- **Проект Русского Географического Общества**

№ 47/2022

«Исследования географического явления городского «острова тепла» в городах и малых населённых пунктах Московского региона».

- **Цель проекта:**
- **Исследование явления "островов тепла" Москвы и городов Подмосковья в аспектах уточнения суточного хода их интенсивности, организация микроклиматических съёмок в отдельных городах и деревнях региона и сравнение данных in situ об интенсивности их "островов тепла" с данными радиометров разных спутников среднего и высокого разрешения (MODIS, Landsat-8).**
- **Задачи проекта:**
- **1. Исследование интенсивности "островов тепла" малых городов и деревень Московского региона по данным микроклиматических съёмок и радиометрических измерений с борта спутников. Сравнение прямых измерений интенсивности "островов тепла", в малых городах и деревнях с данными спутников разного разрешения.**
- **2. Уточнение характеристик "острова тепла" Москвы, в частности – подробное исследование суточного хода интенсивности и его сезонных особенностей с высоким разрешением (10 мин) по данным АМК метеорологических станций Московского региона.**
- **3. Исследование циркуляции "городского бриза" над Москвой как одного из проявлений "острова тепла" с помощью передвижного доплеровского содара.**



Объекты исследований: г. Москва, г. Верея, дер. Афанасово и дер. Бяконтово.
Особенности этих пунктов: окружающая их фоновая местность – лес.

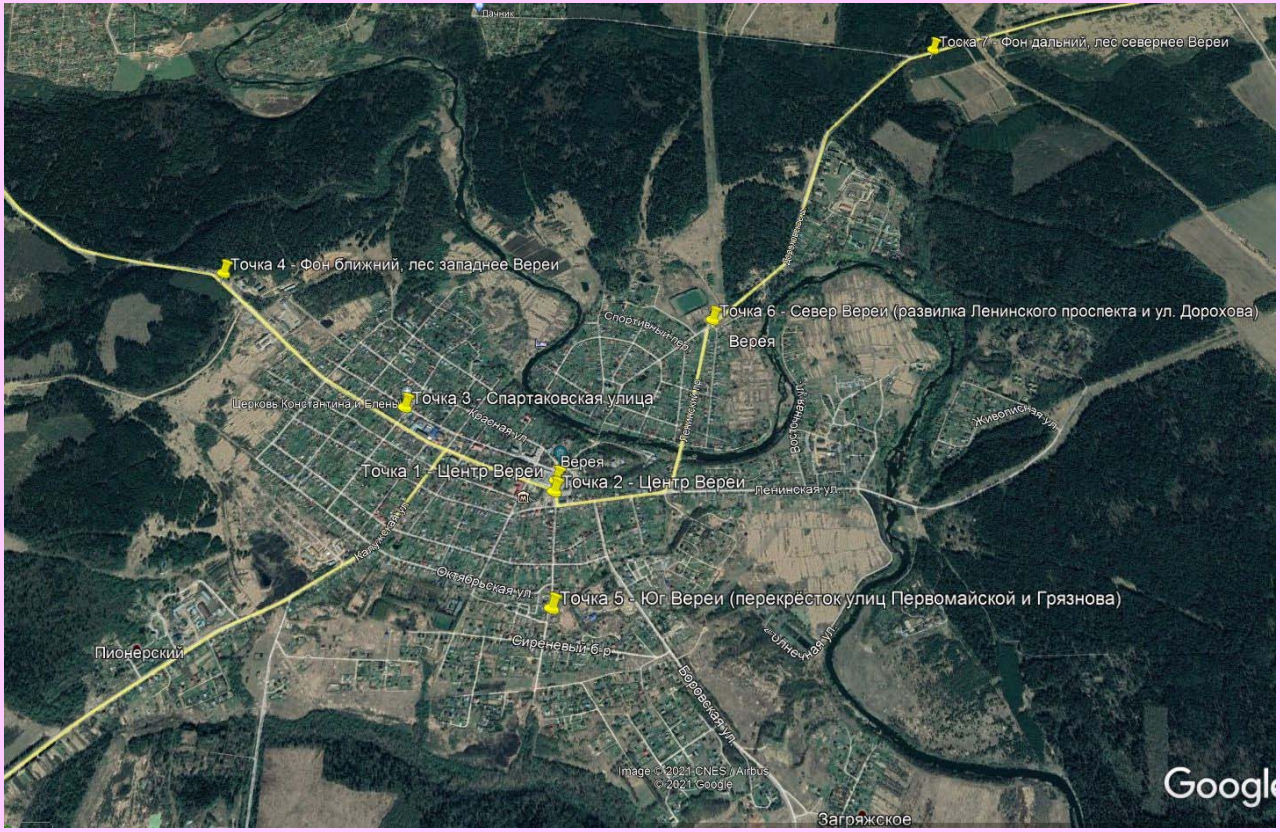
Прямые измерения интенсивности «островов тепла» малых населённых пунктов

- **Перед началом и в ходе проекта проведено семь экспериментов с микроклиматическими съёмками по изучению «островов тепла»:**

- 1-й эксперимент в г. Верее: 10-13 октября 2021 г.;
- 2-й эксперимент в г. Верее: 9-17 июля 2022 г.;
- 1-й эксперимент в дер. Афанасово: 30 июля – 2 августа 2022 г.;
- 3-й эксперимент в г. Верее: 6-11 января 2023 г.;
- 2-й эксперимент в дер. Афанасово: 23-27 января 2023 г.;
- 3-й эксперимент в дер. Афанасово: 11-24 апреля 2023 г.;
- 1-й эксперимент в дер. Бяконтово: 14-24 мая 2023 г.

- В экспериментах использованы автоматические датчики температуры воздуха марки TR-2L (DS1922L-F5).

Город Верея



Карта-снимок Вереи из Google Earth с метками мест установки датчиков



Центр города, т.1



Центр города, т.2



Южная периферия, т.5



Фоновые условия, лес, т.4

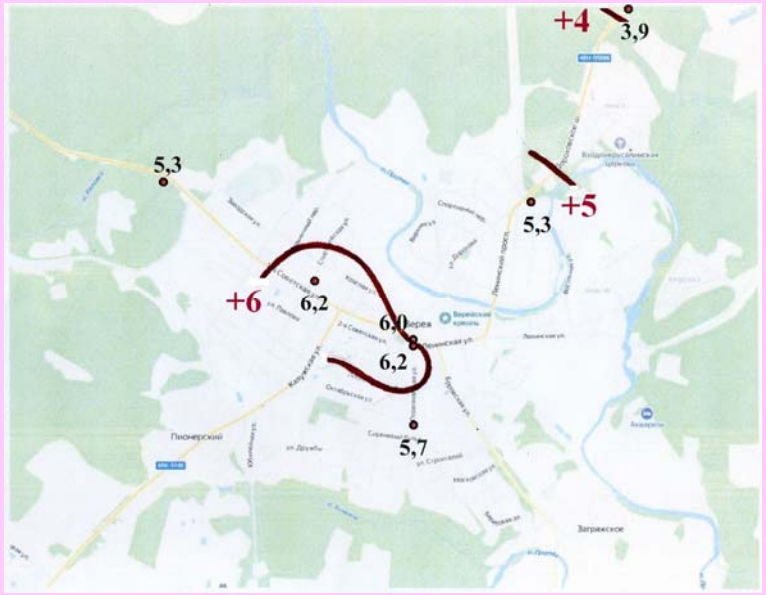
Верея.
Сводные результаты измерений Т в разных местах.

