

Оценка антропогенного потока тепла в течение отопительного периода на основе строительных норм и правил в городах Российской Федерации с населением не менее четырехсот тысяч человек

Фролькис В.А.^{1,2,3}, Евсиков И.А.^{1,3}

¹Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный экономический университет

³Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет



Мотивация

За последнее столетие города показывают процесс тотальной урбанизации. По оценкам ООН на планете доля городского населения выросла до 55% (в Северной Америке (82%), Латинской и Центральной Америке (81%), Европе (74%)), к 2050 г. в городах будет проживать около 70% мирового населения, которое будет потреблять до 60% мирового производства энергии. Сейчас на земном шаре насчитывается около 500 городов с численностью более 1 млн чел.

В России

**16 городов имеют население более 1 млн человек,
21 город обладает населением от 0,5 до 1 млн человек,
в 41 городе проживают от 250 до 500 тысяч человек.**

**75,1% населения России проживает в городах
(Росстат, 2022²).**

Городская застройка создает внутри пограничного слоя атмосферы городской покрывающий слой - от поверхности до огибающей крыш зданий.

Выделяемая в атмосферу часть энергопотребления зданий, отнесенная к единице площади подстилающей поверхности, называется **антропогенным потоком тепла (АПТ).**

Город влияет на свой микроклимат, например, из-за антропогенного тепла, приводящего к появлению городского острова тепла, наблюдаемого и летом, и зимой, который увеличивает температуру в городе по сравнению с температурой на прилегающих территориях.

Эмпирические оценки и численные эксперименты показали, что АПТ может увеличивать температуру воздуха до 10° (а иногда и больше) в городском покрывающем слое по сравнению с пригородом.

Для оценки АПТ используются основных подходы:

- прямые измерения тепловых потоков;**
- инвентаризация (суммирование энергии всех потребителей);**
- дистанционные спутниковые измерения потоков теплового излучения с выделением АПТ по локальным метеорологическим данным;**
- численное моделирование АПТ.**

В последнее время в рамках инвентаризации появился подход «снизу-вверх»: здания города разделяются на классы. В каждом классе измеряются АПТ от одного здания, а затем результат умножается на количество зданий в классе.

Геоинформационные технологии и информационное моделирование зданий в рамках инвентаризации позволили дать другую оценку «снизу-вверх»: оценить АПТ от каждого здания в городе на основе строительных норм и правил, а затем просуммировать АПТ по всем зданиям города.

Цель:

**сформулировать алгоритм
оценки антропогенного потока тепла в мегаполисе
в течение отопительного периода
на основе строительных норм и правил**

Исходные данные для геометрической модели города

- 1) «OpenStreetMap». URL: <https://www.openstreetmap.org>
- 2) Яндекс.Карты (народные Яндекс.Карты).
<https://n.maps.yandex.ru/>
- 3) ГИС ЖКХ URL: <https://dom.gosuslugi.ru/#!/houses>
(может содержать информацию о зданиях: число этажей, тип ограждающих конструкций)

Исходные данные для оценки АПТ

- 3) СП 131.13330.2020 (Строительная климатология)
- 4) СП 50.13330.2012 (Тепловая защита зданий)
- 5) ГОСТ 30494-2011
(Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях)

Число зданий и их распределение по высоте в городах Российской Федерации

Город	Средняя высота зданий, м		Всего зданий, шт.	Высота неизвестна (%)	Доля зданий (%) разной высоты (в метрах)								
	Включая одноэтажные	Исключая одготажные			0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-30	30-45	45-60	>60
Москва	11.0	23.4	244187	17	32	22	8	3	6	6	4	3	1
Санкт-Петербург	10.0	19.2	146883	17	30	20	9	5	6	7	2	1	1
Новосибирск	6.7	19.7	72391	8	54	21	5	2	4	4	1	1	0
Екатеринбург	10.6	20.8	37161	6	27	32	11	3	9	7	2	2	1
Казань	6.3	18.9	83082	19	44	24	4	1	3	3	0	1	0
Нижний Новгород	7.1	17.1	52683	8	46	25	8	2	5	5	1	1	0
Челябинск	5.9	18.7	66612	13	61	13	4	2	4	4	0	1	0
Красноярск	7.1	21.0	46245	15	52	17	4	2	5	4	1	1	0
Самара	7.4	15.0	59375	13	25	39	12	2	5	3	1	1	0
Уфа	6.8	20.2	44642	11	52	22	4	1	4	4	1	1	0
Ростов-на-Дону	4.7	19.1	118323	11	70	11	3	1	2	2	0	0	0

Средняя высота зданий по выборке:

включая одноэтажные здания от 4,2 до 11,0 м;

исключая одноэтажные от 12,6 до 23,4м

Диапазон неопределенности для высоты зданий

min = 3% (Краснодар), max = 36% (Саратов). Среднее = 14%

Геометрические характеристики застройки для **административной** территории рассматриваемых городских агломераций

Город	Средняя высота зданий, м	Площадь стен, 10 ⁶ м ²	Площадь крыш, 10 ⁶ м ²	Объем зданий, 10 ⁶ м ³	Показатель компактности, 1/м	Площадь территории, 10 ⁶ м ²	Доля крыш в общей площади, %
Москва	11,0	325,8	141,4	2166,0	0,281	2558,1	5,53
Санкт-Петербург	10,2	183,3	95,1	1284,0	0,291	1451,4	6,55
Новосибирск	6,9	55,8	33,9	375,0	0,329	502,5	6,74
Екатеринбург	10,8	51,4	30,0	370,0	0,301	1147,1	2,61
Казань	6,4	48,0	29,9	298,0	0,362	584,5	5,11
Нижний Новгород	7,3	41,7	28,2	295,0	0,333	319,0	8,85
Челябинск	6,0	42,8	30,3	300,0	0,345	500,5	6,06
Красноярск	7,2	38,9	24,2	260,5	0,336	378,0	6,41
Самара	7,5	45,1	27,1	294,4	0,337	541,4	5,01
Уфа	6,9	33,9	19,6	223,4	0,328	653,8	3,00

В выборке доля крыш от общей площади административной территории находится в интервале от 2,64 до 9,16 %

Менее 90 % административной территории города не генерируют АПТ, поэтому целесообразно рассматривать урбанизированную территорию:

городская застройка со зданиями высотой более 6 м, а ее площадь определяется суммарной площадью ячеек сетки, содержащих хотя бы часть одного такого здания.

Не относятся к урбанизированной территории сады, парки, площади, дворы и т. п., а также ячейки расчетной сетки, не содержащие элементы зданий, даже если они находятся среди многоэтажной застройки.

