

Качественный и количественный
подходы к анализу данных
тепловизионной съемки с БПЛА в
решении прикладных задач



Объекты для тепловизионной аэросъемки

Тепловизионная съемка с БПЛА – уникальная возможность выполнять бесконтактное обследование объектов на значительных площадях.

Области применения:

- Теплоэнергетика
- Жилищно-коммунальное хозяйство
- Электрические сети
- Продуктопроводы
- Экологические задачи



В настоящее время тепловизионная аэросъемка применяется регулярно для решения задач теплоэнергетики, экологии.

Материалы с которыми мы работаем



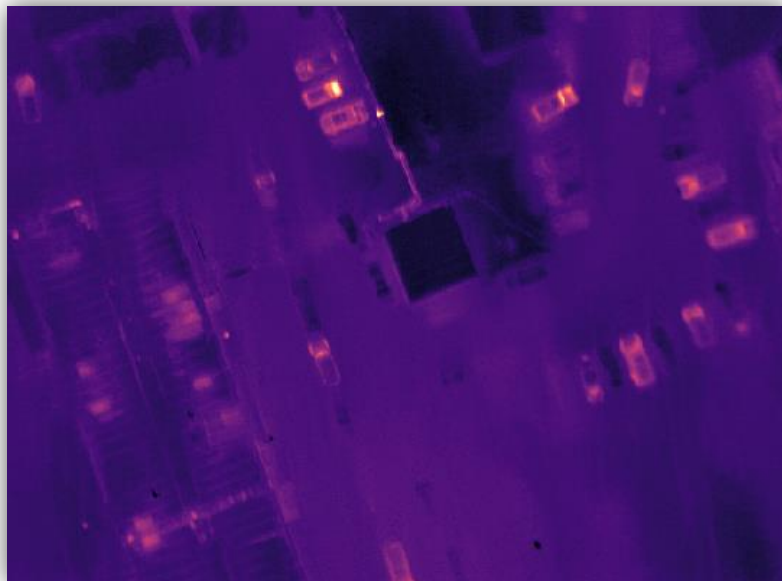
Геоскан 201



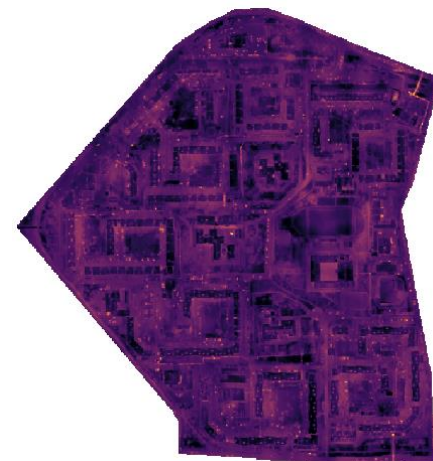
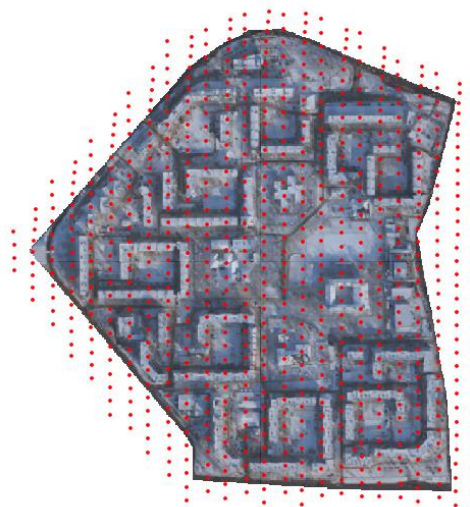
Геоскан 401

Тепловизоры матричного типа имеют низкую производительность при проведении аэросъемки обусловленной их небольшим полем обзора

Тепловизор: матрица 640x480, 8-14 мкм



Захват кадра тепловизионного изображения с высоты 200 м



Размер объекта 1 кв.км, около 770 кадров тепловизора

Типовой проект съемки

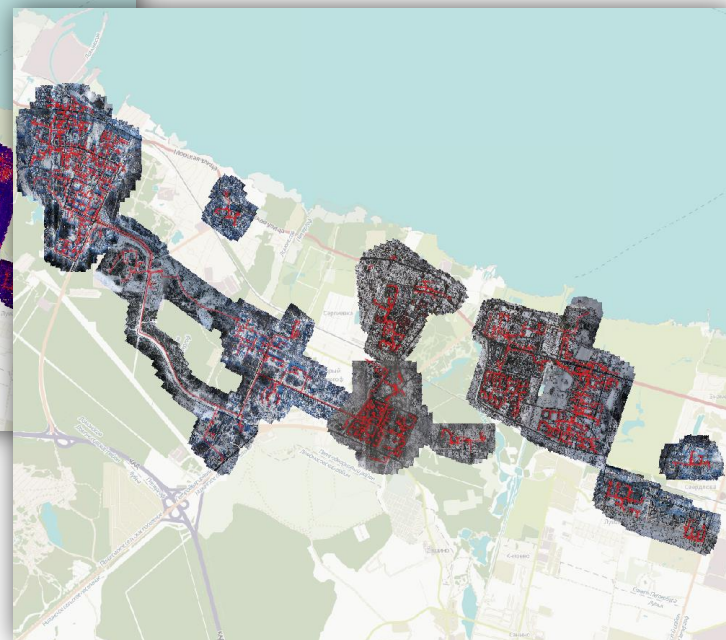
Схема объектов обследования



Тепловой ортофотоплан



Фотоплан видимого диапазона



Технические условия:

- Совмещение площадной и маршрутной съемок для оптимального покрытия объектов.
- Разрешение камеры видимого диапазона 5см на местности,
- Разрешение тепловизора 10 см.

