

**22-я Международная конференция «Современные
проблемы дистанционного зондирования Земли»**

**Термическая неоднородность
городской поверхности Москвы
по многолетним данным
спутников MODIS и Landsat**

Локощенко М. А.¹, Енукова Е. А.²

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии.

²Государственный университет «Дубна»

Спутники TERRA и AQUA



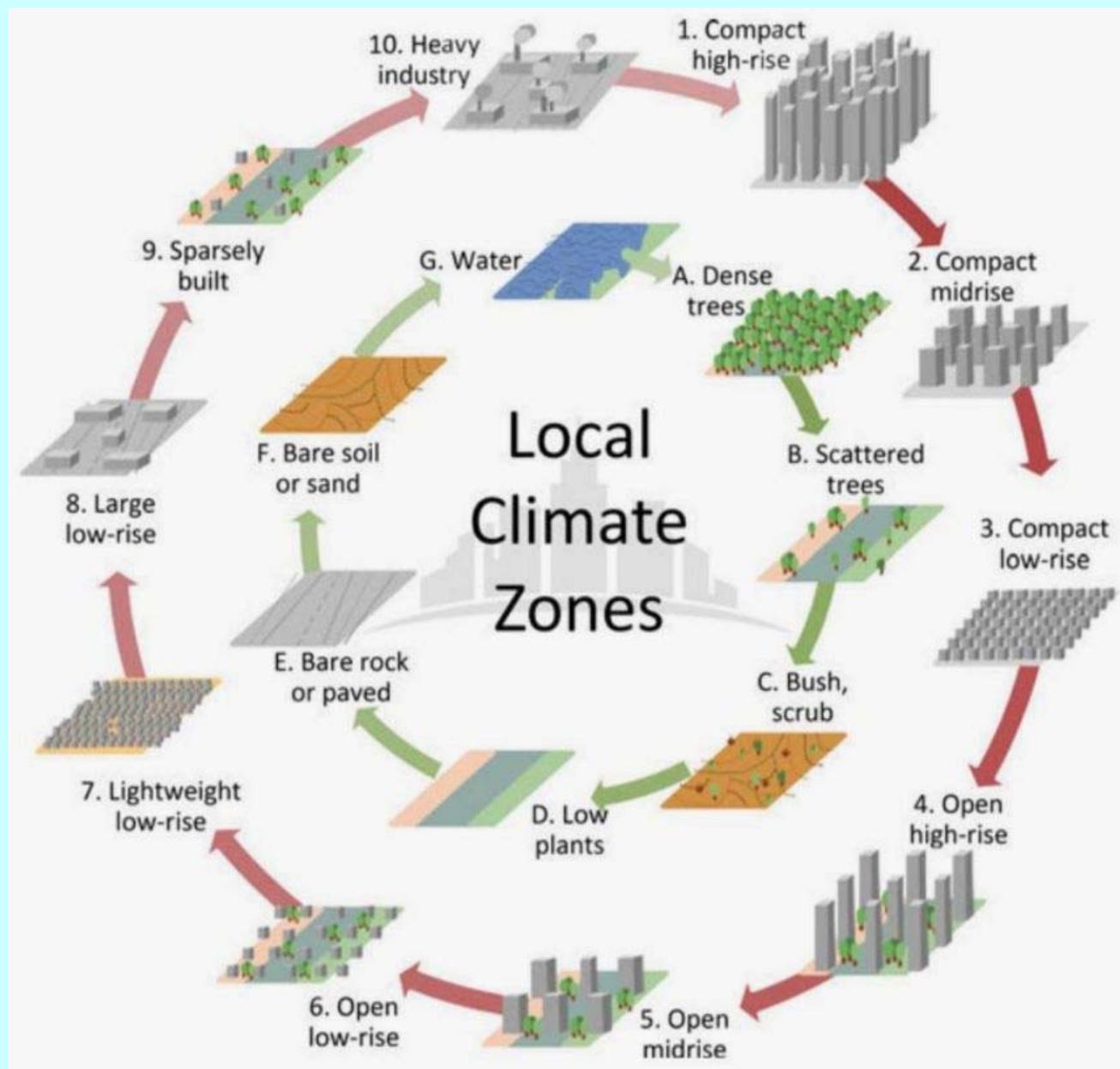
Съемочная аппаратура: радиометр MODIS

Пространственное разрешение: 1 км

Точность измерения температуры поверхности суши: ± 1 °C

Находятся на орбите, начиная с 1999 и 2002 гг.

Классификация типов поверхности Стюарта и Ока



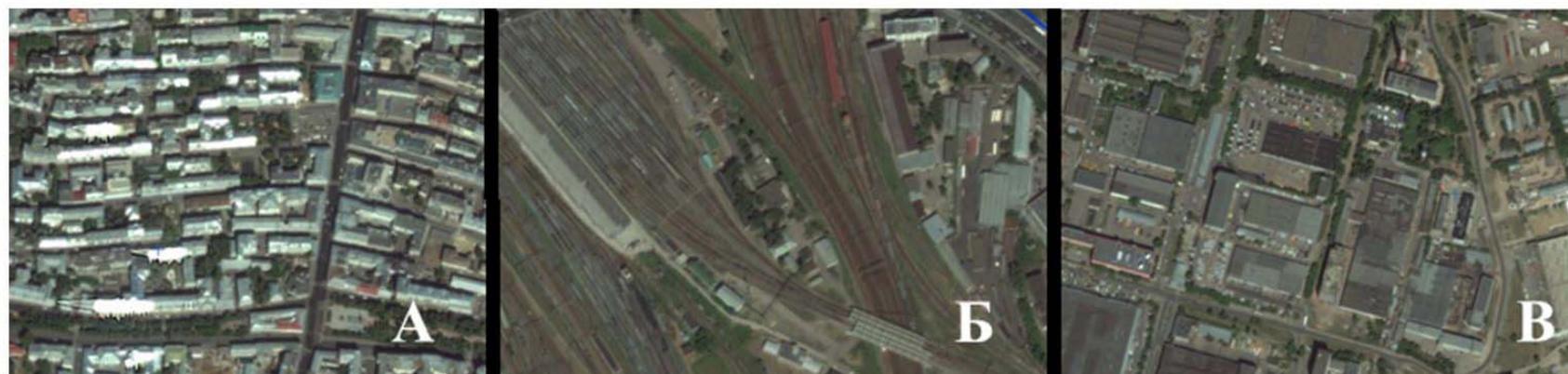
Проблемы разделения поверхности города на разные типы:

- **1. Недостаточно высокое разрешение снимков спутников системы MODIS (1 км) для выделения типов с участками малой площади.**
- **2. Краевые эффекты: включение в расчётные ячейки соседних участков с иной поверхностью.**
- **3. Ограниченные выборки снимков спутников с высоким (30-100 м) разрешением.**
- **4. Неизбежный элемент субъективности при выборе эталонных участков.**
- **5. Неопределённость в определении границ типов в схемах с чрезмерно большим их числом.**

Наша схема для городской поверхности Москвы – шесть типов.

- **1. Плотная жилая застройка и промышленные зоны с преобладанием искусственных покрытий – 183 км²;**
- **2. Городские леса и парки – 124 км²;**
- **3. Открытая вода (р. Москва и пруды) – 29 км²;**
- **4. Луга – 8 км²;**
- **5. Песок и отрытый грунт (пляжи и карьер) – 0,8 км²;**
- **6. Остальная поверхность города – 646 км².**

Примеры плотной городской застройки Москвы на снимках MODIS:



Примеры искусственных покрытий в городе, входящих в векторный слой границ застройки:
*А – плотная жилая застройка, центр города; Б – железнодорожная развязка, Ленинградский вокзал;
В – промышленная зона со складскими помещениями, восточная часть города*

