий
Этажность	Среднеэтажные и небольшие высотные здания	Среднеэтажные здания	Среднеэтажные здания	Малоэтажные здания	В основном небольшие высотные, отдельные среднеэтажные здания
Качество зданий	Хорошее	Хорошее	Хорошее	Низкое	Низкое
Низкоуглеродные технологии	Да	Нет	Нет	Нет	Нет

3.2 Расчет и анализ выбросов повседневной жизни жителей

3.2.1 Сбор данных и методика расчета

Сбор данных может осуществляться сверху вниз или снизу вверх. В настоящем исследовании используется главным образом восходящая выборочная схема. Для 2020 г. собраны среднемесячные значения потребления электроэнергии, воды и газа домохозяйствами пяти сообществ. Частота и расстояния поездок определены по данным мобильной сигнализации; транспортные режимы оценены по исследованиям долей видов транспорта для преобладающих расстояний. Сведения об отходах и потреблении пищи предоставлены сообществами и управляющими компаниями. Модель рассчитывает годовые выбросы на душу населения, выбросы на единицу жилой площади и структуру по четырем измерениям.

3.2.2 Объем и структура выбросов

Пять сообществ существенно различаются по уровню и структуре, образуя три класса выбросов и два основных профиля (рис. 3). Два шанхайских сообщества имеют высокий показатель на душу населения — примерно вдвое выше остальных. Хунъюйпо занимает промежуточное положение; Хэи и Дунтан относятся к низкоуглеродным. Разрыв между классами обусловлен прежде всего энергопотреблением, затем поездками. В шанхайских случаях энергетические выбросы в три-четыре раза выше, чем в остальных, и выбросы поездок также заметно выше. В блоке повседневной жизни основной вклад связан с обработкой отходов; отдельный сбор снижает выбросы в Шанхае. Два шанхайских сообщества и Хунъюйпо имеют отдельные концентрированные зеленые пространства, но их площадь и поглощение невелики.

По выбросам на единицу жилой площади также выделяются три уровня (рис. 4). Значения двух шанхайских сообществ и Хунъюйпо близки; высокоплотное Хэи заметно превосходит остальные; старое низкодоходное сообщество Дунтан имеет наиболее низкое значение.

Структурно сообщества делятся на два типа: с доминированием энергопотребления и с доминированием повседневной жизни. В Шанхае и Хунъюйпо энергия составляет примерно 40-55 % выбросов, поездки — 20-30 %, питание, одежда и повседневная жизнь — 20-40 %. В Хэи и Дунтан последний блок доминирует с долей 50-65 %, энергия составляет около 30 %, а поездки имеют наименьший вес; в Дунтане их доля ниже 5 %. Во всех пяти случаях поглощение зелеными насаждениями невелико и почти не меняет общую структуру; относительный эффект несколько выше в Хунъюйпо из-за меньшего общего объема выбросов.

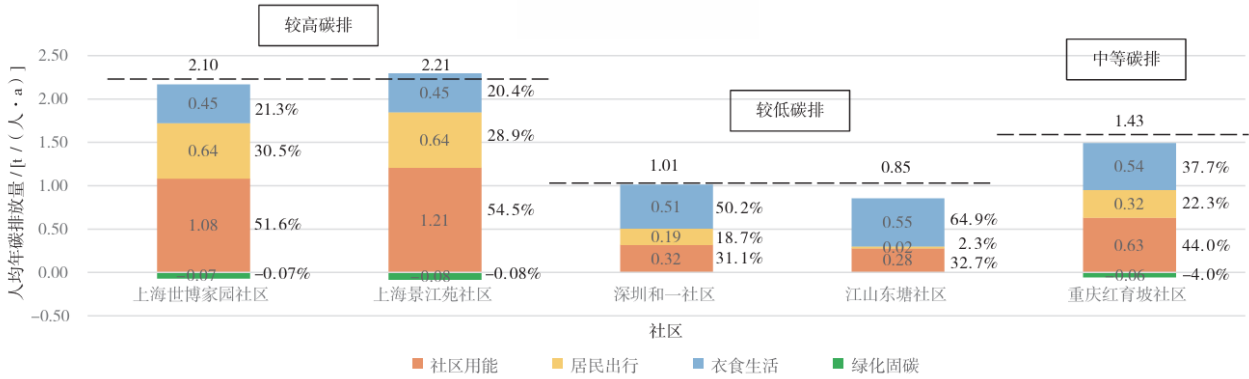


Рисунок 3. Структура годовых углеродных выбросов на душу населения в исследуемых сообществах