Специфика тепловизионного обследования

- Разработана, отлажена тепловизионная съемочная аппаратура для БПЛА
- Разработана технология фотограмметрической обработки данных тепловизионной съемки для создания сплошного покрытия с сохранением радиометрической информации.
- Заказчик не занимается вопросами анализа теплового изображения. Это, как правило, производственные подразделения которым необходимы конкретные заключения обследования (отчеты). Исполнитель вынужден привлекать специалистов из конкретных областей знаний (теплосети, электрические сети, экология).
- Недостаточное развитие методов анализа тепловизионных изображений, тесно связанных с технологией их получения и определяемых конкретными прикладными задачами – один из факторов сдерживающих развитие методов тепловизионной съемки БПЛА

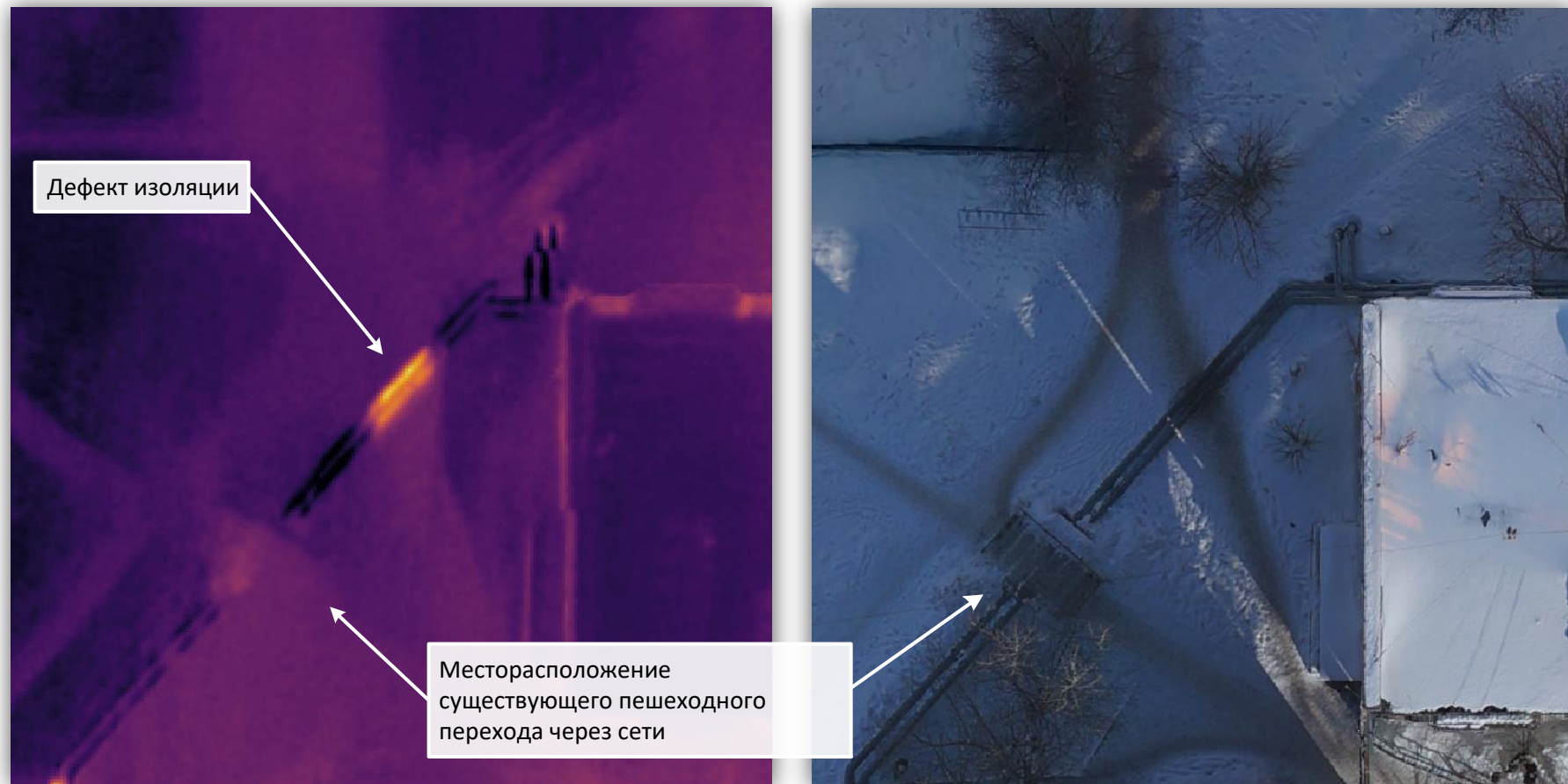
Способы анализа тепловой карты



Характерный пример теплового изображения участка квартальной тепловой сети



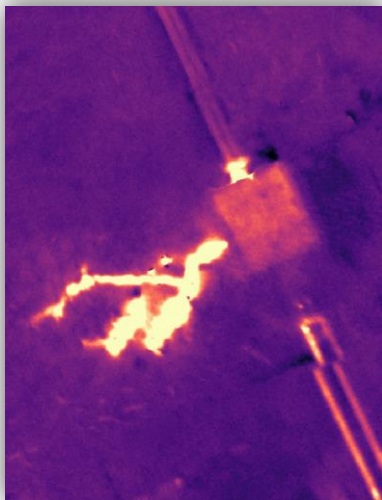
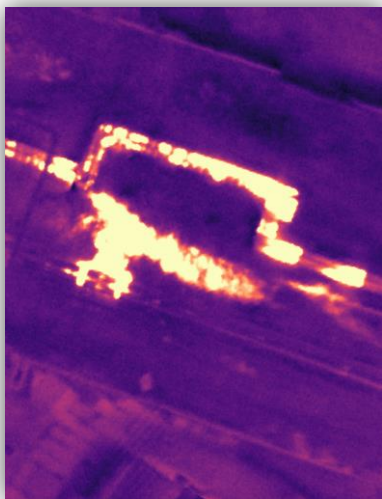
Косвенные признаки, используемые при совместном анализе тепловых изображений и ортофотоплана



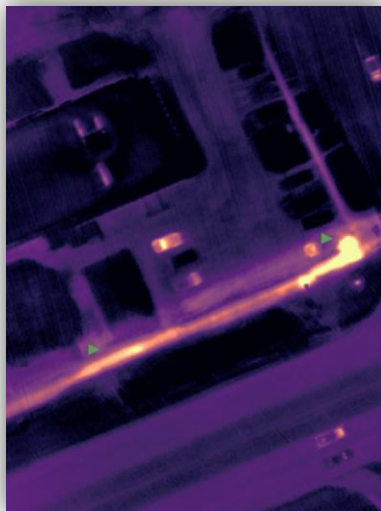
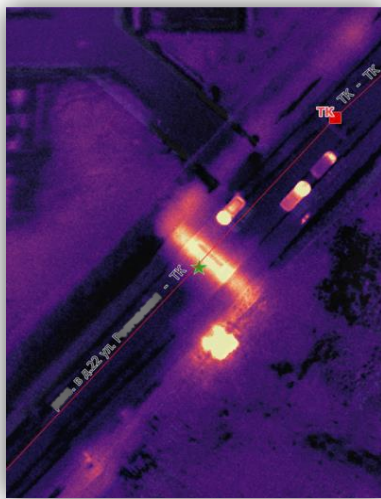
- улица Таха Хусейна, 15/1
- темный цвет труб на тепловом снимке соответствует сети с металлическим защитным слоем теплоизоляции, имеющим низкий коэффициент излучения