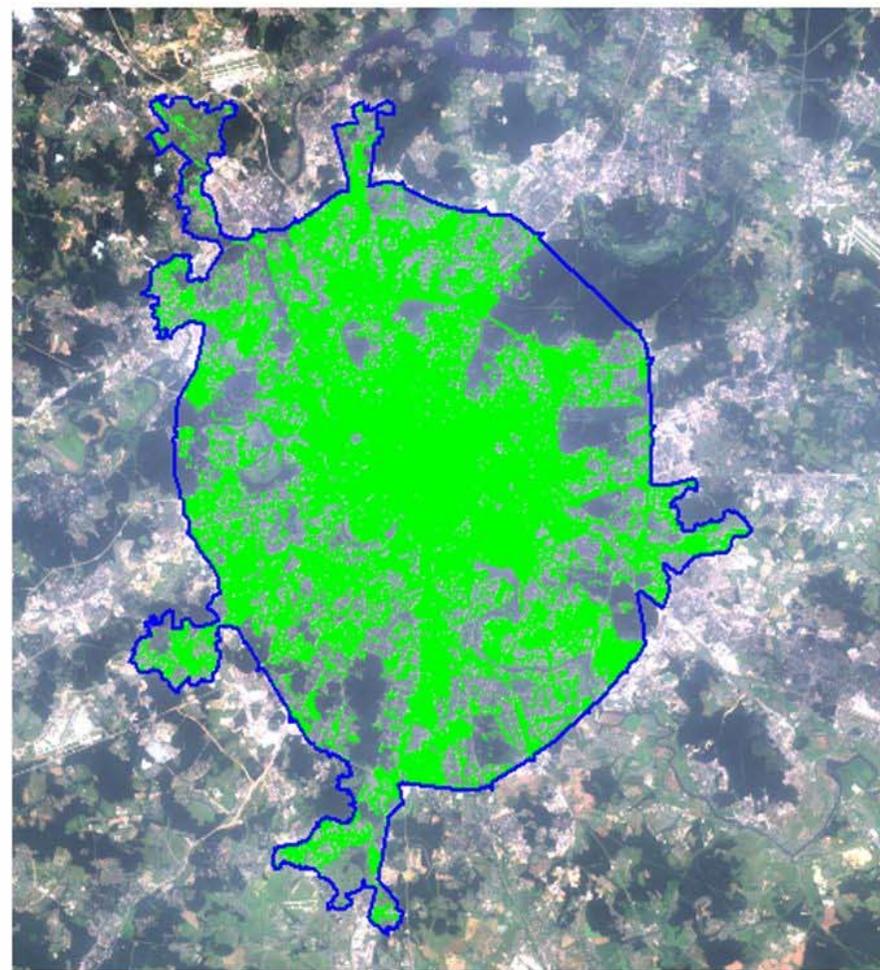
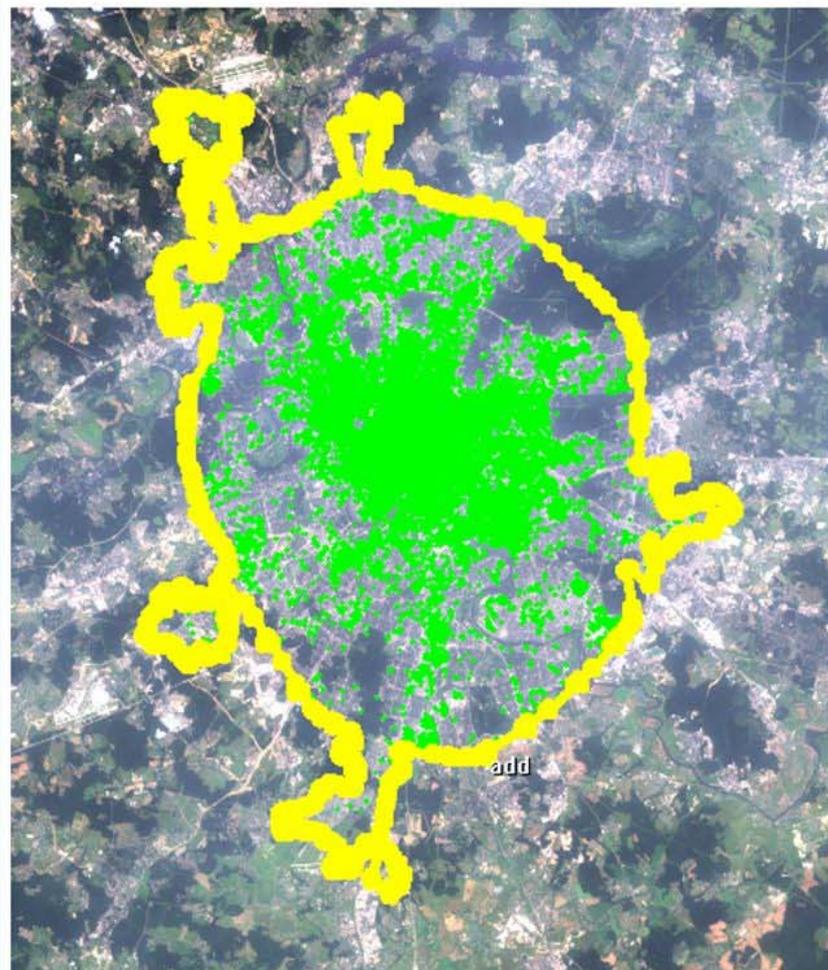
Эталонные участки плотной застройки:



Границы эталонных участков для проведения автоматической классификации:

*А – первый набор эталонов плотной городской застройки с полным отсутствием растительности;
Б – второй набор с разреженной растительностью внутри плотной городской застройки.*

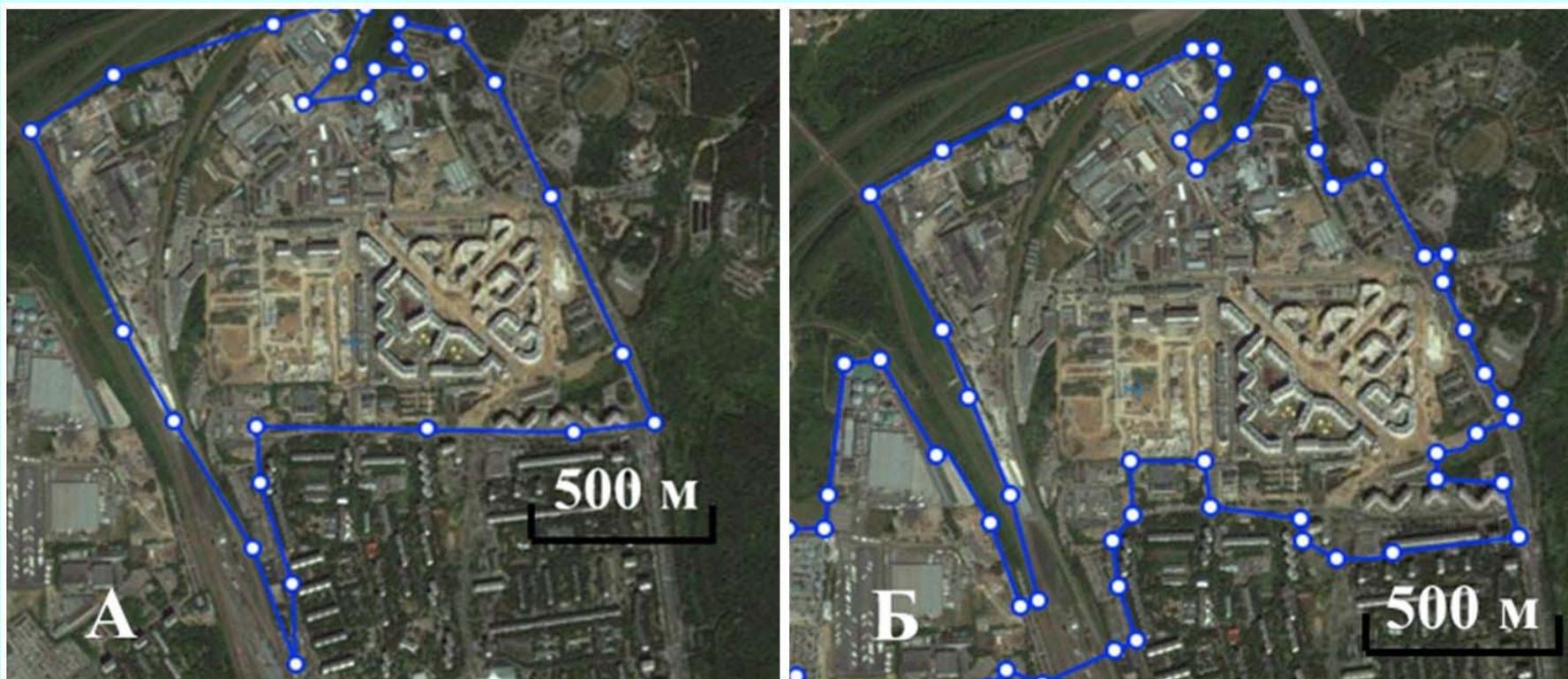
Автоматическое выделение зон плотной застройки по двум наборам эталонных участков.



Слева – по набору эталонов А, справа – по набору эталонов Б.

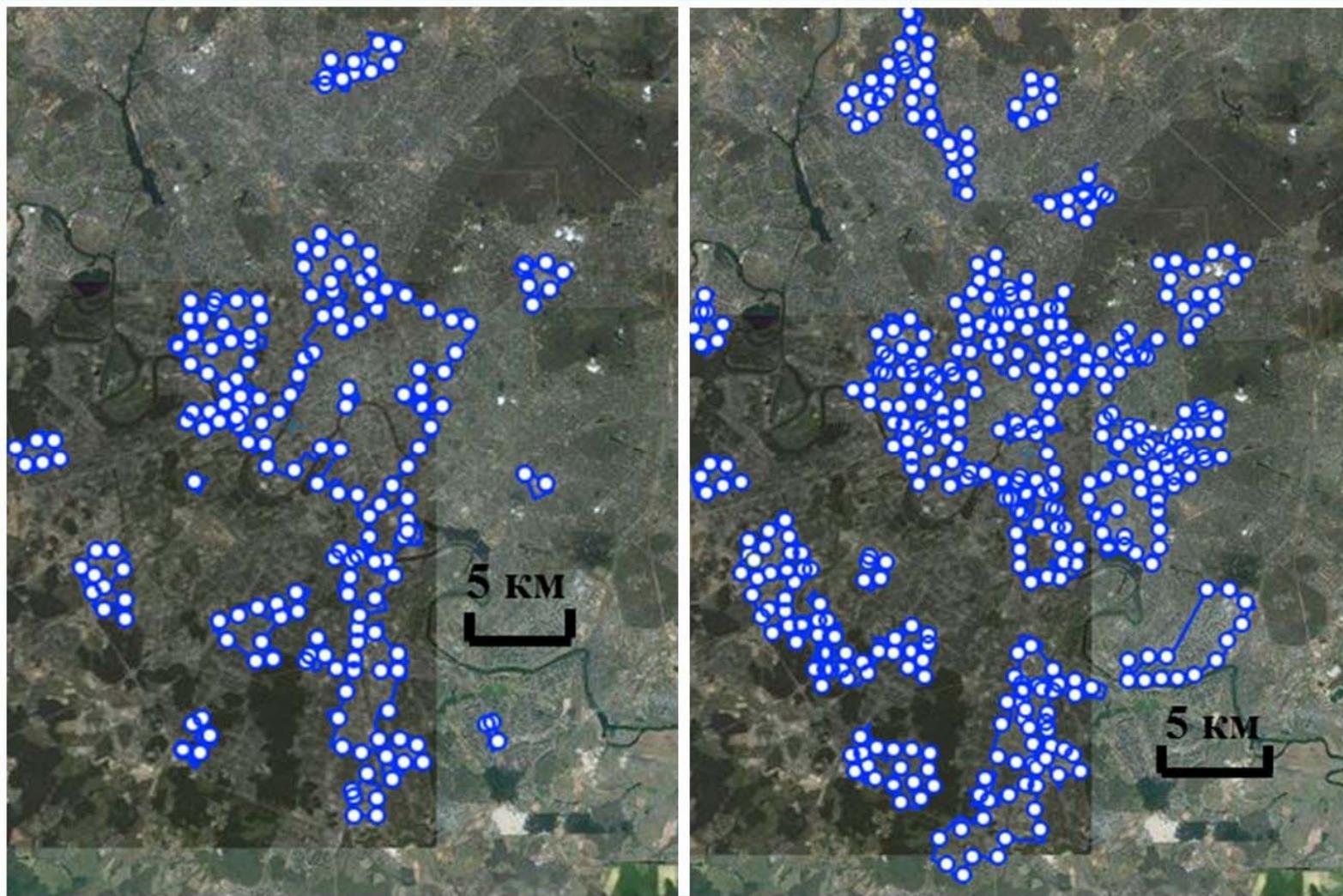


Векторный слой плотной застройки: окоптуривание вручную.



