

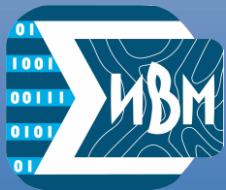


**Всероссийская конференция с международным участием
«Обработка пространственных данных в задачах
мониторинга природных и антропогенных процессов»
(SDM-2023)**

г. Бердск, Новосибирская область, Россия

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ Г. КРАСНОЯРСКА

Якубайлик О.Э., Токарев А.В., Кадочников А.А., Якубайлик Т.В., Заворуев В.В.



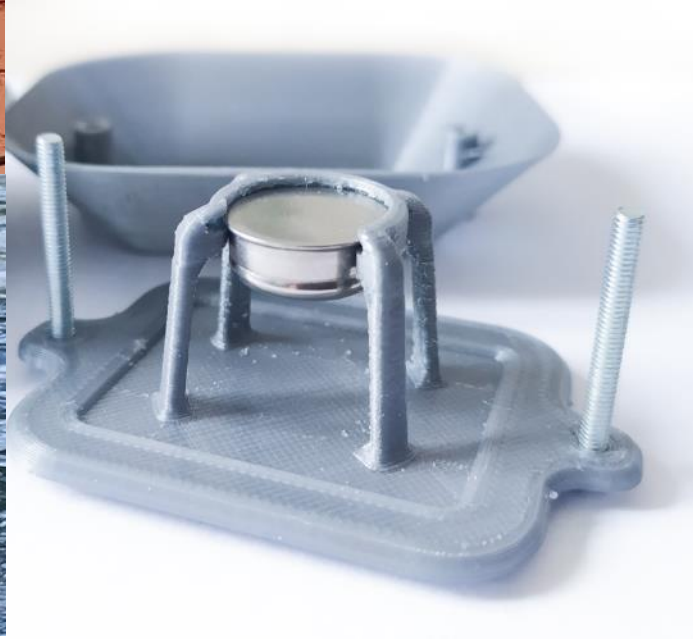
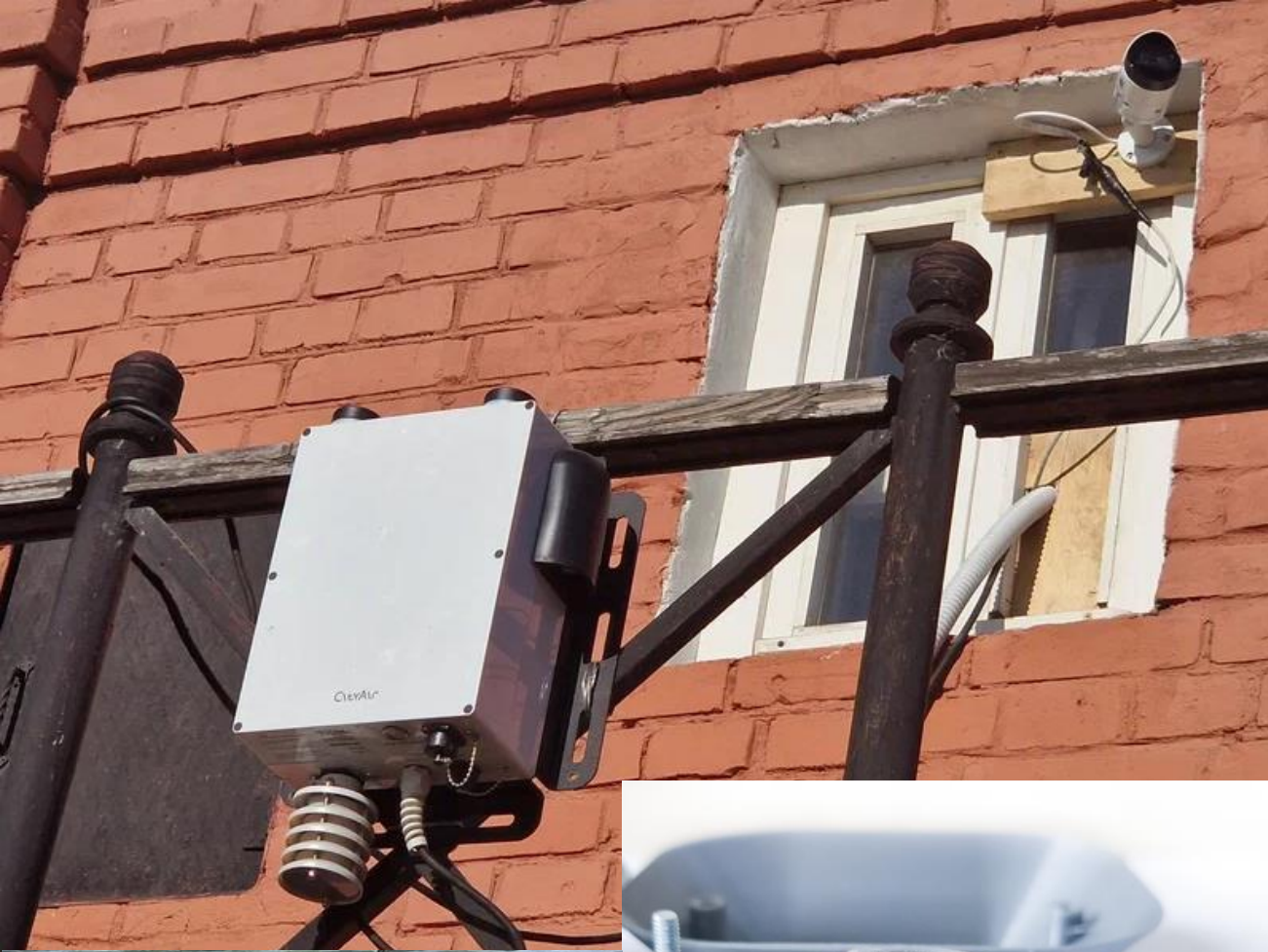
Институт вычислительного моделирования СО РАН
– обособленное подразделение Федерального исследовательского центра
«Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН»



