ПӘНДЕР АРАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ НАУКИ
INTERDISCIPLINARY SCIENCES

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), Том 3. С. 126–132
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24577726
Сайт журнала: https://cajournal.kz

УДК 711.4:712.4

ЭТАЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И ДРЕВЕСНЫЙ ПОКРОВ ВОКРУГ НИХ В АСТАНЕ: АНАЛИЗ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ OPENSTREETMAP И ESA WORLDCOVER

Д. Темирхан
Школа-гимназия № 31, Казахстан

Темирхан Дария — ученица, Школа-гимназия № 31, Казахстан.

Научный руководитель: Куракбай Мырзабек — Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Кванджу, Республика Корея.

© Д. Темирхан, 2026

Аннотация: Цель работы: проверить, связана ли этажность здания в Астане с долей деревьев вокруг него. Для 20 116 зданий, у которых в OpenStreetMap указано число надземных этажей, рассчитана доля клеток класса «древесный покров» карты ESA WorldCover 2021 в окне около 200 × 200 м вокруг здания; четыре группы этажности сравнивались по средним (доверительные интервалы по блочному бутстрепу), ранговыми критериями и линейной регрессией с поправкой на удалённость от центра, а расчёт повторён для других размеров окна и типов зданий. Доля древесного покрова оказалась выше всего около домов в 4-8 этажей (20,7 %), ниже около зданий в 1-3 этажа (13,4 %), ещё ниже около зданий в 9-15 этажей (9,4 %) и ниже всего около зданий в 16 и более этажей (5,7 %). Более низкая доля древесного покрова около зданий в 9 и более этажей по сравнению с домами в 4-8 этажей сохранилась во всех проверках. Работа показывает связь, а не причину, и её выводы относятся только к 40,3 % зданий города, у которых указана этажность; карта земного покрова относится к 2021 году.

Ключевые слова: городское озеленение, древесный покров, этажность застройки, Астана, OpenStreetMap, ESA WorldCover, открытые геоданные

Введение

Астана быстро растёт, и вопрос о том, где в нём сохраняется и где появляется зелень, имеет прямое отношение к планировке новых кварталов. Анализ градостроительного развития Астаны указывает на потерю зелёных и водных территорий, ускорившуюся в период реализации государственных инфраструктурных программ [1]. Эта оценка относится к городу в целом. В этой работе зелень рассматривается на уровне отдельного здания: какая доля территории вокруг домов разной этажности занята деревьями на спутниковой карте.

Возможный механизм связан с почвой под городской застройкой. Обзор экологии корней городских деревьев показывает, что уплотнение почвы и физические препятствия ограничивают распространение корней и тем самым рост деревьев в городе [2]. Подземные сооружения рядом с многоэтажными домами могли бы быть одним из таких препятствий, но это предположение нужно отделять от того, что можно измерить по открытым данным.

Исходная гипотеза автора (приводится без правки): «Я предполагаю, что количество зелени зависит от развитости инфраструктуры. Растения с длинной корневой системой не могут расти на территориях с паркингом, который часто присущ высотным зданиям. По этой

причине, в активно-развитых городах часто нет больших деревьев, только маленькие, у которых гораздо ниже срок жизни и выделяемость кислорода. Однако у малоэтажных и среднеэтажных домов редко бывает паркинг, что позволяет выращивать растения с мощными корнями, такие как дуб, тополь и березы. Дуб, как и сосны, живут больше 300 лет, тем самым обогащая местность вокруг себя много веков вперед.»

Гипотеза записана автором, когда из предварительного расчёта уже было известно, что около высотных домов зелени меньше. Поэтому работа не является независимой проверкой заранее сделанного предсказания. Она проверяет, насколько устойчива эта связь при разных способах расчёта, и сопоставляет с данными остальные части гипотезы. Гипотеза не задаёт границ «малоэтажных», «среднеэтажных» и «высотных» домов, поэтому результат описан отдельно для четырёх групп этажности. Утверждения о сроке жизни деревьев и выделении кислорода в работе не проверяются; размер деревьев (большие или маленькие) по карте земного покрова не различается; роль паркинга по открытым данным проверить не удалось (см. «Паркинг» в разделе «Проверки устойчивости»). Вопрос исследования: связана ли этажность здания в Астане с долей древесного покрова вокруг него?