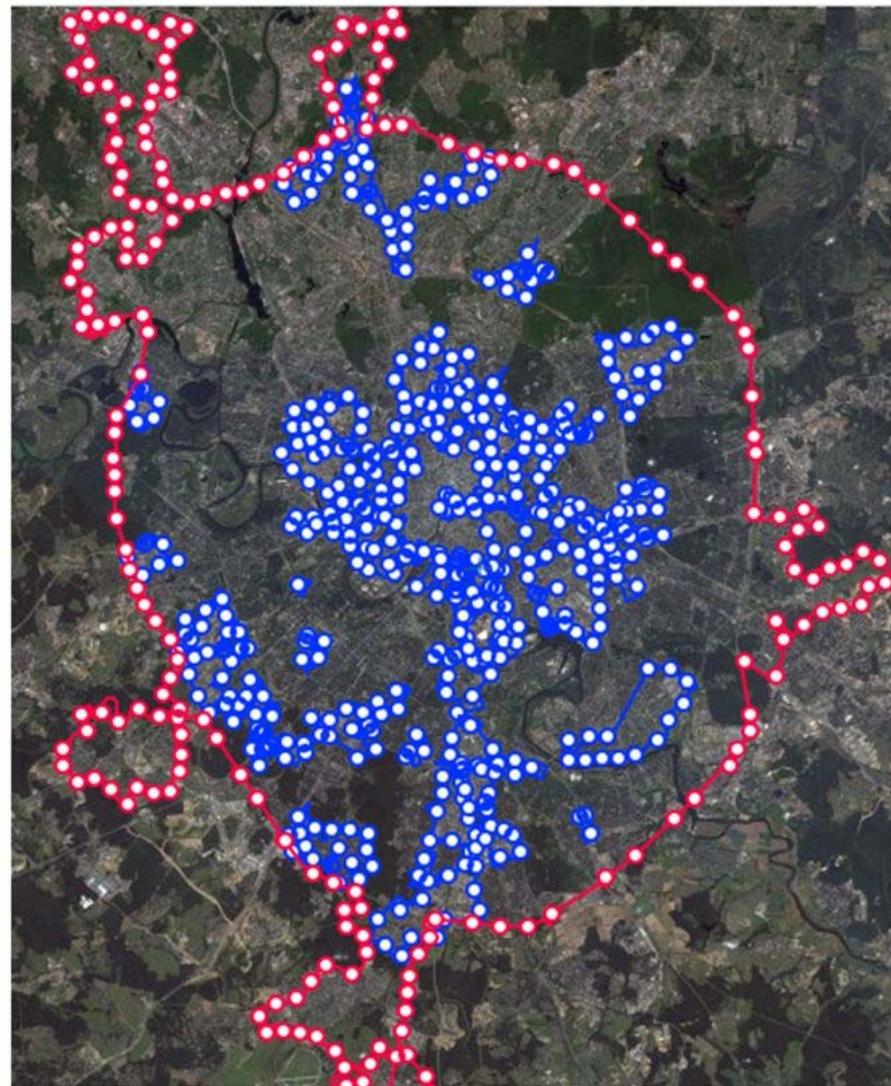
*Пример участка плотной застройки на юго-востоке Москвы:
слева – версия Е.А. Енуковой; справа – версия М.А. Локощенко.*

Векторный слой плотной застройки: окоптуривание вручную.



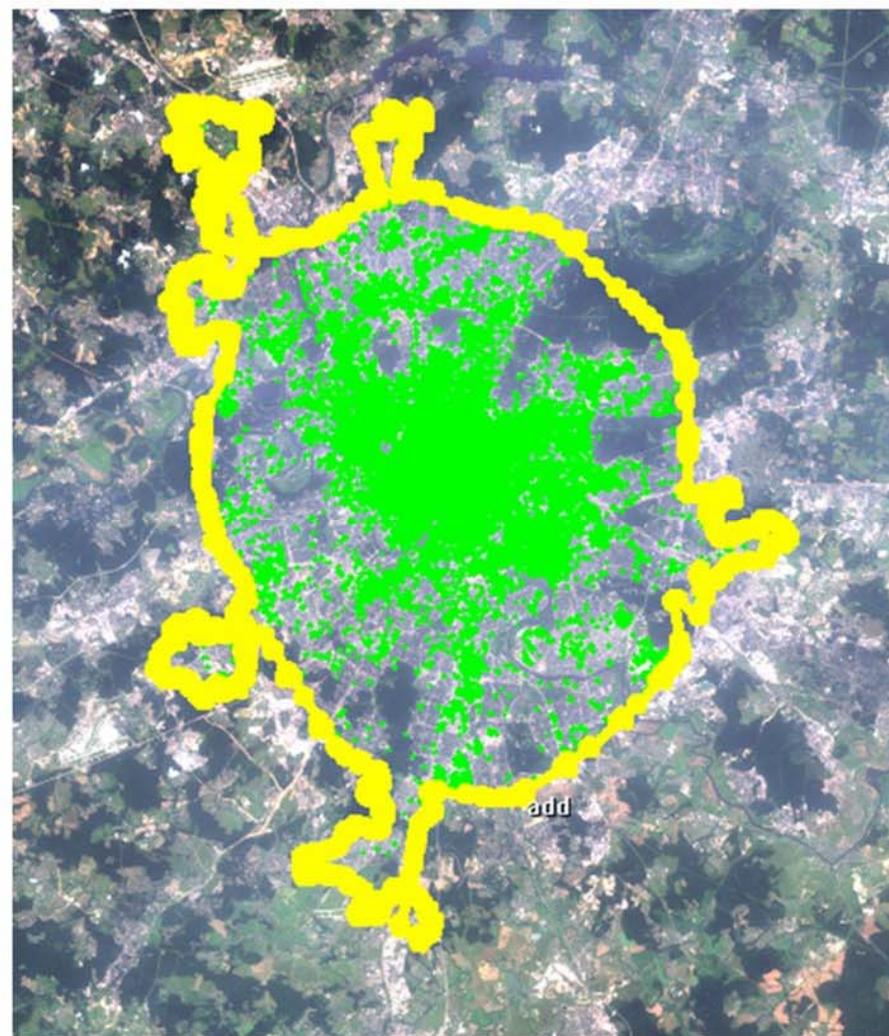
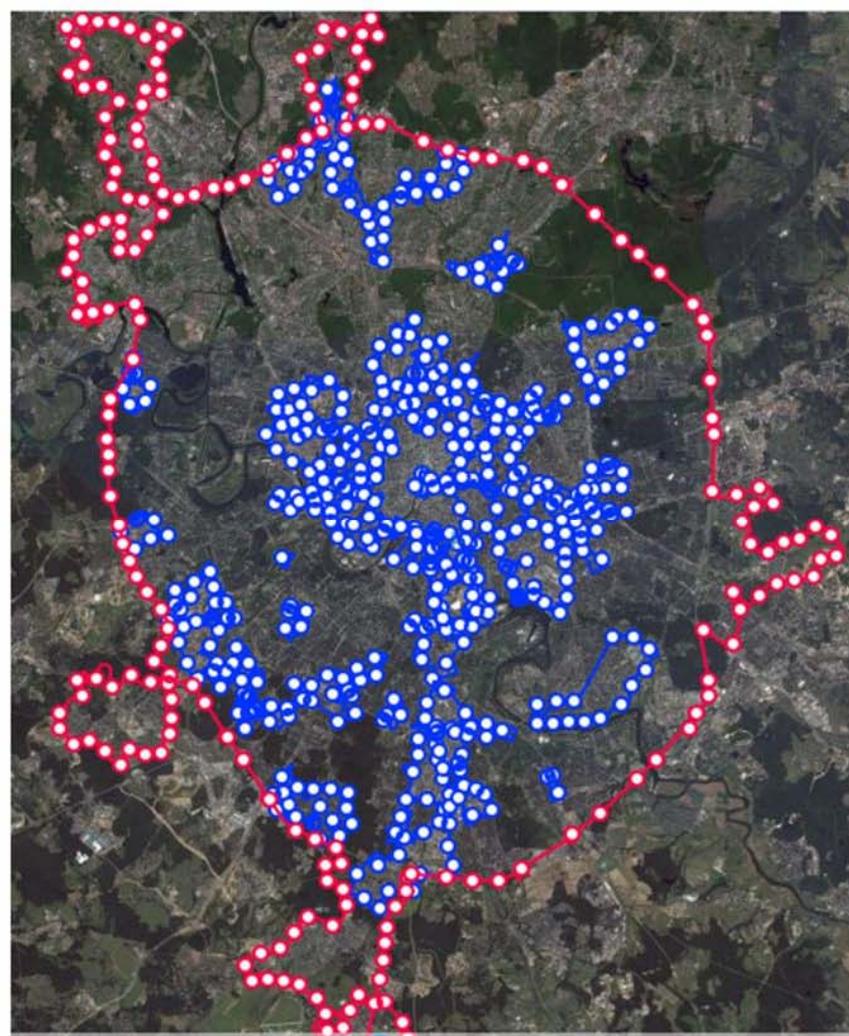
Слева – версия М.А. Локощенко; справа – версия Е.А. Енуковой.

Векторный слой плотной застройки: окоптуривание вручную.