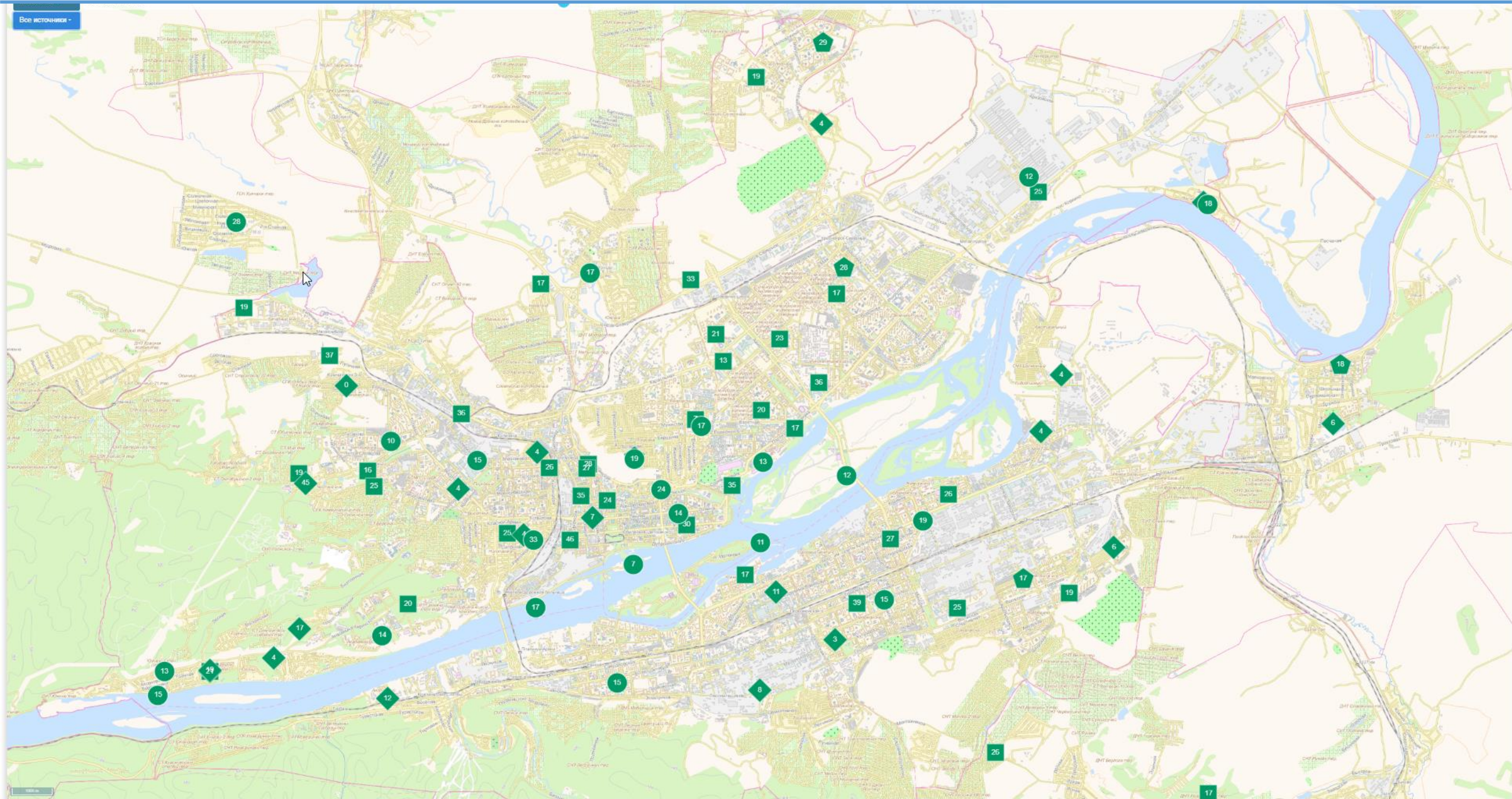
Красноярск

~40 км

Красноярская ГЭС



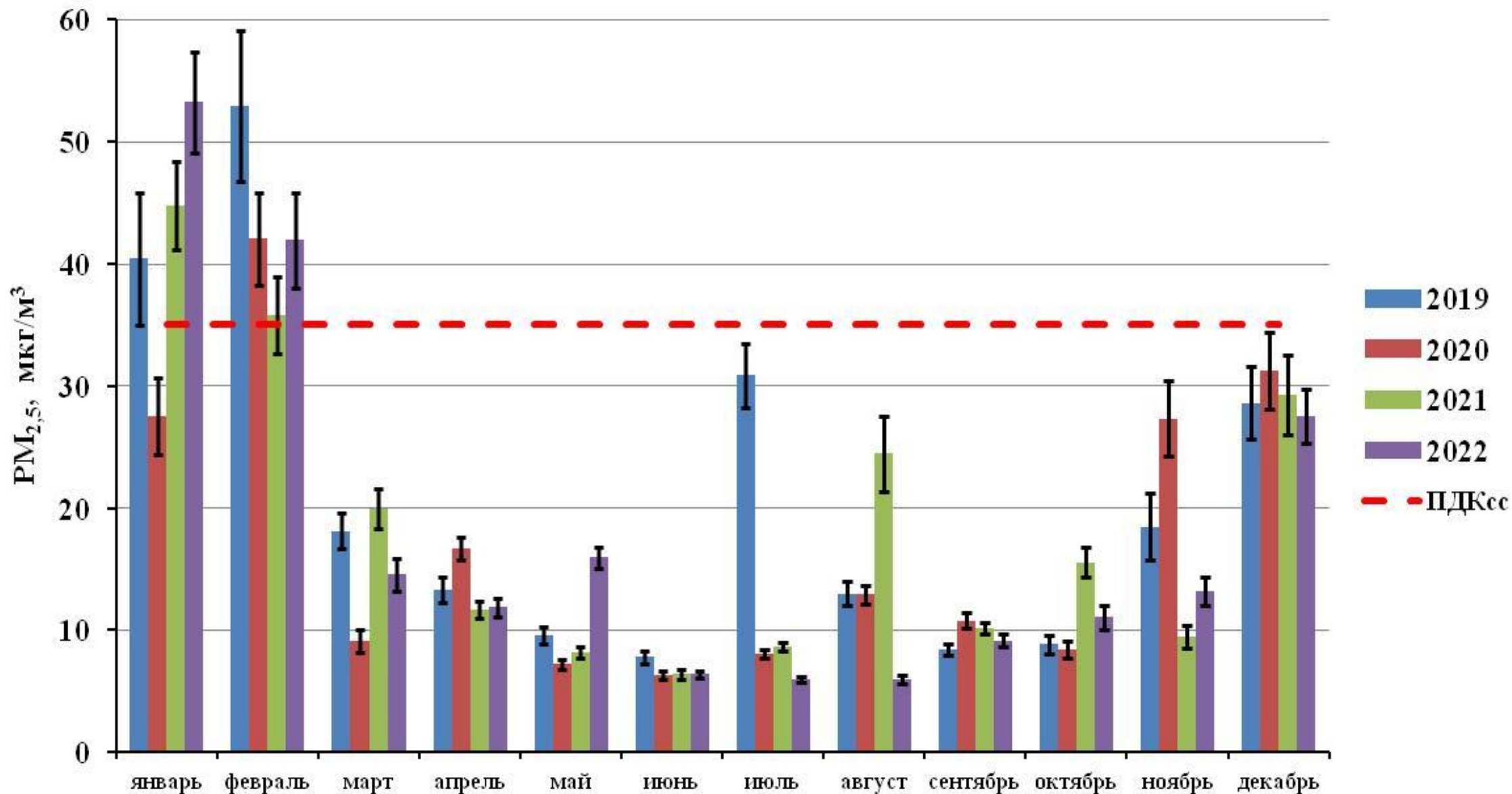
Объединенная система мониторинга воздуха г. Красноярска



Сертифицированное оборудование станций мониторинга, их непрерывная калибровка по эталонным приборам. Анемометры и их проблемы в штилевых условиях зимой...