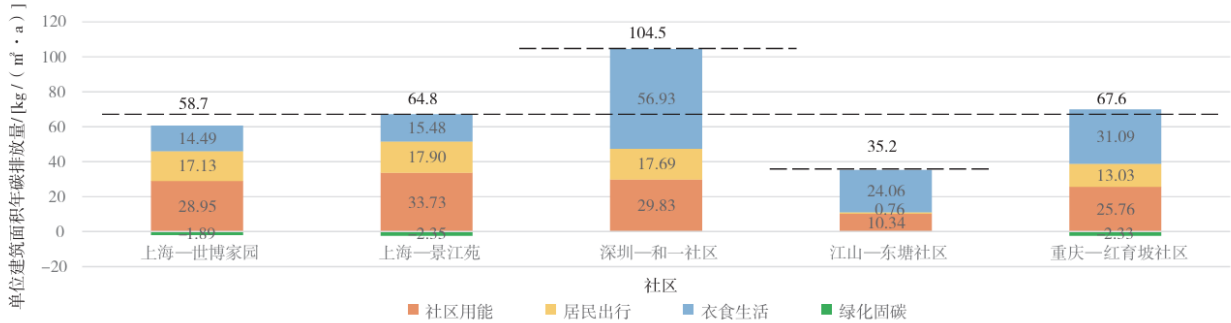


Рисунок 4. Структура годовых углеродных выбросов на единицу жилой площади в исследуемых сообществах

3.3 Факторы выбросов в пяти типичных сообществах

3.3.1 Социальные факторы

При нынешнем уровне экономического развития более высокие доходы связаны с большими выбросами на душу. Исследования описывают перевернутую U-образную зависимость экономического роста и выбросов [18-19], с точкой перелома при ВВП на душу порядка 100-180 тыс. юаней [13, 20-21]. До этого уровня выбросы домохозяйств растут вместе с ВВП. Все рассмотренные сообщества ниже порога, поэтому бытовые потребности продолжают увеличиваться с доходами. Шибодзяюань и Цзинцзянюань характеризуются наиболее высокими доходами, большой жилой площадью на человека, более активным использованием бытовой техники, более высокой

автомобилизацией и долей моторизованных поездок, что увеличивает выбросы. В Дунтане экономический уровень города ниже, а в Хэи большинство арендаторов — рабочие соседних электронных предприятий; их меньшие доходы и потребление приводят к меньшим выбросам.

Повседневное поведение также играет заметную роль. Возрастная структура, тип семьи и доля аренды изменяют энергетические привычки. Хунъюйпо — стареющее сообщество с более экономным поведением и умеренными выбросами. В Хэи преобладают арендаторы, которые рано уходят и поздно возвращаются, поэтому локальное энергопотребление невелико. Различия проявляются и внутри одного сообщества: в Шибодзяюане пожилые жители, обладающие более сильной мотивацией к энергосбережению, потребляют примерно на 15 % меньше обычных семей.

Модель проживания существенно влияет на выбросы на единицу площади. Шибодзяюань, Цзинцзянюань и Хунъюйпо — обычные жилые кварталы или бывшие дворы производственных единиц, занятые главным образом семьями. Несмотря на различия в интенсивности энергопотребления и поездках, выбросы на квадратный метр у них близки. Хэи — высокоплотное городское поселение с почти полной арендой, где площадь на человека менее трети шанхайской; даже при низком личном потреблении выбросы на площадь значительно выше. В Дунтане слабо развиты сети, жители чаще используют естественные источники воды и вентиляцию, поэтому выбросы на площадь примерно вдвое ниже обычных жилых районов. Влияние модели проживания, однако, сложно и связано также со структурой населения и смешанностью землепользования.