Материалы и методы

Здания. Контуры зданий в административных границах Астаны получены из OpenStreetMap [3] через Overpass API 21 ноября 2026 г., всего 50 163 здания; для каждого взята одна точка: центр прямоугольника, описанного вокруг контура. Этажность бралась из тега building:levels, который по правилам OpenStreetMap означает число надземных этажей без кровельных и подземных уровней [4]. Тег заполнен у 20 204 зданий (40,3 %). У 5 из них значение не является числом, у одного равно нулю; если в теге указано несколько значений через точку с запятой, бралось первое. Ещё 82 здания, отмеченных как снесённые, строящиеся, навесы или руины, исключены. Остальные 20 116 зданий разделены на четыре группы: 1-3, 4-8, 9-15 и 16 и более этажей. Данные OpenStreetMap вносятся добровольцами, и их полнота и точность заметно различаются от места к месту [5, 6].

Зелень. Использована карта земного покрова ESA WorldCover 2021 версии v200 с номинальным разрешением 10 м [7]. Она построена по снимкам Sentinel-1 и Sentinel-2 за 2021 г. [8]. В руководстве пользователя класс «древесный покров» определён как любая территория, где преобладают деревья с покрытием 10 % и более, а в класс «застройка» не включается городская зелень (парки, спортивные площадки) [8]. Общая точность карты по независимой проверке составляет 76,7 ± 0,5 %, по отдельным континентам от 72,5 до 82,1 % [8]. Клетка карты имеет размер 1/12 000 градуса, что на широте Астаны соответствует примерно 9,3 м с севера на юг и 5,8 м с запада на восток.

Мера зелени. Для каждого здания бралось окно 23 × 35 клеток с центром в клетке, где лежит точка здания (около 213 × 203 м, то есть примерно ±100 м), и считалась доля клеток каждого класса: «древесный покров», «травяной покров», «застройка» и остальные. Основной показатель: доля клеток «древесный покров» в окне, в процентах. Это мера доли территории под деревьями, а не числа деревьев.

Статистика. Для каждой группы рассчитаны среднее, медиана и доля зданий, в окне которых нет ни одной клетки с деревьями. Окна соседних зданий перекрываются, поэтому здания нельзя считать независимыми наблюдениями. Из-за этого 95-процентные доверительные интервалы (ДИ) средних и их разностей получены блочным (кластерным) бутстрепом [9, 10]: территория разбита на квадраты около 1 × 1 км (0,009° по широте и 0,0143° по долготе от точки 51,0° с. ш., 71,15° в. д.), и в 2000 повторных выборках с возвращением выбирались не отдельные здания, а целые квадраты; границы ДИ: 2,5-й и 97,5-й процентили. Различие четырёх групп описано также критерием Краскела-Уоллиса [11], а пары (1-3 и 4-8, 4-8 и 9-15, 9-15 и 16 и более, 4-8 и 16 и более) критерием Манна-Уитни [12] с поправкой Бонферрони на четыре сравнения. Эти критерии предполагают независимость зданий, поэтому их p-значения занижены и приводятся как описательные. Для наглядности приводится вероятность превосходства [13, 14]: доля пар «здание из первой группы и здание

из второй», в которых у первого деревьев больше, плюс половина пар с равными значениями.

Дополнительные расчёты. Результат пересчитан: 1) для окон около 102 × 110 м и 417 × 401 м; 2) только для зданий, у которых тип указан как жилой (house, detached, residential, apartments), и отдельно без зданий с неуточнённым типом building=yes; 3) с учётом удалённости от центра города: за центр принята точка «Астана» в OpenStreetMap (51,1283° с. ш., 71,4305° в. д.), расстояние считалось на плоскости с поправкой на широту, здания разбиты на пояса 0-3, 3-6, 6-10 и более 10 км, и построена линейная регрессия доли деревьев на группу этажности и пояс удалённости (без их взаимодействия) с ошибками, устойчивыми к гетероскедастичности [15] и к кластеризации по тем же квадратам 1 × 1 км [16]; 4) без зданий, которых, судя по карте, в 2021 г. ещё не было: если в ядре 3 × 5 клеток вокруг точки здания нет ни одной клетки «застройка», здание считалось построенным позже. Для проверки гипотезы о паркинге из OpenStreetMap выгружены объекты с тегом parking=underground [17] (подземные парковки и въезды в них). Отдельно сравнивалась доля деревьев около зданий с указанной этажностью и без неё. В работе условно используются следующие названия: малоэтажные (1-3 этажа), среднеэтажные (4-8), высотные (9 и более этажей).

