

Научно-учебная группа ФГИГТ НИУ ВШЭ
«Пространственный анализ и моделирование
городских процессов»



Сеточные данные о плотности населения в России: валидация и коррекция глобальной модели GHS-POP

А.В. Шелудков, П.Ю. Игнатенко, П.О.
Гонюхов, Г.С. Зыков, А.И. Рябина, Г.К.
Фоменков, Е.А. Цыганков
Факультет географии и
геоинформационных технологий НИУ ВШЭ,
Институт географии РАН
asheludkov@hse.ru

МАРС—2025, Москва, 11 июня 2025 г.

Высокодетальные данные о численности / плотности населения: потенциальные приложения

Актуальность:

- доступность социальных и коммерческих объектов; планировочные задачи
- оценка урбанизированности территорий
- риски опасных природных явлений и техногенных аварий, долговременные климатические риски
- оценка антропогенной нагрузки на природные объекты
- распространение заболеваний
- ...

- ❖ Официальные данные доступны на уровне муниципалитетов (текущая статистика) и крупных населенных пунктов (переписи населения)
- ❖ Альтернативные данные: ограниченный доступ, смещенные выборки, ограниченный территориальный и временной охват, необходимость предобработки

Готовые (глобальные) наборы данных?

Data collection	Year(s)	Population themes	Digital object identifier (DOI)	Reference link
Gridded Population of the World (GPWv4.11)	2000; 2005; 2010; 2015; 2020	Persons UN WPP-adj. Pop. density UN WPP-adj.	https://doi.org/10.7927/H4JW8BX5 (CIESIN, 2018a) https://doi.org/10.7927/H4PN93PB (CIESIN, 2018b) https://doi.org/10.7927/H49C6VHW (CIESIN, 2018c) https://doi.org/10.7927/H4F47M65 (CIESIN, 2018d)	https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4
Global Rural-Urban Mapping Project (GRUMPv1)	1990; 1995; 2000	Persons Pop. density	https://doi.org/10.7927/H4VT1Q1H (CIESIN et al., 2011a) https://doi.org/10.7927/H4R20Z93 (CIESIN et al., 2011b)	https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/grump-v1
LandScan Global Population Database (LandScan Global)	annual: 2000–2016	Persons	NA; data download at https://landscan.ornl.gov/landscan-datasets (last access: 20 May 2019)	https://landscan.ornl.gov/
WorldPop	2000–2020	Persons	https://doi.org/10.5258/SOTON/WP00645 (WorldPop, 2018)	https://www.worldpop.org/
Global Human Settlement Layer – Population (GHS-POP)	1975; 1990; 2000; 2015	Persons	https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghsl-ghs_pop_gpw4_globe_r2015a (last access: 20 May 2019)	https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/ghs_pop.php
World Population Estimate (WPE)	2013 2015 2016	Persons Persons Pop. density Persons Pop. density	https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18213.14565 (Nordstrand and Frye, 2014) https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16160.79367 (Frye and Nordstrand, 2016a) https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14857.70248 (Frye and Nordstrand, 2016b) https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12996.48007 (Frye and Gilbert, 2018a) https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21568.58885 (Frye and Gilbert, 2018b)	https://sites.google.com/ciesin.columbia.edu/popgrid/find-data/esri
History Database of the Global Environment (HYDE) Population Grids v3.2	10 000 BC to 2015	Persons	https://doi.org/10.17026/dans-25g-gez3 (Klein Goldewijk, 2017)	https://themasites.pbl.nl/tridion/en/themasites/hyde/download/index-2.html
High Resolution Settlement Layer (HRSL)	2015	Persons	NA; data download at https://ciesin.columbia.edu/data/hrsl/ (last access: 20 May 2019)	https://ciesin.columbia.edu/data/hrsl/
European GHS Population Grid (GHS-POP-EUROSTAT)	2011	Persons	https://data.europa.eu/89h/jrc-ghsl-ghs_pop_eurostat_europe_r2016a (last access: 20 May 2019)	https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghsl-ghs_pop_eurostat_europe_r2016a
Gridded Population Mapping (Demobase)	1998 to present	Persons	NA; data download at https://www.census.gov/geographies/mapping-files/time-series/demo/international-programs/demobase.html (last access: 20 May 2019)	https://www.census.gov/geographies/mapping-files/time-series/demo/international-programs/demobase.html

Современные модели плотности населения

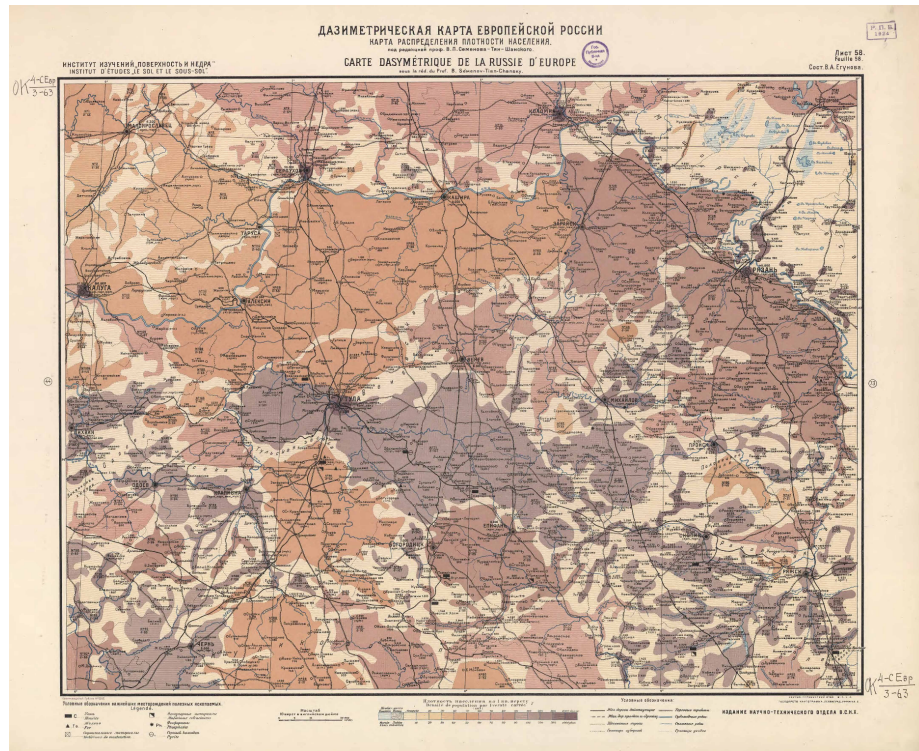


- Более десятка открытых глобальных продуктов по численности / плотности населения, которые отличаются детальностью и точностью в зависимости от методов создания и используемых вспомогательных данных
- LandScan (Sims et al., 2023), WorldPop (Bondarenko et al., 2020), GHS population grid (Schiavina et al., 2023): пространственное разрешение <100 м, дазиметрический подход.

