

Моделирование высот зданий урбанизированных территорий

И.В. Гиясова, Р.Б. Гиясов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: В статье приведен обзор исследований в области моделирования высот урбанизированных территорий. Диверсификация высот зданий приводит к неравномерному распределению параметров городского климата. Карты высот зданий могут способствовать улучшению управления городской средой. В рассмотренных работах изложены методы моделирования городского масштаба, основанные на распознавании изображений. Городские геометрические модели построены для городов ОАЭ, Китая, Германия, Японии. Исследования показывают, что для прогнозирования высоты здания можно использовать как радиолокационные, так и оптические модели, но синергетическое сочетание обоих источников данных приводит к наилучшим результатам. Однако, в настоящее время в глобальном масштабе не существует согласованного пространственного детального обследования распределения и концентрации строительного фонда. Знание вертикальных профилей наиболее урбанизированных городов должно дополнить горизонтальное понимание урбанизации и помочь устойчивому землепользованию и городскому планированию.

Ключевые слова: высотные здания, урбанизация, моделирование городского масштаба, городская морфология, микроклимат города, Google Earth, воздушный поток, тепловая среда, ветровая среда, расчёт высот зданий.

Быстрое развитие урбанизации сопровождается диверсификацией высот зданий. Города сталкиваются с проблемой неравномерного распределения параметров городского климата: температуры, скорости ветра, влажности, солнечной инсоляции и т.д. Возникают городские тепловые острова (УНТ), увеличивается потребление энергии зданиями. В этой связи, исследование влияния высоты зданий на городской климат имеет большое значение. Одним из подходов к исследованию данной проблемы является Computational Fluid Dynamics modeling (CFD моделирование). Существует пробел в моделировании городского масштаба как для исследований, так и для проектирования из-за сложного разнообразия зданий и дорогостоящей стоимости моделирования. Тем не менее исследования в этом направлении проводятся. Например, в работе [1] метод моделирования городского масштаба, основанный на распознавании изображений, был использован для

построения городской геометрической модели города Нанкин, Китай (площадь около 144 км² и около 140 тысяч зданий).

Высотная застройка оказывает далеко идущее воздействие на нашу окружающую среду. Однако открытая доступная информация с высоким пространственным разрешением по-прежнему отсутствует в целом по странам или регионам. В работе [2] выполнены исследования по отображению высот зданий для всей Германии на сетке 10 м (рис.1). Новизна этого метода заключается в очень тонком разрешении, но большой пространственной протяженности, к которой метод может быть применен, а также в использовании строительных теней в оптических изображениях. Результаты показывают, что для прогнозирования высоты

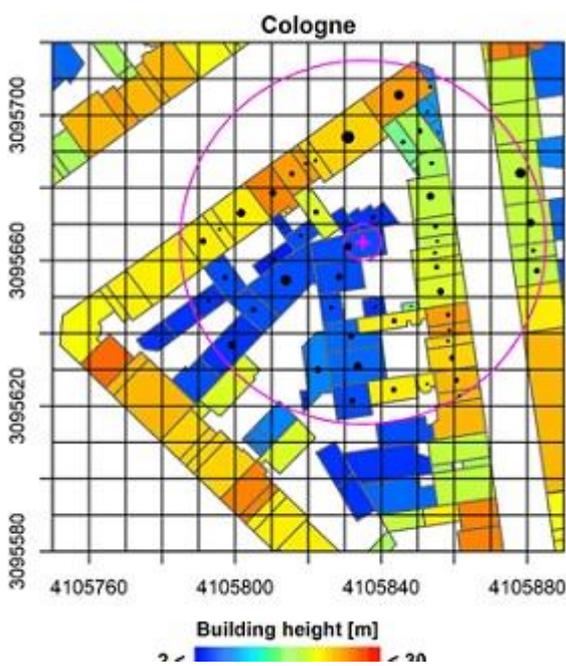


Рис.1. 2D представление небольшой части 3D модели зданий и основной принцип генерации выборки [2]

здания можно использовать как радиолокационные, так и оптические модели, но синергетическое сочетание обоих источников данных приводит к наилучшим результатам. Метод опирается на свободно доступные спутниковые снимки и программное обеспечение с открытым исходным кодом, которые потенциально допускают частые циклы обновления и экономически эффективное картографирование.