Геометрические характеристики застройки для **урбанизированных** районов рассматриваемых городских агломераций

Город	Средняя высота зданий, м	Площадь стен, 10^6 м ²	Площадь крыш, 10^6 м ²	Объем зданий, 10^6 м ³	Показатель компактности, 1/м	Площадь территории, 10^6 м ²	Доля крыш в общей площади, %
Москва	23,4	283,0	91,2	1935,0	0,241	307,34	29,68
Санкт-Петербург	19,3	158,4	65,1	1144,0	0,252	200,23	32,50
Новосибирск	19,9	41,1	16,5	298,0	0,248	54,99	29,91
Екатеринбург	21,1	42,2	17,4	309,0	0,249	56,72	30,62
Казань	19,1	31,9	13,2	227,0	0,257	43,36	30,49
Нижний Новгород	17,2	31,0	15,3	236,0	0,261	48,81	31,33
Челябинск	18,8	30,5	15,3	236,0	0,259	45,85	33,44
Красноярск	21,1	29,8	11,8	206,0	0,260	39,65	29,86
Самара	15,0	32,5	13,8	231,0	0,260	47,58	28,90
Уфа	20,4	24,9	10,1	182,0	0,247	33,56	30,01

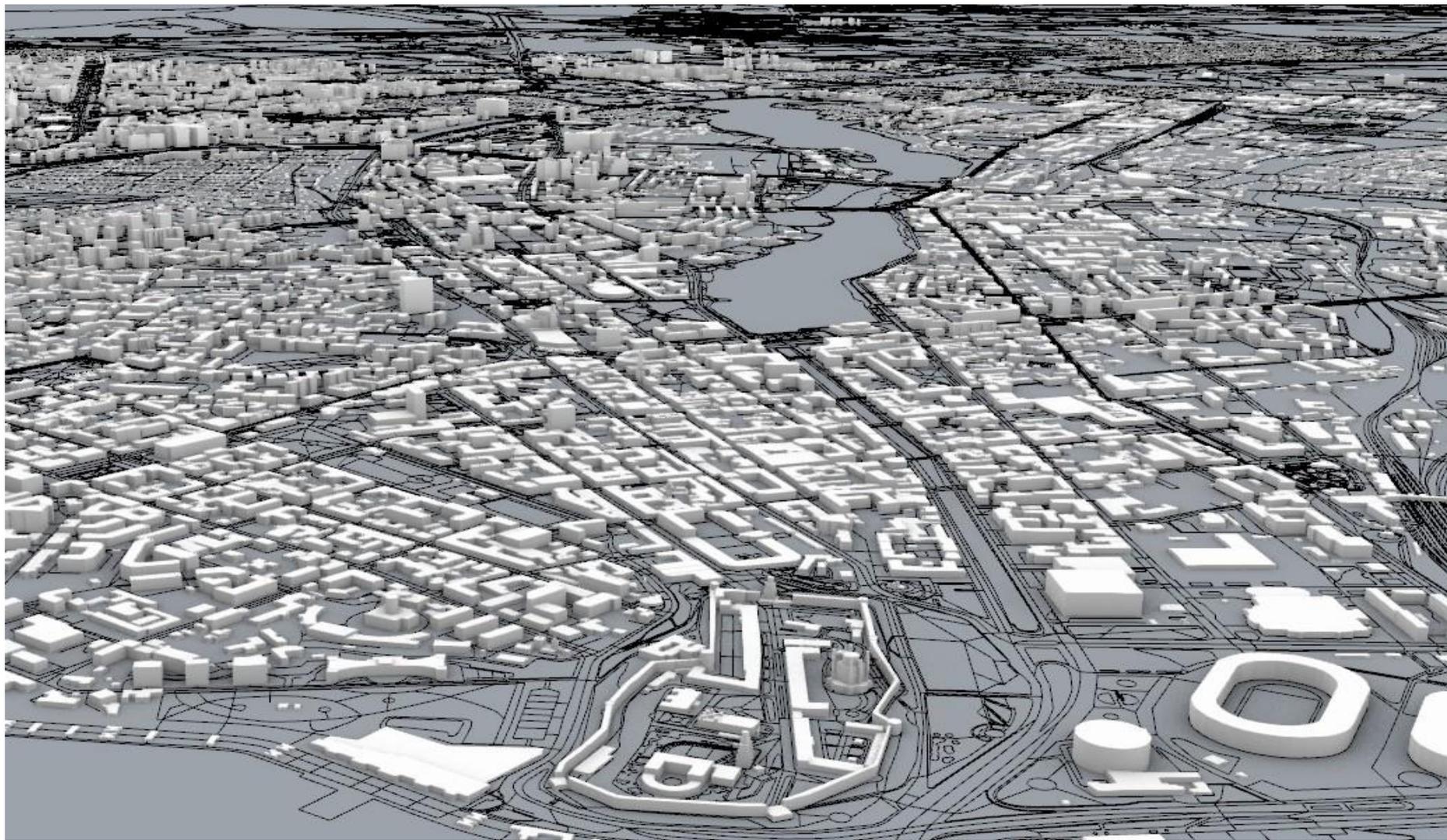
В выборке доля крыш от общей площади урбанизированной территории находится в интервале от 24,1 до 35,9 %



Трехмерная геометрическая модель района МГУ в Москве



Трёхмерная геометрическая модель центра Санкт-Петербурга



Трёхмерная геометрическая модель Казани



Трёхмерная геометрическая модель центра Ярославля

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений;**
- б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения;**
- в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (Свод правил, Тепловая защита зданий).**

Первый алгоритм соответствуют пункту а), второй – пункту б).

Температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций (пункт в) задается по Своду правил (Свод правил, Строительная климатология) и ГОСТу (Международный стандарт).

Первый алгоритм строится на понятии «**нормативного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций**» R_i^{TP} , который, в частности, зависит от среднего многолетнего значения «**градусо-суток отопительного периода**» (ГСОП) и задается на этапе проектирования здания (СП 50.13330.2012):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{ВН}} - t_{\text{ОТ}})d_{\text{ОТ}},$$

где $t_{\text{ВН}} = 20$ °С — температура воздуха внутри здания, $t_{\text{ОТ}}$ — средняя температура атмосферного воздуха за время отопительного периода (°С) и $d_{\text{ОТ}}$ — его продолжительность (сут.) (таблица 3.1 Свод правил. Тепловая защита зданий).

$$K_i = 1/R_i^{TP}$$

$$Q_F^i(j) = K_i(t_{\text{ВН}} - t_{\text{НАР}})S_i(j)$$

где K_i — коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции i -й категории, Вт/(м²·°С); $t_{\text{НАР}}$ — температура наружного воздуха, °С; $S_i(j)$ — суммарная площадь элементов ограждающей конструкции i -й категории в j -й ячейке, м².

$$Q'_F(j) = \sum_i Q_F^i(j) \quad Q'_F = \sum_{j=1}^N Q'_F(j) \quad Q_F = \frac{Q'_F}{80\%} 100\%$$

Второй алгоритм использует значение удельной теплозащитной характеристики здания, k_{OT}^{TP} , Вт/(м³·°С), которое следует принимать в зависимости от отопливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода в районе строительства (таблица 7 (с учетом примечаний) Свод правил. Тепловая защита зданий).

$$Q_F^i(j) = k_{OT,i}^{TP}(t_{ВН} - t_{НАР})V_i(j),$$

$k_{OT,i}^{TP}$ – нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики i -го здания, Вт/(м³ °С), $v_i(j)$ – объем части i -го здания, находящийся в ячейке j , м³.

$$Q_F''(j) = \sum_i Q_F^i(j) \quad Q_F = \sum_{j=1}^N Q_F''(j) \quad Q_F = \frac{Q_F'}{80\%} 100\%$$

Третий алгоритм основан на понятии «нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания» q_{OT}^{TP} (пункт 10, Свод правил. Тепловая защита зданий).