Leyk, S. et al. (2019). The spatial allocation of population: a review of large-scale gridded population data products and their fitness for use. *Earth System Science Data*, 11(3), 1385-1409.

Дазиметрический подход и современные модели плотности населения

- Дазиметрическая карта Европейской России / Сост. В.А.Егунов, Г.Ф.Малявкин; Под ред. В.П.Семенова - Тянь-Шанского. — Ленинград : Научно-техн. отд. ВСНХ, 1927, 1934.
- Ареалы плотности населения без привязки к административным границам: объединение групп соседних населенных пунктов по радиусам, заданным с учетом природных и хозяйственных особенностей местности
- *вероятное* размещение населения на основе допущений об особенностях территории и морфологии населенных пунктов



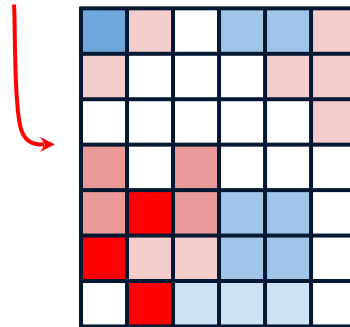
Дазиметрический подход и современные модели плотности населения

Два шага:

- Оценка *вероятности* размещения населения на основе вспомогательных данных высокого пространственного разрешения
- *Дезагрегация* данных статистического учета с ячеек статистической сетки в ячейки регулярной сетки

Covariates

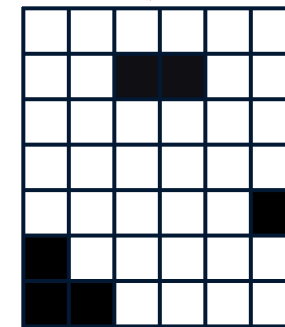
- elevation
- slope
- LULC
- distance to urban centers
- distance to major roads
- ...



Weighted Surface

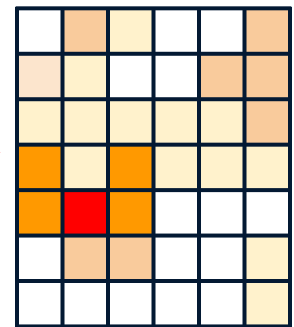
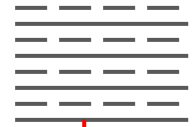
Geomask

- water bodies
- natural protected areas
- highlands
- cemeteries
- ...



Constrained Surface

Demographic data



Population Surface

Дазиметрический подход и современные модели плотности населения

- **LandScan** (<https://landscan.ornl.gov/>)

Авторы: Ок-Риджская национальная лаборатория (ORNL) США. Разрешение: 3 секунды (WGS84).
Вспомогательные переменные: building footprints, landuse, инфраструктура, морфологические типы застройки (Population Density Tables (PDT)). Алгоритм: моделирование на основе морфологических типов застройки (“bottom-up” approach), уровень стран (?). Свободно распространяемый, но не открытый продукт.

- **WorldPop** (<https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=49914>)

Авторы: Университет Саутгемптона, Великобритания. Разрешение: 3 секунды (WGS84). Вспомогательные переменные: всего 26 переменных, которые описывают Land Cover (ESA), рельеф (SRTM), дорожную сеть (OSM), интенсивность ночного излучения (VIIRS), Built-Settlement Growth Model (BSGM) (Nieves et al. 2020). Алгоритм: Random Forest (Stevens et al. (2015); Bondarenko et al., 2020), субрегиональный уровень. Полностью открытый и свободный продукт.

- **GHS-POP** (GHSL) (<https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/download.php?ds=pop>)

Авторы: Объединенный исследовательский центр (JRC) Европейской комиссии. Разрешение: 100 м (World Mollweide). Вспомогательные переменные: классификация площади, высоты и объема жилой застройки по снимкам Sentinel-2. Алгоритм: downscaling (Pesaresi et al., 2024), субрегиональный уровень. Полностью открытый и свободный продукт.

Исследовательский вопрос

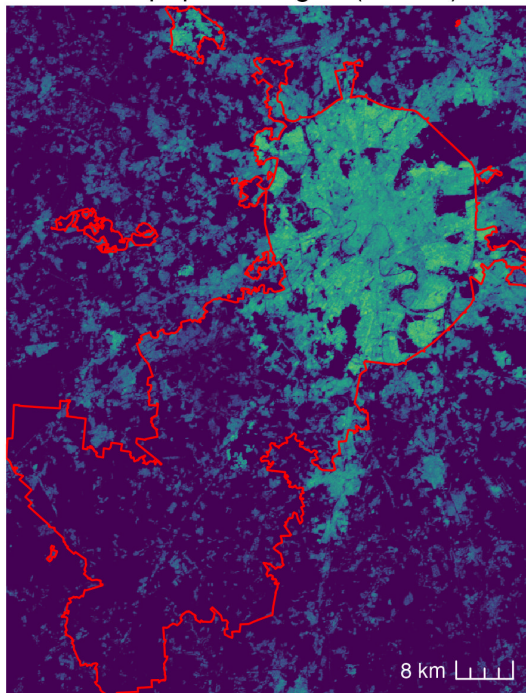
- Точность глобальных наборов данных заметно варьируется между странами и между разными (по плотности населения, уровню урбанизации, характеру застройки и пр.) типами местности, что во многом уменьшает потенциал использования таких данных в сплошных крупномасштабных исследованиях (см., например, Calka & Bielecka, 2020; Chen et al., 2020; Kuffer et al., 2022).
- Ошибки в оценке распределения населения могут быть связаны как с неточностью демографической статистики, на которых базируются сеточные данные, так и с особенностями используемых вспомогательных переменных и алгоритмов дезагрегации.



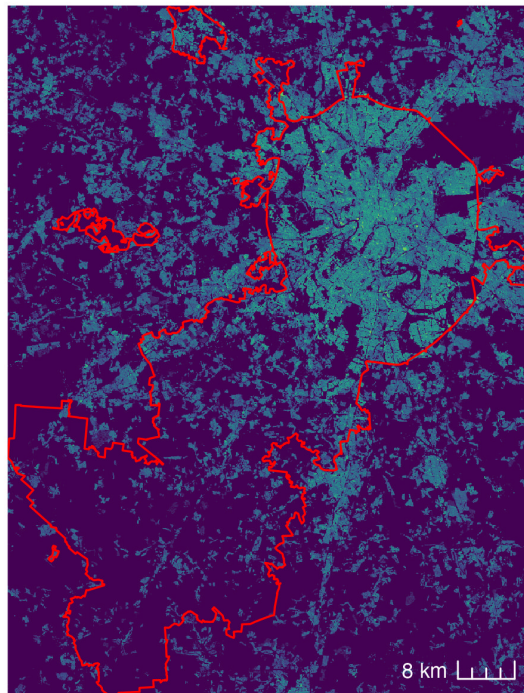
*В какой мере глобальные наборы данных подходят для анализа размещения населения в **России**? Каковы их потенциальные ограничения и возможности адаптации (корректировки) применительно к разным задачам и исследуемым территориям?*