Классификация объектов обследования

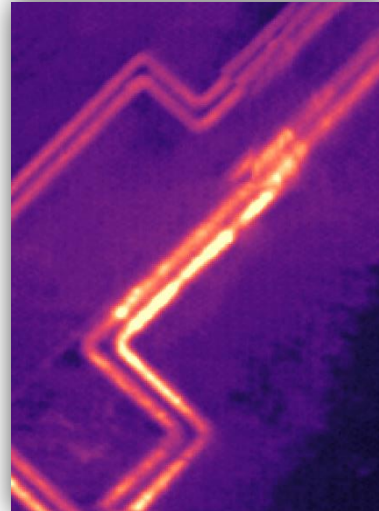
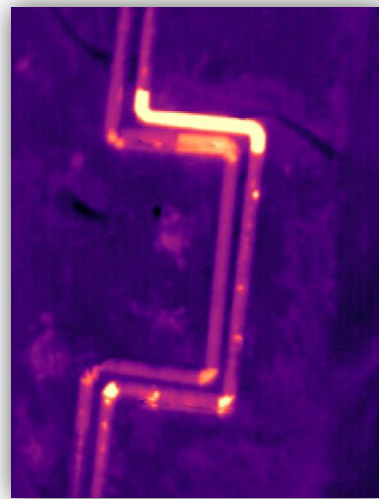
Авария, вытекание
теплоносителя



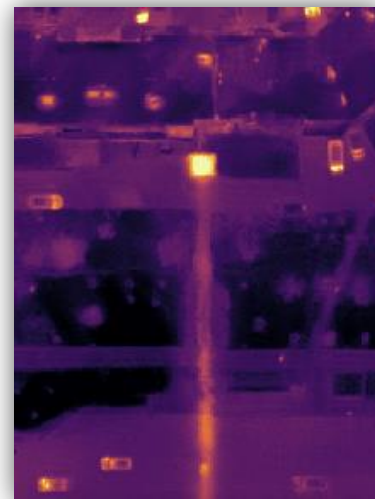
Аварийно-опасная
ситуация



Дефекты изоляции



Нормальное состояние



Сводный отчет по анализу в ГИС системе

- **Задача:** Оперативная диагностика трубопроводов тепловой сети

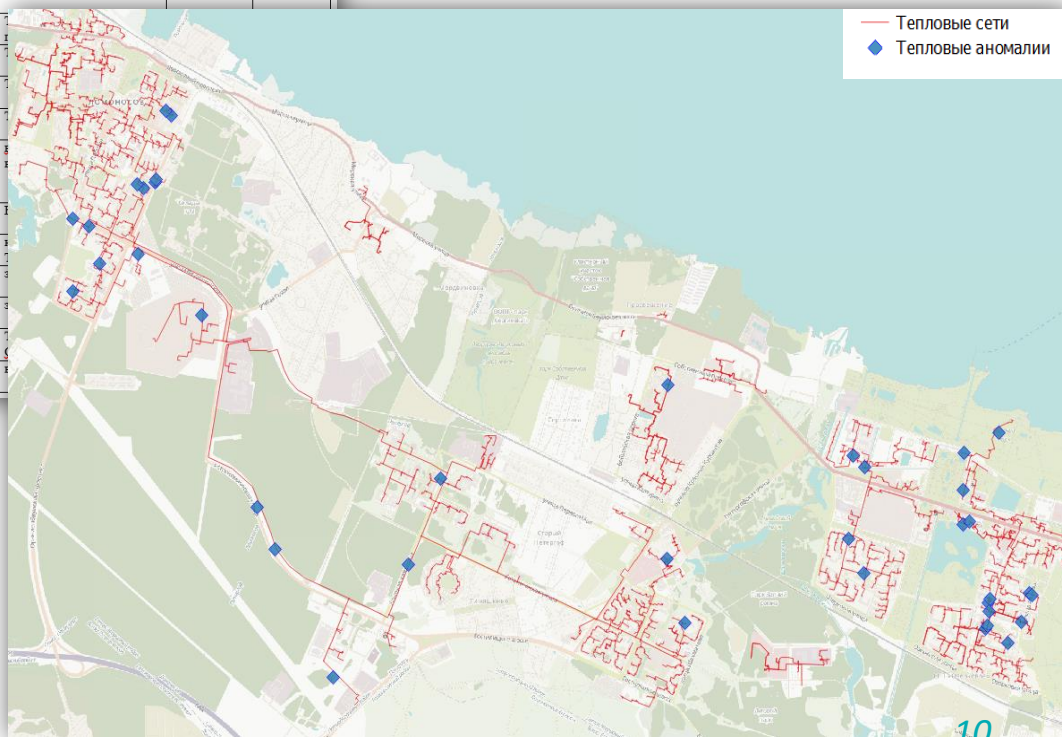
Таблица1. Перечень зарегистрированных объектов

№	Описание	Адрес	Источник	Участок сети	X	Y
33	Аномальные тепловотери	г. Сестрорецк, Советский переулок, дом 10, литера А	г. Сестрорецк, Инструментальщиков ул., д. 8	разветв.-школа №656	29.95325911	60.09261193
34	Аномальные тепловотери	г. Сестрорецк, Дубовское шоссе, дом 40, корпус 1, литера А	г. Сестрорецк, Инструментальщиков ул., д. 8	ТК22-ЦТП №8	29.9448025	60.09032372
35	Аномальные тепловотери	г. Сестрорецк, Дубовское шоссе, дом 42, литера Б	г. Сестрорецк, Инструментальщиков ул., д. 8	ТК22-ЦТП №8	29.94373928	60.0909456
36	Аномальные тепловотери	г. Сестрорецк, улица Володарского, дом 14, литера А	Санкт-Петербург, г. Сестрорецк, Сестры наб. реки д. 8а, лит. А	переход через ул.Володарского	29.97327504	60.09928635
37	Аномальные тепловотери	пос. Песочный, Ленинградская улица, дом 68, литера К	пос. Песочный, Ленинградская 68	отв. на убежище-убежище	30.17944882	60.1211398
38	Аномальные тепловотери	пос. Песочный, Ленинградская улица, дом 68, литера А	пос. Песочный, Ленинградская 68			
39	Аномальные тепловотери	г. Зеленогорск, Александровская улица, дом 17, литера А	г. Зеленогорск, Александровская ул., д.21, лит.А			
40	Аномальные тепловотери	г. Зеленогорск, Александровская улица, дом 8, литера А	г. Зеленогорск, Александровская ул., д.21, лит.А			
41	Неправильная конфигурация сети	г. Зеленогорск, Александровская улица, дом 21, литера А	г. Зеленогорск, Александровская ул., д.21, лит.А			
42	Аномальные тепловотери, неправильная конфигурация сети	г. Зеленогорск, Комсомольская улица, дом 27	г. Зеленогорск, Ленина пр., д. 15, корп. 2, лит. А			
43	Аномальные тепловотери	г. Зеленогорск, Красноармейская улица, дом 15, литера А	г. Зеленогорск, Красноармейская ул., д. 19, лит. А			
44	Аномальные тепловотери	г. Ломоносов, улица Победы, дом 27, литера Б	г. Ломоносов, Александровская ул., д. 236, лит. А			
45	Аномальные тепловотери	г. Ломоносов, улица Победы, дом 24	г. Ломоносов, Александровская ул., д. 236, лит. А			
46	Аномальные тепловотери	г. Ломоносов, улица Победы, дом 32, корпус 2, литера А	г. Ломоносов, Александровская ул., д. 236, лит. А			
47	Аномальные тепловотери	г. Ломоносов, Ораниенбаумский проспект, дом 37, корпус 2	г. Ломоносов, Александровская ул., д. 236, лит. А			
48	Аномальные тепловотери	г. Ломоносов, улица Красного Флота, дом 18/48, литера Е	г. Ломоносов, Федюнинского ул., д. 3а, лит. А			