3.3.2 Физические факторы

Высокая функциональная смешанность вокруг сообщества способствует снижению выбросов. Баланс мест труда и жилья на малом расстоянии значительно сокращает поездки. Хэи находится рядом с промышленной зоной и относительно сбалансировано: 75 % жителей перемещаются не более чем на 3 км, преимущественно пешком или на электровелосипедах. Хунъюйпо и Дунтан расположены в центре города, хорошо обеспечены услугами и общественным транспортом, поэтому поездки коротки и их доля в выбросах мала. Напротив, два шанхайских сообщества находятся на периферии, где рабочих мест меньше, чем жилья; среднее расстояние превышает 10 км, а доля транспортных выбросов максимальна. Улучшение баланса труда и жилья способно существенно снизить общие выбросы.

Энергоэффективные строительные технологии дают очевидный эффект, однако необходимо учитывать стоимость и обслуживание. При сходном расположении и демографической структуре Шибодзяюань потребляет меньше энергии на человека, чем Цзинцзянюань, благодаря зеленым технологиям. Но недостаточная зрелость некоторых решений требует периодического ремонта фасадов и кровель и повышает последующие расходы. Поэтому зрелость технологии и стоимость жизненного цикла должны включаться в выбор.

Планировка и архитектурное проектирование также влияют на выбросы. Исследования [22-23] показывают значимость расположения, плотности и высоты зданий. Научно обоснованная композиция улучшает условия проживания, снижает потребность в искусственном освещении и температурном регулировании и тем самым уменьшает энергопотребление. В шанхайских сообществах электропотребление на человека в высотных зданиях в 1,3 раза выше, чем в среднеэтажных.

Прямая способность зеленых насаждений к поглощению ограничена, но их косвенное влияние на микроклимат и образ жизни существенно. Хорошо организованные зеленые пространства в сочетании с качественными общественными объектами привлекают жителей на улицу и уменьшают

потребление внутри жилья. Центральный парк и площадь Шибодзяюаня регулярно используются пожилыми и детьми.

4 Пути сокращения углеродных выбросов городских сообществ

Китайский и зарубежный опыт показывает, что декарбонизация основана прежде всего на зеленых низкоуглеродных технологиях и зеленых моделях жизни (рис. 5). Технологии воздействуют на физическое пространство, оборудование и инструменты, повышая энергоэффективность и долю зеленой энергии. Энергетические меры включают улучшение микроклимата, зеленую модернизацию зданий и возобновляемые источники; транспортные — оптимизацию организации и низкоэмиссионные виды; бытовые — интеллектуальные системы энергосбережения и сортировку отходов; поглощение — увеличение озеленения и посадку растений с высоким потенциалом углеродного поглощения.

Зеленые модели жизни сокращают выбросы через изменение поведения. Они предполагают меньшее использование приборов и большее пребывание на природе, общественный транспорт, совместные поездки и удаленную работу, экономию ресурсов и низкоуглеродное питание. Технологии обладают большим и более стабильным потенциалом; поведенческие изменения требуют институционального сопровождения.

С учетом опросов жителей, опыта зеленого обновления и потенциала разных сообществ предлагаются меры в четырех областях — пространственном планировании, строительных технологиях, мобильности и потреблении — при трансверсальной поддержке государственной политики.

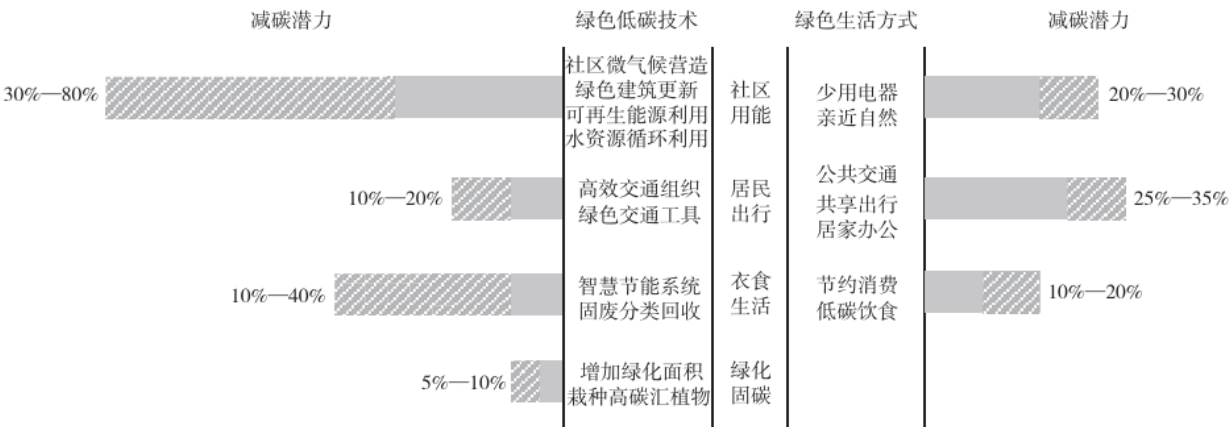


Рисунок 5. Потенциал сокращения углеродных выбросов различных мер на уровне сообщества