Визуальные различия

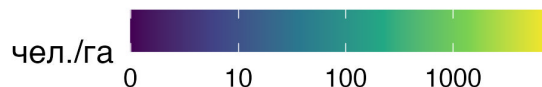
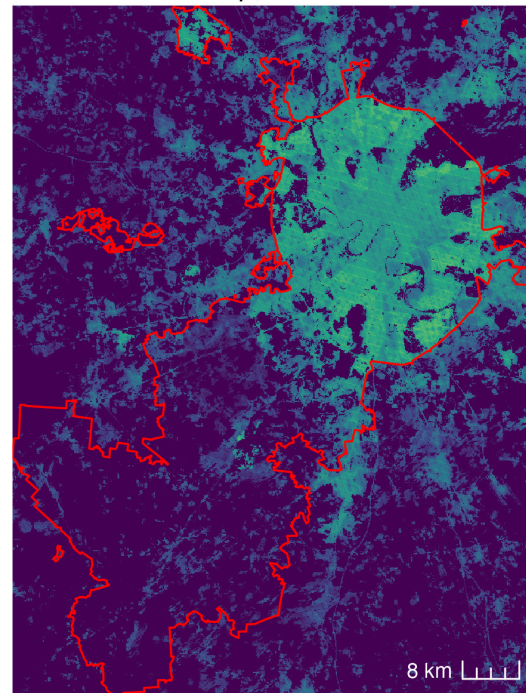
GHS population grid (R2023)



LandScan HD Russia v01



WorldPop, constrained

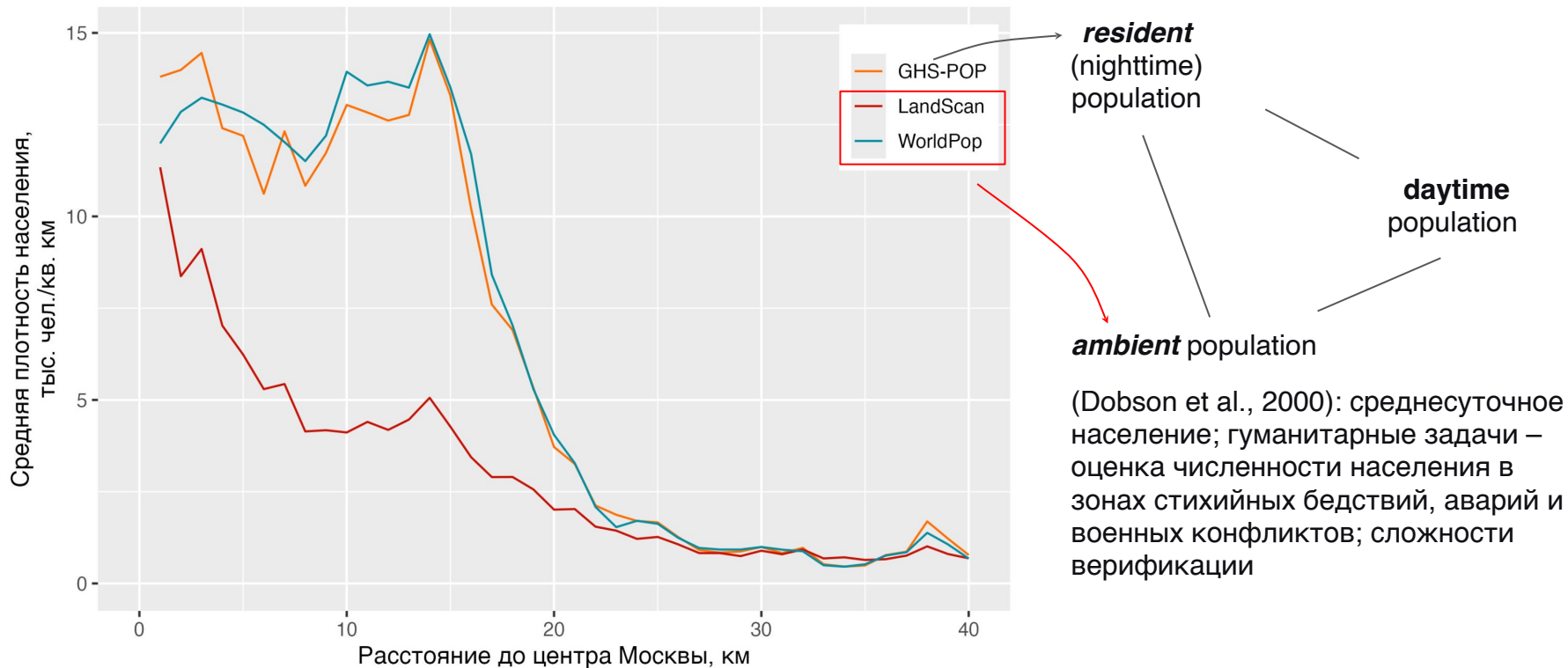


- Москва: 13.1 млн. чел.
- высокая детальность, выраженные контрасты плотности населения

- Москва: 5.2 млн. чел.
- высокая детальность, слабые контрасты плотности населения

- Москва: 13.7 млн. чел.
- меньшая детальность, сглаженные ареалы и артефакты

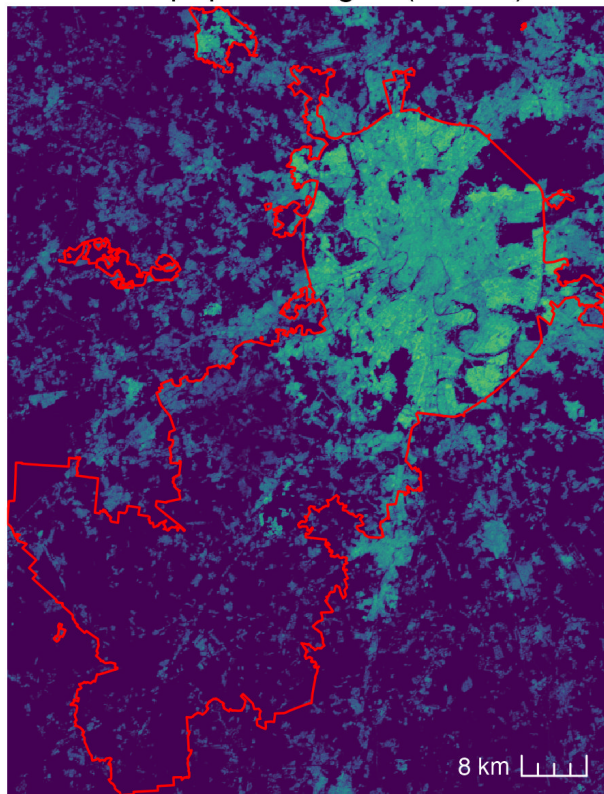
Концептуальные различия



Выбор GHS population grid



GHS population grid (R2023)