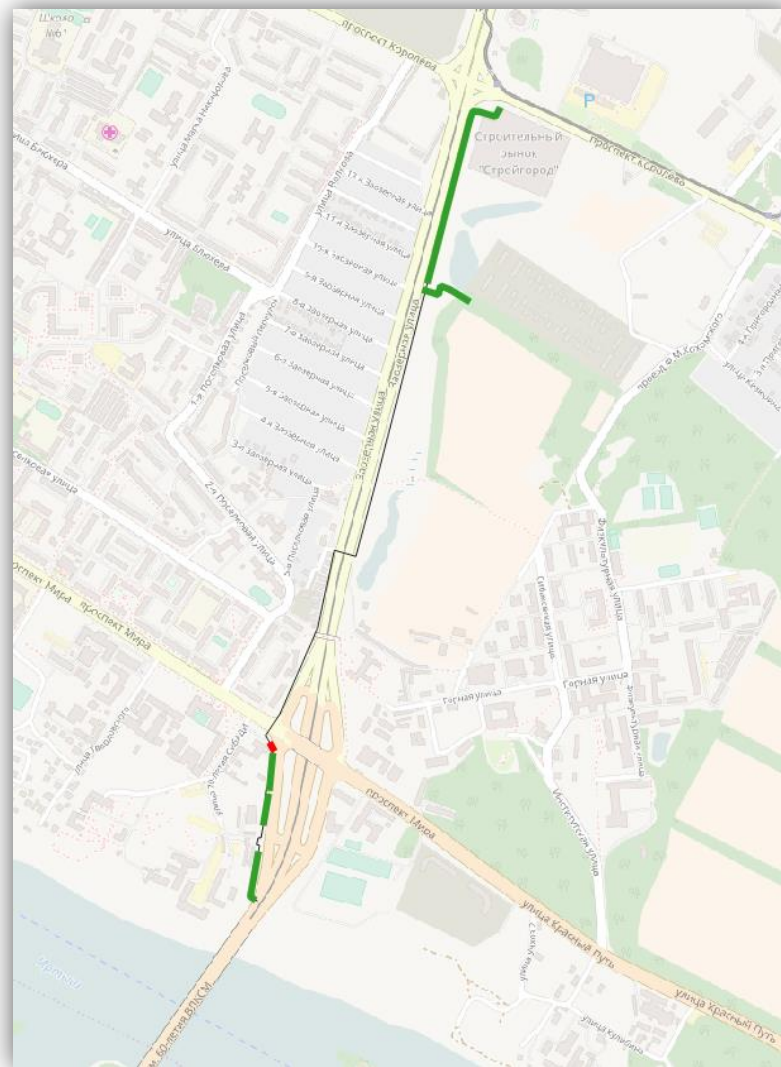
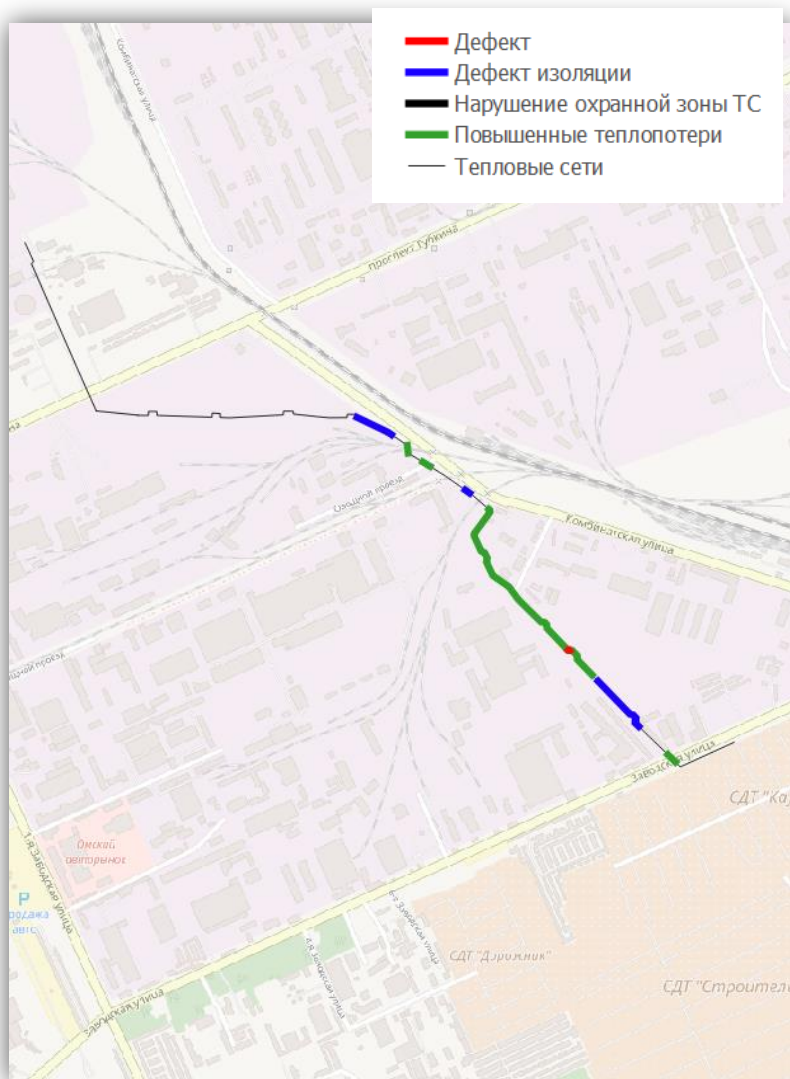
Нанесение тепловых аномалий на схему сетей

Каталог тепловых аномалий

- Зарегистрированные аномалии привязываются к адресной базе, к участкам сетей и передаются для наземного обследования.