	Центр города, № 1	Центр города, № 2	Западная периферия, № 3	Фон, лес, № 4	Южная периферия, № 5	Северная окраина, № 6	Фон, лес, № 7
1-й эксперимент в октябре 2021 г., 79 ч, °С	6,0	6,2	6,2	5,3	5,7	5,3	3,9
2-й эксперимент в июле 2023 г., 91 ч, °С	19,6	19,8	19,5	18,6	19,4	18,8	17,3
3-й эксперимент в январе 2023 г., 110 ч, °С	-16,8	-16,9	-16,9	-17,6	-17,3	-17,6	-17,6

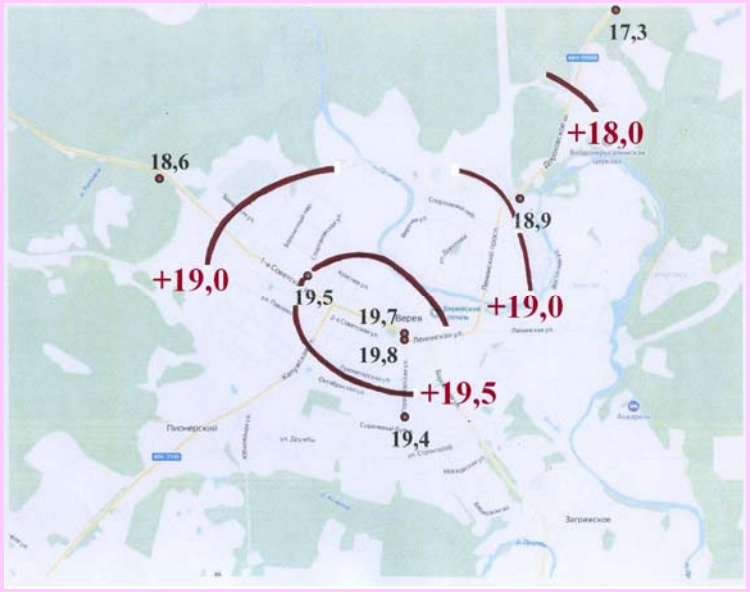
Верея.
Сводные результаты измерений Т в разных местах.

	Средние фоновые условия (4 и 7)	Средние значения в центре (1 и 2)	Весь город в среднем (1-3,5,6)	Максимальная интенсивность «острова тепла» как разность между центром города и фоновой местностью	Средняя интенсивность «острова тепла» как разность между всем городом и фоновой местностью
1-й эксперимент в окт. 2021 г., 79 ч, °С	4,6	6,1	5,9	1,5 ± 0,2	1,3 ± 0,2
2-й эксперимент в июле 2023 г., 91 ч, °С	18,0	19,7	19,4	1,8 ± 0,2	1,5 ± 0,2
3-й эксперимент в январе 2023 г., 110 ч, °С	-17,6	-16,9	-17,1	0,7 ± 0,2	0,5 ± 0,2

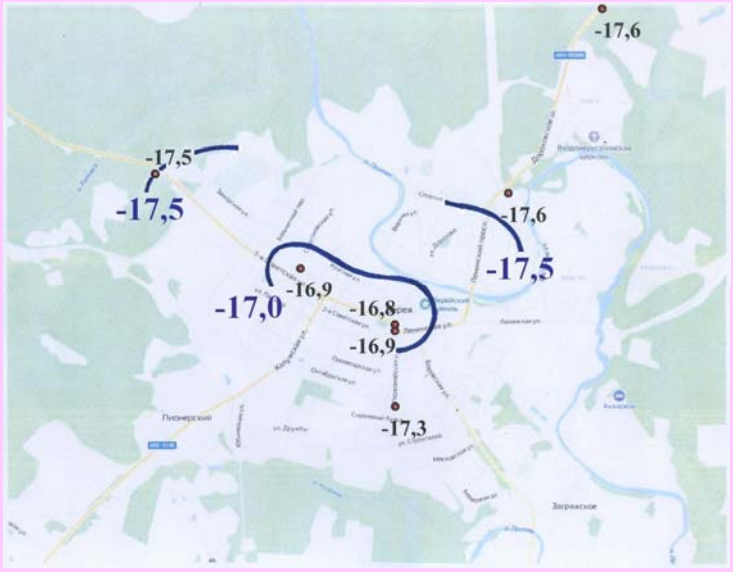
Карты средних изотерм в г. Верее:



Октябрь 2021 г.

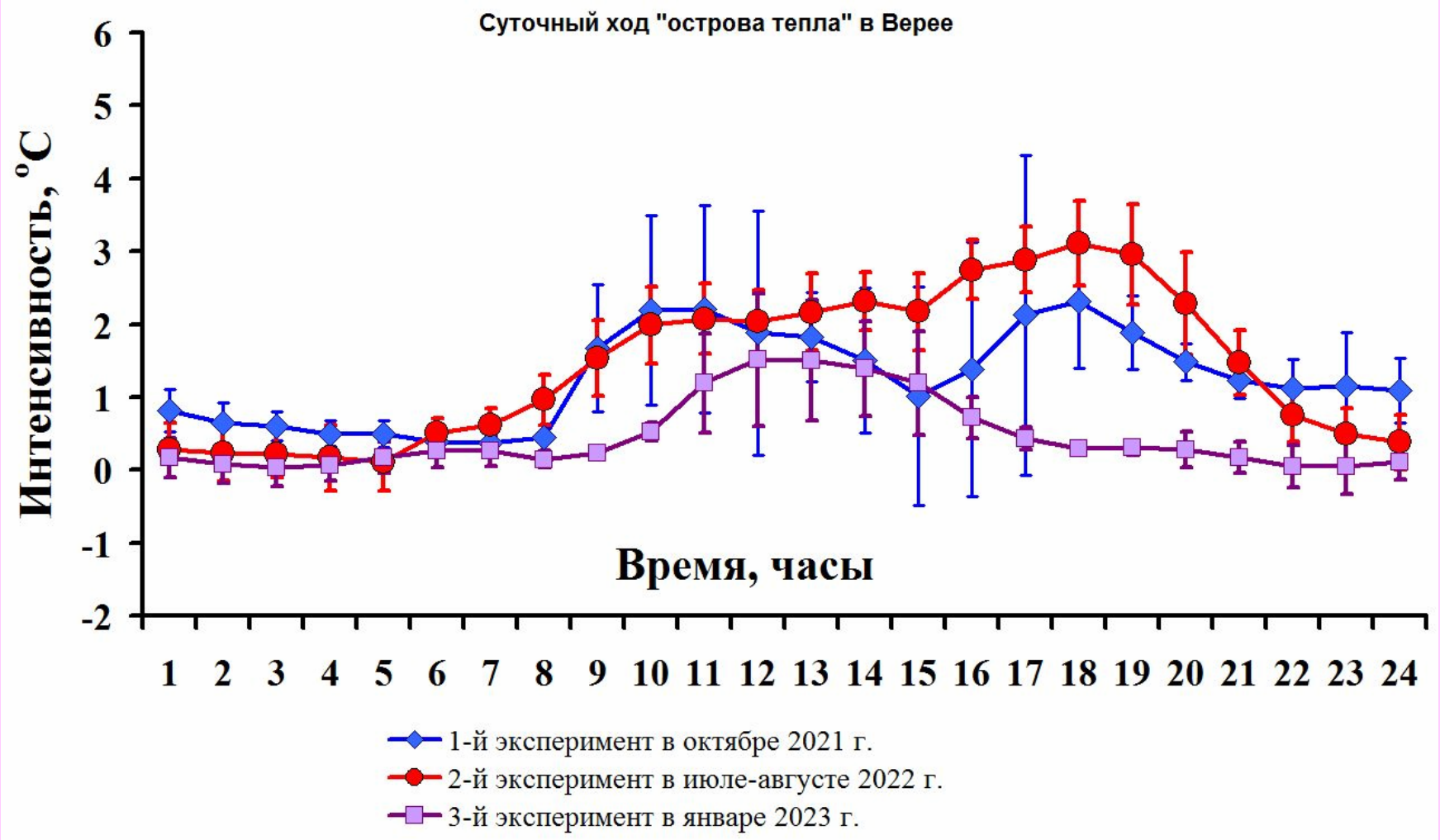


Июль 2022 г.



Январь 2023 г.

Суточный ход интенсивности «острова тепла» Вереи



Городской «остров тепла» Вереи сильнее выражен в тёплое и переходное время года вследствие особенностей его ближней фоновой местности (леса). Зимой при отсутствии листвы и повсеместном наличии снежного покрова температурные различия между городом и окружающей местностью проявляются слабее.

Утренний и вечерний максимумы в суточном ходе осенью, вероятно, отражают влияние тепловых выбросов проезжающих автомобилей в часы-пик.

Деревня Афанасово









Мытищинский район Московской области.
Площадь деревни – 1 км^2; население – 336 чел.
Окружена лесом.