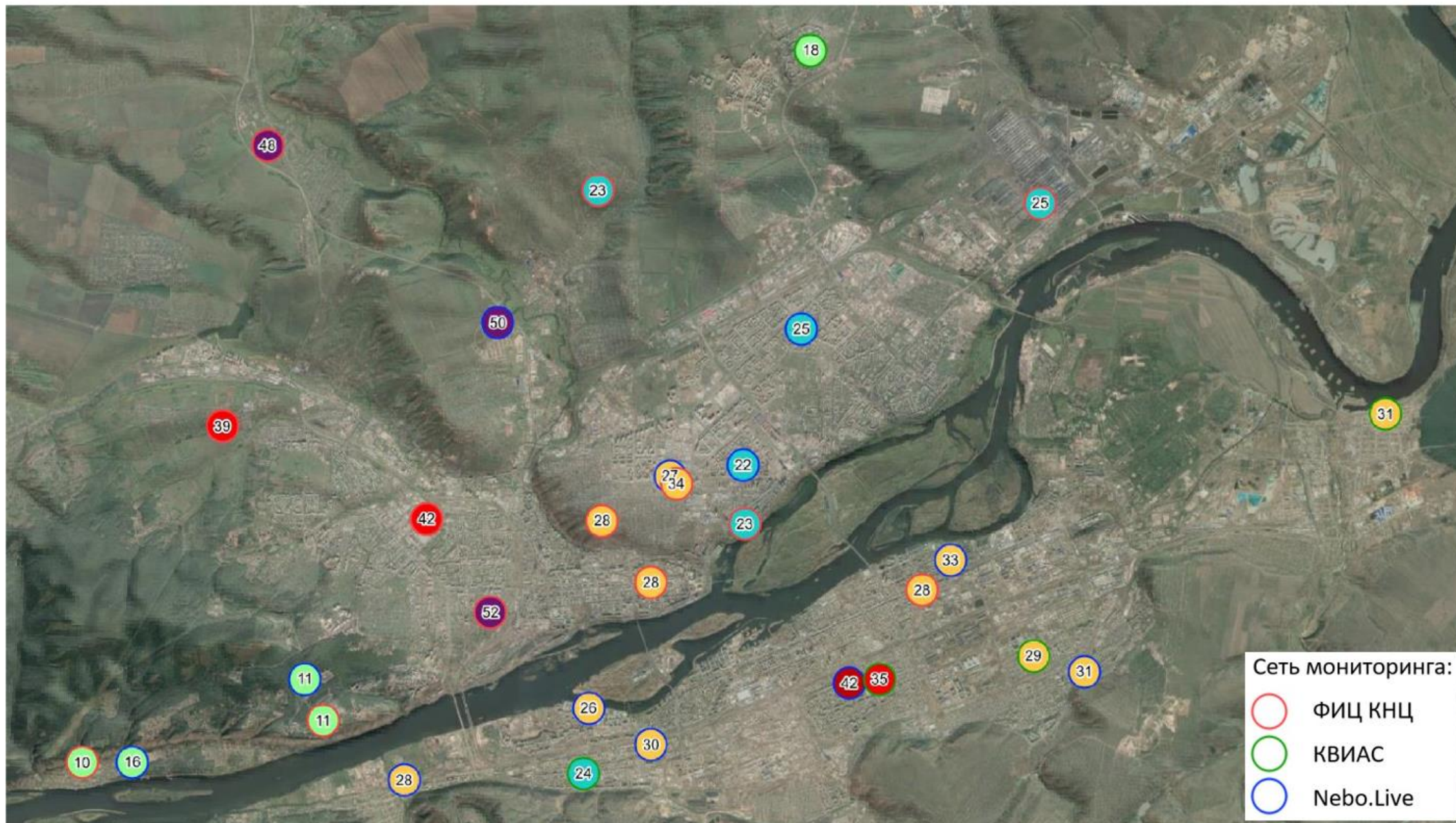


Среднемесячная концентрация PM_{2.5} в атмосфере г. Красноярск в 2019-2022 гг.

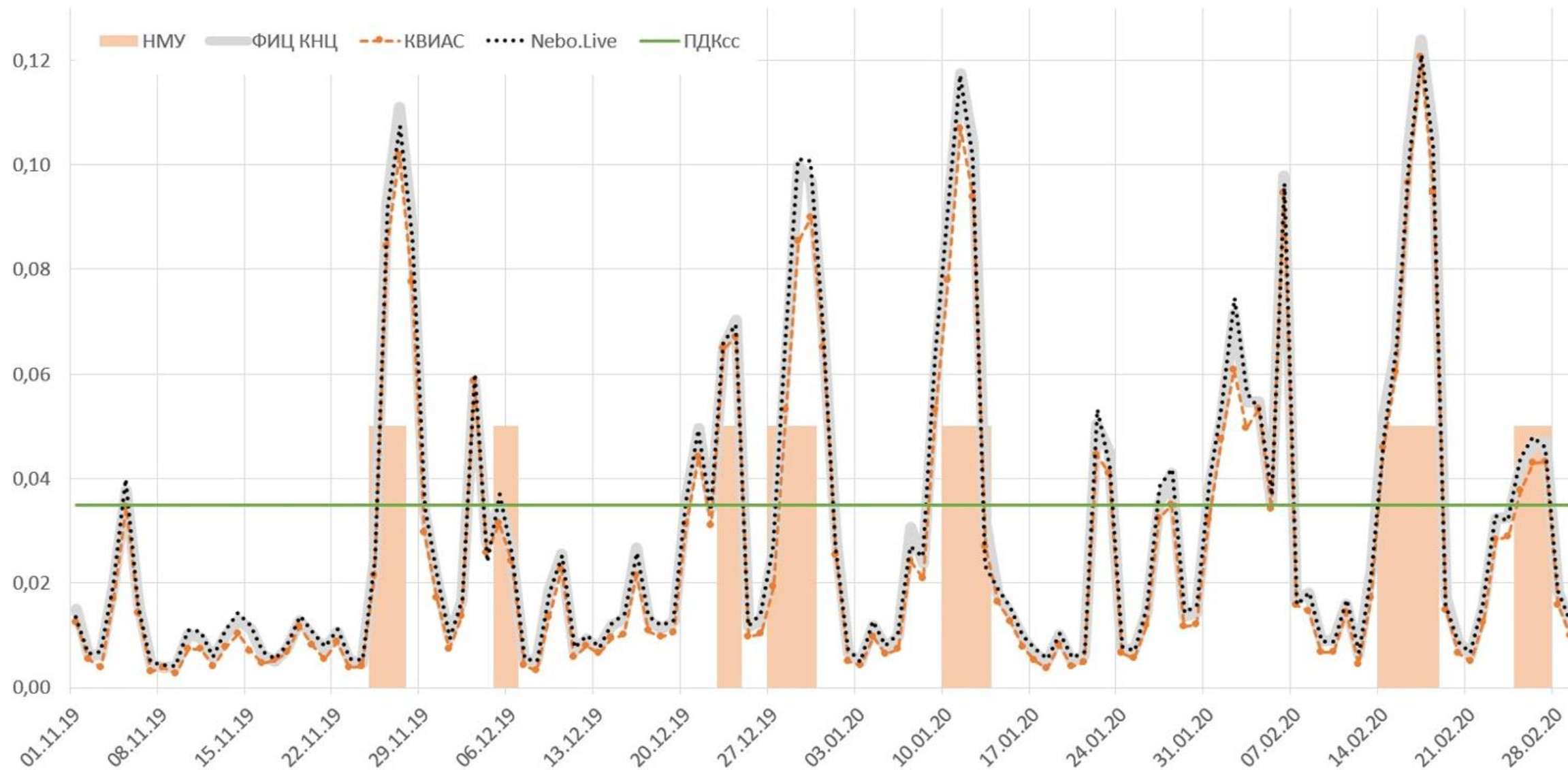


Летом в июле 2019 года и в августе 2021 года самые высокие среднемесячные концентрации PM_{2.5} $30,9 \pm 2,6$ мкг/м³ и $24,4 \pm 3,0$ мкг/м³ были обусловлены дымом масштабных лесных пожаров, которые возникли на территории Сибири.