Результаты и обсуждение

Доля древесного покрова заметно различается между группами (таблица 1, рисунок 1; критерий Краскела-Уоллиса $H = 902{,}8$, $df = 3$, $p < 0{,}001$, p-значение описательное). Выше всего она около зданий в 4-8 этажей: в среднем 20,7 % окна. Около зданий в 9-15 этажей она в среднем 9,4 %, а у 19,8 % таких зданий в окне нет ни одной клетки с деревьями; около зданий в 16 и более этажей 5,7 % и 22,6 % соответственно. Здания в 1-3 этажа занимают промежуточное положение: 13,4 %.

Таблица 1. Доля классов WorldCover 2021 в окне около 200 × 200 м вокруг здания по группам этажности

Этажность	Число зданий	Деревья, среднее, % (95 % ДИ)	Деревья, медиана, %	Нет клеток с деревьями, % зданий	Трава, среднее, %	Застройка, среднее, %
1-3	16 797	13,4 (12,0-15,0)	9,9	2,0	5,3	78,8
4-8	1 658	20,7 (17,1-23,9)	18,2	4,9	3,9	72,1
9-15	1 237	9,4 (7,1-12,0)	3,5	19,8	9,0	67,1
16 и более	424	5,7 (4,1-7,6)	2,0	22,6	10,9	66,4

Примечание: ДИ, доверительный интервал блочного бутстрепа. Источник: расчёт по данным OpenStreetMap и ESA WorldCover 2021.

Среди соседних групп самое крупное различие наблюдается между 4-8 и 9-15 этажами: разность средних 11,3 п. п. (95 % ДИ 8,5-13,7), вероятность превосходства 0,73. Ещё больше разность между 4-8 и 16 и более этажами: 15,0 п. п. (95 % ДИ 11,3-18,3), вероятность превосходства 0,80. Около зданий в 9-15 этажей доля древесного покрова немного выше, чем около зданий в 16 и более этажей (3,7 п. п.; 95 % ДИ 1,5-6,2; вероятность превосходства 0,56), но это различие слабое и, как показано ниже, зависит от способа проверки. Около зданий в 1-3 этажа доля древесного покрова ниже, чем около зданий в 4-8 этажей (−7,3 п. п.; 95 % ДИ от −10,4 до −3,6), но выше, чем около зданий в 9-15 этажей (4,0 п. п.; 95 % ДИ 1,3-6,8). Критерий Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для всех четырёх пар даёт $p < 0{,}001$ (описательно).