4.1 Улучшение микросреды сообщества

Форма сообщества влияет на энергетические практики и суммарные выбросы. Приоритетны несколько направлений. Во-первых, средняя этажность и средняя плотность [24], позволяющие сбалансировать плотность и качество среды и снизить эксплуатационные расходы и энергопотребление жизненного цикла. Во-вторых, небольшие кварталы и плотная уличная сеть, повышающие связность и число общественных интерфейсов, создающие комфортную пешеходную среду и уменьшающие использование автомобиля. В-третьих, организация услуг по принципам транзитно-ориентированного развития (TOD) и разнообразные зеленые способы подвоза. В-четвертых,

регулирование микроклимата водными объектами, деревьями, вертикальным озеленением и иными экологическими ландшафтными решениями.

4.2 Продвижение зеленых строительных технологий

Здания — важнейший рычаг снижения энергопотребления. Во-первых, следует сокращать выбросы на всем цикле строительства и эксплуатации: использовать местные низкоуглеродные, неполлютантные и малоэнергоёмкие материалы, в том числе сертифицированные; увеличивать долю сборного строительства и отделки; повышать эффективность путем замены дверей и окон, установки солнцезащиты, утепления и применения светлых отделок.

Во-вторых, необходимо развивать энергоэффективные приборы и распределенную энергетику. При обновлении пустующие участки можно использовать для дополнительных энергетических станций, интегрирующих традиционные источники, распределенную генерацию и накопители. Интеллектуальное управление должно обеспечивать баланс спроса и предложения в реальном времени.

В-третьих, следует развивать объемное озеленение зданий: кровли, пространства на опорах, балконы, подоконники, фасады и другие поверхности могут быть озеленены с учетом конструкций, систем обслуживания и подбора растений.

4.3 Изменение транспортного поведения

Сокращение выбросов транспорта включает изменение видов поездок и энергетического баланса. Автомобили на новых источниках энергии составляли лишь 3,23 % национального парка [25], поэтому энергетический переход не может сразу стать главным фактором. В краткосрочной перспективе нужно повышать долю зеленой мобильности и сокращать число и расстояния поездок посредством эффективной пространственной организации; в долгосрочной — оптимизировать энергетическую структуру транспорта.

Во-первых, необходимо повысить качество ходьбы и велосипеда: удобство, комфорт и безопасность связей между домом и остановками через переходы, общественные здания и открытые пространства; с учетом рельефа и климата создавать вертикальные связи, крытые галереи и непрерывные защищенные маршруты.

Во-вторых, следует оптимизировать пересадки на автобусы и рельсовый транспорт. Выделенные пути для немоторизованных видов, дополнительные выходы из жилых комплексов, новые остановки и входы на станции повышают привлекательность общественного транспорта. В часы пик локальные шаттлы могут улучшить связность и реальный охват.

В-третьих, необходима тонкая настройка совместной мобильности: число и масштаб средств должны определяться по спросу, чтобы повышать коэффициент использования.

4.4 Оптимизация образа жизни и потребления

Изменение образа жизни и потребления — один из наиболее долговременных способов сокращения выбросов. Его следует начинать заранее, повышая принятие зеленых практик и продвигая экономию воды, сортировку отходов и сокращение пищевых потерь.

Выделяются три направления. Первое — низкоуглеродное потребление: снижение углеродоемкости товаров и процессов, выбор энергоэффективных, малоэмиссионных и долговечных продуктов, зеленой мобильности и питания. Второе — сокращение использования: уменьшение частоты и интенсивности применения бытовой техники, транспорта и других устройств. Третье —

сокращение углеродной цепочки: изменение мест и режимов работы, учебы и жизни для снижения выбросов от ежедневных поездок.