Для современных урбанизированных территорий ОАЭ температура воздуха в помещении и охлаждающая нагрузка сильно зависят от окружающей среды. Исследование влияния городской морфологии, в частности разнообразия высот, на охлаждающую нагрузку в местных

климатических условиях ОАЭ, выполнено в работе [3]. Результаты показывают, что ориентация является наиболее влиятельным фактором в охлаждающей нагрузке городского блока и энергопотреблении, что еще раз подчеркивает практическую значимость разработки моделей в городском масштабе.

Высоты зданий имеют большое значение для понимания функционирования городских систем. В Китае разработан метод оценки высоты здания на основе усовершенствованного спутника наблюдения земли (ALOS) "World 3D - 30m (AW3D30) DSM" и других вспомогательных данных включая набор данных Global Artificial Imperivious Area (GAIA), набор данных NASADEM и набор данных Global Roads Inventory Project (GRIP) [4]. Результатом работы стала карта высот зданий Китая с пространственным разрешением 30 м. Новая карта высот зданий Китая способствует улучшению управления городскими районами и дальнейшим исследованиям городской среды.

Рост количества высотных обуславливает необходимость оценки воздействия формы высотных зданий на человека: высоты, ширины и отношения высоты к ширине. Проводятся исследования, направленные на оценку угнетающего воздействия, вызванного изменениями формы высотных зданий у наблюдателей на разных расстояниях. Как показало исследование [5], влияние высоты здания на угнетённость было, как правило, более значительным, чем влияние ширины. Высокие здания высотой 60 м и выше и шириной 15 м и выше на улицах шириной 30 м и более налагают на наблюдателя наибольшее угнетение, которое может быть смягчено достаточным количеством растительности перед зданием.

В работе [6] основное внимание уделяется методу расчета высот зданий на основе небесной геометрии и инструментов сбора информации, предоставляемых Google Earth (рис. 2). Чтобы оценить точность метода,

сравниваются вычисленные высоты и измеренные высоты 21 здания, расположенного в Линьане (Китай). Среднеквадратичная погрешность и средняя погрешность метода также сравниваются с погрешностью другого метода расчета. Из приведенных выше сравнений делается вывод, что метод имеет три преимущества. Этот метод, во-первых, обеспечивает более высокую точность вычисления высот зданий с помощью одного изображения RS. Во-вторых, этот метод проще использовать из-за отсутствия необходимости в каких-либо профессиональных знаниях и каких-либо параметрах солнца и спутника. Наконец, этот метод экономичен, поскольку большинство изображений RS из Google Earth можно свободно использовать.

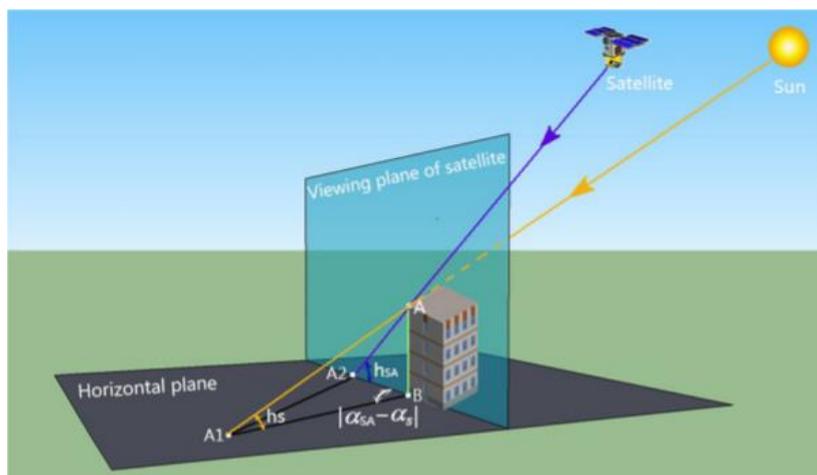


Рис. 2. Пространственное соотношение между зданием и тенью [6]

В настоящее время в глобальном масштабе не существует согласованное и пространственно детальное обследование распределения и концентрации строительного фонда. С целью заполнить этот пробел, разработан подход к отображению ключевых характеристик мирового строительного фонда на беспрецедентном уровне пространственной детализации для каждого отдельного поселения на планете [7]. Полученный набор данных World Settlement Footprint 3D количественно определяет долю, общую площадь, среднюю высоту и общий объем зданий для измерительной

сетки с размером ячейки 90 м. World Settlement Footprint 3D генерируется с использованием модифицированной версии маски World Settlement Footprint human settlement mask, полученной из спутниковых снимков Sentinel-1 и Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м в сочетании с цифровыми данными о высоте 12 м и радиолокационные снимки, собранные миссией "ТанДЕМ-Икс". Впервые получена глобальная информация об основных особенностях застройки в крупных городских агломерациях а также небольших сельских поселениях, что является основой для широкого спектра ранее невозможных экологических, социально-экономических и климатологических исследований во всем мире.