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания не должно превышать **нормируемого значения** q_{OT}^{TP} , Вт/(м³·°С), которое зависит от этажности и типа здания, позволяет оценить верхнюю границу его теплопотерь (таблица 14, Свод правил. Тепловая защита зданий).

$$Q_F^i(j) = q_{OT,i}^{TP}(t_{ВН} - t_{НАР})V_i(j)$$

$q_{OT,i}^{TP}$ — нормируемое значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания i -го типа, Вт/(м³ °С); $v_i(j)$ — объем части здания i -го типа в ячейке j , м³.

$$Q_F'''(j) = \sum_i Q_F^i(j) \quad Q_F = \sum_{j=1}^N Q_F'''(j)$$

$$Q_F = Q_F + \Delta Q_{F,g} = (1 + 0,1)Q_F$$

**Плотность АПТ (Вт/м²) во время отопительного периода
по трем алгоритмам при разности между
внутренней и наружной температурой воздуха 1 °С**

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	0,137	0,222	0,294
Санкт-Петербург	0,094	0,149	0,195
Города с населением не менее 1 миллиона	0,049 – 0,178	0,077 – 0,275	0,094 – 0,331
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	0,067 – 0,197	0,100 – 0,300	0,133 – 0,244
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	0,044 – 0,204	0,067 – 0,309	0,097 – 0,372
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	0,045 – 0,249	0,065 – 0,391	0,092 – 0,386
Урбанизированная территория			
Москва	0,923	1,54	2.14
Санкт-Петербург	0,860	1,41	1.95
Города с населением не менее 1 миллиона	0,615 – 1,17	0,977 – 1,94	1,56 – 2,10
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	0,600 – 0,884	0,945 – 1,42	1,36 – 1,78
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	0,558 – 0,911	0,892 – 1,48	1,31 – 2,01
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	0,495 – 1,08	0,771 – 1,80	1,30 – 1,65

Плотность АПТ (Вт/м²) с административной и урбанизированной территории при температуре наружного воздуха $t_{\text{НАР}}$, равной средней температуре отопительного периода $t_{\text{ОТ}}$, по трем алгоритмам

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	3,05	4,92	6,52
Санкт-Петербург	1,99	3,15	4,13
Города с населением не менее 1 миллиона	1,26 – 3,76	1,97 – 6,02	2,10 – 7,80
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	1,85 – 3,38	2,92 – 5,16	3,49 – 5,59
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	1,17 – 4,25	1,78 – 6,56	2,57 – 8,26
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	1,35 – 4,42	1,97 – 7,11	2,77 – 9,50
Урбанизированная территория			
Москва	20,5	34,3	47,5
Санкт-Петербург	18,2	30,0	41,2
Города с населением не менее 1 миллиона	16,2 – 20,6	27,1 – 33,6	34,9 – 51,4
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	15,2 – 19,3	24,4 – 30,7	23,4 – 44,2
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	13,7 – 20,2	20,6 – 32,7	19,8 – 44,7
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	14,5 – 17,7	23,2 – 28,0	18,8 – 41,3

**Суточная плотность антропогенной энергии (10^6 Дж/(сут·м²))
с административной и урбанизированной территории при температуре
наружного воздуха $t_{\text{НАР}}$, равной средней температуре отопительного
периода $t_{\text{ОТ}}$, по трем алгоритмам**

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	0,263	0,425	0,563
Санкт-Петербург	0,180	0,285	0,374
Города с населением не менее 1 миллиона	0,094 – 0,341	0,148 – 0,527	0,181 – 0,634
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	0,129 – 0,337	0,191 – 0,575	0,256 – 0,469
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	0,084 – 0,391	0,128 – 0,592	0,185 – 0,713
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	0,086 – 0,478	0,125 – 0,751	0,177 – 0,741
Урбанизированная территория			
Москва	1,77	2,96	4.02
Санкт-Петербург	1,649	2,71	3.73
Города с населением не менее 1 миллиона	1,18 – 2,25	1,87 – 3,73	2,99 – 4,03
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	1,15 – 1,70	1,81 – 2,72	2,61 – 3,41
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	1,07 – 1,75	1,71 – 2,83	2,52 – 3,86
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	0,949 – 2,08	1,48 – 3,45	2,49 – 3,17

АПТ (10⁶ Вт) с административной и урбанизированной территории по трем алгоритмам при разности между внутренней и наружной температурами воздуха 1 °С

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	351,7	567,5	752,2
Санкт-Петербург	214,2	339,7	445,4
Города с населением не менее 1 миллиона	37,5 – 64,4	59,3 – 99,4	81,4 – 133,0
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	24,2 – 43,3	37,2 – 64,6	33,8 – 74,6
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	18,5 – 27,3	28,1 – 41,9	27,6 – 52,5
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	16,6 – 42,9	24,3 – 67,4	34,1 – 47,5
Урбанизированная территория			
Москва	283,7	474,5	657,5
Санкт-Петербург	172,9	284,1	391,2
Города с населением не менее 1 миллиона	24,3 – 41,9	39,5 – 69,3	50,8 – 106,1
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	14,7 – 25,4	23,2 – 41,7	23,6 – 62,7
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	11,5 – 18,2	18,1 – 29,8	19,3 – 42,0
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	8,57 – 24,5	13,4 – 40,7	22,5 – 40,5

Энергия (10^{12} Дж/сут.), выделяемая за сутки, с административной и урбанизированной территории при температуре наружного воздуха $t_{\text{НАР}}$, равной средней температуре отопительного сезона $t_{\text{ОТ}}$, по трем алгоритмам

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	30,4	49,0	65,0
Санкт-Петербург	18,5	29,4	38,5
Города с населением не менее 1 миллиона	3,24 – 5,56	5,13 – 8,59	7,03 – 11,5
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	2,09 – 3,74	3,21 – 5,58	2,92 – 6,45
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	1,60 – 2,36	2,43 – 3,57	2,39 – 4,54
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	1,44 – 3,71	2,10 – 5,82	2,95 – 4,10
Урбанизированная территория			
Москва	24,5	41,0	56,8
Санкт-Петербург	14,9	24,5	33,8
Города с населением не менее 1 миллиона	2,10 – 3,62	3,41 – 5,99	4,38 – 9,16
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	1,27 – 2,19	2,01 – 3,60	2,04 – 5,42
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	1,00 – 1,58	1,56 – 2,57	1,67 – 3,63
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	0,74 – 2,12	1,15 – 3,52	1,94 – 3,50

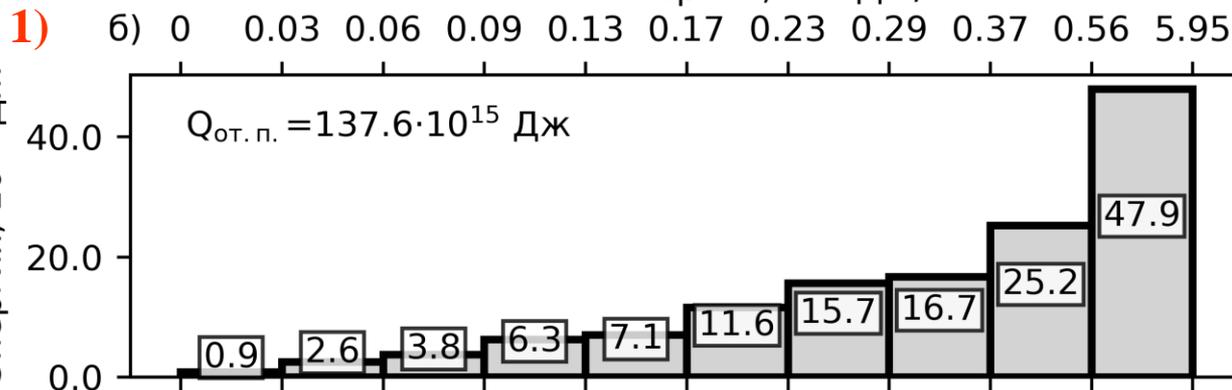
Энергия (10^{15} Дж), выделяемая за отопительный период, с административной и урбанизированной территории при температуре наружного воздуха $t_{\text{НАР}}$, равной средней температуре отопительного сезона $t_{\text{ОТ}}$, по трем алгоритмам