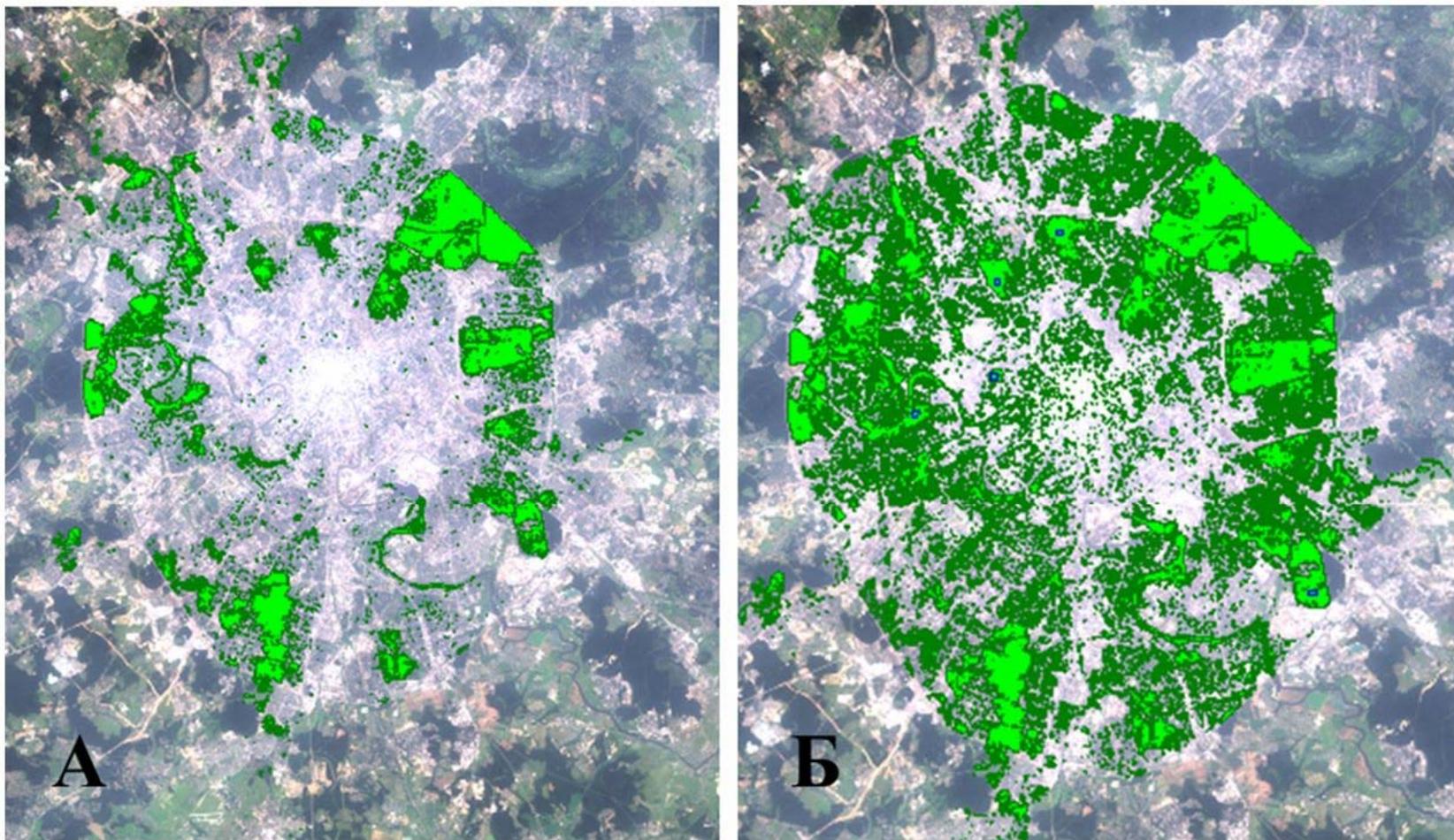
- *Объединённая версия М.А. Локощенко и Е.А. Енуковой.* ●

Сравнение векторного слоя зон плотной застройки с их автоматическим определением.



- **Объединённая версия М.А. Локощенко и Е.А. Енуковой.**
-

Автоматическое выделение лесопарков по двум наборам эталонных участков.

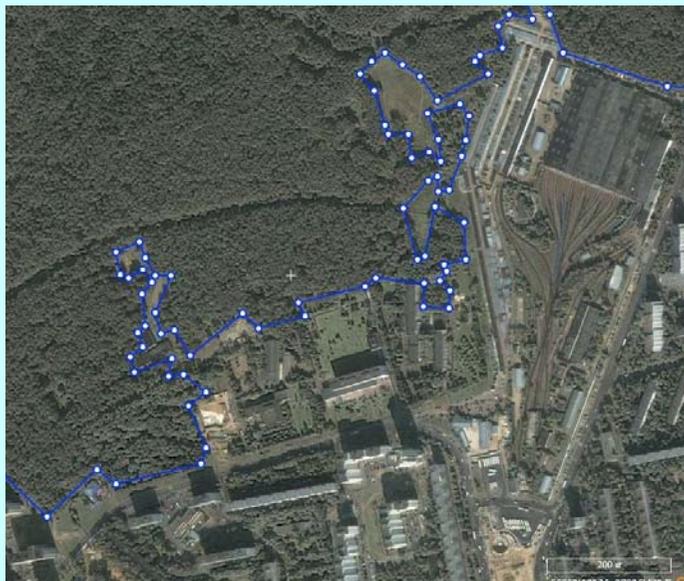


Результаты автоматической классификации в программе SIP по данным спутника Landsat 8 на основе синтеза каналов 5, 4, 3, проведенной по эталонным участкам.

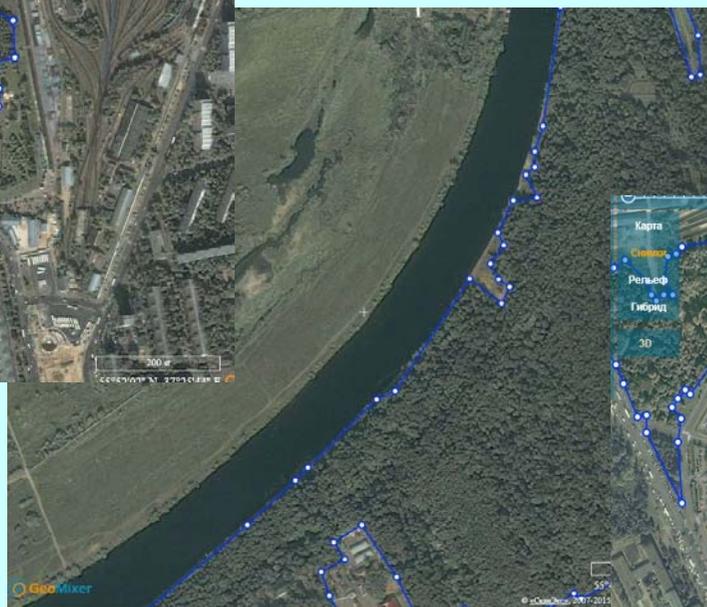
А – эталоны выбраны в глубине плотных древесных насаждений;

Б – эталоны взяты в парках преимущественно в центре города с небольшой плотностью древостоя.

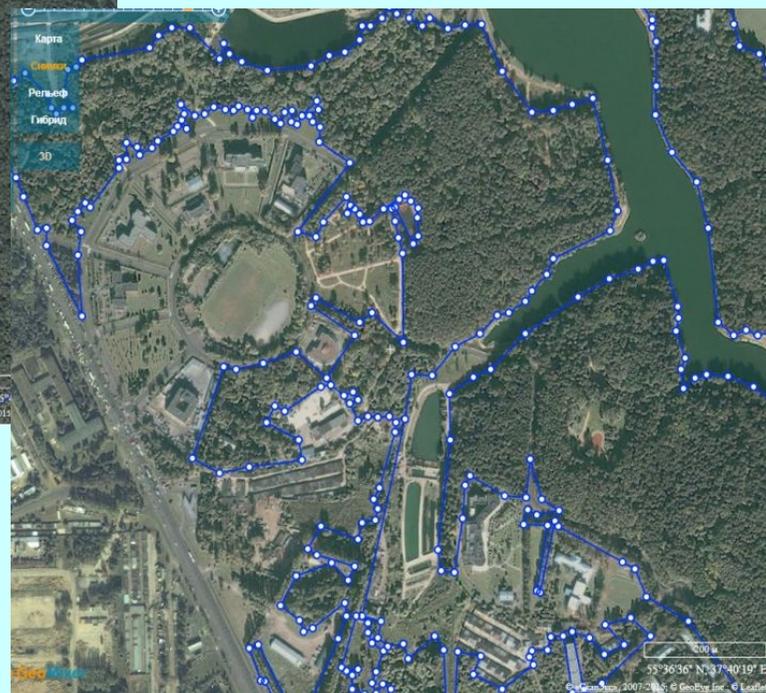
Векторный слой лесов и парков: олинтуривание вручную.