Горизонтальная городская экспансия уже давно относительно хорошо изучена, но знания о вертикальных профилях построенных сооружений остаются довольно ограниченными. В работе [8] предложена пространственная модель ансамбля и сопоставление высот зданий трех наиболее урбанизированных китайских городов (Пекин, Шэньчжэн, Шанхай). Модель построена на основе данных SAR Sentinel-1 с открытым доступом, биофизических индексов, полученных из мультиспектральных изображений Sentinel-2, и интенсивности ночного света (NTL). Шэньчжэнь имеет самые высокие и самые разнообразные вертикальные ландшафты, за которыми следует Шанхай, вертикальный профиль Пекина является самым низким и относительно однородным. Средняя высота зданий 37,63 м, 29,86 м, 19,21 м; коэффициент вариации равен 63,84%, 51,14%, 44,93% соответственно. Знание вертикальных профилей трех наиболее урбанизированных китайских городов дополняет горизонтальное понимание урбанизации и может помочь устойчивому землепользованию и городскому планированию.

Высотные здания ухудшают тепловую среду своего окружения через турбулентность ветра, охлаждение и чрезмерное нагревание [9-11]. В

данном исследовании определена роль и взаимосвязь геометрических (форма, ориентация, размер) и материальных (тип, объем) параметров в кондиционировании тепловой среды вокруг высотных зданий. Проведены полевые измерения в четырех широко разделенных высотных многоквартирных домах на разных высотах (675-1050 м над уровнем моря) в Бандунге, Индонезия. Как прямое наблюдение, так и моделирование показали, что различные ориентации зданий относительно солнца и ветра могут нагревать или охлаждать окружающие районы. Эффект паруса высотного здания, эффект аэродинамической трубы, турбулентность воздуха и высокоскоростной поток воздуха могут привести к неудобным условиям в окружающей среде, в зависимости от высоты здания. Высотные здания глубоко влияют на местные тепловые условия.

Неоднородность городского пространства в том числе и по высоте зданий увеличивает сложность наблюдений температуры городской поверхности и анализа энергообмена. Чтобы понять, как городская геометрия Гонконга влияет на распределение температуры поверхности, в работе [12] были использованы тепловые инфракрасные дистанционно воспринимаемые изображения с очень высоким пространственным разрешением. Результаты показывают, что городская геометрия оказывает большее влияние на температуру дороги, чем на температуру здания, а влияние геометрических параметров на температуру дорожного покрытия изменяется со временем суток и сезоном.

В Технологическом институте Ниигата (Япония) поставлен эксперимент в аэродинамической трубе по измерению скорости ветра и поверхностного давления модели группы городских блоков из малоэтажных зданий с высотным зданием в центре [13]. На основе полученных результатов проанализировано влияние высотных зданий на общую структуру потока и окружающую пешеходную ветровую среду. Наличие

высотных зданий резко меняет пешеходную ветровую среду вокруг зданий с точки зрения усредненных по времени и мгновенных свойств потока из-за сложного взаимодействия между потоками вокруг здания и в окружающих уличных каньонах и над ними. Высотные здания создают большую область, где нисходящий поток и уличный поток сталкиваются.

В результате анализа исследований можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время в глобальном масштабе не существует согласованного пространственного детального обследования распределения и концентрации строительного фонда;

- знание вертикальных профилей наиболее урбанизированных городов дополняет горизонтальное понимание урбанизации и может помочь устойчивому землепользованию и городскому планированию.

Литература

1. Xi, C., Ren, C., Wang, J., Feng, Z., & Cao, S.-J. Impacts of urban-scale building height diversity on urban climates: A case study of Nanjing, China // Energy and Buildings, 2021, №251, 111350. URL: doi:10.1016/j.enbuild.2021.111350

2. Frantz, D., Schug, F., Okujeni, A., Navacchi, C., Wagner, W., van der Linden, S., & Hostert, P. National-scale mapping of building height using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series // Remote Sensing of Environment, 2021, № 252, 112128. URL: doi:10.1016/j.rse.2020.112128

3. Shareef, S. The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale. The case study of Dubai // Building and Environment, 2021, №194, 107675. URL: doi:10.1016/j.buildenv.2021.10

4. Huang, H., Chen, P., Xu, X., Liu, C., Wang, J., Liu, C. Clinton, N., Gong, P. Estimating building height in China from ALOS AW3D30 // ISPRS Journal

of Photogrammetry and Remote Sensing 2022, № 185 (3), 146-157. URL: doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.01.022