Составление отчета на основе результатов интерпретации состояния объектов.
Пример карты-схемы обнаруженных дефектов на магистральном теплопроводе



Использование измеряемых характеристик и свойств объектов

- 1. Основной измеряемый по тепловой карте параметр – радиационная температура. Для ее определения:
 - необходимо калибровать тепловизор (КТТ, лабораторные измерения АСТ)
 - следует учитывать условия съемки (температура воздуха, коэффициент излучения материалов)
- 2. Регистрируемая тепловизором БПЛА температура (радиояркостьная температура) – малоинформативный показатель, ввиду необходимости учета множества условий съемки для его определения.
- 3. Практически возможна работа только с относительными величинами (отношениями температур исследуемых объектов и температур объектов, с известными характеристиками).

В ГК «Геоскан» разработана методика создания единого радиометрического теплового покрытия (тепловой карты) и методика выполнения измерений для обследования тепловых сетей, зданий и сооружений.

Выполнение контрольных температурных промеров (КТТ)



Измерение температуры пирометром



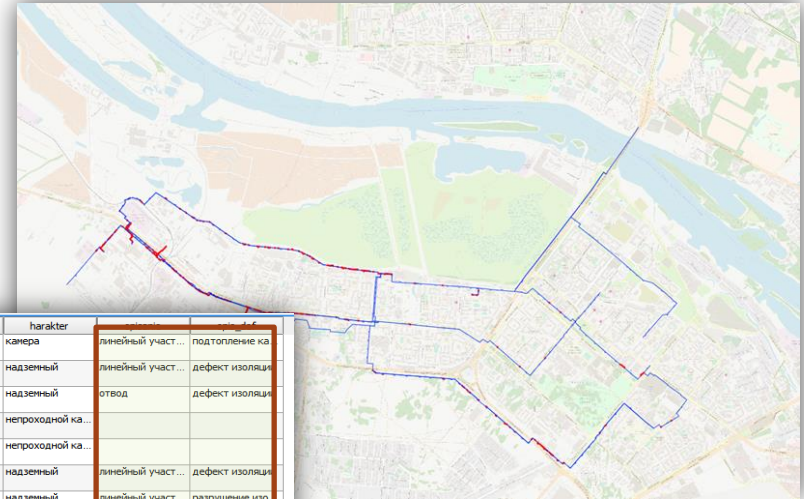
Координирование места измерения температуры при помощи геодезического приемника

Пример: Решение задач по оценке эффективности проведенных работ на тепловых сетях

- **Задача:** определение состояния тепловой изоляции тепловой сети для планирования работ по ее замене и восстановлению.

Представление результатов по участкам

id	type	L	lon	lat	характер	состояние	тип дефекта			
B		4.19	28.80	0.35	0018_04_28	73.28241676560	54.99004652080	камера	линейный участ...	подотопление ка
B	обратный	29.60	26.71	0.35	0018_04_24	73.20949290840	54.99786367310	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
B	подающий	13.01	37.58	0.35	0018_04_24	73.21426848870	54.99708329200	надземный	отвод	дефект изоляции
A		117.34	17.94	0.36	0018_04_24	73.26455062720	54.99337963330	непроходной ка...		
A		104.59	17.98	0.36	0018_04_24	73.26608933580	54.99281824770	непроходной ка...		
B	подающий	48.95	38.08	0.36	0018_04_24	73.19252157910	55.00650804400	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
B	обратный	39.80	27.08	0.36	0018_04_24	73.21332895040	54.99727791030	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	4.50	27.08	0.36	0018_04_24	73.22198053150	54.99565469480	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	подающий	16.75	38.23	0.36	0018_04_24	73.22951679720	54.99553420760	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
A		139.64	18.10	0.37	0018_04_24	73.25571930630	54.99406961940	непроходной ка...		
B	подающий	2.73	38.59	0.37	0018_04_24	73.20995639160	54.99800522610	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
A	обратный	16.75	27.45	0.37	0018_04_24	73.22951841190	54.99554447200	надземный		
B	подающий	1.34	39.10	0.38	0018_04_24	73.19207441940	55.00613260020	надземный	переход	дефект изоляции
B	подающий	4.28	38.80	0.38	0018_04_24	73.19762964170	55.00338981920	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	0.70	27.53	0.38	0018_04_24	73.20173871890	55.00117959740	надземный	ввод камеры	дефект изоляции
B	обратный	39.37	27.97	0.39	0018_04_24	73.20812749750	54.99822680580	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	4.08	27.83	0.39	0018_04_24	73.22090282540	54.99585113050	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
A		82.67	18.38	0.40	0018_04_24	73.25391232480	54.99417504820	непроходной ка...		
A	обратный	5.11	28.12	0.40	0018_04_24	73.22331326210	54.99566725090	надземный		
B	обратный	2.73	28.60	0.41	0018_04_24	73.20994218880	54.99801153790	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
B	подающий	19.71	40.71	0.41	0018_04_24	73.22288461310	54.99566369280	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
B	подающий	3.52	40.47	0.41	0018_04_24	73.23969666760	54.99481492280	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	3.93	28.73	0.42	0018_04_24	73.21240312090	54.99745261620	надземный	опора	разрушение изо.
B	подающий	67.44	41.15	0.42	0018_04_24	73.23864723390	54.99487799130	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	67.47	28.74	0.42	0018_04_24	73.23864885670	54.99488825570	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	1.97	29.15	0.43	0018_04_24	73.20065069180	55.00176672260	надземный	линейный участ...	дефект изоляции
B	обратный	4.98	29.00	0.43	0018_04_24	73.22974331130	54.99553210230	надземный	линейный участ...	разрушение изо.
B	обратный	7.58	29.14	0.43	0018_04_24	73.24199262110	54.99469099750	надземный	опора	дефект изоляции
B	подающий	58.56	42.14	0.44	0018_04_24	73.21814998010	54.99636653470	надземный	линейный участ...	дефект изоляции