Алëшкинский лес

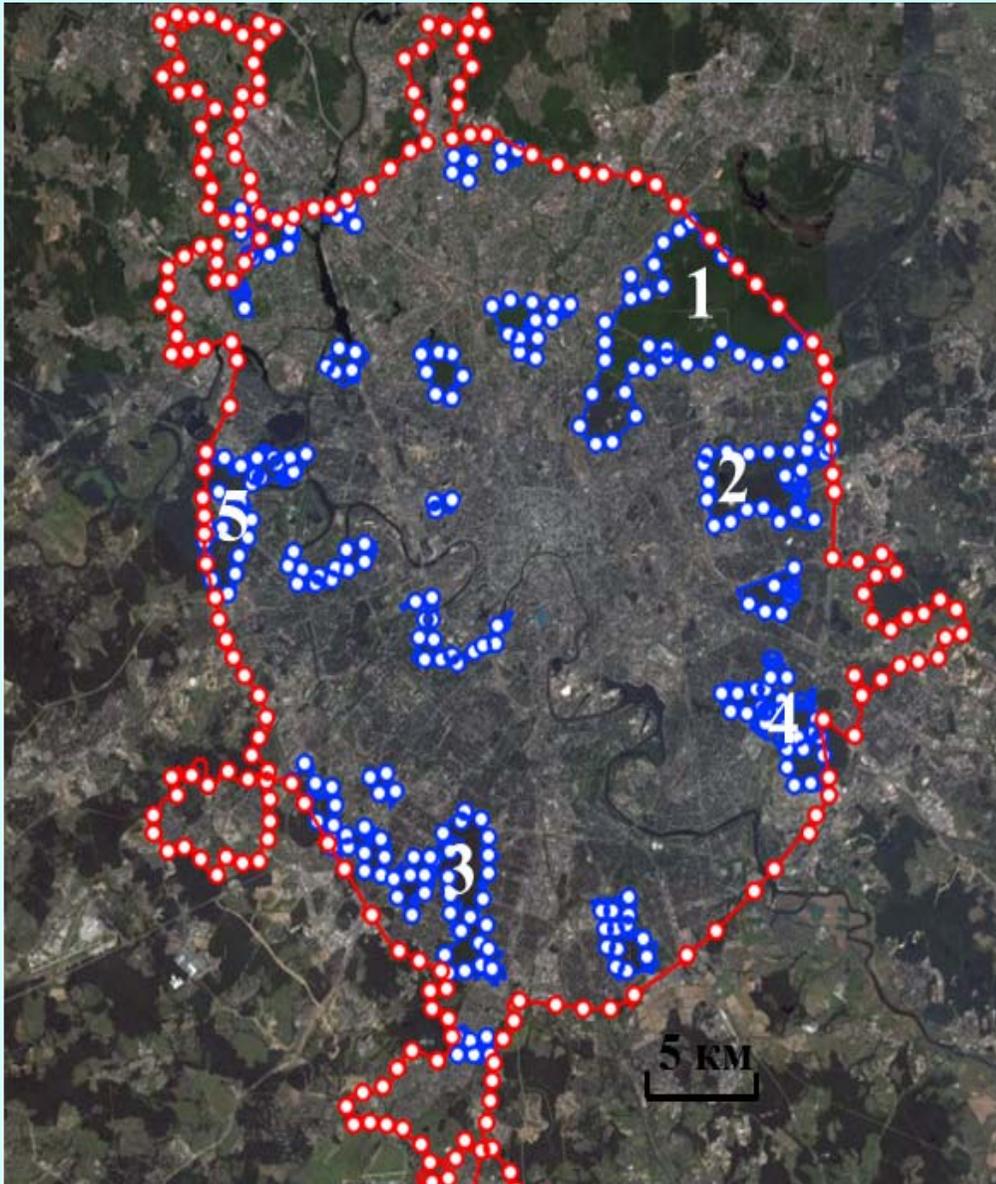


Филëвский парк



Парк Царицыно

Векторный слой городских лесов и парков Москвы



На территории Москвы
выделено 28 лесопарков
площадью $\geq 0,5 \text{ км}^2$

Наибольшие по площади:

- 1 – Лосиный остров +
Сокольники;
- 2 – Измайловский лесопарк;
- 3 – Битцевский парк;
- 4 – Парк Кузьминки;
- 5 - Парк Рублёвский

Интенсивность локальных «островов холода»

Интенсивность «острова холода» – разность температуры поверхности леса или парка и остальной площади города:

$$\Delta T = T_1 - T_2, \text{ где}$$

T_1 – среднее значение температуры поверхности парков;

T_2 – среднее значение температуры поверхности всей остальной («незалесённой») части города

По данным за 2008-2018 гг. средняя интенсивность «островов холода» на территории Москвы по данным о температуре поверхности всех 28 лесопарковых зон составляет $-1,2$ °С и на отдельных снимках меняется в широких пределах:

от $-4,4$ °С до $+0,5$ °С.

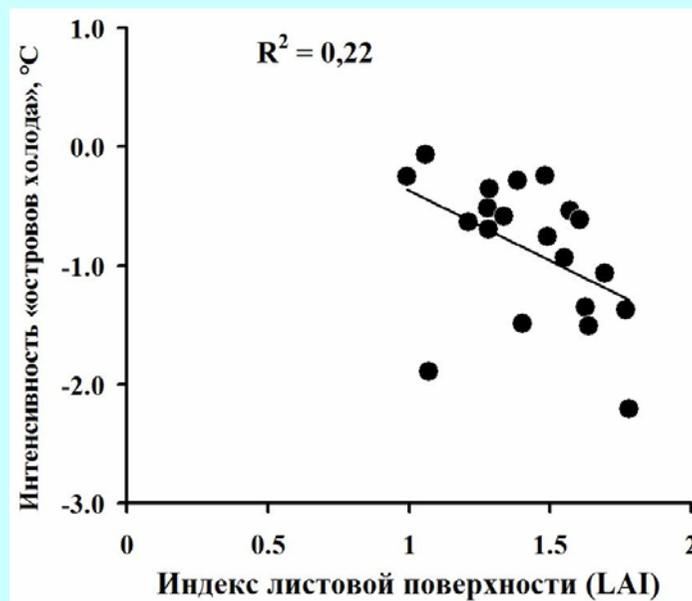
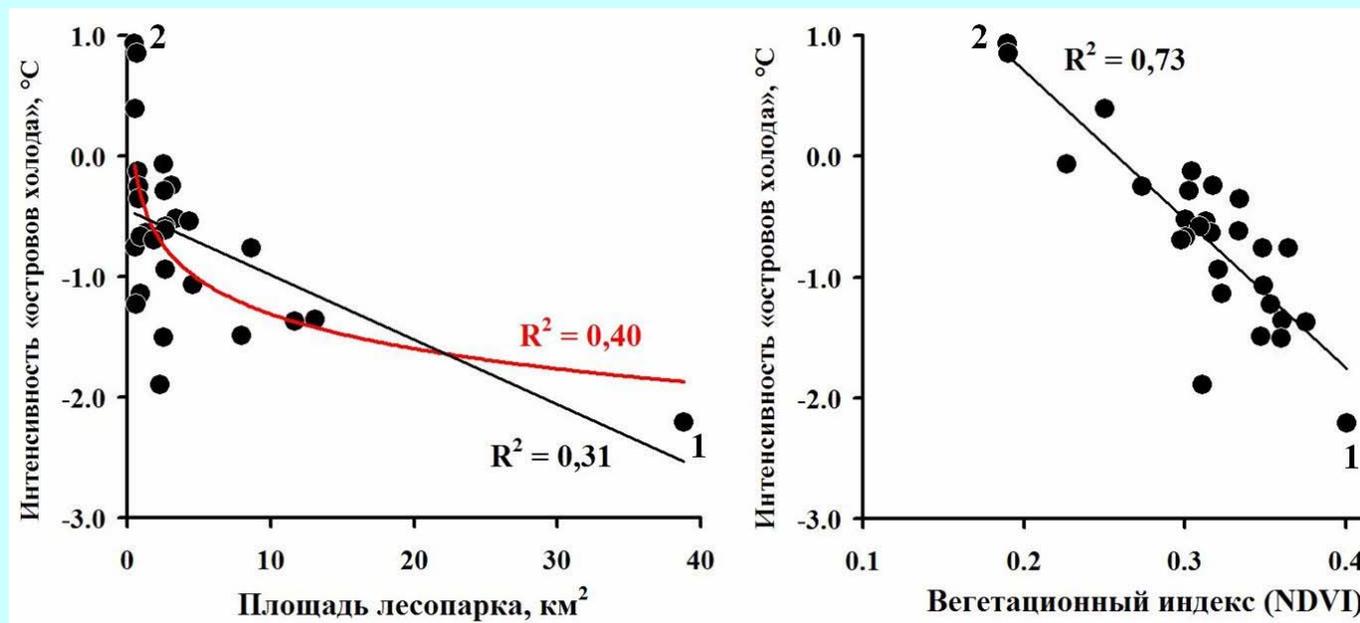
Для внутренней части парков без учёта краевых зон:

$$\Delta T = -2,4 \text{ °С}$$

Охлаждающий эффект отдельных лесопарков

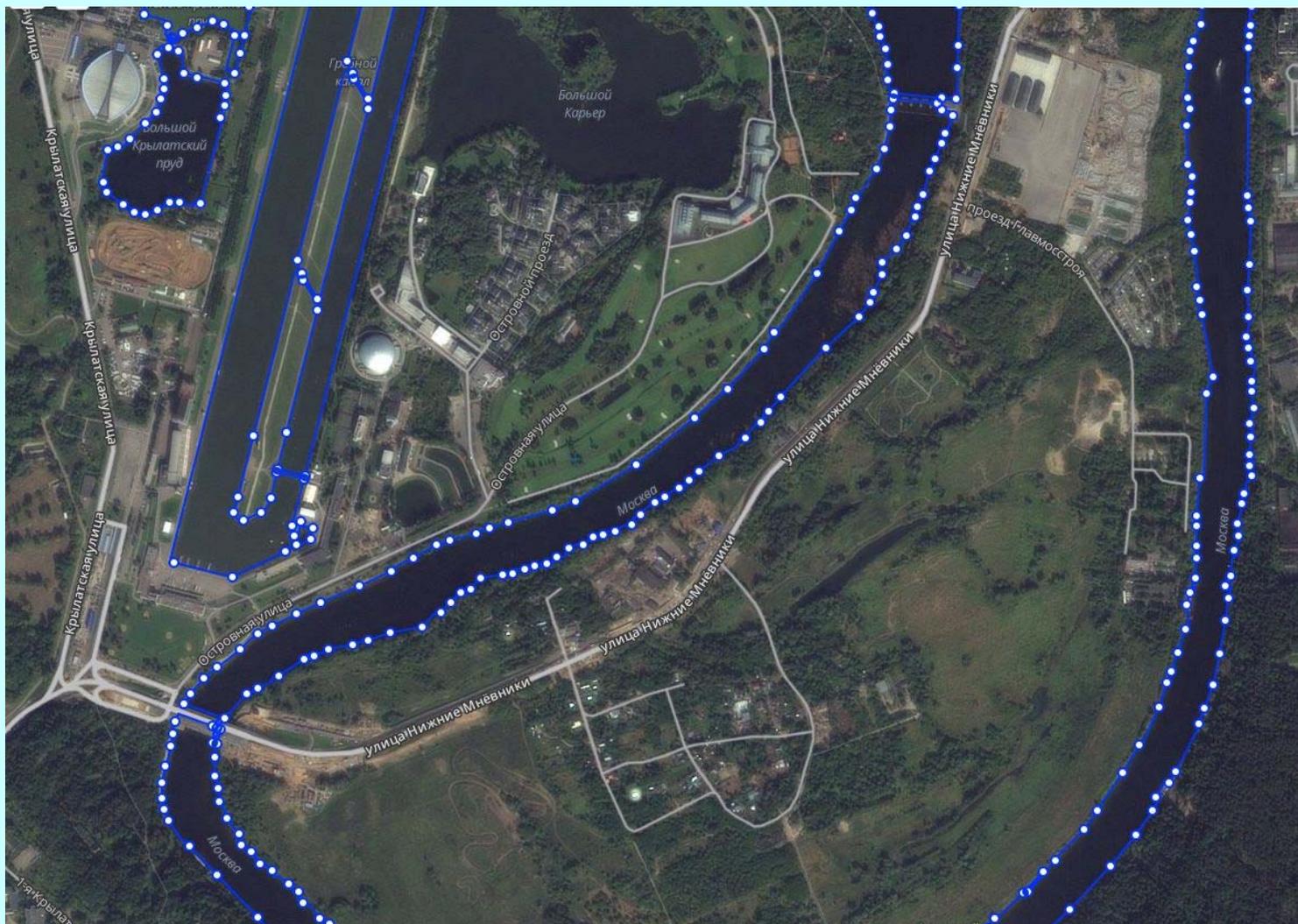
Парк	ΔT , °C	Парк	ΔT , °C
Лосиный остров	-2,2	Парк сельскохозяйственной академии им. Тимирязева	-0,6
Серебряный бор	-1,9	Парк Кузьминки	-0,6
Парк Тёплый стан	-1,5	Востряковское кладбище	-0,6
Рублёвский парк	-1,5	Ботанический сад	-0,5
Битцевский парк	-1,4	Алешкинский лес	-0,5
Измайлово	-1,4	Парк Чертаново	-0,4
Лянозовский питомник	-1,2	Филёвский парк	-0,3
Парк Восточное Измайлово	-1,1	Химкинский лесопарк	-0,3
Парк Царицыно	-1,1	Парк Кусково	-0,2
Лесопарк Тропарево	-0,9	Парк Лянозово	-0,1
Братцевский парк	-0,8	Парк Воробьевы горы	-0,1
Парк Покровское-Глебово	-0,7	Кузьминское кладбище	0,4
Обручëво	-0,7	Нескучный сад	0,4
Бутовский лесопарк	-0,6	Ваганьковское кладбище	0,9