4.5 Усиление политической поддержки

Политическая поддержка охватывает энергетику, строительство, домохозяйства и индивидов, транспорт и городское хозяйство. В энергетике важны ценовые механизмы, увеличение разницы между тарифами пиковых и внепиковых часов, субсидии на энергосберегающие технологии и продукцию и активизация рынка распределенной генерации.

В строительстве необходимы методы и система управления для мониторинга и оценки всего жизненного цикла — проектирования, строительства, эксплуатации и демонтажа — и полноценное управление зелеными зданиями. Можно создать стимулы для домохозяйств и граждан: высокоэффективные семьи включать в специальные налоговые вычеты; домохозяйствам с чрезмерным потреблением предоставлять субсидии на модернизацию при последующем мониторинге.

В транспорте возможны баллы или кредиты за низкоуглеродные поездки, субсидии на утилизацию старых автомобилей, льготы для низкоэмиссионных транспортных средств и пилотные зоны низких выбросов.

В городском хозяйстве реформа тарифов на воду и ступенчатые цены должны стимулировать экономию и эффективность. Необходимо совместно управлять водными ресурсами и энергопотреблением водоснабжения и водоотведения на уровнях города и сообщества. Интеллектуальное дифференцированное управление питьевой, дождевой и повторно используемой водой повысит системную эффективность и снизит потребление и выбросы.

Наконец, следует совершенствовать контроль сортировки отходов, вводить поощрения и санкции для повышения качества разделения, реформировать плату за обработку для сокращения отходов у источника и ускорять создание системы вторсырья. Рыночные механизмы и участие социального капитала должны увеличивать переработку и уменьшать остаточные отходы.

5 Заключение

Сообщество является основным пространством городской жизни и проживания. Совмещение повышения качества жизни с климатическими целями — важнейшая задача обновления. Без раннего вмешательства через зеленые технологии и низкоуглеродные модели жизни декарбонизация сообществ останется длительной трудностью городского и сельского строительства.

Исходя из этого, исследование сосредоточено на практической реализации зеленых технологий, учитывает социально-экономические и физико-пространственные факторы и количественно анализирует пять сообществ в четырех городах, выявляя будущие тенденции и сложности декарбонизации. Получены четыре основных результата: ① модель углеродного учета, соответствующая доступности данных и долгосрочному мониторингу; ② выявление факторов поведенческих выбросов жителей; ③ технические рекомендации для зданий, энергетики, транспорта и городского хозяйства; ④ конкретные способы ориентации жителей на зеленый образ жизни. Эти выводы могут служить ориентиром для низкоуглеродного обновления и строительства китайских сообществ как в учете выбросов, так и в применении зеленых технологий.

Авторы выражают искреннюю благодарность Центру академической информации, Шанхайскому, Западному, Шэньчжэньскому и Транспортному филиалам Китайской академии городского планирования и проектирования, Институту экологической и муниципальной инженерии,

Шэньчжэньскому институту строительных исследований и всем участникам проекта за идеи, данные, техническую поддержку и помощь в исследовании.

Примечание

① Точное значение коэффициента выбросов электроэнергии взято из документа Министерства экологии и окружающей среды «Базовые коэффициенты выбросов региональных электросетей Китая для проектов сокращения выбросов за 2019 год».