Алгоритмы	1	2	3
Административная территория			
Москва	137,6	222,0	294,3
Санкт-Петербург	82,8	131,3	172,1
Города с населением не менее 1 миллиона	14,5 – 31,1	21,7 – 48,3	20,7 – 71,2
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	5,85 – 17,4	8,93 – 27,5	7,27 – 38,5
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	4,12 – 11,97	5,90 – 18,1	4,75 – 23,5
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	4,62 – 11,2	7,26 – 17,0	4,91 – 22,7
Урбанизированная территория			
Москва	111,0	185,7	257,3
Санкт-Петербург	66,8	109,8	151,2
Города с населением не менее 1 миллиона	8,25 – 20,4	13,4 – 33,6	14,8 – 55,0
Города с населением от 0,6 до 1 миллиона	3,29 – 13,1	5,29 – 21,5	5,08 – 32,4
Города с населением от 0,5 до 0,6 миллиона	2,30 – 7,96	3,46 – 12,9	3,32 – 18,5
Города с населением от 0,4 до 0,5 миллиона	2,64 – 8,67	4,38 – 13,6	3,41 – 19,3

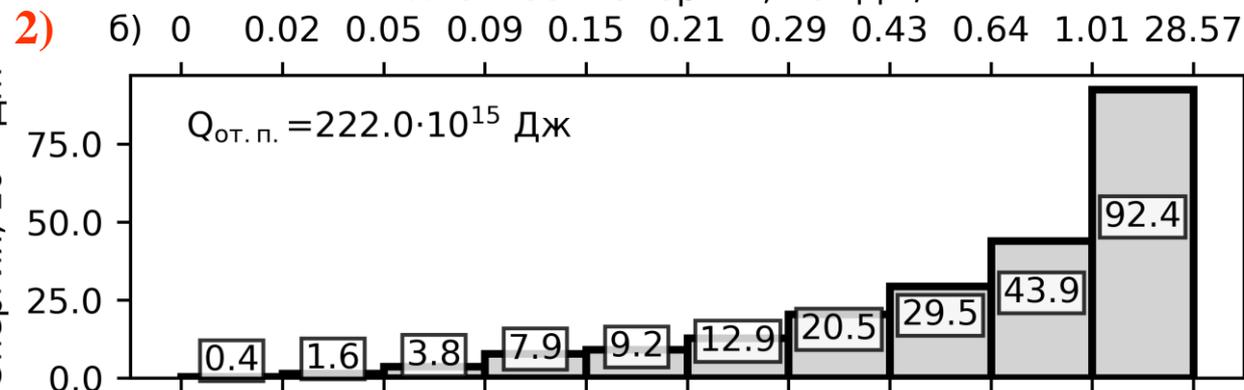
Существует линейная зависимость между сгенерированной антропогенной энергией (в 10^{15} Дж) за отопительный период при температуре наружного воздуха $t_{\text{НАР}}$, равной $t_{\text{ОТ}}$, и численностью населения в рассматриваемых городах (в миллионах человек). Коэффициент линейной регрессии равен 27,7 ГДж/чел по первому, 44.8 ГДж/чел по второму и 59.8 ГДж/чел ($R^2 = 0.97$) по третьему алгоритмам.

Наблюдается линейная зависимость между численностью населения и объемами зданий городской застройки (коэффициент линейной регрессии $172.6 \text{ м}^3/\text{чел}$, $R^2=0.98$). Отсюда можно сделать вывод, что бо́льшая энергоэффективность городской застройки в столицах, скорее всего, создается за счет эффективного коэффициента компактности зданий (отношение площади внутренних поверхностей ограждающих конструкций к заключенному в них отапливаемому объему), т.е. более высотной застройкой (незначительным числом малоэтажных зданий).