Предварительные результаты показали значительное влияние пригородной зоны с печным отоплением на загрязнение воздуха по городу в целом (в зимний период)

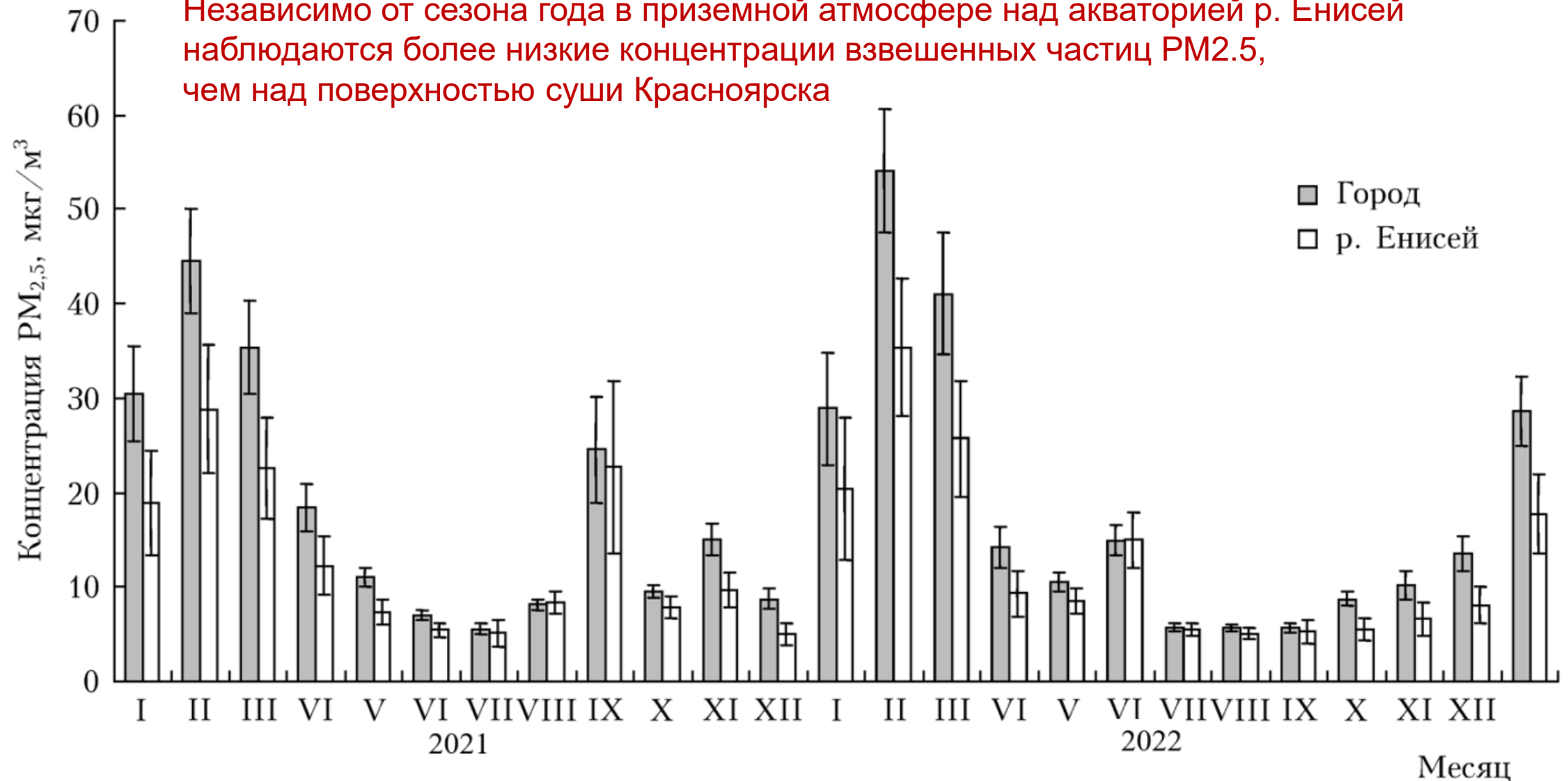


Созданная система мониторинга показывает, что режим неблагоприятных метеоусловий (НМУ) в Красноярске прогнозируется Среднесибирским УГМС «неидеально»...