- высокая детальность и понятная методология
- резидентное население – более понятная и простая в интерпретации категория; потенциально более широкий круг задач
- простота верификации на основе данных статистики и данных о застройке
- исходные данные в равновеликой проекции → простота предобработки
- GHS-POP лежит в основе Kontur population dataset (<https://www.kontur.io/portfolio/population-dataset/>)

Schiavina M., Freire S., Carioli A., MacManus K. GHS-POP R2023A – GHS population grid multitemporal (1975–2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC). 2023. <https://doi.org/10.2905/2FF68A52-5B5B-4A22-8F40-C41DA8332CFE>

Точность оригинальных данных GHS-POP



Table K-15 – Percentage of country population in unpopulated reference cells ($d=0$) and R-accuracy index for each population grid (R2023: GHS-POP R2023; R2022: GHS-POP R2022; R2019: GHS-POP R2019; WPC: WorldPop UN adjusted constrained; WPU: WorldPop UN adjusted unconstrained) for each reference country (census grids) in the available epoch by reference cells density classes. Colours in the class 'd=0' go from white (less population allocated in unpopulated pixels) to red (more population allocated in unpopulated pixels); colours in the other classes go from red (no match, R-accuracy = 0) to green (perfect match, R-accuracy = 1). * The reference years of EU18 grids are 2011 and 2021, while the grids compared are 2010 and 2020.

		BRA	ECU	EU18		FIN				JPN						KOR			MEX
		2010	2010	2010*	2020*	2005	2010	2015	2020	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2000	2010	2020	2020
d=0	R2023	1.9%	6.1%	4.4%	4.1%	5.3%	5.3%	5.4%	5.7%	2.4%	2.5%	1.6%	1.5%	1.6%	1.7%	2.8%	2.7%	1.8%	8.1%
	R2022	1.6%	5.3%	4.5%	5.5%	4.8%	4.7%	4.8%	5.3%	2.2%	2.4%	1.4%	1.4%	1.7%	1.9%	3.0%	3.0%	2.2%	7.9%
	R2019	-	-	-	-	-	-	8.8%	-	-	3.7%	-	-	2.8%	-	3.8%	-	-	-
	WPC	-	-	-	5.0%	-	-	-	4.7%	-	-	-	-	-	2.1%	-	-	2.0%	11.3%
	WPU	4.7%	28.8%	14.3%	11.6%	14.9%	14.5%	12.0%	12.7%	-	10.4%	7.0%	6.4%	5.4%	5.4%	7.8%	6.7%	4.2%	11.3%
0<d<300	R2023	0.53	0.39	0.57	0.56	0.44	0.43	0.43	0.43	0.46	0.47	0.52	0.53	0.54	0.55	0.45	0.36	0.35	0.50
	R2022	0.44	0.33	0.50	0.48	0.24	0.31	0.38	0.44	0.41	0.43	0.49	0.50	0.48	0.44	0.34	0.27	0.25	0.50
	R2019	-	-	-	-	-	-	0.25	-	-	0.37	-	-	0.41	-	0.27	-	-	-
	WPC	-	-	-	0.39	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	0.38	-	-	0.21	0.36
	WPU	0.40	0.31	0.36	0.40	0.34	0.33	0.36	0.36	-	0.37	0.34	0.35	0.39	0.38	0.27	0.21	0.22	0.36
300≤d<1500	R2023	0.81	0.59	0.71	0.71	0.61	0.62	0.64	0.64	0.63	0.63	0.66	0.67	0.68	0.67	0.46	0.45	0.45	0.61
	R2022	0.82	0.60	0.72	0.64	0.61	0.67	0.71	0.68	0.65	0.65	0.67	0.67	0.67	0.66	0.40	0.39	0.35	0.61
	R2019	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	0.60	-	-	0.62	-	0.39	-	-	-
	WPC	-	-	-	0.61	-	-	-	0.56	-	-	-	-	-	0.63	-	-	0.36	0.52
	WPU	0.79	0.42	0.53	0.58	0.47	0.48	0.54	0.52	-	0.55	0.57	0.59	0.61	0.60	0.33	0.35	0.34	0.52
1500≤d<10000	R2023	0.92	0.75	0.76	0.75	0.69	0.69	0.70	0.70	0.77	0.78	0.79	0.80	0.79	0.79	0.59	0.60	0.58	0.74
	R2022	0.93	0.75	0.73	0.66	0.74	0.74	0.71	0.67	0.75	0.76	0.77	0.76	0.75	0.73	0.49	0.49	0.48	0.74
	R2019	-	-	-	-	-	-	0.64	-	-	0.72	-	-	0.71	-	0.54	-	-	-
	WPC	-	-	-	0.66	-	-	-	0.65	-	-	-	-	-	0.72	-	-	0.55	0.71
	WPU	0.91	0.52	0.60	0.62	0.44	0.46	0.50	0.49	-	0.66	0.66	0.67	0.68	0.69	0.48	0.50	0.53	0.71
d≥10000	R2023	0.96	0.71	0.75	0.76	0.75	0.78	0.78	0.81	0.81	0.82	0.82	0.83	0.82	0.81	0.72	0.73	0.74	0.87
	R2022	0.96	0.71	0.64	0.63	0.55	0.55	0.53	0.52	0.78	0.79	0.79	0.78	0.77	0.75	0.65	0.64	0.64	0.86
	R2019	-	-	-	-	-	-	0.50	-	-	0.72	-	-	0.72	-	0.65	-	-	-
	WPC	-	-	-	0.61	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-	0.78	-	-	0.67	0.84
	WPU	0.95	0.42	0.55	0.58	0.23	0.27	0.29	0.27	-	0.77	0.77	0.78	0.79	0.78	0.58	0.58	0.61	0.84

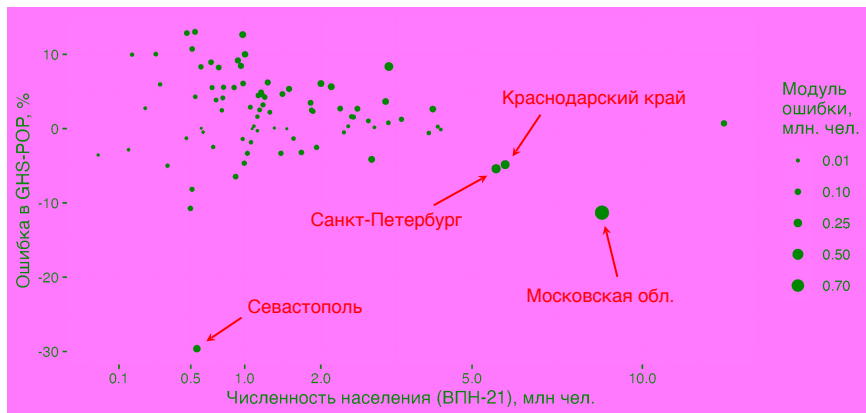
Валидация по 1-км ячейкам по странам, где есть демографические данные соответствующей детальности. The Total Allocation Accuracy percentage = ~0.8. Лучшие показатели для плотно-населенных областей. Нет России