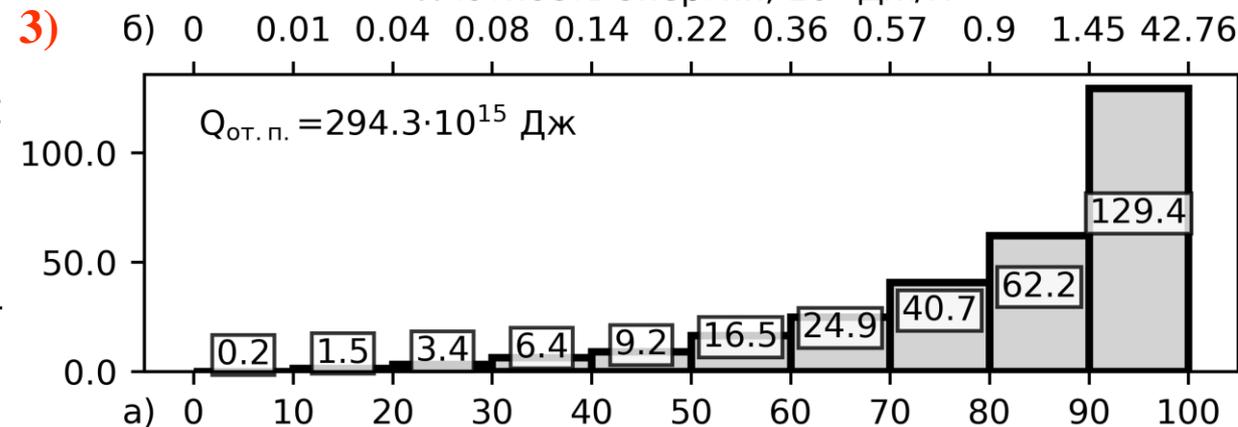
Плотность энергии, 10^9 Дж/м²



Плотность энергии, 10^9 Дж/м²



Плотность энергии, 10^9 Дж/м²

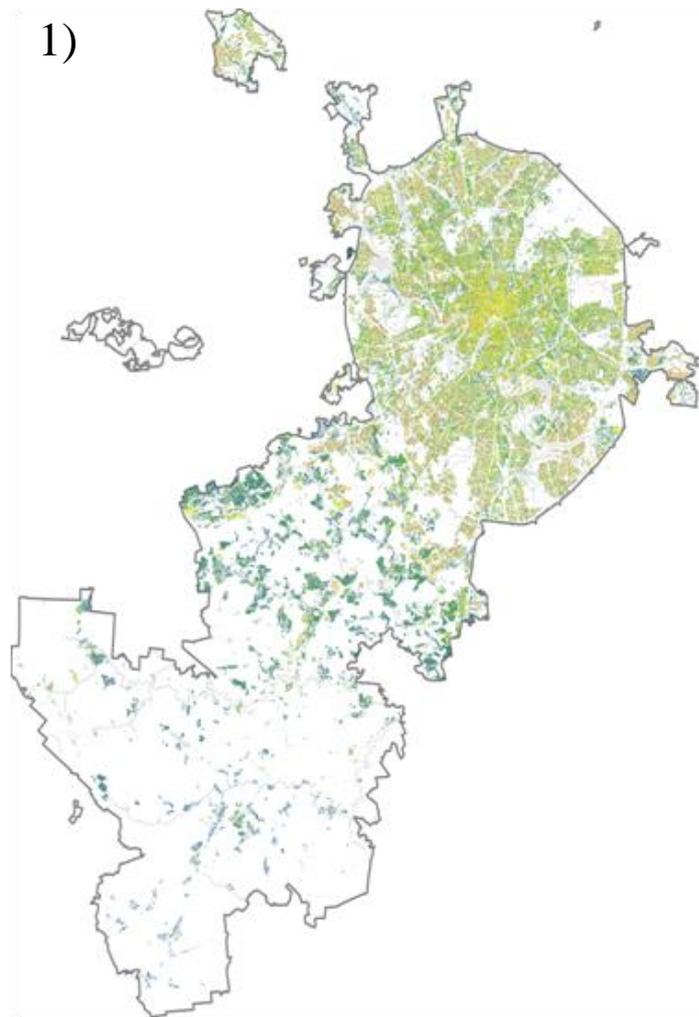


Рассчитанные по трем алгоритмам гистограммы антропогенной энергии и плотности антропогенной энергии, выделяемой за весь отопительный период зданиями с административной территории **Москвы при наружной температуре воздуха, равной средней температуре отопительного периода**

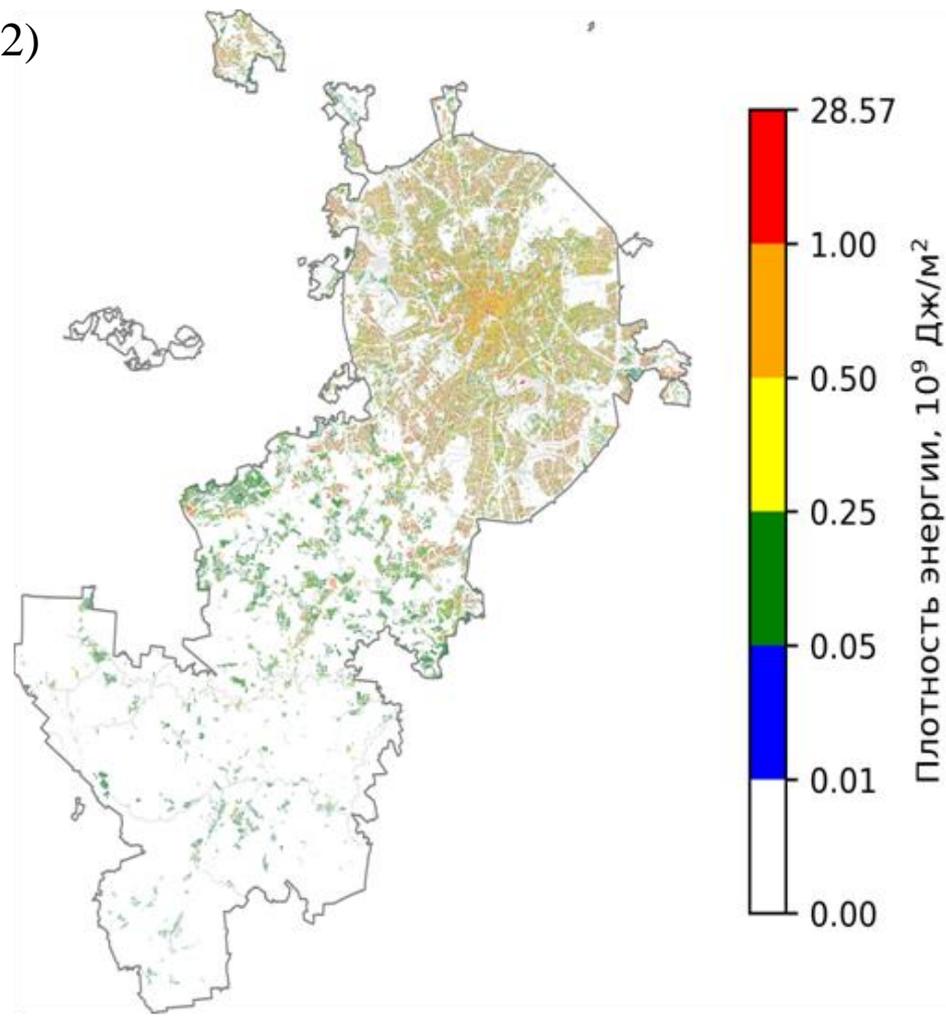
а) 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Квантили, %

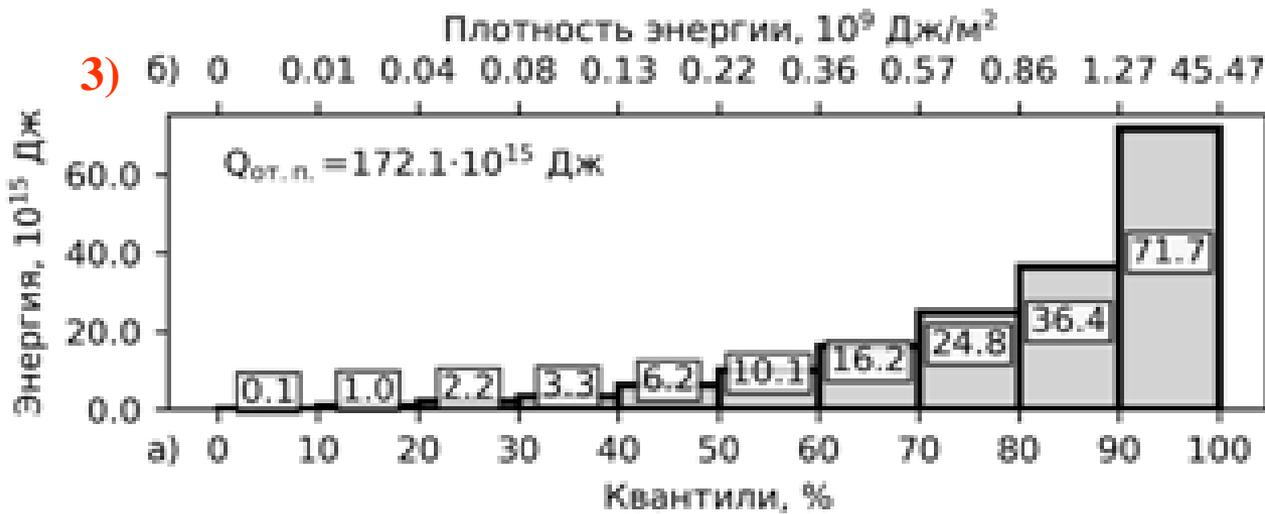
1)



2)