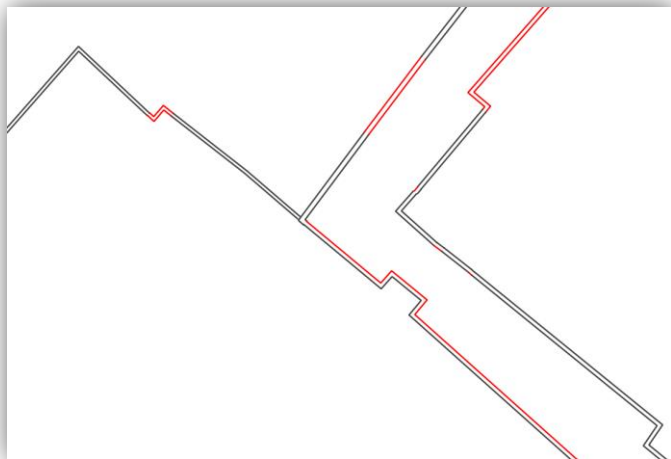
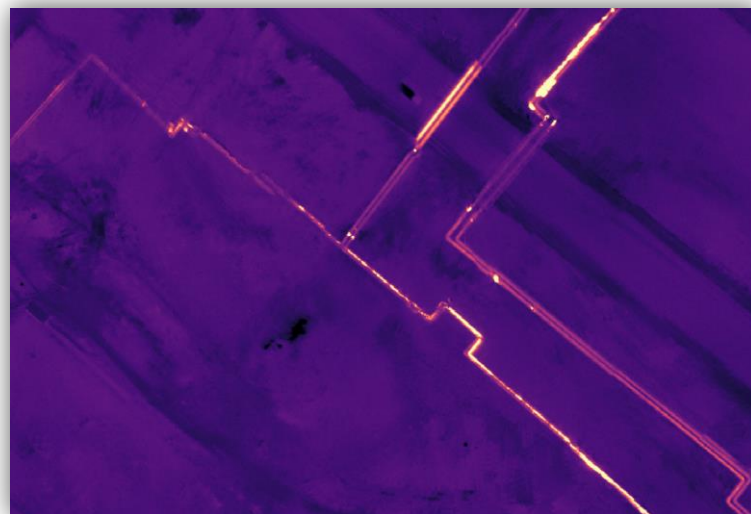
Картограмма оценки состояния

Методика определения относительных тепловпотерь: Модель сети

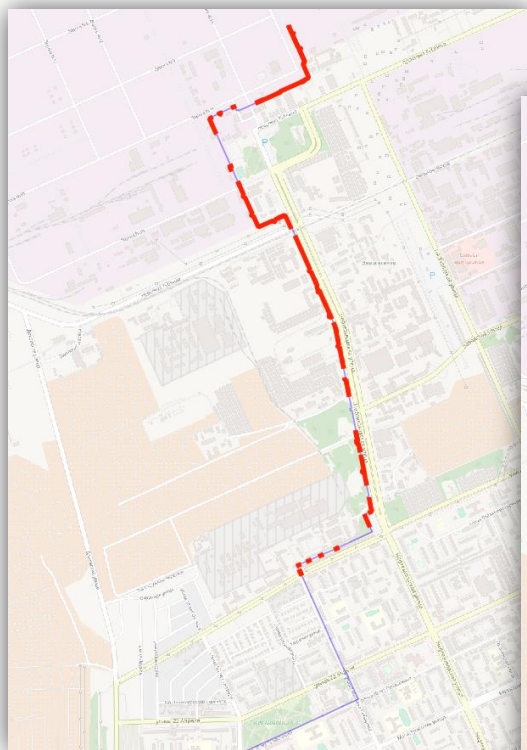
Модель сети - векторный слой сетей в двухтрубном или однострубном исполнении с классификацией по направлению тока сетевой воды (подающий и обратный трубопровод) и способу прокладки с выделением конструктивных элементов: компенсаторов, неподвижных опор, переходов, отводов распределительных сетей, секционирующей и регулирующей арматуры, тепловых камер и павильонов.

Точность цифровой модели сетей соответствует точности теплокарты и повторяет контуры сетей на тепловых снимках, для использования в дальнейших расчетах тепловых потерь.

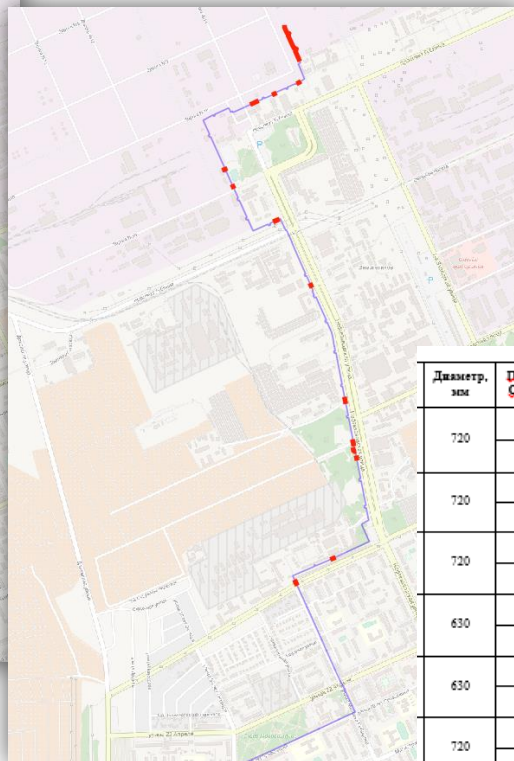
Основа создания – высокоточная тепловая карта



Пример: Оценка эффективности проведенных работ по восстановлению изоляции на тепловых сетях