Деревня Афанасово



Карта-снимок Афанасова из Google Earth с метками мест установки датчиков



Фоновые условия, лес, т.1



Центр деревни, т.3



Западная часть деревни, т.6

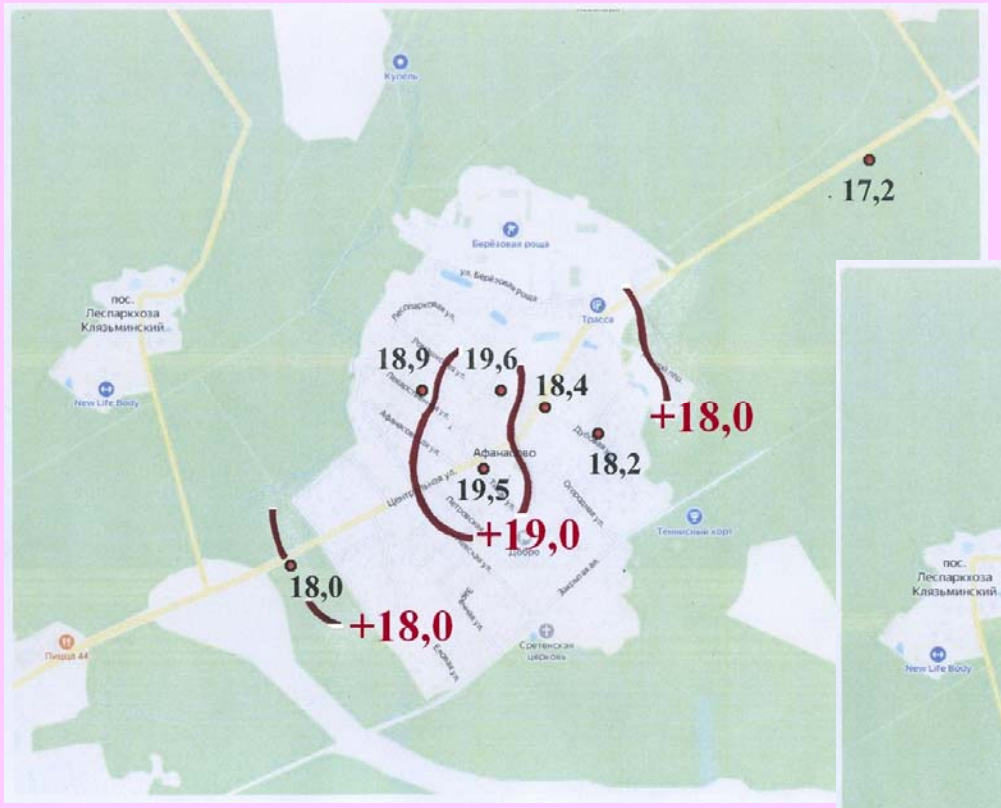
Афанасово.
Сводные результаты измерений Т в разных местах.

	Фон, лес, № 1	Юг деревни, № 2	Центр деревни, № 3	Восток деревни, № 4	Центр деревни, № 5	Запад деревни, № 6	Фон, лес, № 7
1-й эксперимент летом 2022 г., 70 ч. Среднее значение, °С	18,0	19,5	18,4	18,2	19,6	18,9	17,2
2-й эксперимент в январе 2023 г., 91 ч. Среднее значение, °С	-1,8	-1,8	-1,7	-1,9	-1,8	-1,9	-2,0
3-й эксперимент в апреле 2023 г., 305 ч. Среднее значение, °С	9,1	9,6	9,1	9,3	9,6		8,9

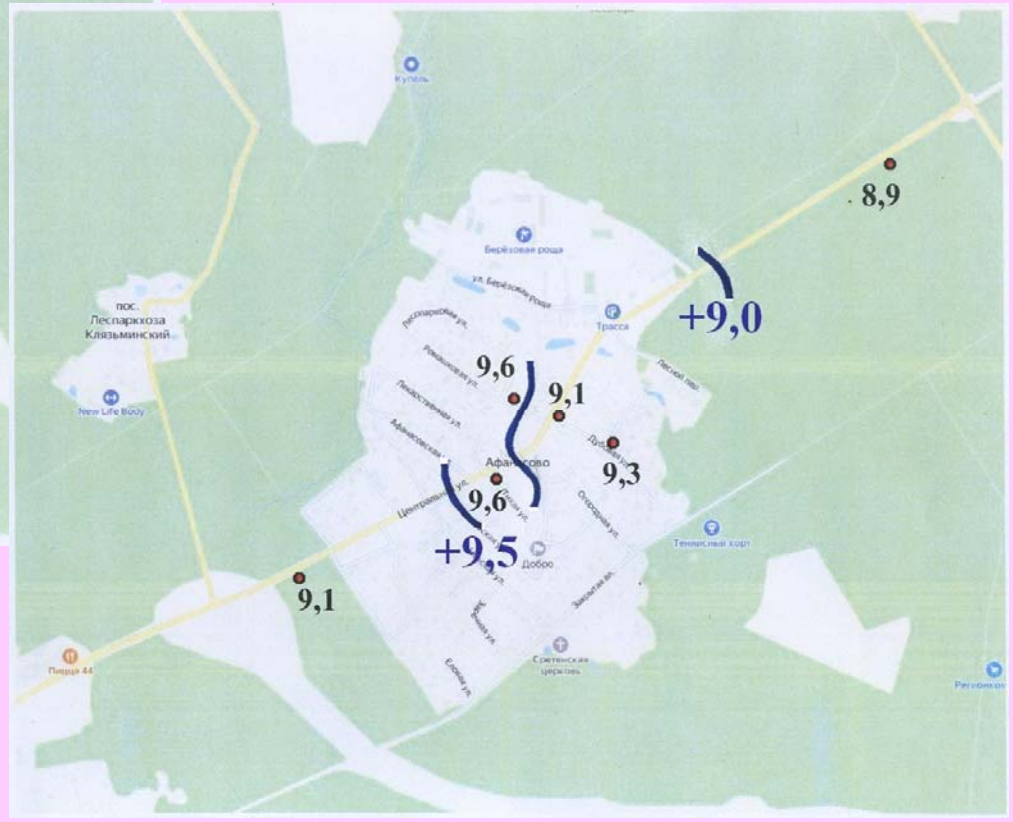
Афанасово.
Сводные результаты измерений Т в разных местах.

	Средние фоновые условия (1 и 7)	Средние значения в центре деревни (3 и 5)	Вся деревня в среднем (2-6)	Максимальная интенсивность «острова тепла» как разность между центром деревни и фоновой местностью	Средняя интенсивность «острова тепла» как разность между всей деревней и фоновой местностью
1-й эксперимент летом 2022 г., 70 ч, °С	17,6	19,0	18,9	1,4 ± 0,5	1,3 ± 0,5
2-й эксперимент в янв. 2023 г., 91 ч, °С	-1,9	-1,8	-1,8	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,02
3-й эксперимент в апр. 2023 г., 305 ч, °С	9,0	9,3	9,4	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1

Карты средних изотерм в дер. Афанасове:

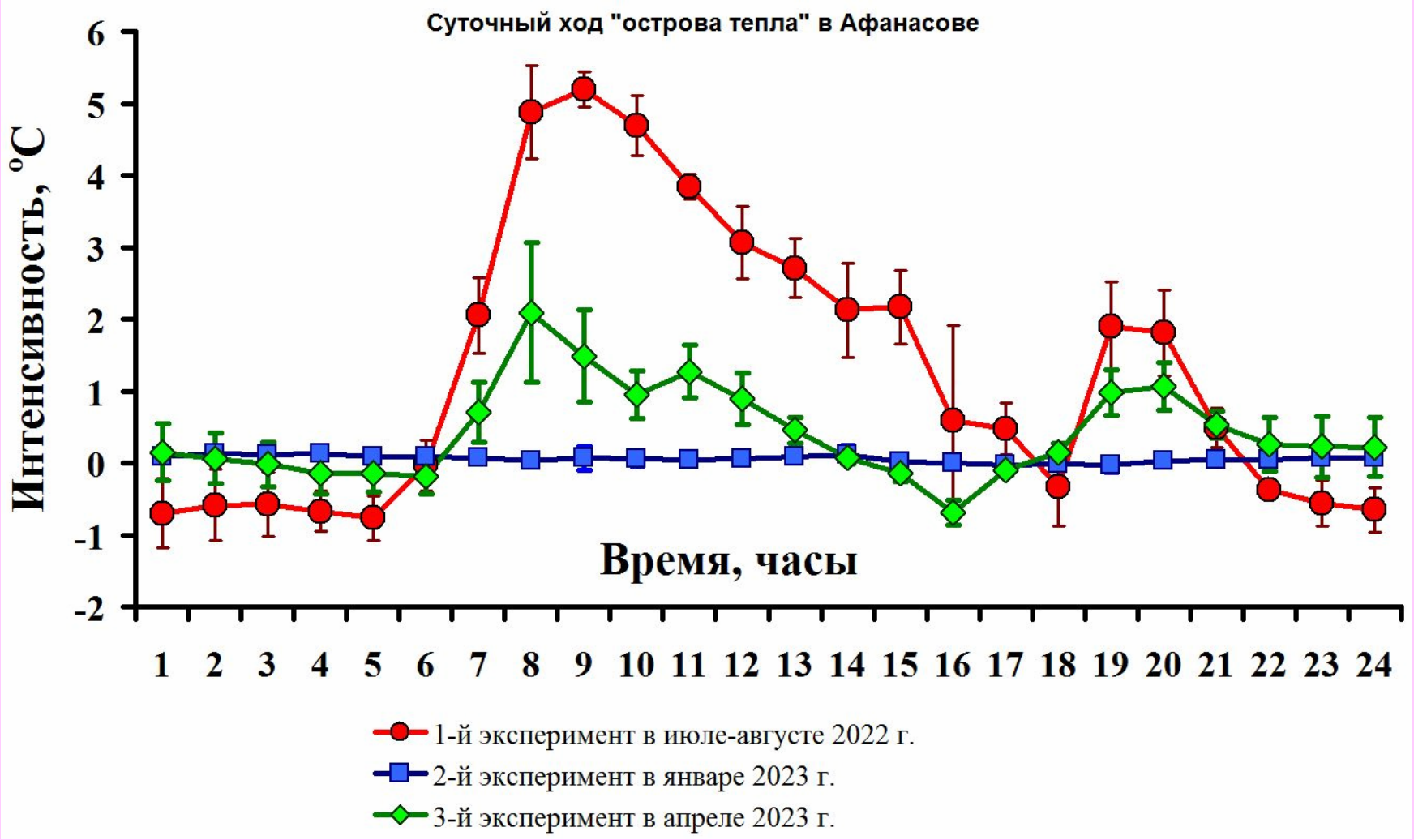


Июль-август 2022 г.



Апрель 2023 г.

Суточный ход интенсивности «острова тепла» Афанасова



Вероятная причина двухвершинного хода летом и весной – влияние тепловых выбросов автомобилей на Афанасовском шоссе, особенно сильное в часы-пик.
Зимой в условиях сплошной облачности «остров тепла» небольшой деревни не выражен.

Деревня Бяконтово






Мытищинский район Московской области. Площадь деревни – 0,14 км^2; население – 6 чел. (в 2010 г.).
Разреженная деревенская застройка.
Деревня окружена с трёх сторон лесом, с севера – полем.

Деревня Бяконтово



Карта-снимок Бяконтова из Google Earth с метками мест установки датчиков



Северная часть деревни, т.2



Северная часть деревни, т.3



Фоновые условия, поле, т.4

Бяконтово.
Сводные результаты измерений Т в разных местах.

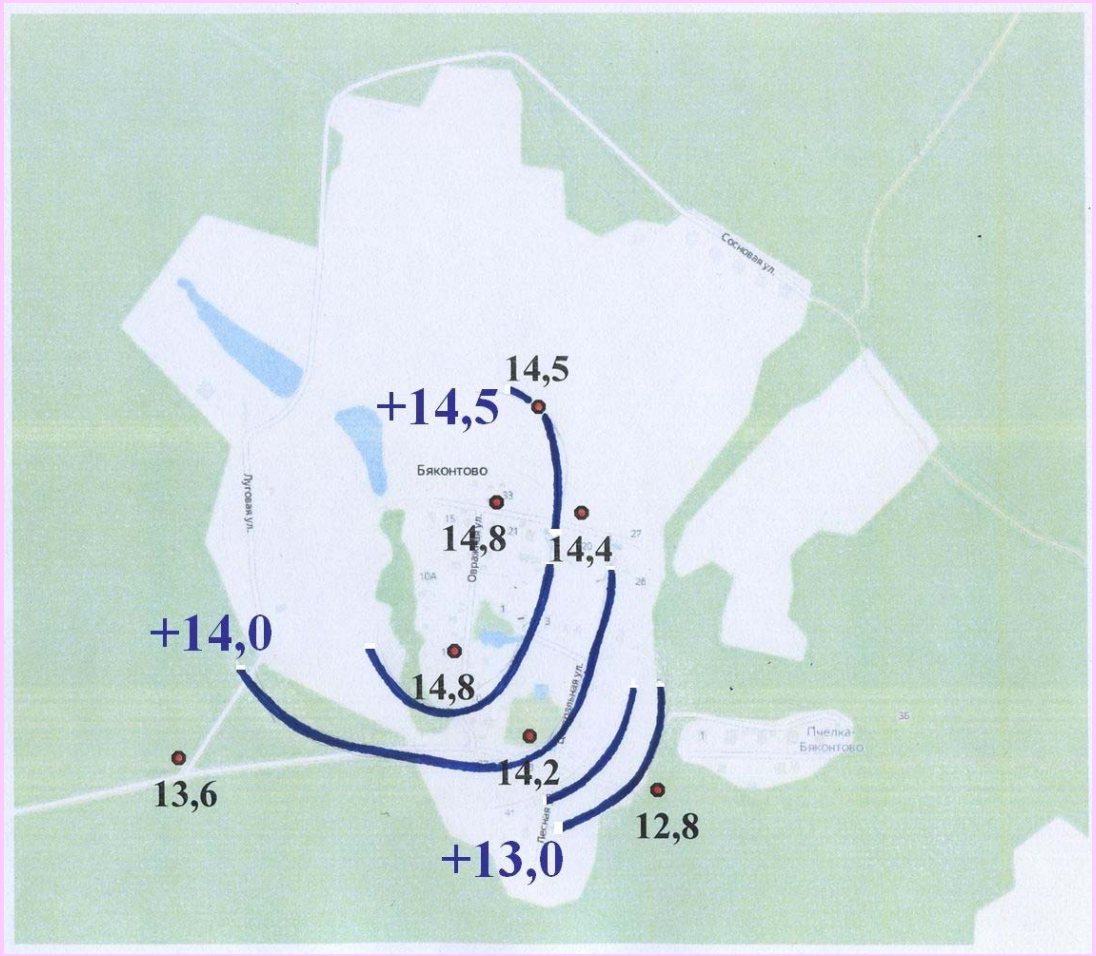
	Фон, лес, № 1	Север деревни, № 2	Север деревни, № 3	Фон, поле, № 4	Запад деревни, № 5	Лесок на юге деревни, № 6	Фон, лес, № 7
Эксперимент в мае 2023 г., 238 ч, °С	13,6	14,8	14,4	14,5	14,8	14,2	12,8

	Средние фоновые условия – лес и поле (1,4,7)	Средние значения в условном центре деревни вблизи зданий (2,3,5)	Вся деревня в среднем, включая перелесок (2,3,5,6)	Максимальная интенсивность «острова тепла» как разность между местами вблизи зданий и фоновой местностью	Средняя интенсивность «острова тепла» как разность между всей деревней и фоновой местностью
Эксперимент в мае 2023 г., 238 ч, °С	13,6	14,6	14,5	1,0 ± 0,2	0,9 ± 0,2

«Остров тепла» Бяконтова как разность Т в деревне и в окружающей её местности (с трёх сторон – лес) является результатом главным образом микроклиматических различий между открытым прогреваемым местом и условиями под пологом леса.

Деревня теплее окружающего леса на 1,4 °С, а соседнего с ней поля в среднем лишь на 0,15 °С.