Pesaresi et al., 2024 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2024.2390454>

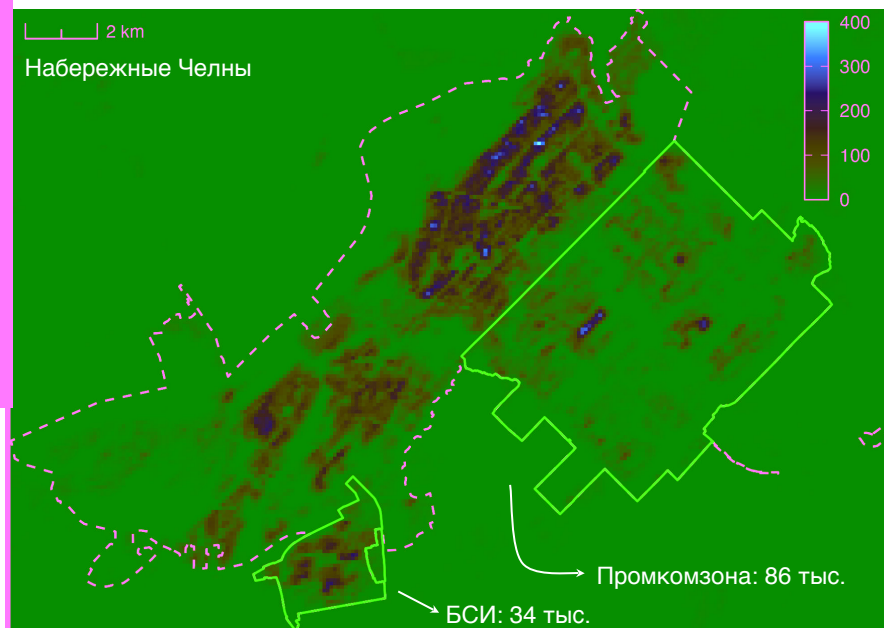
Ограничения данных GHS-POP для России



- 1) Несоответствие данным переписи населения 2020(21) г. (base: 2010, growth rate: 2002 → 2010)
- 2) Ошибки классификации застройки, как следствие, размещение резидентного населения на промышленных и прочих неселитебных территориях

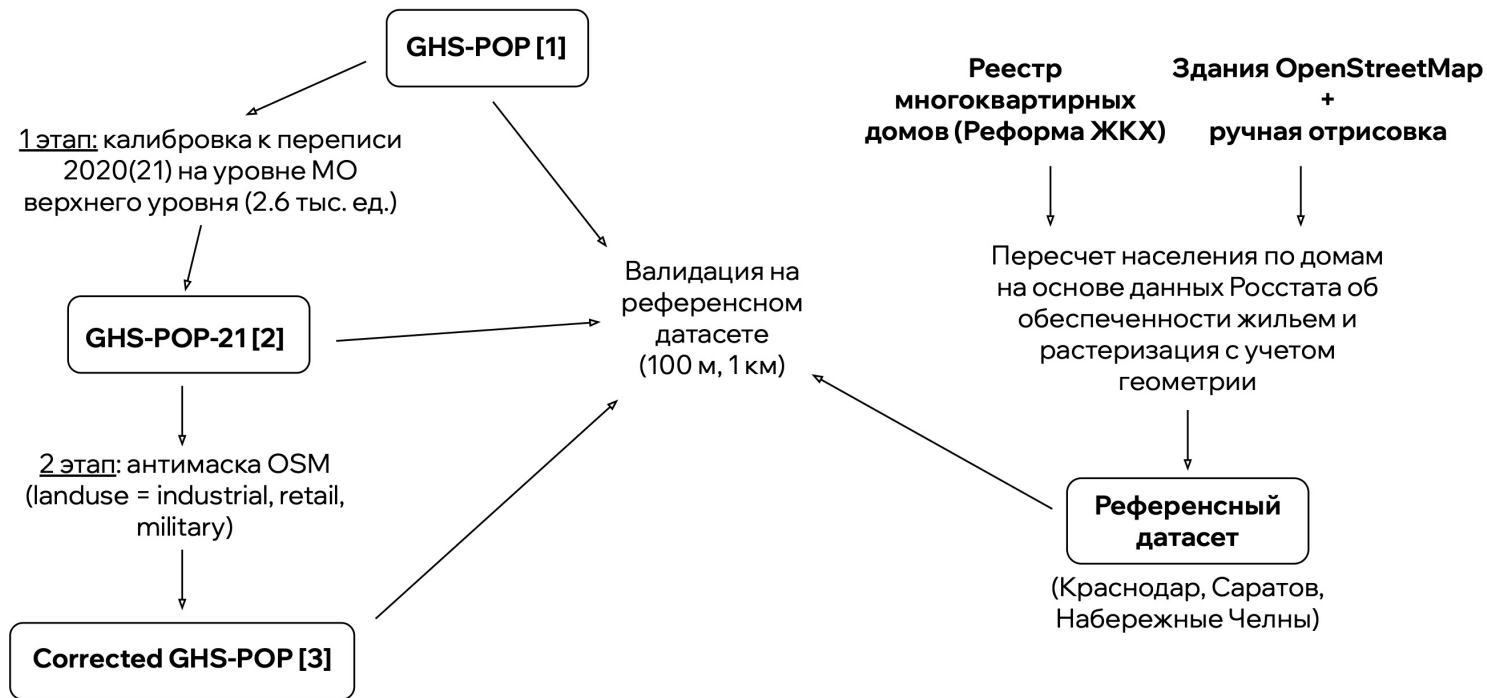


Население России на 0.73 млн выше (0.5%). Однако на уровне регионов различия уже достигают от -30% (Севастополь) до $+13\%$ (Карелия). По абсолютным значениям, самые большие несоответствия для Московской области: -0.98 млн чел. (-11.3%). На уровне муниципальных образований $RMdSPE = 12.5\%$, при этом сильно занижены значения некоторых пригородов Москвы и СПб (до -90% в Парголово), завышены некоторые сельские районы, есть откровенные ошибки, связанные с тем, что перепутаны данные для городов и окружающих районов (Пермь, Рыбинск)



В Набережных Челнах $\sim 22\%$ населения города попадает в две южные промышленные зоны