Связи интенсивности «островов холода» в Москве с разными показателями.



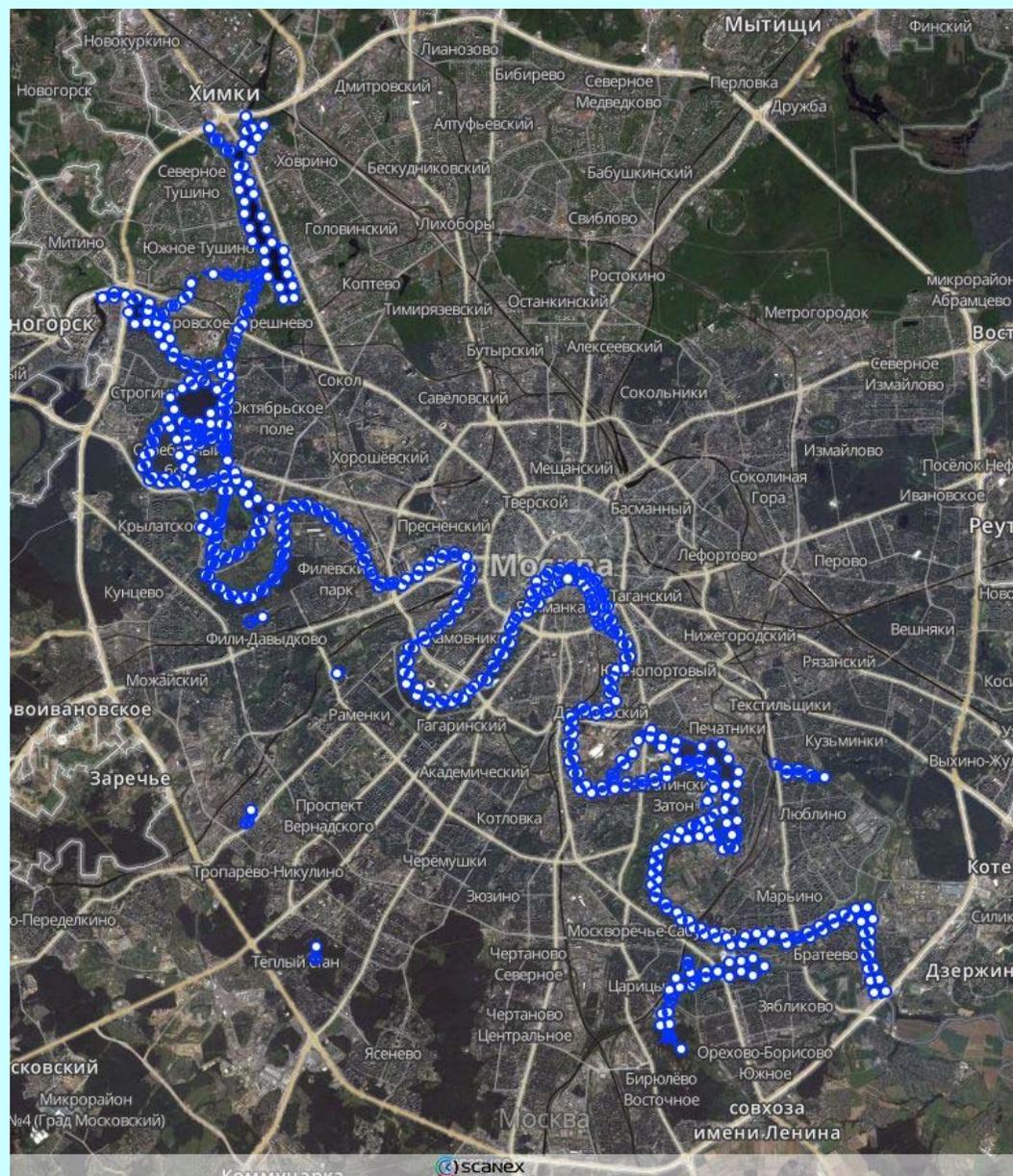
1 – Лосиный остров и Сокольники;
2 – Ваганьковское кладбище

Векторный слой открытой воды: о контурирование вручную.



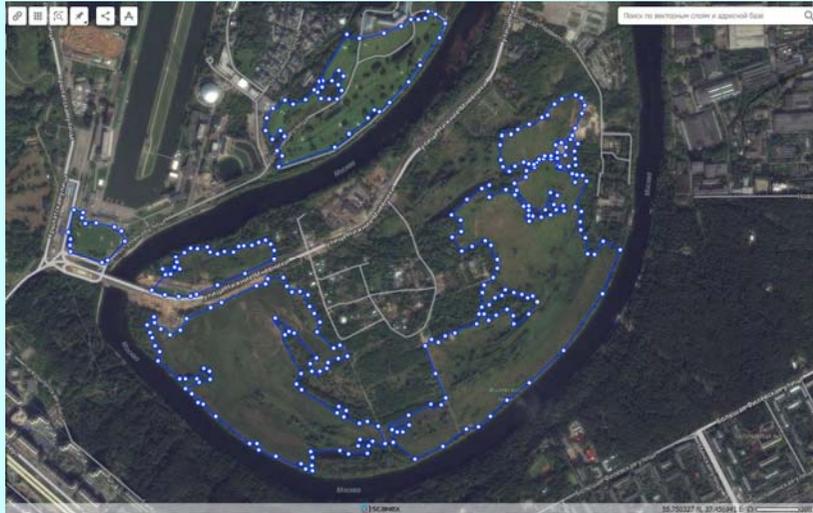
Река Москва и Гребной канал в Крылатском

Векторный слой открытой воды в Москве

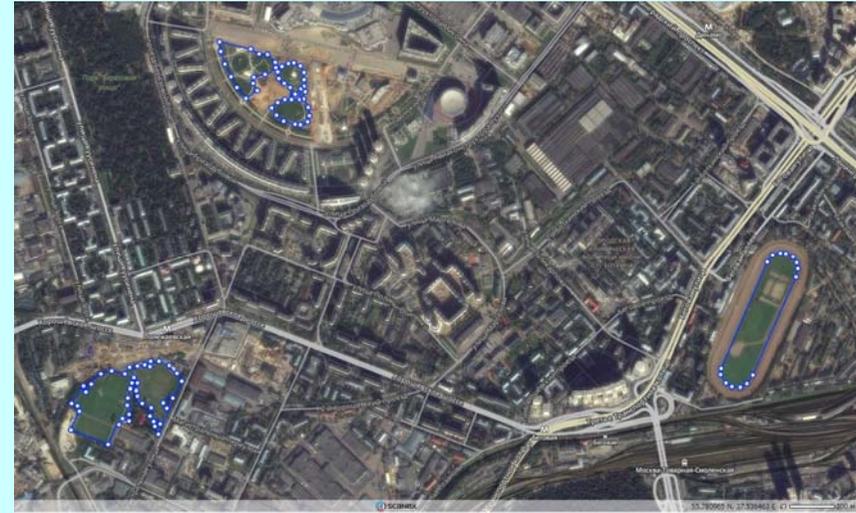


14 отдельных объектов.

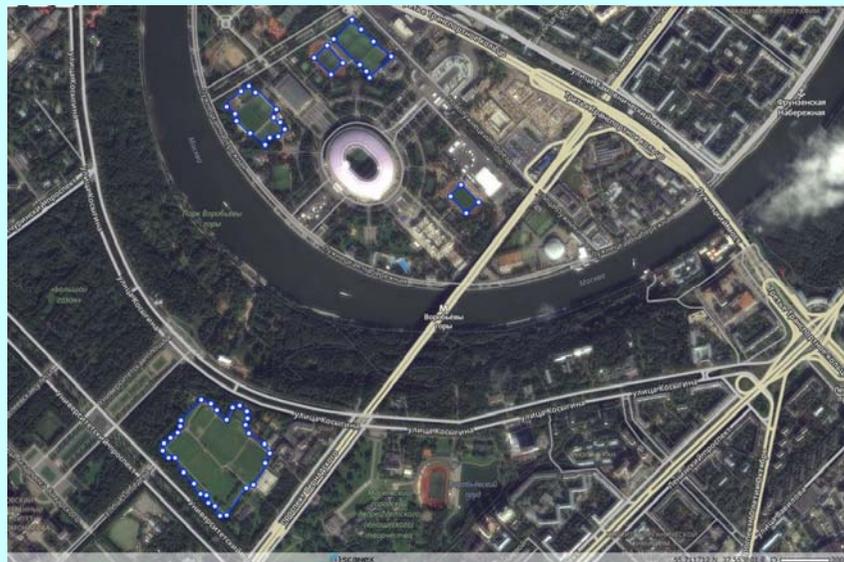
Векторный слой лугов: оформление вручную.