© Central Asian Scientific Journal, 2026

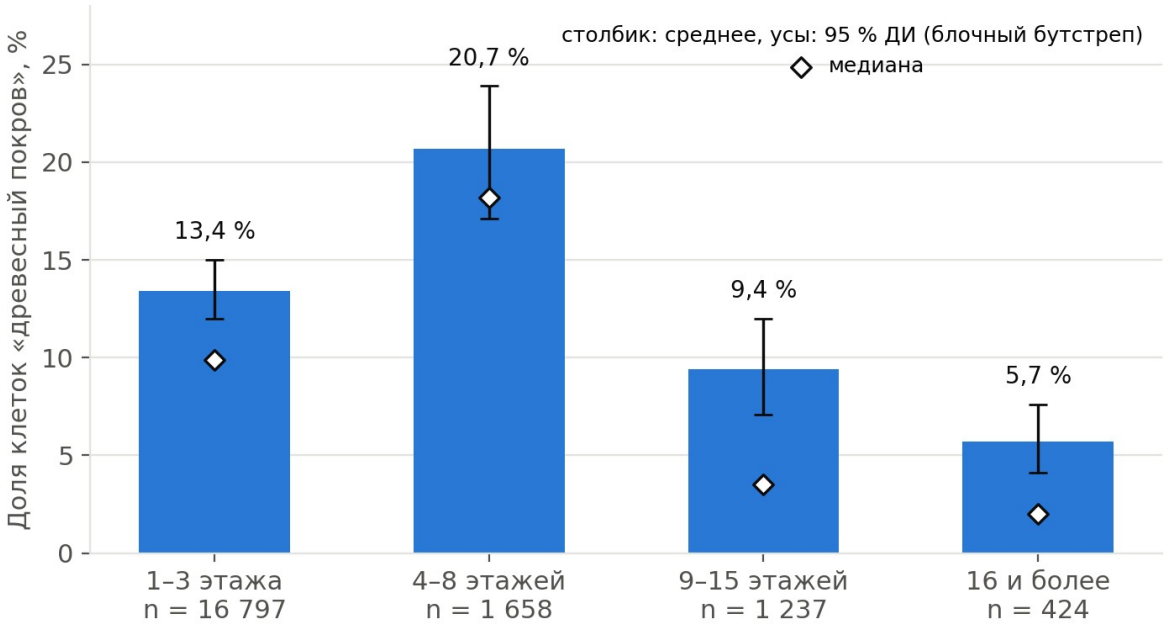

Рисунок 1. Средняя доля клеток «древесный покров» в окне около 200 × 200 м вокруг здания по группам этажности; усы: 95 % ДИ блочного бутстрепа, ромб: медиана

Состав окна вокруг зданий разной этажности показан на рисунке 2. С ростом этажности доля застройки в окне снижается: 78,8, 72,1, 67,1 и 66,4 %. Доля травы выше около зданий в 9 и более этажей (9,0 и 10,9 %), чем около зданий в 1-3 и 4-8 этажей (5,3 и 3,9 %). Около зданий в 9 и более этажей заметна и доля прочих классов (14,5 и 17,0 %), прежде всего класса «открытый грунт и редкая растительность» (10,6 и 11,0 %), тогда как около зданий в 1-3 и 4-8 этажей его доля составляет 1,5 и 2,4 %. Это похоже на незастроенные или строящиеся участки вокруг новых многоэтажных домов (см. проверку ниже). Среди зданий, которые есть на карте 2021 г., различие в доле застройки почти исчезает: 79,2, 73,4, 76,9 и 79,3 %.

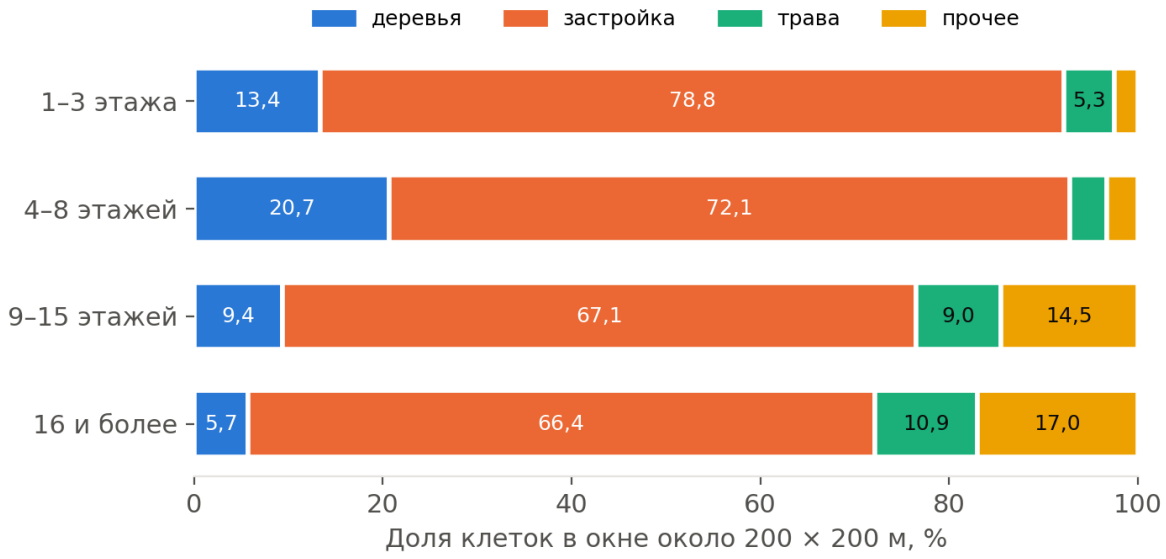

Рисунок 2. Состав окна около 200 × 200 м вокруг здания по классам WorldCover 2021, средние доли по группам этажности