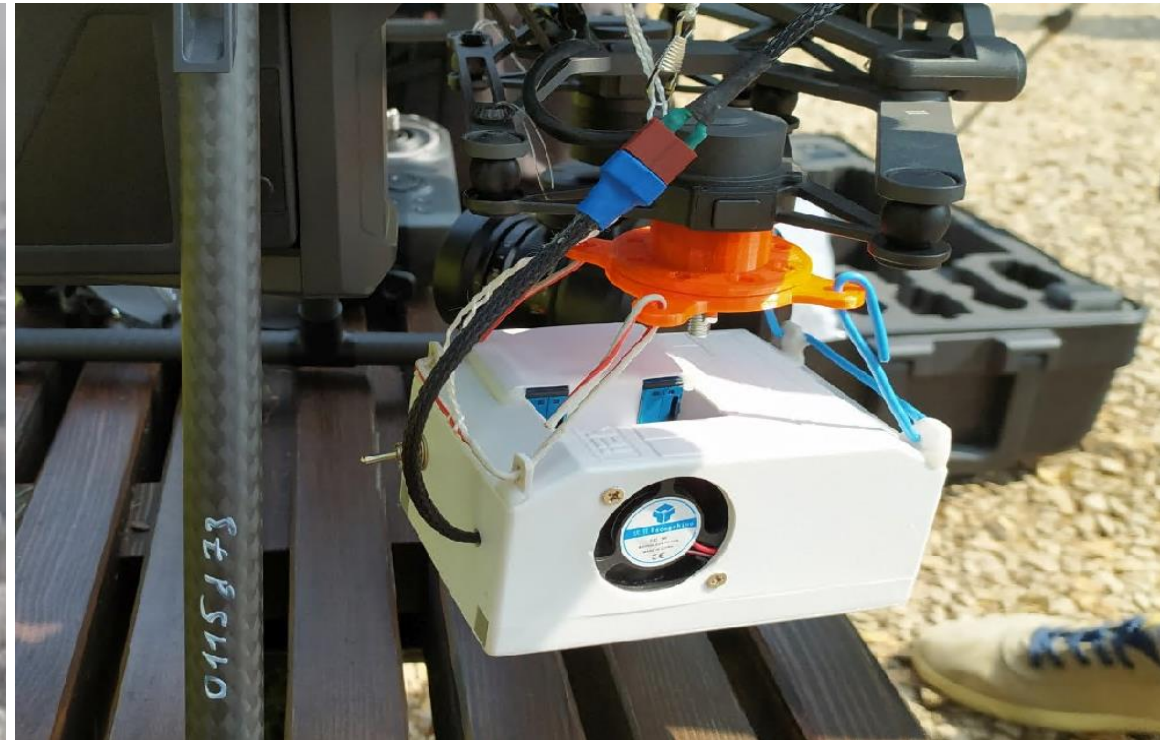
Сравнение концентраций $PM_{2.5}$ над городской застройкой (сушей) и акваторией р. Енисей

Независимо от сезона года в приземной атмосфере над акваторией р. Енисей наблюдаются более низкие концентрации взвешенных частиц $PM_{2.5}$, чем над поверхностью суши Красноярска



Среднемесячные концентрации $PM_{2.5}$ над акваторией р. Енисей и городской застройкой в период 1.01.2021 – 31.12.2022 г.

Квадрокоптер DJI Matrice 210 V2, разработанное навесное и наземное оборудование



Программное обеспечение для хранения и визуализации данных с квадрокоптера

Пролёт от о. Молокова до правого берега реки Енисей

Информация Графики Данные Медиа

Основной показатель

Temperature

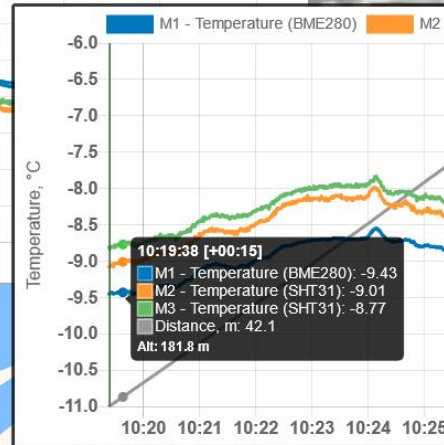
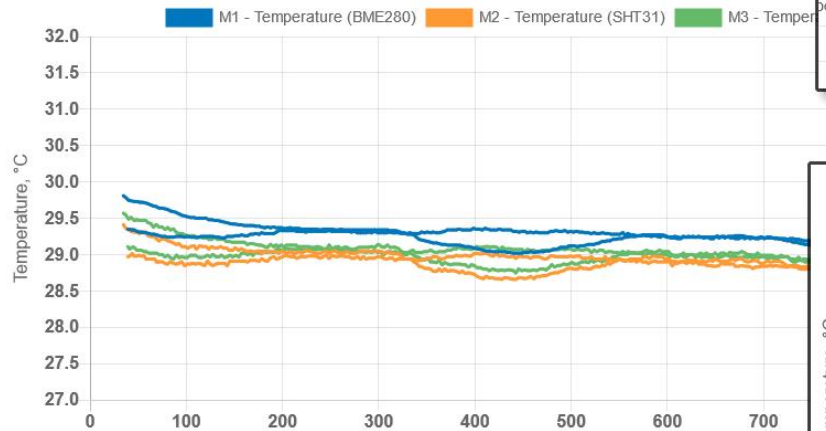
Тип диаграммы

Расстояние [x]

Отобразить весь полет ?