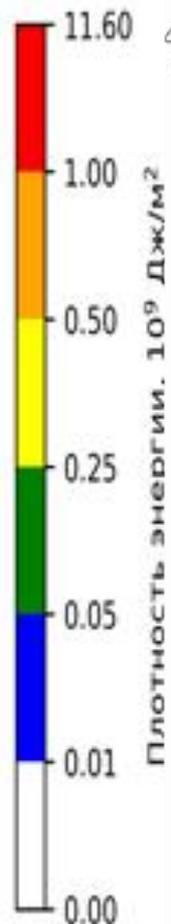
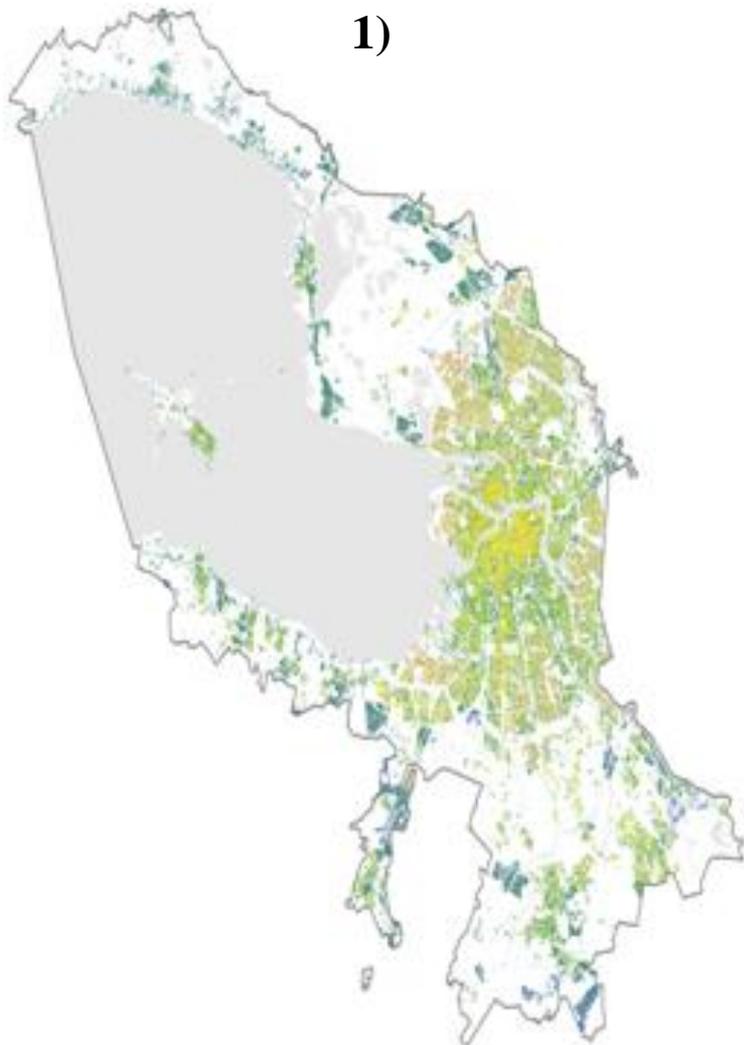


Рассчитанные по первому и второму алгоритмам карты распределения плотности антропогенной энергии (10^9 Дж/м²), выделяемой за отопительный период зданиями с административной территории **Москвы при наружной температуре воздуха, равной средней температуре отопительного периода,**

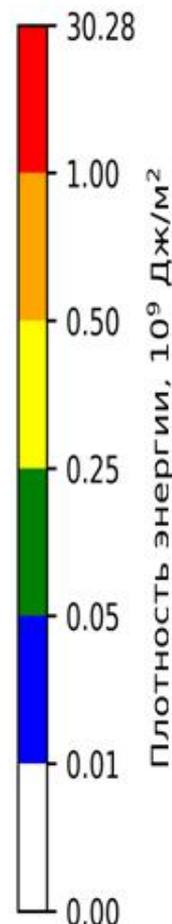
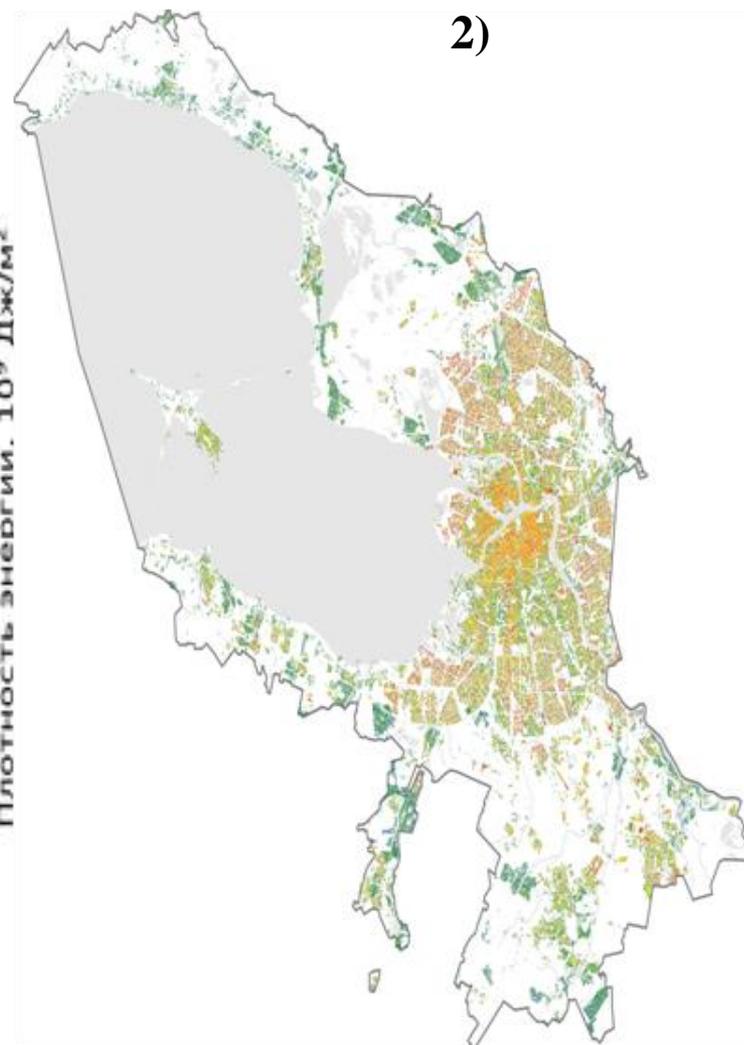


Рассчитанные по трем алгоритмам гистограммы антропогенной энергии и плотности антропогенной энергии, выделяемой за весь отопительный период зданиями с административной территории Санкт-Петербурга при наружной температуре воздуха, равной средней температуре отопительного периода

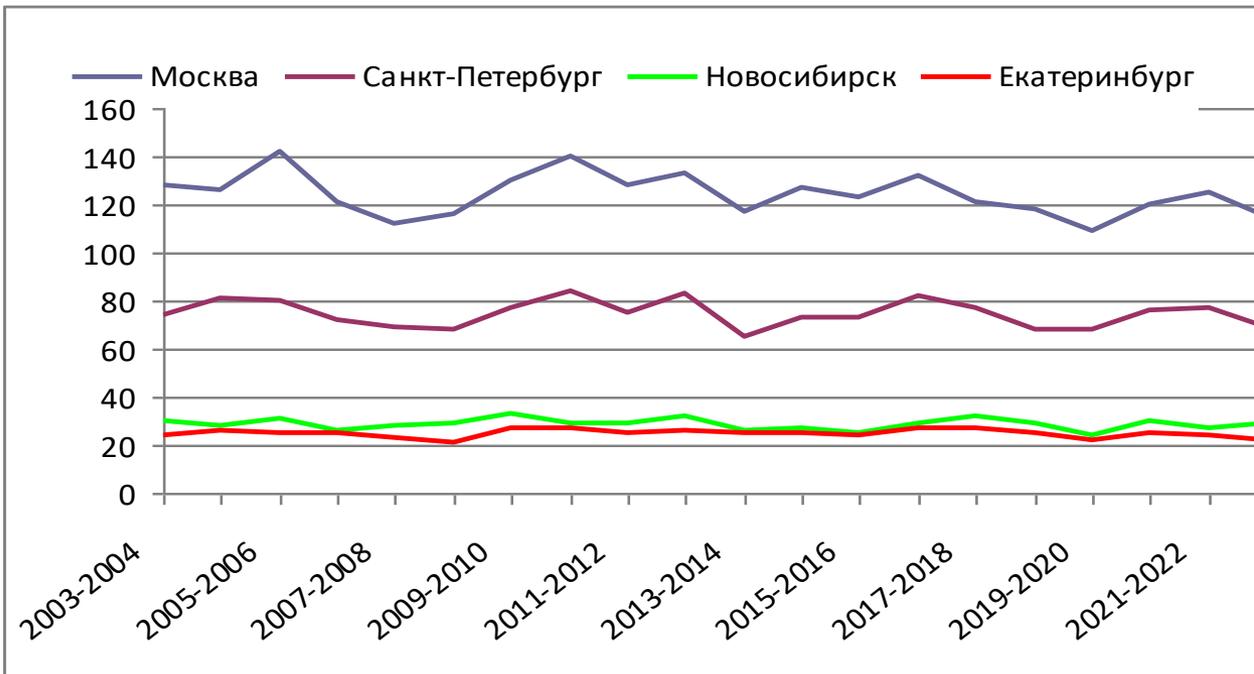
1)