Проверки устойчивости

Размер окна. В окне около 102 × 110 м средние доли деревьев по группам 1-3, 4-8, 9-15 и 16 и более этажей составили 12,1, 21,7, 8,6 и 4,7 %, в окне около 417 × 401 м: 14,4, 20,3, 10,2 и 6,7 %. Порядок групп в обоих случаях тот же, что и в основном расчёте; разность между 4-8 и 9-15 этажами составляет 13,0 п. п. (95 % ДИ 9,6-15,9) и 10,1 п. п. (95 % ДИ 7,7-12,3) соответственно.

Тип здания. В группе 1-3 этажа 15 688 из 16 797 зданий имеют неуточнённый тип building=yes; среди них могут быть гаражи, склады и хозяйственные постройки. Если оставить только здания жилого типа, средние доли деревьев составляют 16,5, 23,7, 8,1 и 4,8 % (n = 611, 657, 719 и 282), если исключить только building=yes, то 15,6, 20,7, 8,0 и 5,0 %. Среди жилых зданий разность между 4-8 и 9-15 этажами даже больше (15,6 п. п.; 95 % ДИ 11,3-19,3), а около низких жилых домов доля древесного покрова по-прежнему ниже, чем около домов в 4-8 этажей (−7,2 п. п.; 95 % ДИ от −11,9 до −1,7). Тип указан лишь у части низких зданий, поэтому можно сказать только, что состав группы 1-3 этажа по типам зданий, по-видимому, не объясняет эту картину полностью.

Удалённость от центра. Многоэтажные здания, как правило, ближе к центру: медианное расстояние до центра составляет 7,6 км для зданий в 1-3 этажа, 4,6 км в 4-8, 4,2 км в 9-15 и 3,5 км в 16 и более этажей. В поясе 3-6 км, где все четыре группы представлены достаточно (не менее 242 зданий в группе), доли деревьев составили 15,0, 23,3, 10,6 и 5,0 %. В поясе 0-3 км около зданий в 4-8 этажей доля древесного покрова ниже, чем около зданий в 1-3 этажа (11,8 против 15,8 %), но выше, чем около зданий в 9 и более этажей (5,4 и 5,2 %). В поясе 6-10 км у 36 зданий в 16 и более этажей доля деревьев (13,3 %) выше, чем у зданий в 9-15 этажей (11,0 %), и близка к зданиям в 1-3 этажа (13,2 %), но ниже, чем у зданий в 4-8 этажей (19,7 %). В регрессии с поясами удалённости, по сравнению со зданиями в 4-8 этажей, доля деревьев около зданий в 9-15 этажей ниже на 11,4 п. п. (95 % ДИ с кластерными ошибками 8,9-13,9), около зданий в 16 и более этажей на 14,8 п. п. (95 % ДИ с кластерными ошибками 11,5-18,1), около зданий в 1-3 этажа на 6,0 п. п. (95 % ДИ с кластерными ошибками 3,0-9,0). Значит, более низкая доля деревьев около зданий в 9 и более этажей по сравнению с домами в 4-8 этажей не объясняется только тем, что высотные дома стоят ближе к центру. Порядок остальных групп от пояса к поясу меняется, и модель без взаимодействия группы и пояса его не описывает.

Здания, которых нет на карте 2021 г. По карте 2021 г. в ядре окна нет застройки у 0,9 % зданий в 1-3 этажа, 3,7 % в 4-8, 16,3 % в 9-15 и 20,0 % в 16 и более этажей; вероятно, многие из них построены позже. Без этих зданий доли деревьев составили 13,3, 20,4, 9,9 и 6,9 %, разность между 4-8 и 9-15 этажами составляет 10,4 п. п. (95 % ДИ 8,0-12,5), то есть результат сохраняется. Различие между 9-15 и 16 и более этажами здесь становится ещё слабее: блочный бутстреп даёт 3,0 п. п. (95 % ДИ 0,5-5,7), а p критерия Манна-Уитни с поправкой равно 0,182. Рост доли травы с этажностью почти исчезает: 5,2, 3,5, 5,3 и 6,4 %. Доля открытого грунта около зданий в 9 и более этажей снижается (6,5 и 6,1 %), но остаётся заметно выше, чем около зданий в 1-3 и 4-8 этажей (1,4 и 2,0 %). По-видимому, более высокая доля травы около высотных зданий в основном связана с участками, которые в 2021 г. ещё не были застроены, а не с этажностью как таковой.