2017



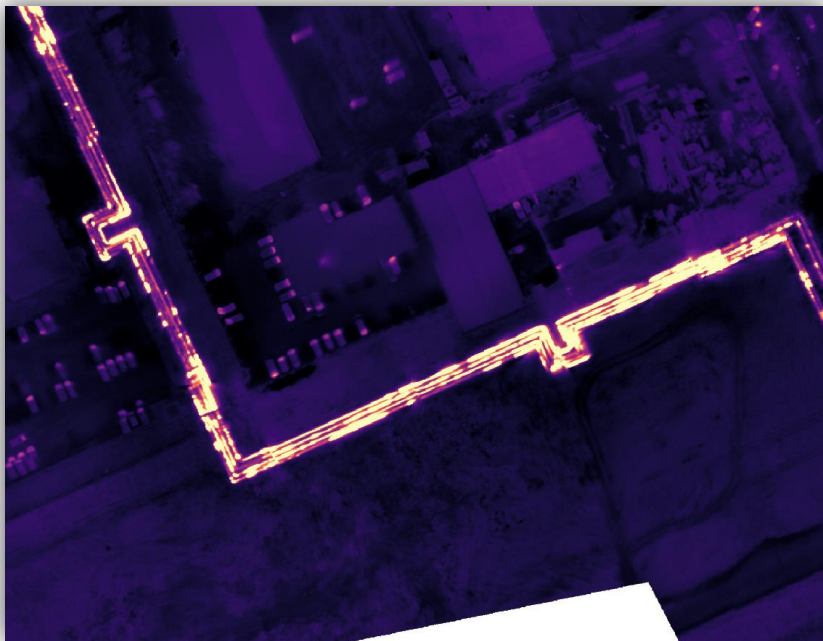
2018

Сводная таблица

Диаметр, мм	Под/Обр.	Длина, м	Потери нормативн. Гкал/год	Потери относит. (2017)	Потери относит. (2018)	Потери 2017, Гкал/год	Потери 2018, Гкал/год	Снижение потерь, Гкал/год
720	П	334	315.36	0.25	0.02	1101.57	378.2568	723.3132
	О	334	262.8	0.35	0.00	741.096	262.8	478.296
720	П	426	411.72	0.28	0.01	1530.1968	451.6656	1078.5312
	О	426	352.88	0.27	0.00	895.7976	332.88	562.9176
720	П	119	113.88	0.23	0.02	369.7596	136.1304	233.6292
	О	119	78.84	0.64	0.05	398.4048	103.806	294.5988
630	П	180	157.68	0.32	0.02	634.224	187.464	446.76
	О	180	113.88	0.29	0.02	306.9504	127.1952	179.7552
630	П	64	52.56	0.29	0.02	207.5244	63.2472	144.2772
	О	64	35.04	0.28	0.02	103.7184	39.9456	63.7728
720	П	360	350.4	0.16	0.03	891.4176	451.8408	439.5768
	О	0	245.28	0.27	0.05	730.146	335.07	395.076
630	П	570	499.32	0.35	0.04	2139.63	686.784	1452.846
	О	280	175.2	0.31	0.06	881.256	311.856	569.4
630	П	245	210.24	0.29	0.02	797.0724	250.7112	546.3612
	О	245	148.92	0.38	0.04	491.7864	185.0112	306.7752
720	П	245	256.52	0.39	0.02	1135.0352	282.5976	852.4356
	О	245	166.44	0.54	0.05	719.8968	217.686	502.2108

Пример тепловой съемки за два года

Тепловой снимок



2017 г

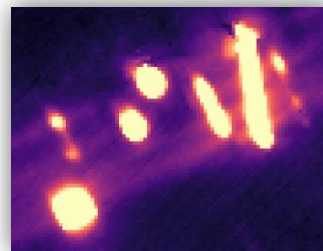


2018 г

Светлые отметки на снимках трубопроводов 2018 г. - тепловые потери в местах отводов, опор.
В правой части снимка запорная арматура и перемычки.



2017 г

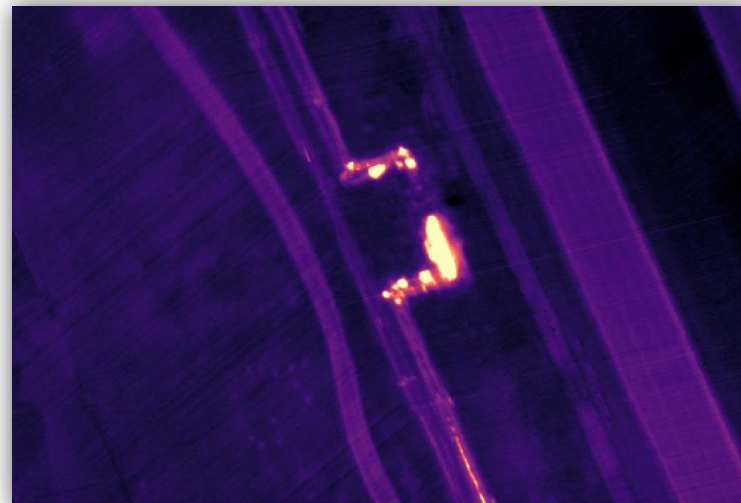


2018 г

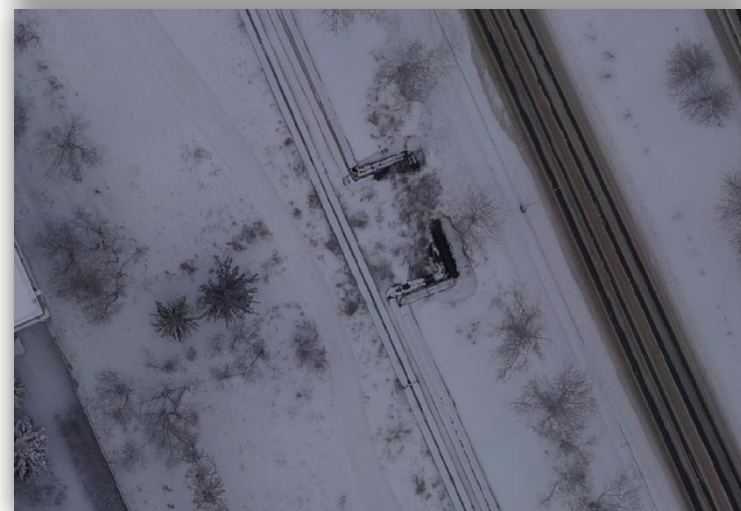
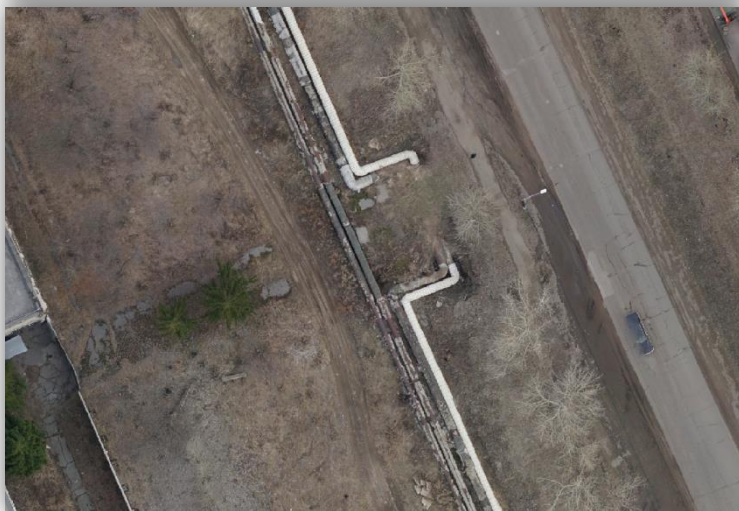


Пример не устранённого дефекта

Тепловой снимок



Видимый диапазон



2017 г

2018 г

Трубопровод с дефектом находится частично в земле, из-за подтайки снега на тепловом снимке 2018 года размытая отметка