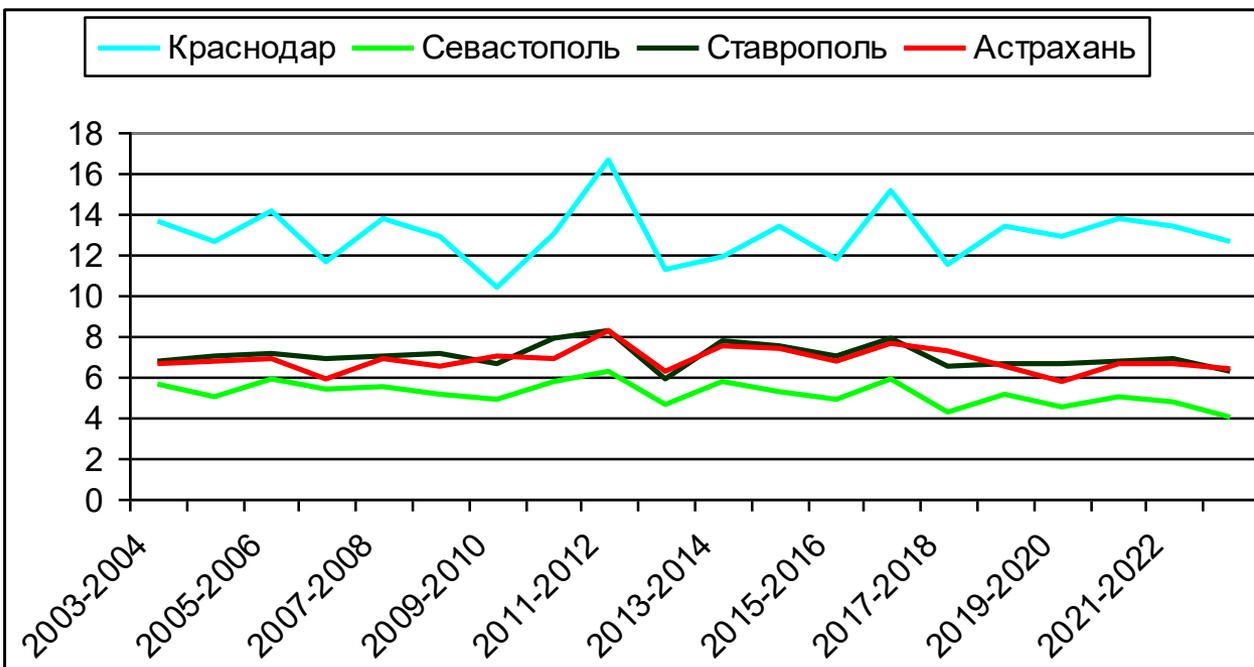
2)



Рассчитанные по первому и второму алгоритмам карты распределения плотности антропогенной энергии (10^9 Дж/м²), выделяемой за отопительный период зданиями с административной территории **Санкт-Петербурга** при наружной температуре воздуха, равной средней температуре отопительного периода

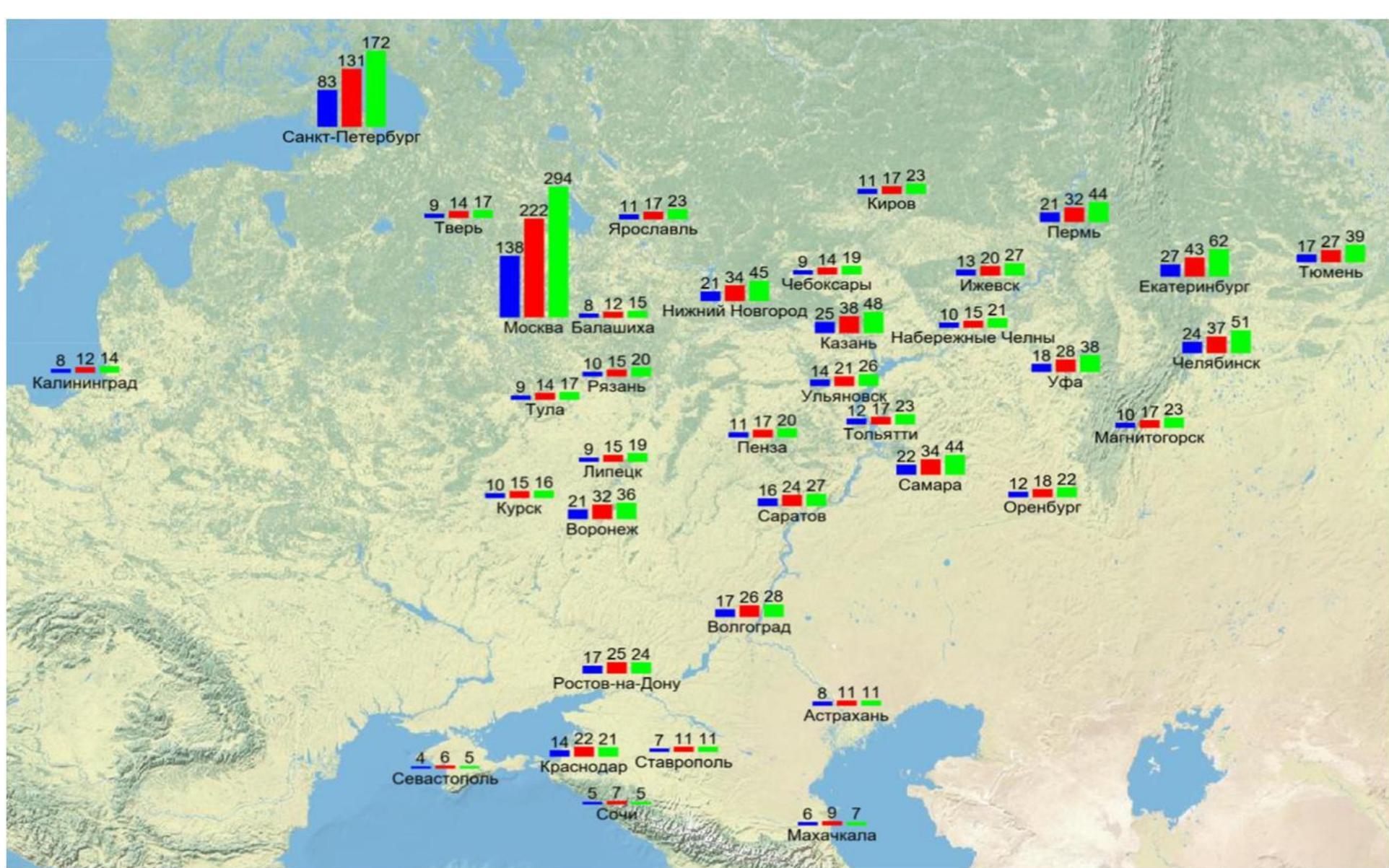


Рассчитанная по первому алгоритму антропогенная энергия (10^{15} Дж), выделяемой за весь отопительный период зданиями с административной территории при фактической наружной температуре в различные годы