Карты средних изотерм в дер. Бяконтове:

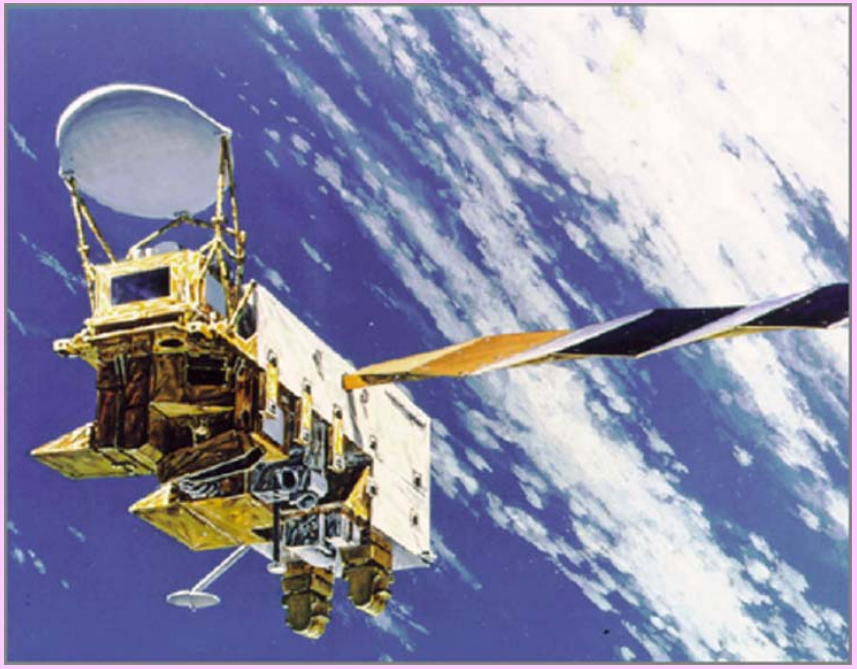


Май 2023 г.

Сравнение прямых и дистанционных измерений интенсивности «островов тепла» малых населённых пунктов.

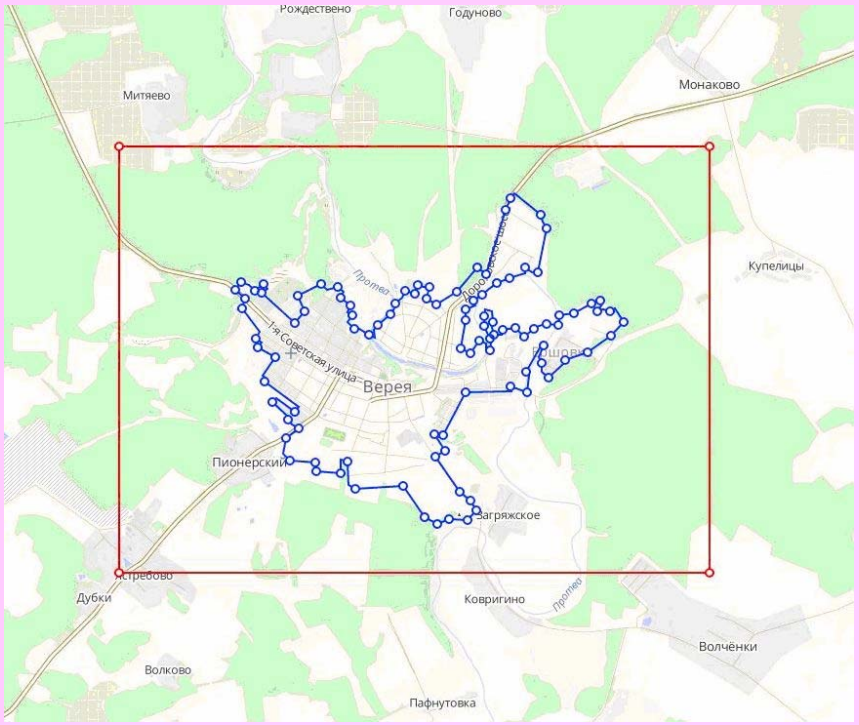
Спутники систем MODIS (TERRA и AQUA) и Landsat.



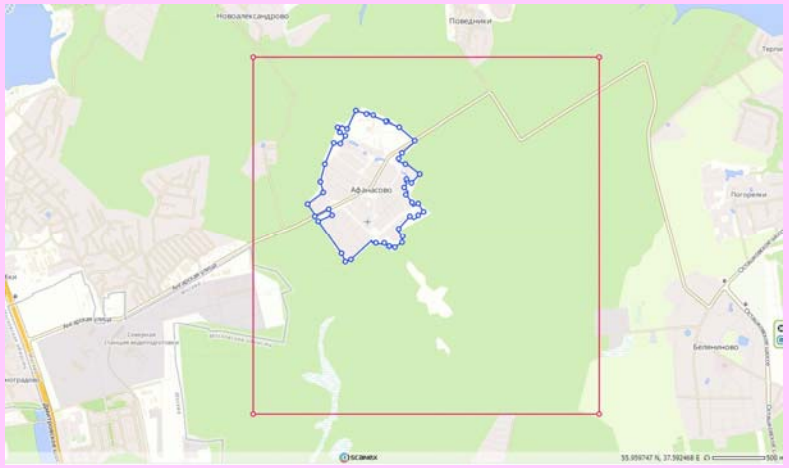


Съемочная аппаратура спутников Terra и Aqua: радиометр MODIS (США)
Пространственное разрешение радиометрических данных: 1 км
Точность измерения температуры поверхности: ±0,1 °C
Находятся на орбите, начиная с 1999 г. (Terra) и 2002 г. (Aqua)

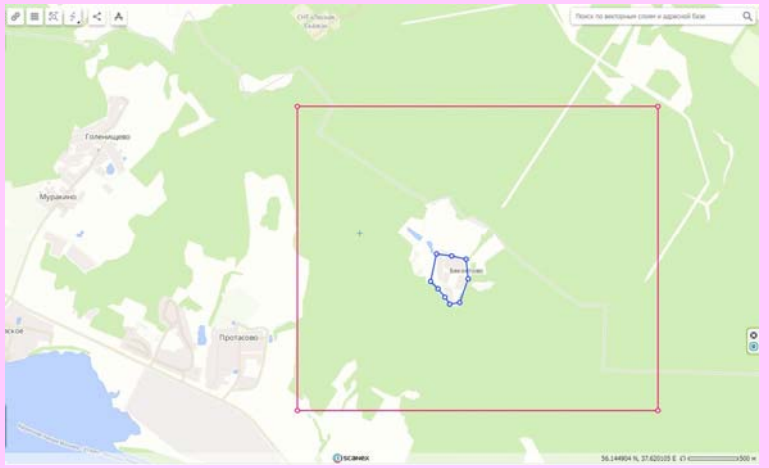
Созданные векторные слои границ населённых пунктов и выбранных зон сравнения для анализа «островов тепла» по данным спутников.