Выполнение измерений для оценки величины тепловых потерь с кровли зданий

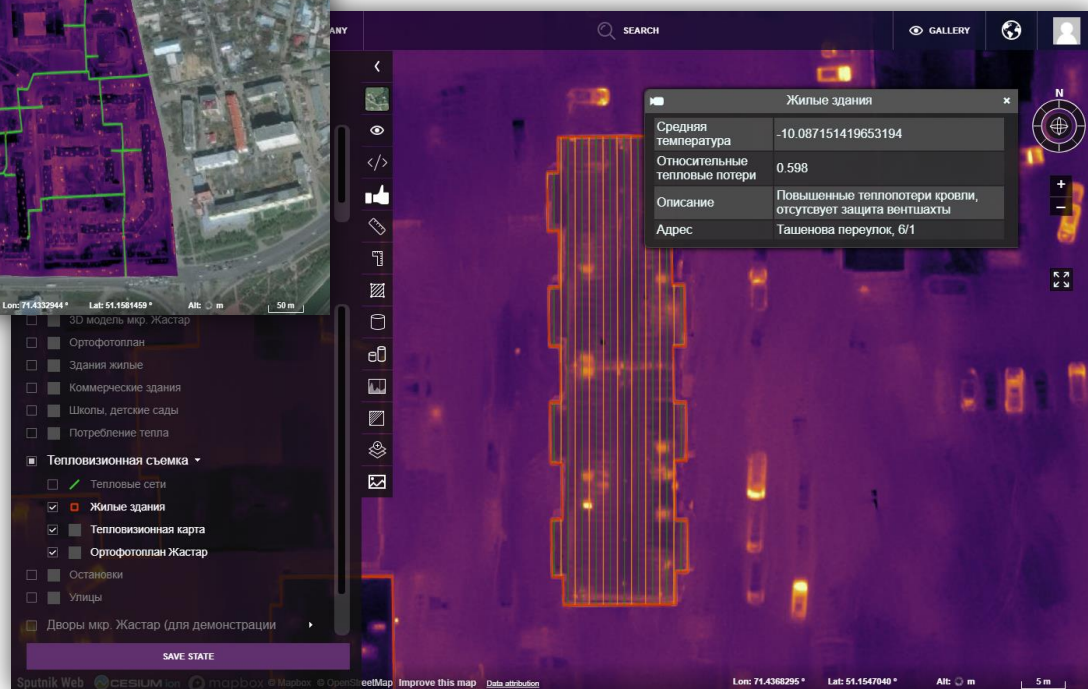
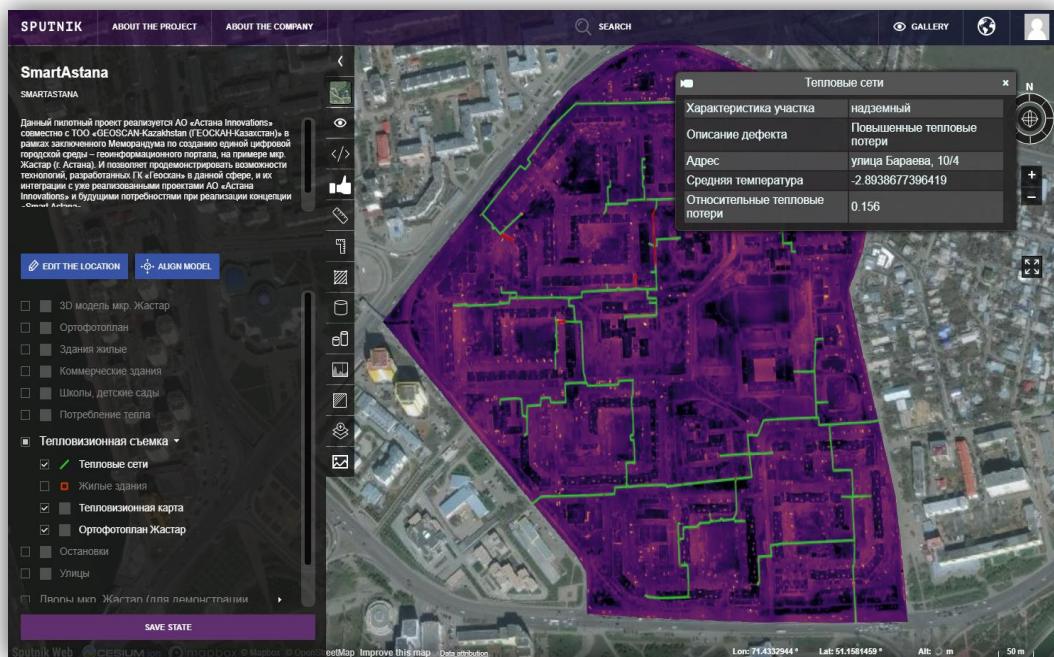


- Схема обследованных зданий на тепловой карте

	temperatur	Q	address
1	-14,1749136828...	0,146	9/4, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
2	-16,9064346898...	0,077	9/3, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
3	-14,7946012185...	0,130	9/2, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
4	-15,6164168834...	0,110	9/2, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
5	-17,6855334132...	0,058	9, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
6	-16,1889505639...	0,095	9, Taha Husein street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
7	-17,4523073533...	0,064	9/4, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
8	-18,3482337752...	0,041	9/4, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
9	-16,0295715824...	0,099	9/4, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
10	-18,6156830123...	0,035	9/3, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
11	-15,8975646608...	0,103	9/2, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
12	-15,5084077799...	0,112	9/1, улица Бараева, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
13	-16,8325600529...	0,079	9/1, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
14	-16,5205335248...	0,087	9, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
15	-15,5546875380...	0,111	7/2, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
16	-13,8578367266...	0,154	7/1, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
17	-16,4167652544...	0,090	7, Zhumabek Tashenov street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
18	-17,4790347071...	0,063	7, Taha Husein street, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
19	-15,9717530295...	0,101	9/1, улица Бараева, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan
20	-10,0871514196...	0,598	9/1, переулок Жумабека Ташенова, микрорайон Алатау, Заречный, Astana, район Байконур, Astana, 010000, Kazakhstan

- Связанная с графическим изображением таблица измерения относит.теплопотерь с описанием здания

Отображение результатов измерений характеристик объектов в Спутник-WEB



Итог

- Создан аэросъемочный комплекс на основе БПЛА для выполнения работ по тепловизионному обследованию
- Создана технология фотограмметрической обработки материалов для создания высокоточного теплового изображения
- Разработана методика радиометрической калибровки
- Разработана методика выполнения летных работ при тепловой съемке
- Разработана технология определения свойств объектов по величине относительных температурных контрастов с максимальным учетом условий съемки и характеристик обследуемых объектов
- Выполнены производственные работы по проверке эффективности разработанных методик

Демонстрация результатов съемки с WEB сервиса Геоскан



Ново-Девяткино



Бугры