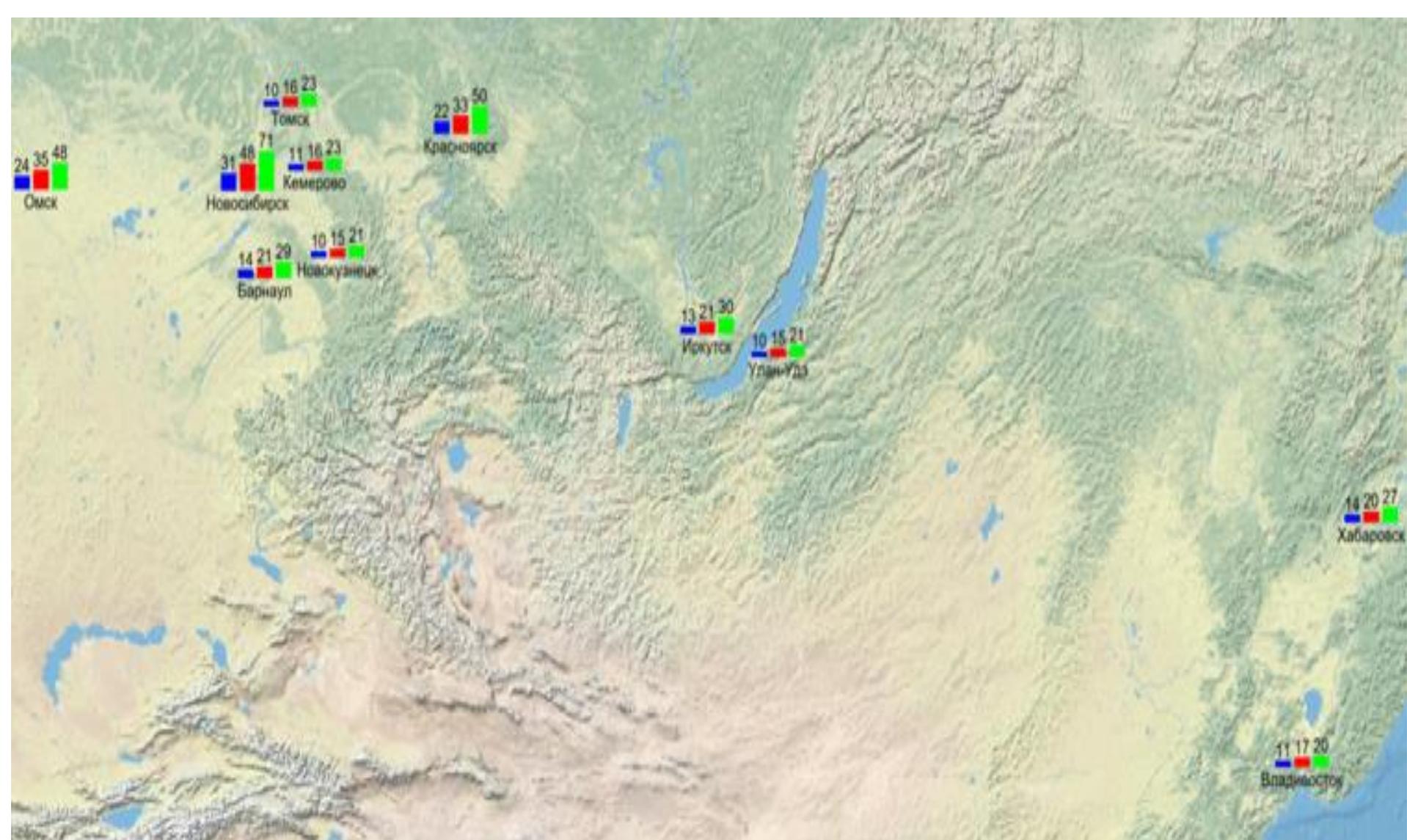


Москва: 109,0-142,5 (10^{15} Дж)

СПб: 65,0 - 83,7 (10^{15} Дж)



Распределение антропогенной энергии (ПДж), генерируемой городами России за отопительный период при $t_{\text{НАР}} = t_{\text{ОТ}}$ по первому (синий цвет), второму (красный цвет) и третьему (зеленый цвет) алгоритмам



Распределение антропогенной энергии (ПДж), генерируемой городами России за отопительный период при $t_{\text{НАР}} = t_{\text{ОТ}}$ по первому (синий цвет), второму (красный цвет) и третьему (зеленый цвет) алгоритмам

Заключение

1) Рассмотренные методы расчета АПТ основаны на предположении, что все здания городов России соответствуют современным строительным нормам по теплоизоляции, что в действительности не всегда так.

2) В настоящее время зданиям присваивают класс энергоэффективности, используя который можно повысить точность оценки АПТ в третьем алгоритме, т.к. в его основе лежит «нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания», отклонение от которой определяет класс энергоэффективности.

3) При средней температуре отопительного периода t_{OT} по трем алгоритмам:
Москва производит от 137,6 до 294,3 10^{15} Дж,
Санкт-Петербург от 82,8 до 172,1 10^{15} Дж.
Население Москвы в 2,32 раза больше населения Санкт-Петербурга, но Москва создает антропогенное тепло в 1,7 раза больше северной столицы. Такое соотношение можно объяснить тем, что суммарный объем зданий в Москве в 1,7 раза больше, чем в Санкт-Петербурге, а отсюда следует, что количество антропогенной энергии, в конечном счете, определяется общим объемом и коэффициентом компактности зданий города.

4) Карты плотности АПТ позволяют уточнить составляющие уравнения теплового баланса при моделировании региональной атмосферы и городского пограничного слоя.

Евсиков И.А. Информационные технологии для расчета антропогенного потока тепла условиях городской застройки // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2024. Т. 22, № 2. – С. 20-32.

Фролькис В.А., Евсиков И.А. Оценка антропогенного потока тепла в течение отопительного периода в городах Российской Федерации с населением не менее полумиллиона // Труды ГГО, вып. 613. 2024, с. 76-133.

Фролькис В.А., Евсиков И.А., Гинзбург А.С. Моделирование антропогенного потока тепла в течение отопительного периода в крупных городах России // Известия РАН, сер. ФАО, 2024, т.60, № 4. с. 62-76.

Исследование выполнено при поддержке важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ)

«Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2022 г. № 3240-р) в рамках НИР «Расширение системы климатического и экологического мониторинга и прогнозирования на территории России в целях обеспечения адаптационных решений в отраслевом и региональном разрезе, включая борьбу с опустыниванием».

Благодарю за внимание!