Паркинг. В OpenStreetMap для Астаны нашлось лишь 43 объекта с тегом parking=underground (17 парковок и 26 въездов), а число подземных этажей (building:levels:underground) указано у 5 зданий из 50 163. Такой объект в пределах 100 м есть у 0,1 % зданий в 1-3 этажа, 1,6 % в 4-8, 1,5 % в 9-15 и 3,1 % в 16 и более этажей. Этого недостаточно, чтобы проверить роль паркинга, поэтому она в работе не оценивается.

Здания без указанной этажности. Около зданий, у которых числовая этажность в OpenStreetMap не указана (без снесённых и строящихся), доля древесного покрова в среднем выше (18,5 %, n = 29 419), чем около зданий, вошедших в анализ (13,6 %, n = 20 116). Значит, выборка зданий с этажностью не представляет весь город, и средние по группам нельзя переносить на все здания Астаны.

© Central Asian Scientific Journal, 2026

Возможные объяснения

Если считать высотными здания в 9 и более этажей, результаты согласуются с той частью гипотезы, по которой около высотных зданий меньше деревьев: около них доля древесного покрова ниже, чем около домов в 4-8 этажей, и это видно при всех трёх размерах окна, для жилых зданий, с учётом удалённости от центра и без зданий, которых нет на карте 2021 г. Если же относить дома в 9-15 этажей к среднеэтажным, результат с гипотезой не согласуется: около них доля древесного покрова ниже, чем около домов в 1-3 и 4-8 этажей. Связь также не монотонна: около зданий в 1-3 этажа доля древесного покрова ниже, чем около домов в 4-8 этажей, и эта разница сохраняется среди жилых зданий. Это не согласуется с той частью гипотезы, по которой условия для деревьев у малоэтажных домов такие же благоприятные, как у среднеэтажных. Можно заметить, что доля клеток «застройка» в окне около низких зданий самая высокая (78,8 %), но поскольку доли классов в окне в сумме дают 100 %, это наблюдение само по себе причину не показывает, и эта возможность отдельно не проверялась.

Механизм, предложенный в гипотезе (подземный паркинг, ограничивающий корни), по открытым данным проверить не удалось. Известно, что уплотнение почвы и физические препятствия ограничивают рост корней [2], поэтому такой механизм возможен, но та же картина допускает и другие объяснения. Среди зданий в 9 и более этажей заметно больше тех, которых ещё нет на карте 2021 г., поэтому можно предположить, что высотные дома в среднем новее, а посаженные около них деревья ещё не дают покрытия 10 % клетки, необходимого для класса «древесный покров» [8]. Многоэтажные кварталы могут также проектироваться иначе: с большими площадками, парковками и проездами. Разделить эти объяснения можно было бы, зная год постройки зданий, но этот признак указан в OpenStreetMap лишь у 13 зданий.

Ограничения

Во-первых, разрешение карты составляет около 10 м, поэтому отдельные деревья и молодые посадки могут не попасть в класс «древесный покров», размер деревьев по карте не различается, а общая точность карты составляет 76,7 % [8]. Во-вторых, карта отражает 2021 г., а данные о зданиях отражают состояние OpenStreetMap на ноябрь 2026 г.; здания, построенные в этот промежуток, исключались лишь приближённо, а у зданий с внутренним двором точка может попасть во двор, и тогда построенное здание ошибочно считается новым. В-третьих, этажность указана добровольцами только у 40,3 % зданий города (неполнота атрибутов OpenStreetMap известна [5, 6]), и около этих зданий доля древесного покрова в среднем ниже, чем около остальных. Данных о подземных паркингах в OpenStreetMap слишком мало, поэтому механизм, предложенный в гипотезе, не проверен. В-четвёртых, окна соседних зданий перекрываются; блочный бутстреп и кластерные ошибки учитывают это лишь приближённо, а p-значения ранговых критериев занижены. В-пятых, центр города задан одной точкой. Наконец, работа описывает связь, а не причину: этажность может быть связана с возрастом, расположением и назначением застройки, которые здесь учтены не полностью.