Методика коррекции и валидации данных

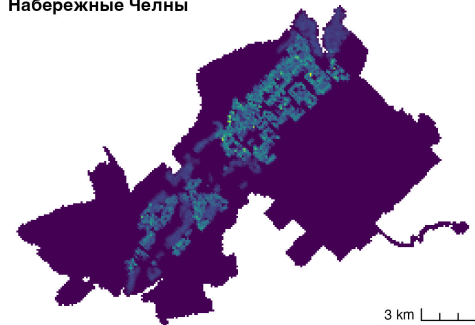


Ключевые метрики: Percentage Error; RMdSPE; Total Allocation Accuracy, TAA — доля верно распределенного населения: учитывает два рода ошибок: false positive (население есть в модели, но нет в референсных данных) и false negative (населения нет в модели, но есть в референсных данных)

Границы МО: Центр геоданных ФГГТ ВШЭ; данные переписи населения по МО: обработка «Если быть точным»

Полигоны для валидации

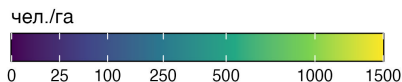
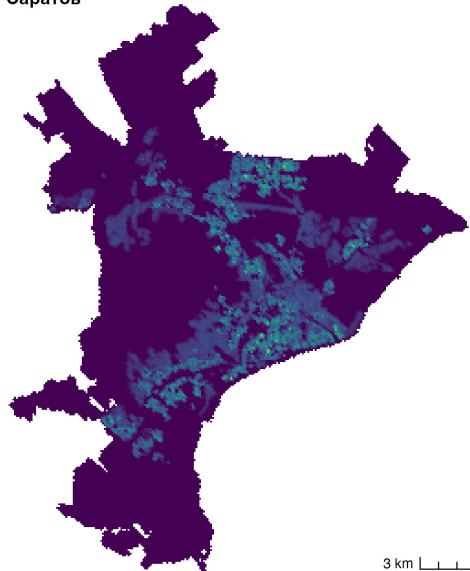
Набережные Челны



Краснодар



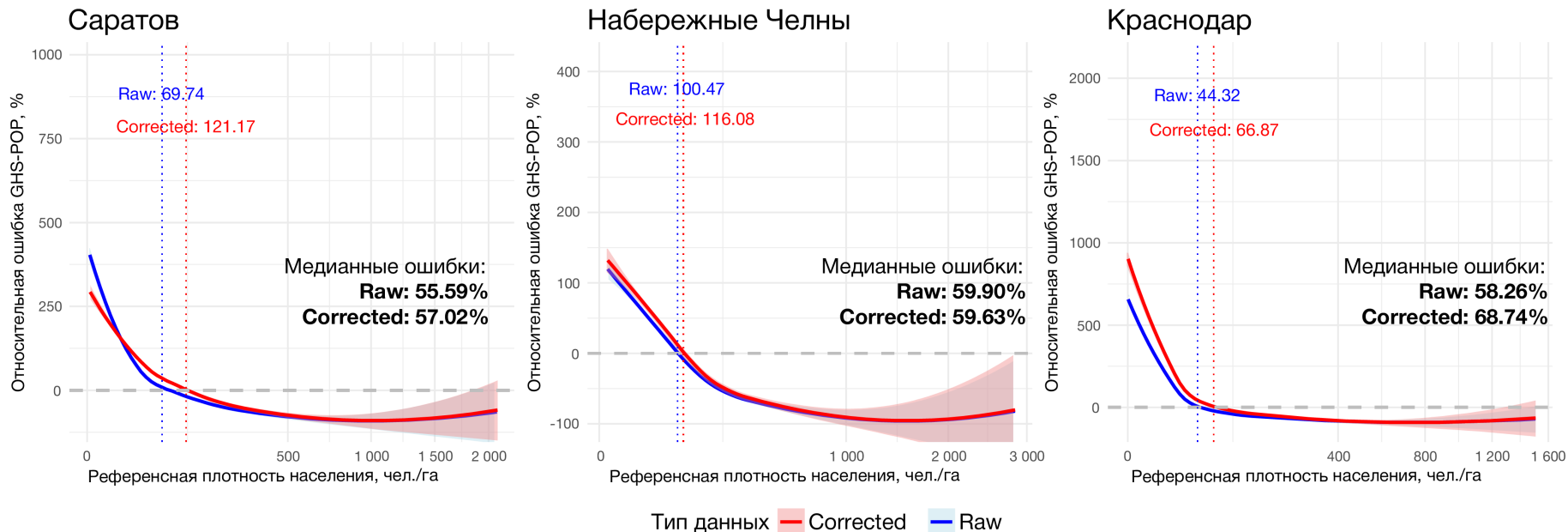
Саратов



- Многоквартирные дома: Реформа ЖКХ (2021) → геокодирование → привязка к полигонам зданий из OSM → растрезация (100 м) с учетом геометрии зданий. Малоэтажная застройка: OSM + ручная отрисовка
- Численность населения (многоквартирные дома) = жилая площадь * средняя обеспеченность жильем в городах в регионе (Росстат); численность населения (малоэтажная застройка) = площадь здания * средняя обеспеченность жильем в сельской местности в регионе (Росстат)
- Краснодар: 1.1 млн чел. (разница с данными переписи ~1%); Саратов: 0.77 млн чел. (-15% от переписи); Набережные Челны: 0.44 млн чел. (-20% от переписи). → нормализация до значений переписи (через поправочные коэффициенты)

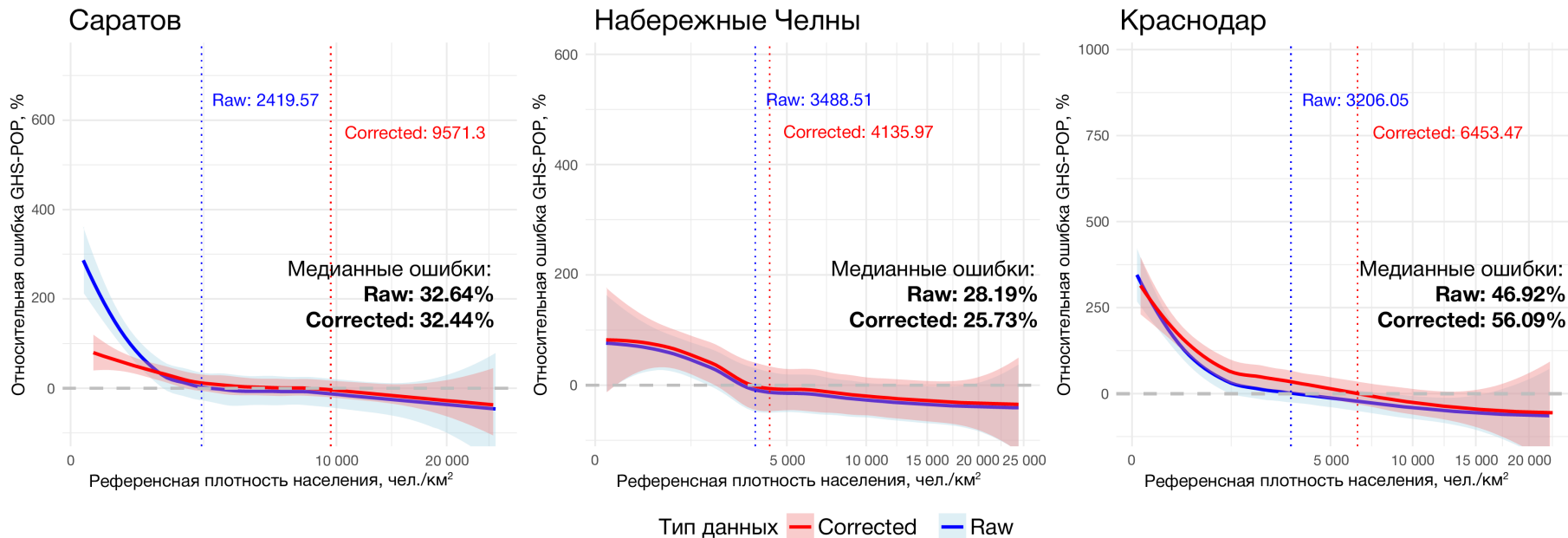
- *Морфологические различия:* Краснодар – крупные массивы частной застройки и крупные массивы нового высотного жилья; Саратов – разнообразие морфотипов от исторической застройки в центре до частной застройки на окраинах; Набережные Челны: советская микрорайонная застройка (Gonyukhov and Sheludkov, 2024)