Тип диаграммы

- Расстояние [x]
- Время [x]
- Время [x] + Расстояние [y]
- Время [x] + Высота [y]
- Расстояние [x]
- Высота [x]

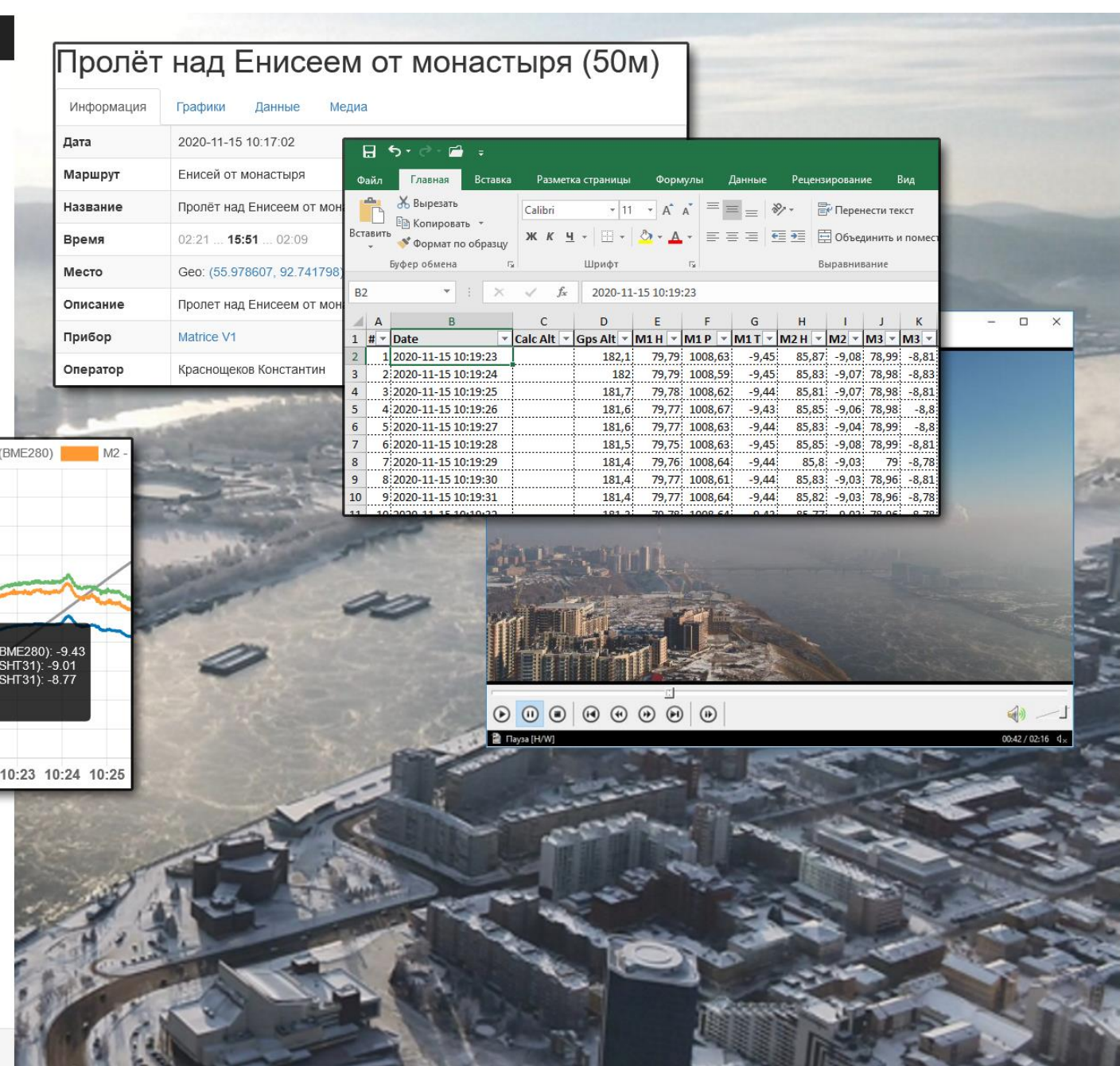


Пролёт над Енисеем от монастыря (50м)