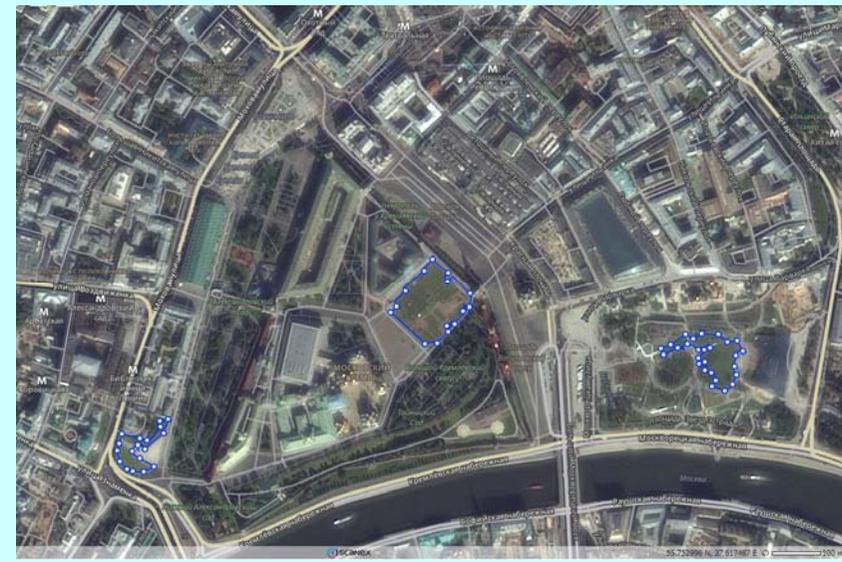
Филёвская пойма р. Москвы



Ипподром и Ходынское поле

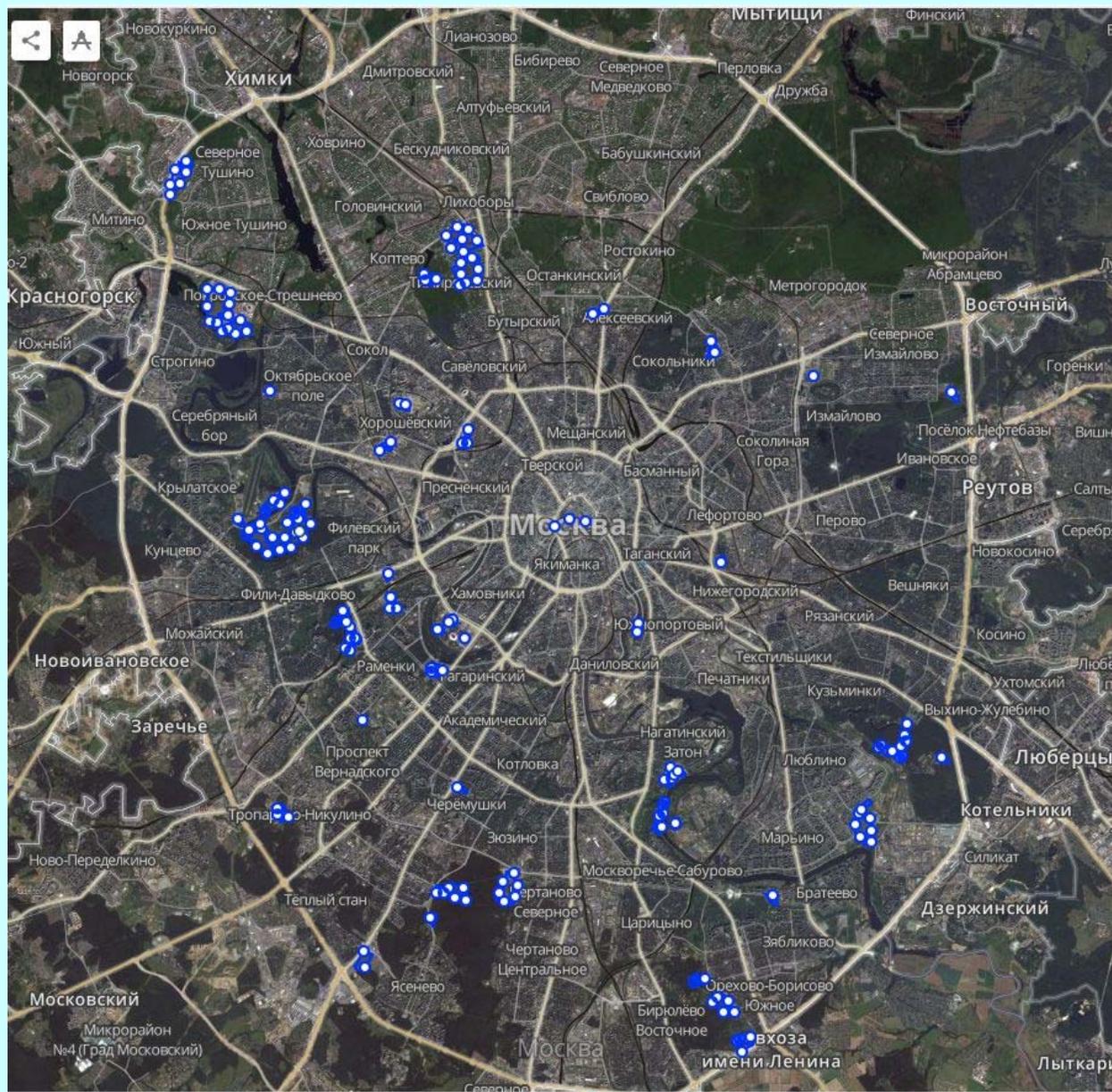


Спортивные площадки в Лужниках



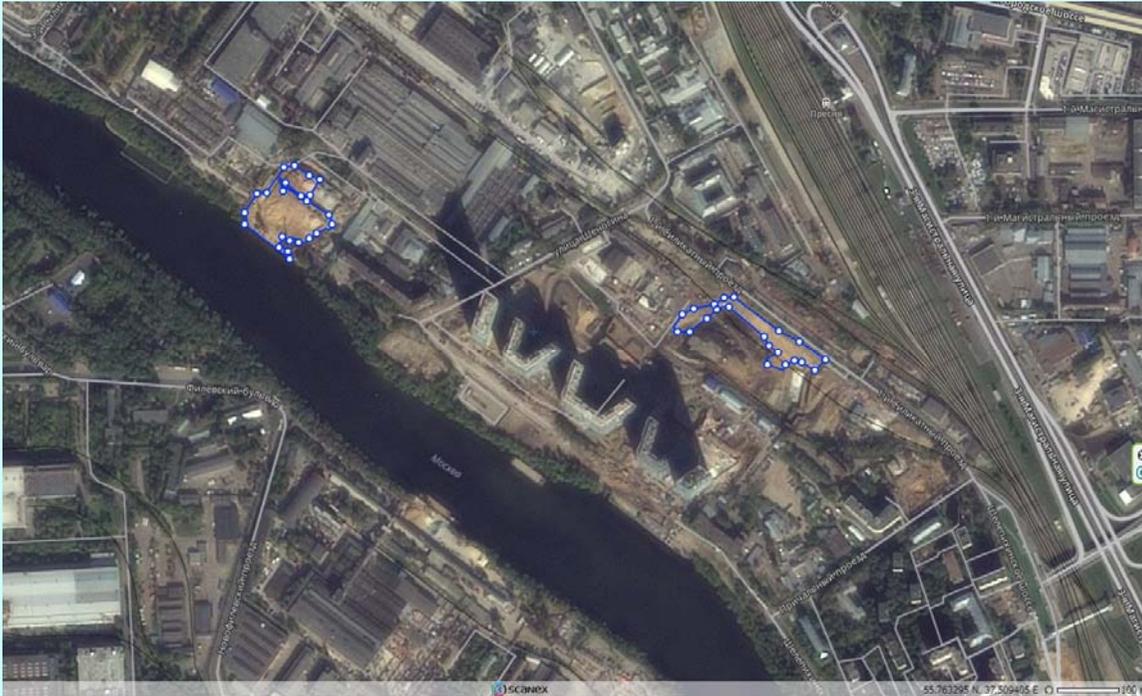
Лужайки в Кремле

Векторный слой лугов в Москве

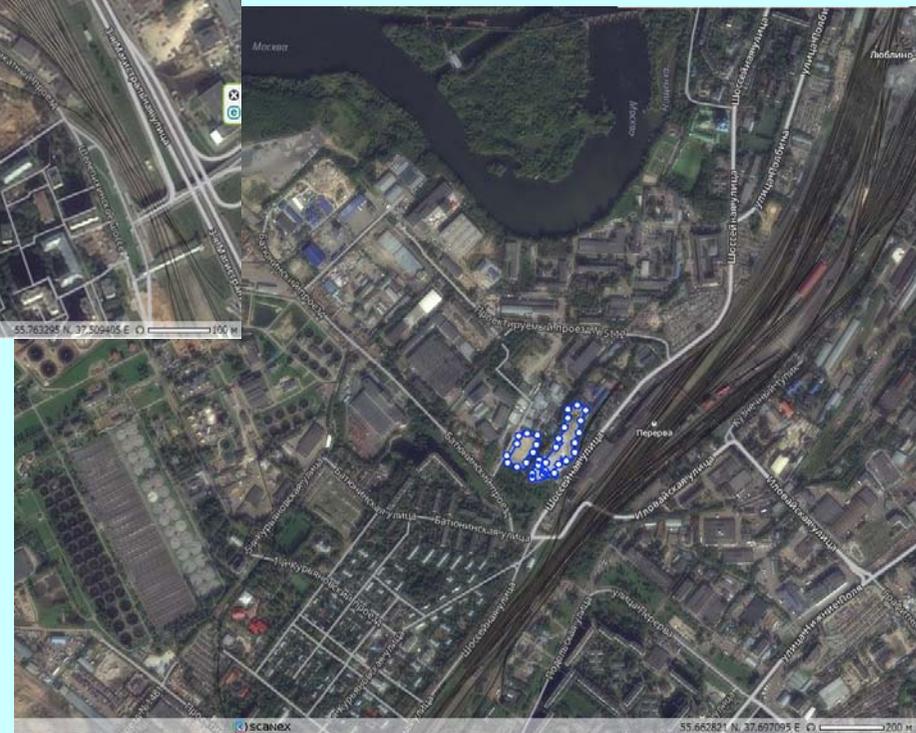


57 отдельных объектов.

Векторный слой песка и открытого грунта: окионтуривание вручную.