Результаты 1: уровень 100-м ячеек



- RMdSPE в оригинальных данных: 55–60%. Коррекция привела к росту RMdSPE, что связано с существенной недооценкой в исходных данных GHS-POP численности населения в городах, особенно в Краснодаре (-382 тыс. чел.), и наличием систематической ошибки:
- Завышение численности населения в низкоплотных ареалах и занижение в высокоплотных. Переход на уровне 45–120 чел./га., после коррекции: 67-121 чел./га

Результаты 1: уровень 1-км ячеек



- RMdSPE в оригинальных данных: 28–47%; после коррекции: 25–56%.
- Систематическая ошибка. Переход на уровне 2.4–3.5 тыс. чел./кв. км, после коррекции: 4.1-9.6 тыс. чел./кв. км

Результаты 2: точность модели (ТАА)



Город	Разрешение	GHS-POP [1]	GHS-POP-21 [2]	Corrected GHS-POP [3]
Саратов	100 м	50.2%	53.2%	56.4%
	1 км	76.5%	80.7%	82.8%
Набережные Челны	100 м	43.1%	43.4%	47.4%
	1 км	69.6%	70.2%	75.4%
Краснодар	100 м	44.5%	52.1%	52.4%
	1 км	63.9%	74.6%	75.2%

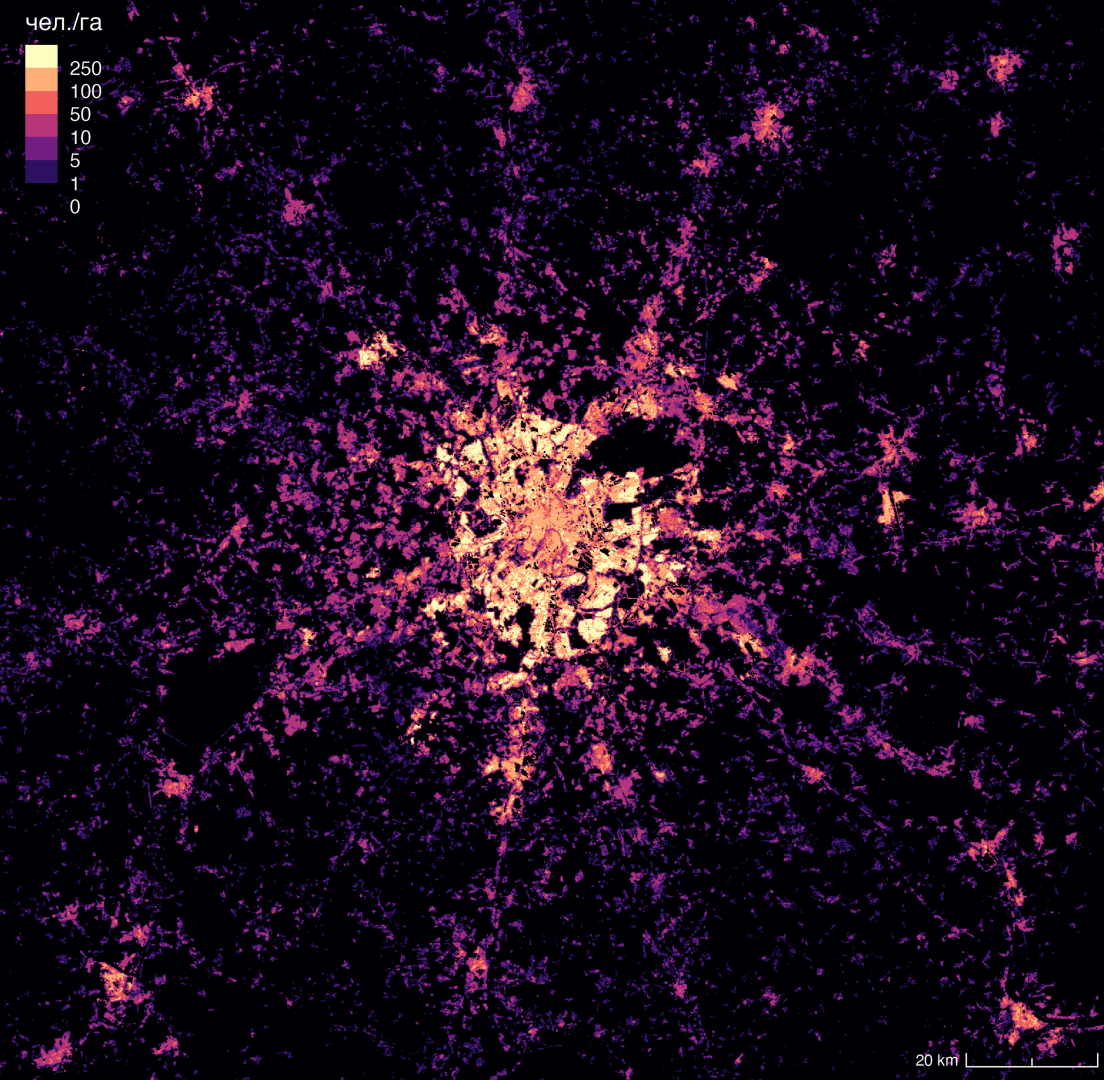
- Улучшение точности модели: на уровне 100 м доля верно распределенного населения (ТАА) увеличилась с 43–50% до 47–56%. На уровне 1 км точность исходной модели составляла 64–76%, после коррекции – 75% для Краснодара и Набережных Челнов и 83% для Саратова
- Значения ТАА приблизились к результатам валидации оригинальных данных в других странах

1. Проведена двухэтапная коррекция глобального набора данных GHS population grid (GHS-POP) для России: 1) устранены расхождения с результатами переписи населения 2020(21) г. по муниципальным образованиям верхнего уровня; 2) устранены артефакты размещения населения на неселитебных (промышленных) территориях через сопоставление с данными OpenStreetMap о землепользовании.
2. Точность скорректированного набора данных составила 47–56% (100 м) и 75–83% (1 км) при верификации с данными реестра жилого фонда.
3. Выявлены систематические смещения в данных, связанные с завышением численности населения в низкоплотных ареалах расселения и занижением в высокоплотных ареалах; дана оценка этих смещений.
4. Алгоритм коррекции масштабирован на территорию России. Данные доступны для использования.