Верея



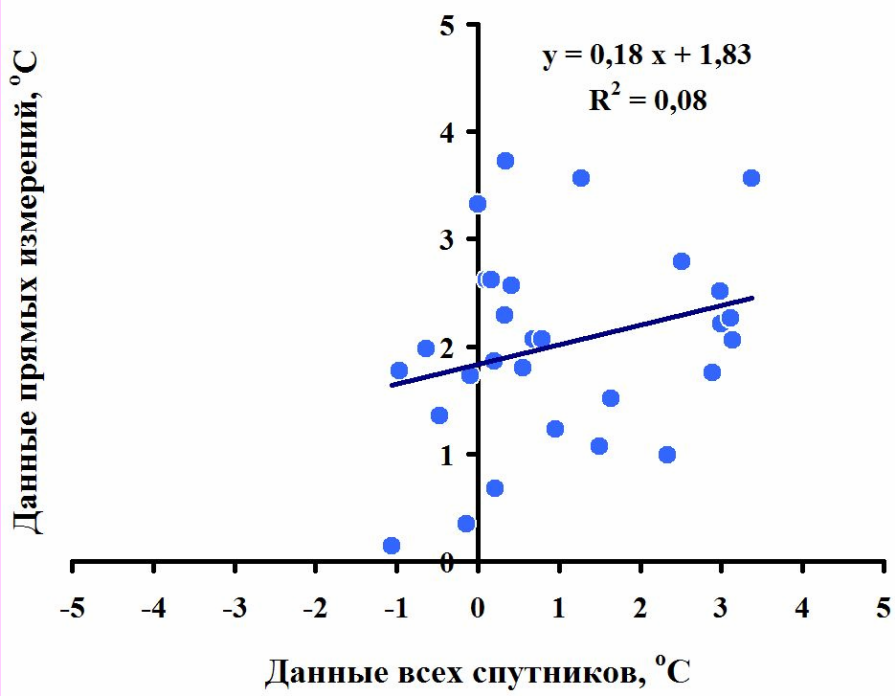
Афанасово

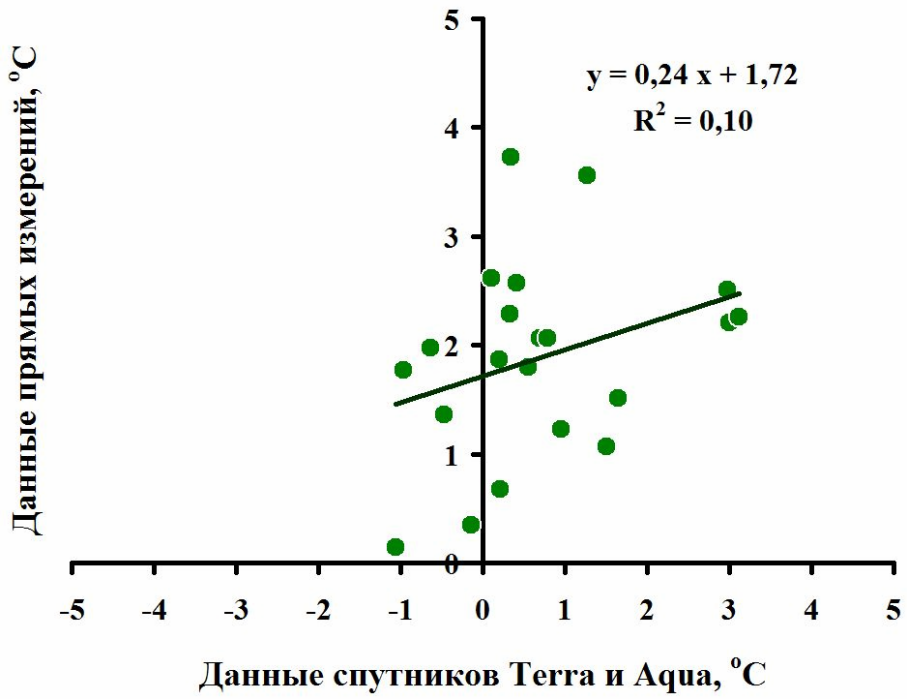


Бяконтово

В качестве зон сравнения при анализе снимков выбрана ближняя фоновая местность – лесные массивы вокруг всех трёх исследуемых пунктов.

Результаты сравнения прямых и дистанционных измерений интенсивности «островов тепла».



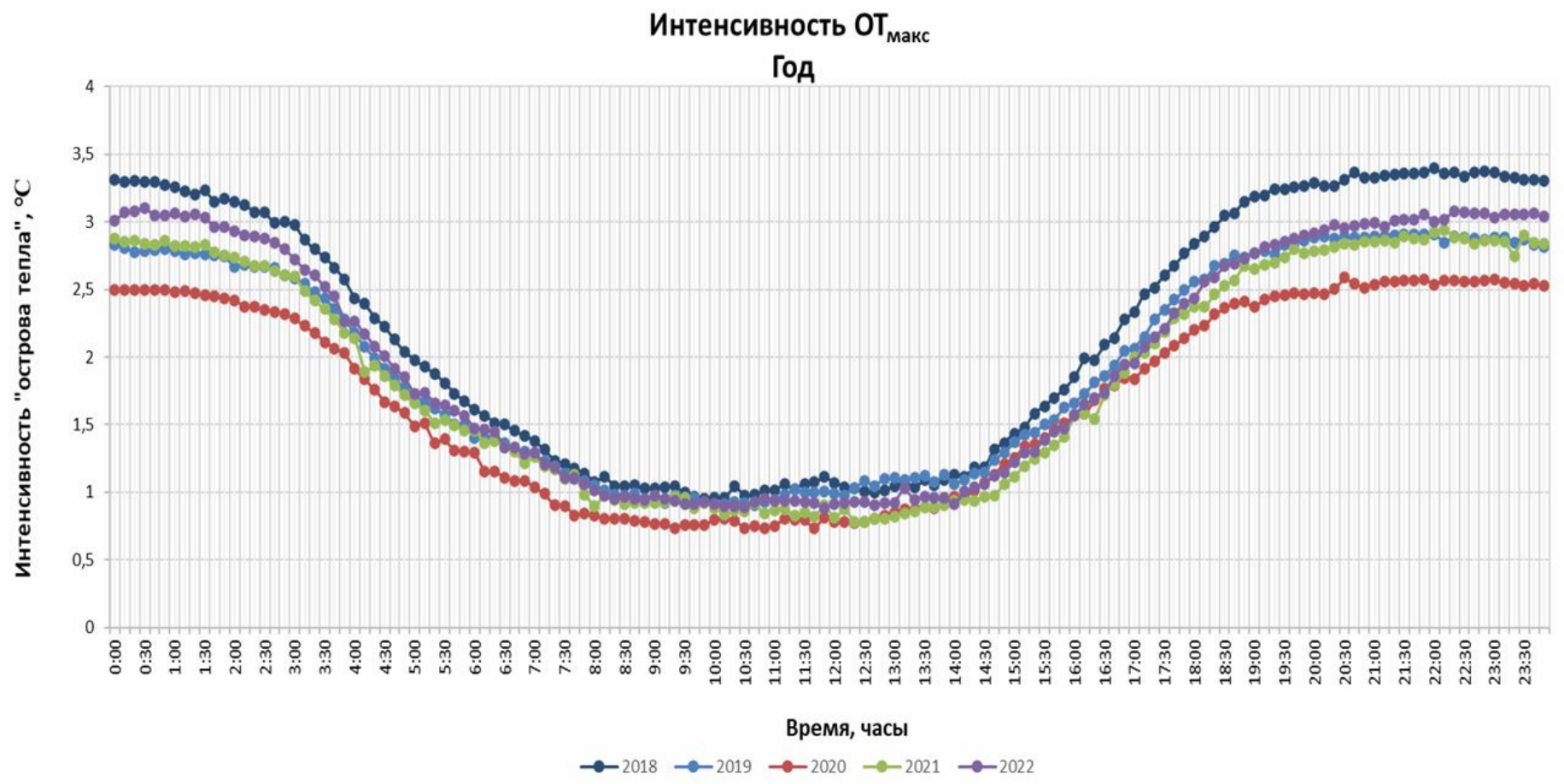


Вывод: статистические связи – слабые, на грани значимости (коэффициенты корреляции R = 0,28 и 0,32). С отдельно взятыми данными спутников системы Landsat связи с прямыми измерениями нет.

Возможные причины расхождений:

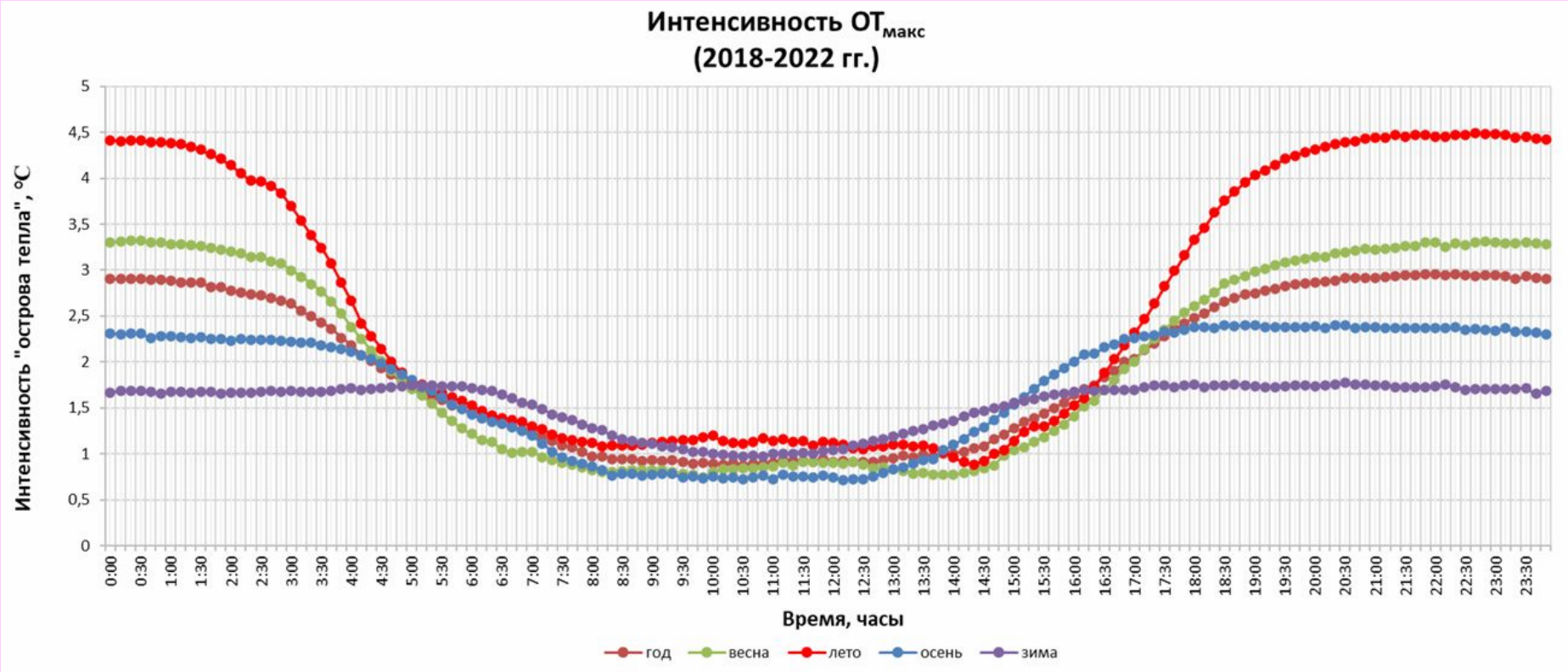
1. **Неизбежный разброс при сравнении точечных и интегральных в пространстве оценок;**
2. **Различия в температуре приземного слоя воздуха и температуре поверхности;**
3. **Смещения в оценках дистанционных измерений вследствие частичной закрытости населённых пунктов и зон сравнения облаками.**
4. **Неточное совпадение времени пролёта спутников и наземных измерений.**

Исследования «острова тепла» Москвы



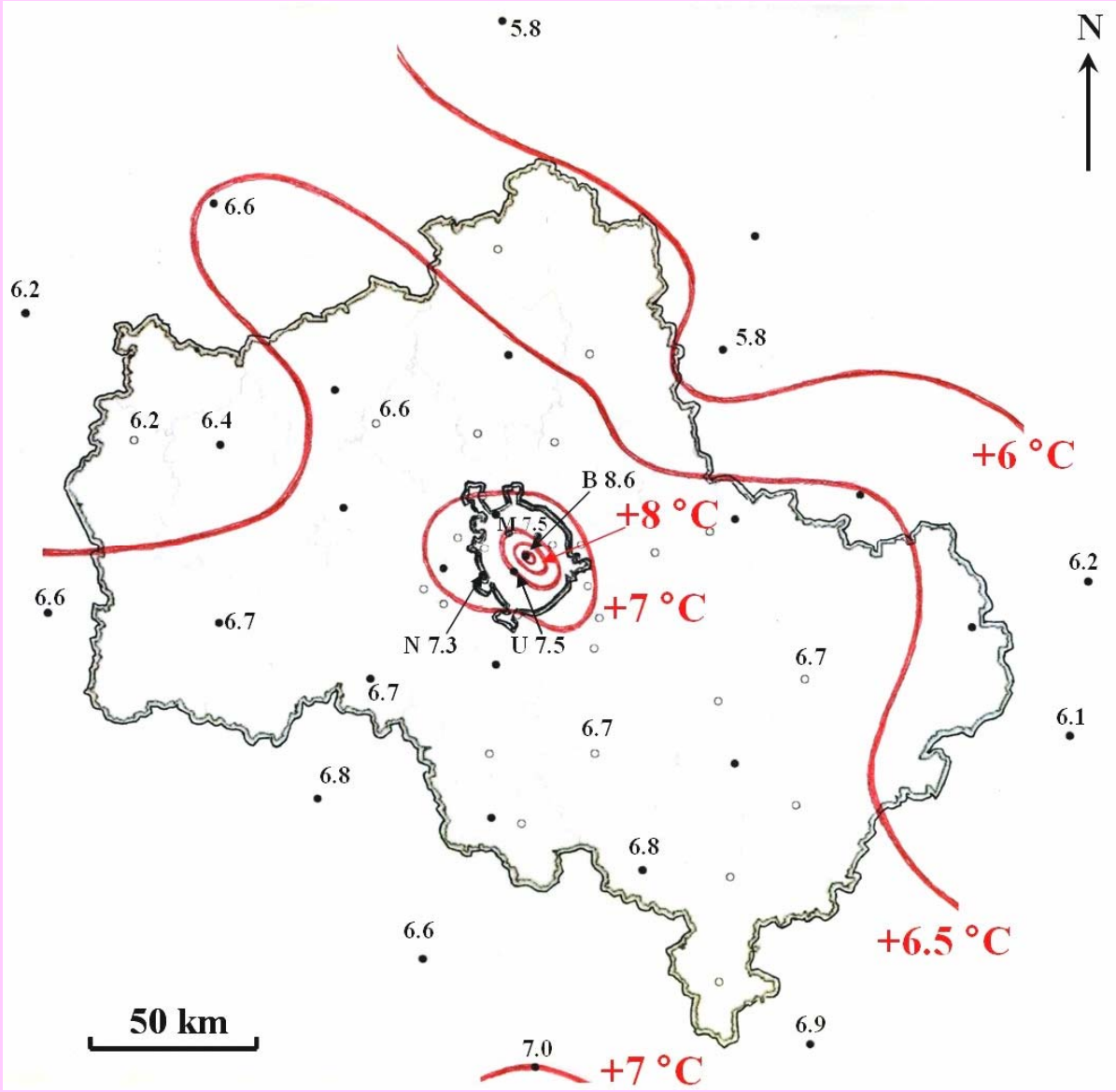
Среднегодовой суточный ход интенсивности «острова тепла» Москвы по данным автоматических измерений Т с высоким разрешением (10 мин) за 2018-2022 гг.