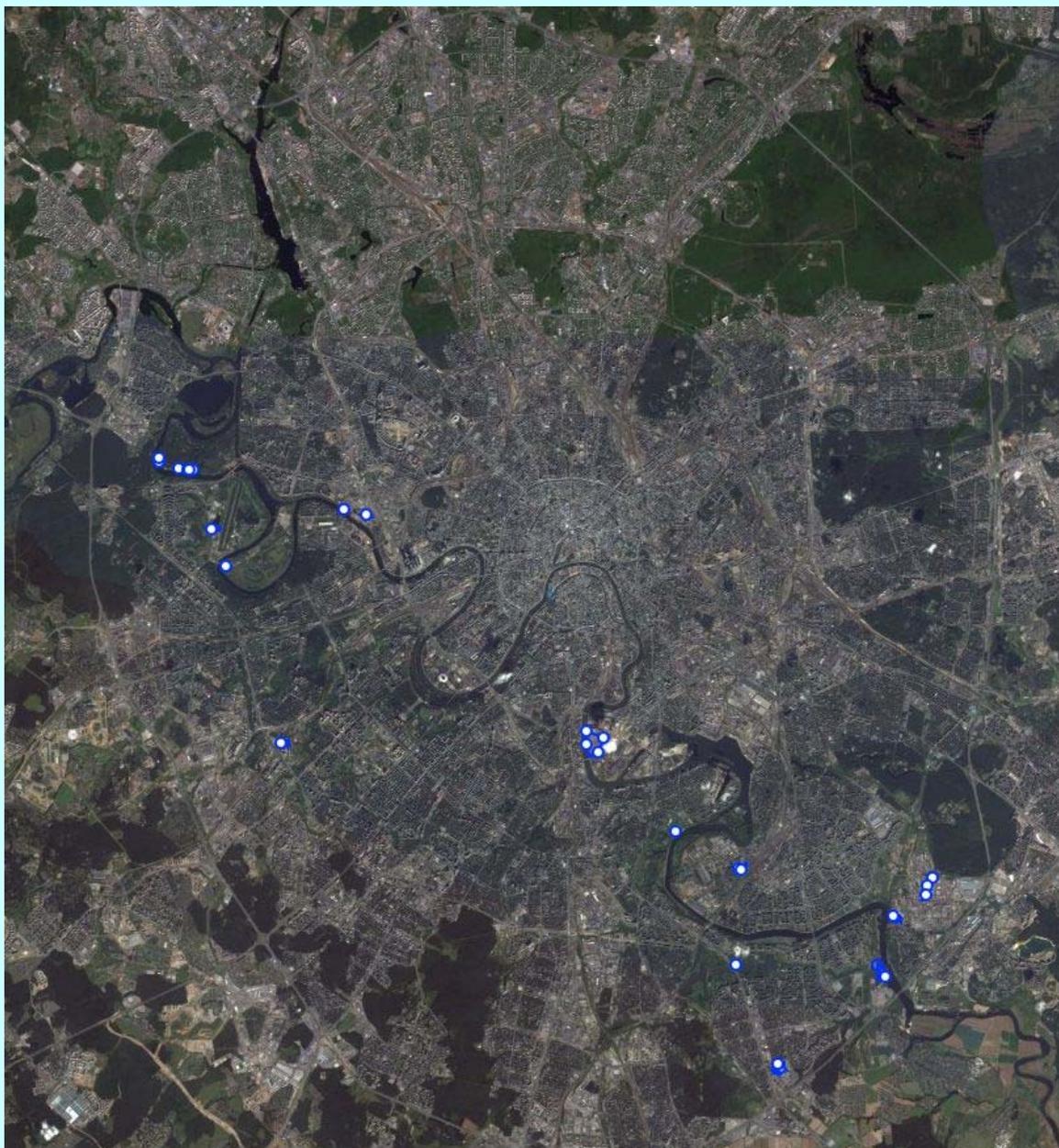


Пляж в Филях



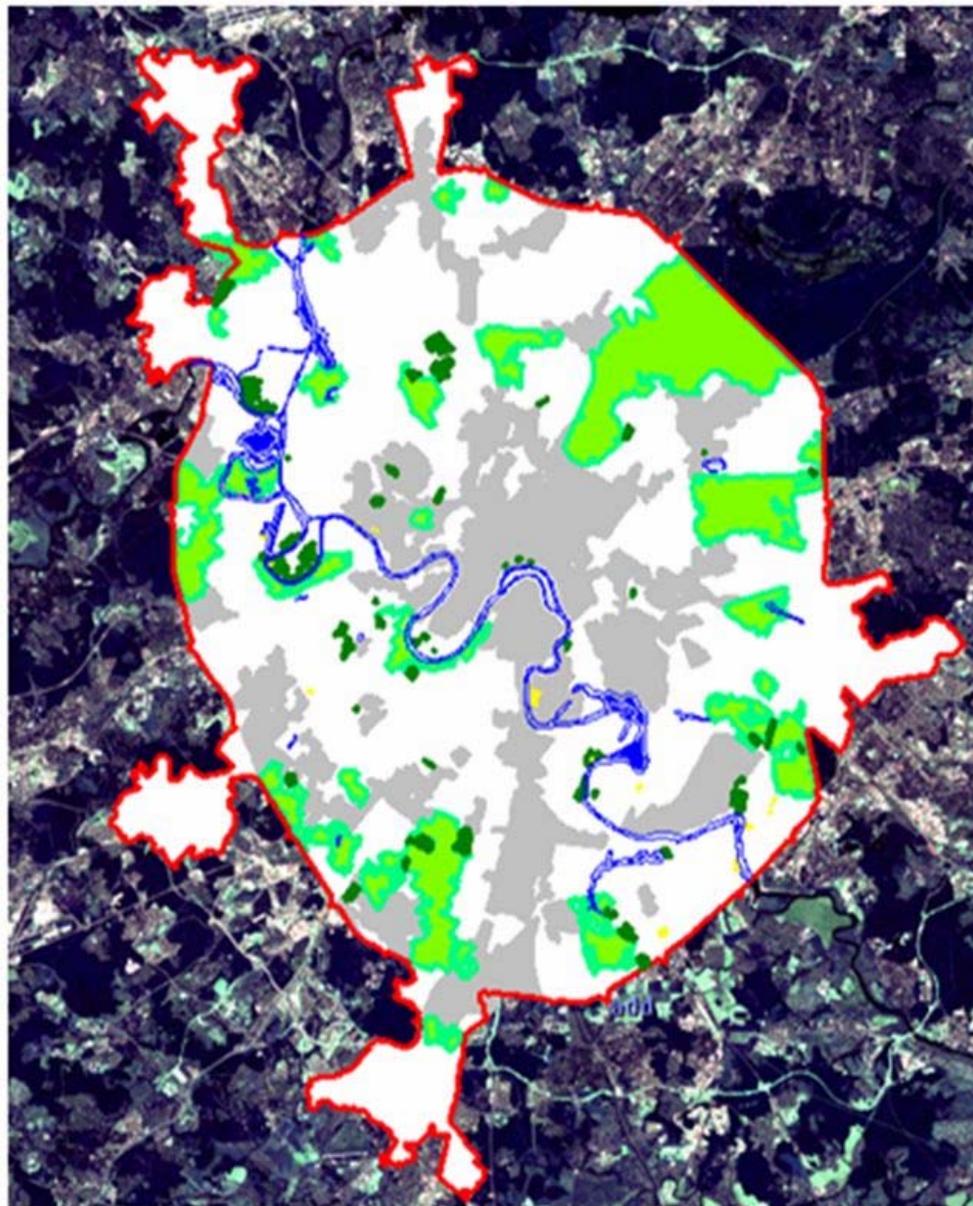
Песчаный карьер в Люблино

Векторный слой песчаных поверхностей в Москве



22 отдельных объекта.

Типы городской поверхности Москвы.



-  Границы города
-  Лесопарки
-  Водные объекты
-  Зона плотной городской застройки
-  Луговые поверхности
-  Песчаные поверхности
-  Остальная часть города

Температура городской поверхности по многолетним данным MODIS и данным Landsat 8 за 2018 г.

По данным радиометра MODIS в 2010-2013 гг. (86 снимков)						
	Москва в целом	Парки	Водные объекты	Плотная застройка	Песок	Луга
Температура поверхности, °С	7,3	6,1	7,0	7,9	—	—
Температурное влияние, °С	—	-1,2	-0,3	0,6	—	—
По данным спутника Landsat 8 за 2018 год (6 снимков)						
Температура поверхности, °С	9,8	6,9	6,3	11,9	10,6	9,7
Температурное влияние, °С	—	-2,9	-3,5	2,1	0,8	-0,1

Статистическая значимость различий между разными типами городской поверхности:

Критерий Стьюдента (t – тест):

$$Z = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{\sigma^2(X)}{n} + \frac{\sigma^2(Y)}{m}}}$$

X и Y – математические ожидания обеих выборок, $\sigma^2(X)$ и $\sigma^2(Y)$ – их дисперсии; n и m – их размер.

Критерий Вилкоксона – подсчёт числа инверсий в соотношениях значений обоих рядов.

Результат: различия между выборочными математическими ожиданиями температуры парков и плотной застройки достоверны летом с уровнем значимости 1 %; при сравнении температуры воды и плотной застройки – с уровнем значимости 5 %.

Выводы:

- 1. Плотная городская застройка с абсолютным преобладанием искусственных покрытий в среднем за год на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплее города в целом;
- 2. Городские леса и парки являются локальными «островами холода»; температура их поверхности (крон деревьев и просветов между ними) в среднем на $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а внутренние их части на $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ холоднее города в целом.
- 3. Получены статистически значимые связи интенсивности «островов холода» с площадью лесопарка, вегетационным индексом и индексом листовой поверхности, косвенно отражающими объём фитомассы.
- 4. Термическое влияние открытой воды носит маятниковый характер в разные сезоны; в среднем за год температура воды на $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ холоднее города в целом.
- 5. Температура луговых территорий близка к среднему значению для всего города, тогда как песчаные поверхности в среднем теплее остального города на $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ – главным образом, за счёт их сильного прогрева летом.
- 6. Различия в температуре поверхности плотной застройки и лесопарков, а также водных объектов статистически значимы в летние месяцы.

Спасибо за внимание!