Заключение

[ВЫВОДЫ: пишет Дария своими словами]

[ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИИ: заполняет руководитель]

[КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ И ФИНАНСИРОВАНИЕ: подтверждает руководитель]

© Central Asian Scientific Journal, 2026

Доступность данных

Использованы только открытые данные: карта ESA WorldCover 2021 v200 [7] и данные OpenStreetMap [3], выгруженные через Overpass API 21-22 ноября 2026 г. Код расчёта может быть предоставлен автором по запросу.

Список литературы:

1. Atakhanova Z., Baigaliyeva M. Kazakhstan’s infrastructure programs and urban sustainability analysis of Astana // Urban Science. 2025. Vol. 9, № 4. Art. 100. DOI: 10.3390/urbansci9040100.

2. Day S.D., Wiseman P.E., Dickinson S.B., Harris J.R. Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere // Arboriculture & Urban Forestry. 2010. Vol. 36, № 5. P. 193-205. DOI: 10.48044/jauf.2010.026.

3. OpenStreetMap contributors. OpenStreetMap [Электронный ресурс]: данные получены через Overpass API. URL: https://www.openstreetmap.org (дата обращения: 22.11.2026).

4. Key:building:levels // OpenStreetMap Wiki [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:building:levels (дата обращения: 22.11.2026).

5. Haklay M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets // Environment and Planning B: Planning and Design. 2010. Vol. 37, № 4. P. 682-703. DOI: 10.1068/b35097.

6. Biljecki F., Chow Y.S., Lee K. Quality of crowdsourced geospatial building information: A global assessment of OpenStreetMap attributes // Building and Environment. 2023. Vol. 237. Art. 110295. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110295.

7. Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. et al. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 [Электронный ресурс]. Zenodo, 2022. URL: https://zenodo.org/record/7254221 (дата обращения: 22.11.2026).

8. Van De Kerchove R., Zanaga D., Xu P., Tsendbazar N., Lesiv M. ESA WorldCover. Product User Manual. Version 2.0 [Электронный ресурс]. VITO; ESA, 2022. URL: https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v200/2021/docs/WorldCover_PUM_V2.0.pdf (дата обращения: 22.11.2026).

9. Efron B. Bootstrap methods: Another look at the jackknife // The Annals of Statistics. 1979. Vol. 7, № 1. P. 1-26. DOI: 10.1214/aos/1176344552.

10. Cameron A.C., Gelbach J.B., Miller D.L. Bootstrap-based improvements for inference with clustered errors // The Review of Economics and Statistics. 2008. Vol. 90, № 3. P. 414-427. DOI: 10.1162/rest.90.3.414.

11. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // Journal of the American Statistical Association. 1952. Vol. 47, № 260. P. 583-621. DOI: 10.1080/01621459.1952.10483441.

12. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // The Annals of Mathematical Statistics. 1947. Vol. 18, № 1. P. 50-60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491.

13. McGraw K.O., Wong S.P. A common language effect size statistic // Psychological Bulletin. 1992. Vol. 111, № 2. P. 361-365. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.361.

14. Vargha A., Delaney H.D. A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong // Journal of Educational and Behavioral Statistics. 2000. Vol. 25, № 2. P. 101-132. DOI: 10.3102/10769986025002101.

15. White H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity // Econometrica. 1980. Vol. 48, № 4. P. 817-838. DOI: 10.2307/1912934.

16. Cameron A.C., Miller D.L. A practitioner’s guide to cluster-robust inference // Journal of Human Resources. 2015. Vol. 50, № 2. P. 317-372. DOI: 10.3368/jhr.50.2.317.

17. Key:parking // OpenStreetMap Wiki [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:parking (дата обращения: 22.11.2026).

© Central Asian Scientific Journal, 2026