Исследования «острова тепла» Москвы



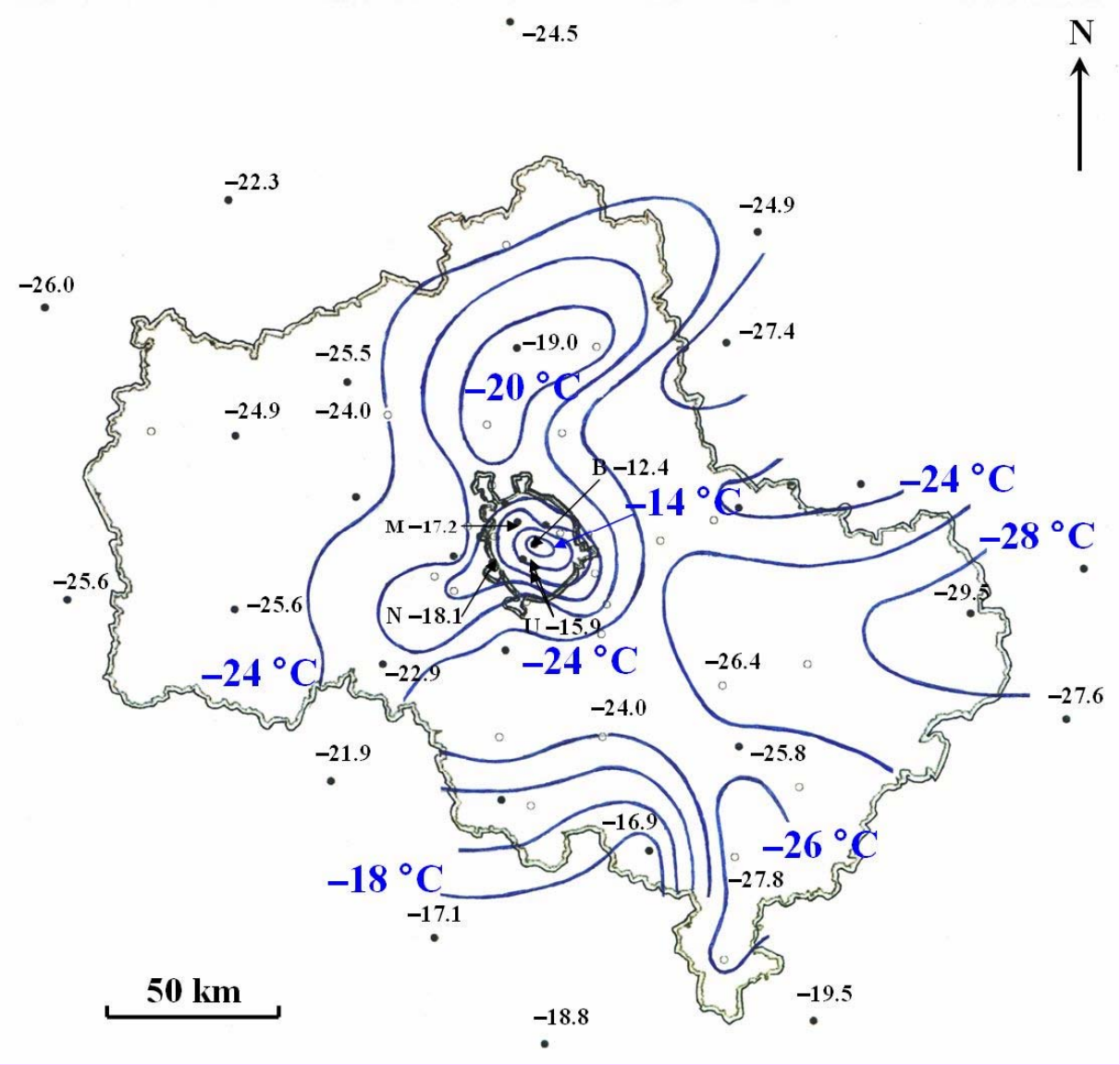
Суточный ход интенсивности «острова тепла» Москвы в среднем за отдельные сезоны года по данным автоматических измерений Т с высоким разрешением (10 мин) за 2018-2022 гг.

Исследования «острова тепла» Москвы



Карта среднегодовых изотерм в Москве и Московском регионе по данным метеорологической сети за 2018-2020 гг.

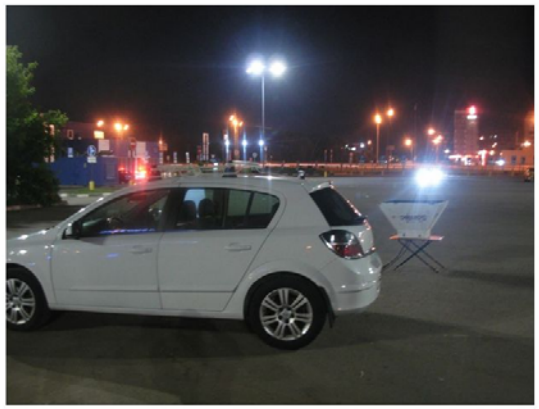
Исследования «острова тепла» Москвы



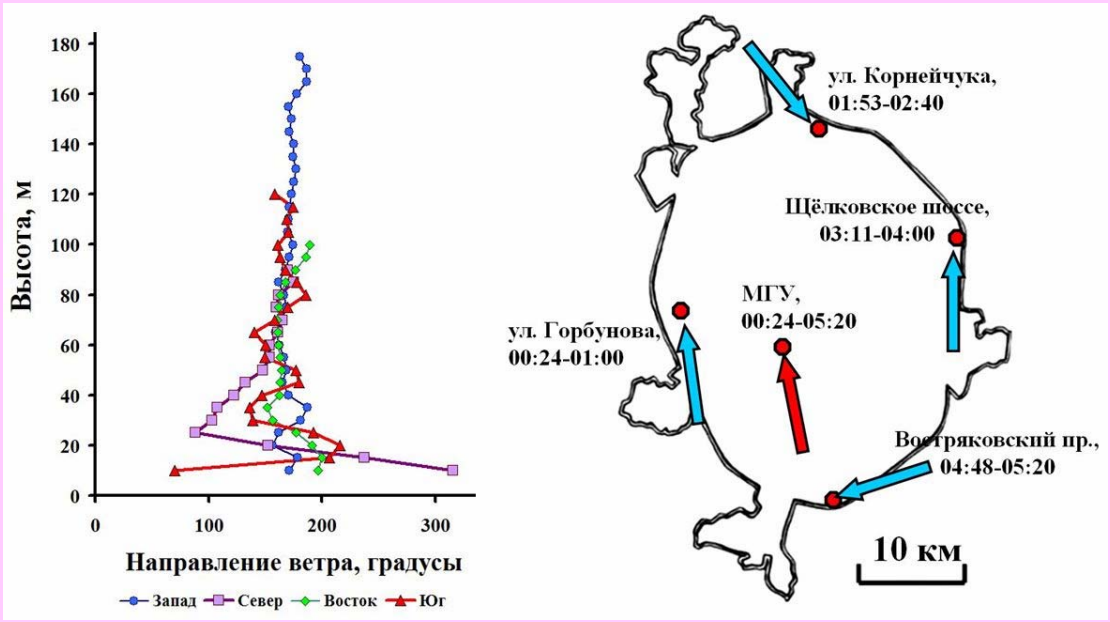
Карта изотерм за 06 ч 23 февраля 2018 г.: в условиях ясного неба и штиля интенсивность «острова тепла» Москвы может достигать 11-12 ºС.

Исследование профилей направления ветра над Москвой. Эксперименты с передвижным содаром Scintec.





Передвижная содарная установка и зондирование в одной из точек.



Результаты 1-го эксперимента 17 мая 2023 года.
Направление ветра в приземном слое воздуха в разных точках города.

Основные выводы:

- 1. «Острова тепла» в поле температуры воздуха на высотах 1,5-2,5 м обычно существуют даже в малых населённых пунктах средних широт.
- 2. «Острова тепла» усиливаются, если населённые пункты полностью или частично окружены лесными массивами, за счёт природного фактора, не связанного с деятельностью человека: микроклиматических различий между лесом и открытой местностью. На примере деревни Бяконтово интенсивность «острова тепла» при сравнении территории деревни с окружающим её лесом составляет около 1 ºС, а с фоновыми условиями поля – лишь 0,1-0,2 ºС.
- 3. Если малый населённый пункт окружён лесом, то интенсивность «острова тепла» наибольшая летом и наименьшая – зимой при отсутствии листвы и повсеместном наличии снежного покрова.
- 4. Суточный ход интенсивности «островов тепла» придорожных малых населённых пунктов, при сравнительно слабых тепловых выбросах стационарных источников отмечен заметным влиянием тепловых выбросов проезжающего автомобильного транспорта. Это проявляется в его двухвершинном виде с утренним и вечерним максимумами в часы-пик автомобильного движения.
- 5. В условиях сплошного покрова низких облаков зимой «острова тепла» малых деревень отсутствуют (не проявляются в данных измерений).

Основные выводы:

- 6. Интенсивность городского «острова тепла» Москвы в последние годы составляет в среднем ~2 ºС. Максимальная во времени интенсивность этого явления в ярко выраженных антициклональных условиях может достигать 11-12 ºС, а разности Т на отдельных станциях – 17 ºС.
- 7. Средние значения интенсивности «острова тепла» Москвы в любое время суток и во все сезоны года положительны; явление утреннего «острова холода» Москве не присуще.
- 8. Суточный ход интенсивности «острова тепла» Москвы отмечен максимумом вечером и ночью и минимумом в утренние и дневные часы. Наибольшая амплитуда суточного хода наблюдается летом, слабее всего он выражен зимой. Переходные сезоны неравнозначны: весной амплитуда суточного хода существенно больше по сравнению с осенью.
- 9. В приземном слое воздуха над крупным городом (Москвой) в антициклональных условиях в ночные часы поле направления ветра неоднородно; в слое Экмана выше 60-80 м оно приближается к направлению основного крупномасштабного потока.