Шелудков А.В., Игнатенко П.Ю., Гонюхов П.О., Зыков Г.С., Рябина А.И., Фоменков Г.К., Цыганков Е.А. Сеточные данные о плотности населения в России: валидация и коррекция глобальной модели GHS-POP // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2025. (Submitted)

Методические и концептуальные ограничения данных:

- оценка *резидентного* (ночного, постоянного) населения, соответственно, не учитываются суточные и сезонные колебания численности и плотности населения (см., например: Махрова и др., 2022);
- систематические ошибки в распределении населения между низко- и высокоплотными ареалами расселения, а также возможное преувеличение численности сельского населения и пригородов в связи со сложностями разграничения сельской и дачной застройки;
- для коррекции значений на уровне муниципальных образований мы опирались на данные последней переписи населения, порядок проведения которой критиковался (см., например: Андреев и Чурилова, 2023), что не исключает искажений по сравнению с реальным размещением населения;
- возможные ошибки и неточности в данных OpenStreetMap, по которым проводилась коррекция размещения населения внутри муниципалитетов;
- постепенное устаревание информации, особенно по отношению к быстро растущим крупным городам и их пригородам, а также западным регионам, испытавшим последствия военных действий.



Сеточные данные о плотности населения в России в 2021 г.: скорректированные данные GHS-POP



- GeoTIFF
- Разрешение: 100 м и 1 км
- Равновеликая коническая проекция Альберса



Библиография



Андреев Е.М., Чурилова Е.В. Результаты Всероссийской переписи населения 2021 года в свете статистики текущего учета населения и переписей предыдущих лет // Демографическое обозрение. – 2023. – Т. 10. – №. 3. – С. 4–20.

Дазиметрическая карта Европейской России / Сост. В.А.Егунов, Г.Ф.Малявкин; Под ред. В.П. Семенова-Тян-Шанского. — Ленинград : Научно-техн. отд. ВСНХ, 1927, 1934. — 46 отд. л. цв.; 61х76 см. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_010451251/

Махрова А.Г., Бабкин Р.А., Кириллов П.Л., Старикова А.В., Шелудков А.В. Исследования и оценки масштабов возвратной мобильности и пульсаций населения в пространстве современной России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86. – №. 3. – С. 332–352.

Пространственный слой муниципальных образований верхнего уровня России с корректными кодами ОКТМО и данными по оценке численности населения на 1 января 2021 года по данным OpenStreetMap и Росстата. Центр геоданных ФГИТ ВШЭ, 2024. URL: <https://geoportal.hse.ru/portal/home/item.html?id=12e78b9c3bf04feea944f9d53eb3d079>

Численность населения в муниципальных образованиях и населенных пунктах//Росстат; обработка «Если быть точным», 2024.

Условия использования: Creative Commons BY 4.0. URL: <https://tochno.st/datasets/settlements>

Bondarenko M., Kerr D., Sorichetta A., and Tatem, A.J. 2020. Census/projection-disaggregated gridded population datasets, adjusted to match the corresponding UNPD 2020 estimates, for 183 countries in 2020 using Built-Settlement Growth Model (BSGM) outputs. WorldPop, University of Southampton, UK. <https://doi.org/10.5258/SOTON/WP00685>

Calka B., Bielecka E. GHS-POP accuracy assessment: Poland and Portugal case study //Remote Sensing. – 2020. – V. 12. – №. 7. – P. 1105. <https://doi.org/10.3390/rs12071105>

Chen R., Yan H., Liu F., Du W., Yang Y. Multiple global population datasets: Differences and spatial distribution characteristics //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2020. – V. 9. – №. 11. – P. 637. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110637>

Dobson J.E., Bright E.A., Coleman P.R., Durfee R.C., Worley B.A. LandScan: a global population database for estimating populations at risk // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2000. – V. 66. – №. 7. – P. 849–857.

Gonyukhov P.O., Sheludkov A.V. Are post-Soviet cities 15-minute cities? Differences in pedestrian accessibility of basic urban services by residential development morphotypes in Krasnodar, Saratov and Naberezhnye Chelny // Regional Research of Russia. — 2024. — Vol. 14, Suppl. 1. — P. S150–S162. <https://doi.org/10.1134/S2079970524600677>

Kuffer M., Owusu M., Oliveira L., Sliuzas R., van Rijn F. The missing millions in maps: exploring causes of uncertainties in global gridded population datasets // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2022. – V. 11. – №. 7. – P. 403. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070403>

Библіографія

- Leyk, S., Gaughan, A. E., Adamo, S. B., De Sherbinin, A., Balk, D., Freire, S., ... & Pesaresi, M. (2019). The spatial allocation of population: a review of large-scale gridded population data products and their fitness for use. *Earth System Science Data*, 11(3), 1385–1409.
- Nieves, J. J., Bondarenko, M., Sorichetta, A., Steele, J. E., Kerr, D., Carioli, A., ... & Tatem, A. J. (2020). Predicting near-future built-settlement expansion using relative changes in small area populations. *Remote Sensing*, 12(10), 1545.
- Pesaresi, M., Schiavina, M., Politis, P., Freire, S., Krasnodębska, K., Uhl, J. H., ... & Kemper, T. (2024). Advances on the Global Human Settlement Layer by joint assessment of Earth Observation and population survey data. *International Journal of Digital Earth*, 17(1), 2390454.
- Schiavina M., Freire S., Carioli A., MacManus K. GHS-POP R2023A – GHS population grid multitemporal (1975–2030). — European Commission, Joint Research Centre (JRC). — 2023. — URL: <https://doi.org/10.2905/2FF68A52-5B5B-4A22-8F40-C41DA8332CFE>
- Sims K., Reith A., Bright E., Kaufman J., Pyle J., Epting J., Gonzales J., Adams D., Powell E., Urban M., & Rose A. (2023). LandScan Global 2022 [Data set]. Oak Ridge National Laboratory. <https://doi.org/10.48690/1529167>
- Stevens F.R., Gaughan A.E., Linard C., Tatem A.J. Disaggregating census data for population mapping using random forests with remotely-sensed and ancillary data //PloS One. — 2015. — V. 10. — №. 2. — P. e0107042.