Литература

- [1] ХЭ Чжэнь, У Чжицян, ВАН Цзыци и др. Траектории достижения пика выбросов и интеллектуальная урбанизация [J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 37-44.
- [2] ЧЖЭН Дэгао, У Хао, ЛИНЬ Чэньхуэй и др. Формирование городских единиц сокращения выбросов и интеграция планировочных технологий на основе углеродного учета [J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 43-50.
- [3] ЦЮ Баосин. Планирование путей сокращения углеродных выбросов в трех ключевых городских сферах [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 37-44.
- [4] ЮЙ Сяньюй, ХЭ Цзинъян, ЧЖУ Дань и др. Пути и практика низкоуглеродного обновления существующих сообществ: семь примеров Шанхая [J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 111-119.
- [5] ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ КПК; ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ. Руководящие мнения Канцелярии Государственного совета о комплексном продвижении реконструкции старых городских жилых районов [R], 2020.
- [6] ЯН Сюаньмэй, ГЭ Юсун, ЦЗЭН Хунъин. Углеродные выбросы домохозяйств на основе индивидуального потребительского поведения [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(5): 35-40.
- [7] ЛИ Ян. Углеродная оценка застроенной среды сообщества Overseas Chinese Town в Шэньчжэне [D]. Харбинский политехнический университет, 2013.
- [8] ЧЭНЬ Ша, ЛИ Ипэй, ЧЭН Липин и др. Исследование углеродных выбросов сообществ Пекина на основе оценки жизненного цикла [J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(S2): 5-9.
- [9] ФУ Линь, ЧЖАН Дунъюй, ЯН Сю. Система показателей оценки низкоуглеродных сообществ [J]. Environmental Protection, 2019, 47(15): 39-46.
- [10] ЧЖУ Сюэмэй, ЦЗЯН Хайянь, СЯО Жунбо и др. Характеристики углеродных выбросов жилых районов Гуанчжоу и выводы для низкоуглеродных сообществ [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S1): 19-23.
- [11] У Хао, ЛИНЬ Чэньхуэй, ЧЭНЬ Ян и др. Технологическая рамка и стратегия реализации сокращения выбросов городского квартала на основе управления полным циклом: пример цифрового промышленного парка Цзянхай в Шанхае [J]. Urban Planning Forum, 2022(S2): 59-65.
- [12] Е Чандун, ЧЖОУ Чуньшань. Рамка и формы строительства низкоуглеродных сообществ [J]. Modern Urban Research, 2010, 25(8): 30-33.
- [13] ГАО Инься, ВАН Цзиньян, ХЭ Маохэн. К вопросу о строительстве низкоуглеродных сообществ [J]. Environment and Sustainable Development, 2010, 35(3): 40-43.
- [14] ФУ Линь, ЯН Сю, ДИ Чжоу. Практика, опыт, вызовы и рекомендации пилотного строительства низкоуглеродных сообществ в Китае [J]. Environmental Protection, 2020, 48(22): 62-66.

- [15] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [R]. Япония: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [16] ЛО Тинвэнь. Характеристики и факторы углеродных и азотных выбросов от потребления городских домохозяйств Пекина [R]. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, 2007.
- [17] ВАН Цзюань, ЛИНЬ Иньдин. Экологические эффекты городских зеленых пространств [J]. Grassland and Turf, 2004(4): 24-27.
- [18] ЧЖУ Хуань, ЧЖЭН Цзе, ЧЖАО Цююнь и др. Экономический рост, трансформация энергетической структуры и выбросы диоксида углерода: эмпирический анализ панельных данных [J]. Research on Economics and Management, 2020, 41(11): 19-34.
- [19] СУН Тао, ЧЖЭН Тинго, ТУН Ляньцзюнь. Теоретический анализ и эконометрическая проверка связи загрязнения окружающей среды и экономического роста [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007(2): 156-162.
- [20] ФАН Чжун, ЧЖАН Хуарун. Провинциальная пороговая группировка и тест гетерогенности экологической кривой Кузнецца для углеродных выбросов Китая [J]. Review of Economic Research, 2019(21): 89-98.
- [21] ЦЗЯН Я. Взаимосвязь экономического роста, энергопотребления и углеродных выбросов в Китае: эмпирический анализ по данным ночного освещения DMSP/OLS [J]. Journal of Graduate Students, Zhongnan University of Economics and Law, 2017(6): 27-35.
- [22] ШАН Чуань. Влияние городской морфологии на уровне квартала на энергопотребление зданий на основе программного моделирования [D]. Юго-Восточный университет, 2019.
- [23] ДЯО Чжэ. Влияние планировки застройки кварталов старого Харбина на энергопотребление зданий [D]. Харбинский политехнический университет, 2018.
- [24] СУНЬ Цзюань. Интегрированная система методов планирования сокращения выбросов на уровне городского квартала [J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 102-109.
- [25] САЙТ ПРАВИТЕЛЬСТВА КНР. Национальный парк автомобилей на новых источниках энергии превысил 10 млн единиц [EB/OL]. 2022-07-06. http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/06/content_5699597.htm.

Переработанная версия: июль 2024 г.

Перевод выполнен с использованием ИИ