5. Zarghami, E., Karimimoshaver, M., Ghanbaran, A., & Saadati Vaghar, P. Assessing the oppressive impact of the form of tall buildings on citizens: Height, width, and height-to-width ratio // Environmental Impact Assessment Review, 2019, № 79, 106287. URL: [doi:10.1016/j.eiar.2019.106287](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106287)

6. Qi, F., Zhai, J. Z., & Dang, G. Building height estimation using Google Earth // Energy and Buildings, 2016, №118, 123–132. URL: [doi:10.1016/j.enbuild.2016.02.044](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.044)

7. Esch, T., Brzoska, E., Dech, S., Leutner, B., Palacios-Lopez, D., Metz-Marconcini, A., Marconcini, M., Roth, A., Zeidler, J. World Settlement Footprint 3D - A first three-dimensional survey of the global building stock // Remote Sensing of Environment, 2022, № 270, 112877. URL: doi.org/10.1016/j.rse.2021.112877

8. Yang, C., Zhao, S. Urban vertical profiles of three most urbanized Chinese cities and the spatial coupling with horizontal urban expansion // Land Use Policy, 2022, №113, 105919. URL: doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105919

9. Nugroho, NY, Triyadi, S., Wonorahardjo, S. Effect of high-rise buildings on the surrounding thermal environment // Building and Environment, 2022, № 207, 108393. URL: doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108393

10. Yang, J., Shi, Q., Menenti, M., Wong, M. S., Wu, Z., Zhao, Q. Xu, Y. Observing the impact of urban morphology and building geometry on thermal environment by high spatial resolution thermal images // Urban Climate, 2021, №39, 100937. URL: [doi:10.1016/j.uclim.2021.100937](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100937)

11. Гиясова И.В. Влияние урбанизации на микроклимат города // Инженерный вестник Дона, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6808

12. Гиясов Б.И. Влияние современной городской застройки на энергоэффективность зданий // Инженерный вестник Дона, 2019, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6141

13. Tominaga, Y., Shirzadi, M. Wind tunnel measurement of three-dimensional turbulent flow structures around a building group: Impact of high-rise buildings on pedestrian wind environment // Building and Environment, 2021, № 206, 108389. URL: doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108389

References

1. Xi, C., Ren, C., Wang, J., Feng, Z., & Cao, S.-J. Energy and Buildings, 2021, №251, 111350. URL: doi:10.1016/j.enbuild.2021.111350

2. Frantz, D., Schug, F., Okujeni, A., Navacchi, C., Wagner, W., van der Linden, S., & Hostert, P. Remote Sensing of Environment, 2021, № 252, 112128. URL: doi:10.1016/j.rse.2020.112128

3. Shareef, S. Building and Environment, 2021, №194, 107675. URL: doi:10.1016/j.buildenv.2021.10

4. Huang, H., Chen, P., Xu, X., Liu, C., Wang, J., Liu, C. Clinton, N., Gong, P. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2022, № 185 (3), 146-157. URL: doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.01.022

5. Zarghami, E., Karimimoshaver, M., Ghanbaran, A., & SaadatiVaghar, P. Environmental Impact Assessment Review, 2019, № 79, 106287. URL: doi:10.1016/j.eiar.2019.106287

6. Qi, F., Zhai, J. Z., & Dang, G. Energy and Buildings, 2016, №118, 123–132. URL: doi:10.1016/j.enbuild.2016.02.044

7. Esch, T, Brzoska, E, Dech, S., Leutner, B., Palacios-Lopez, D., Metz-Marconcini, A., Marconcini, M., Roth, A., Zeidler, J. Remote Sensing of Environment, 2022, № 270, 112877. URL: doi.org/10.1016/j.rse.2021.112877



8. Yang, C, Zhao, S. Land Use Policy, 2022, №113, 105919. URL: doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105919
9. Nugroho, NY, Triyadi, S., Wonorahardjo, S. Building and Environment, 2022, № 207, 108393. URL: doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108393
10. Yang, J., Shi, Q., Menenti, M., Wong, M. S., Wu, Z., Zhao, Q., Xu, Y. Urban Climate, 2021, №39, 100937. URL: [doi:10.1016/j.uclim.2021.100937](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100937)
11. Giyasova I.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6808
12. Giyasov B.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6141
13. Tominaga, Y., Shirzadi, M. Building and Environment, 2021, № 206, 108389. URL: doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108389.