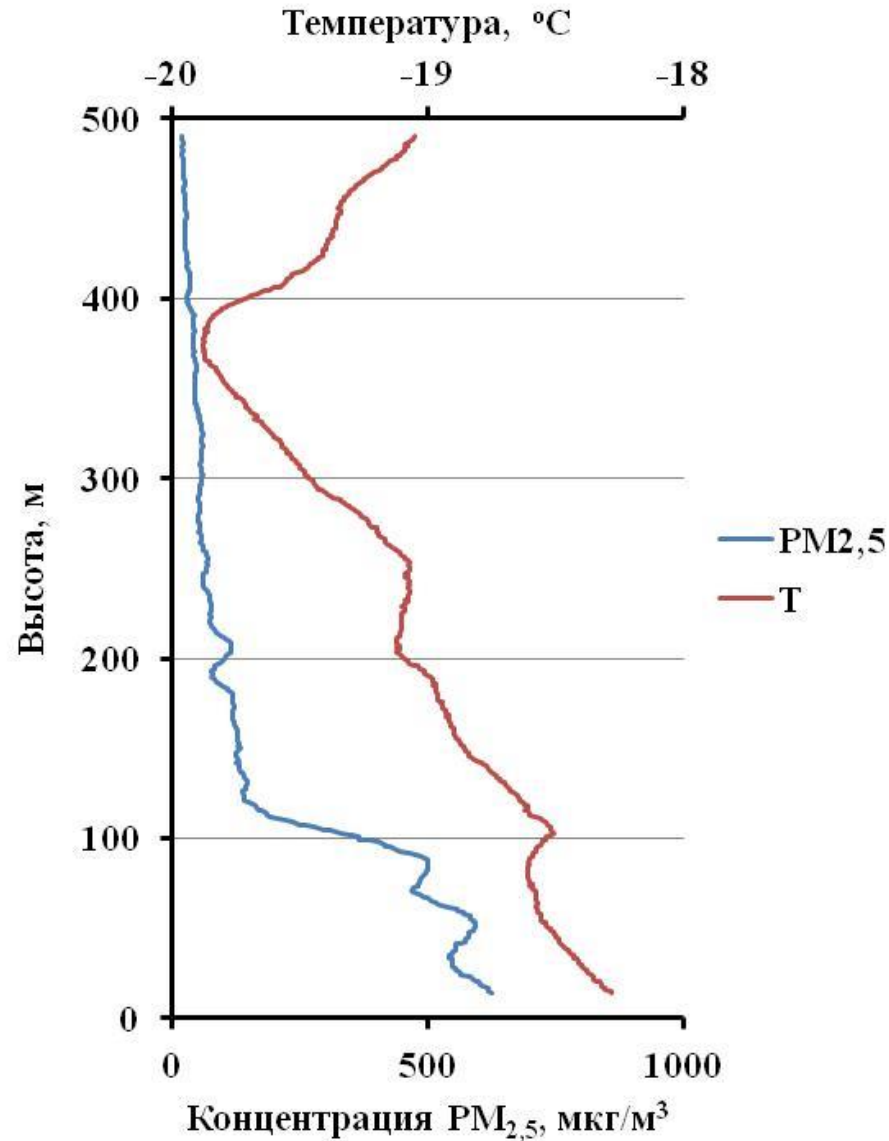
Информация Графики Данные Медиа

Дата	2020-11-15 10:17:02
Маршрут	Енисей от монастыря
Название	Пролёт над Енисеем от монастыря
Время	02:21 ... 15:51 ... 02:09
Место	Гео: (55.978607, 92.741798)
Описание	Пролёт над Енисеем от монастыря
Прибор	Matrice V1
Оператор	Краснощевков Константин

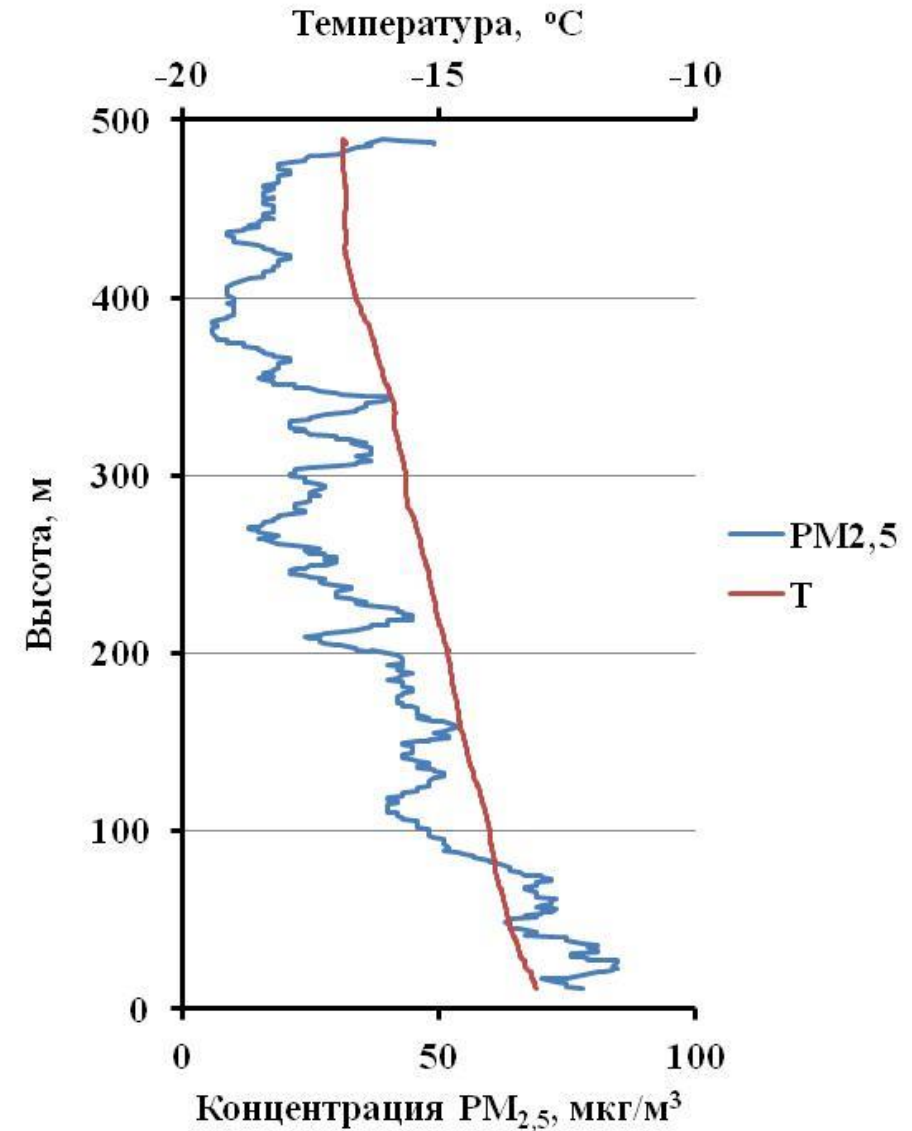
#	Date	Calc Alt	Gps Alt	M1 H	M1 P	M1 T	M2 H	M2 P	M3	M3 P
1	2020-11-15 10:19:23		182,1	79,79	1008,63	-9,45	85,87	-9,08	78,99	-8,81
2	2020-11-15 10:19:24		182	79,79	1008,59	-9,45	85,83	-9,07	78,98	-8,83
3	2020-11-15 10:19:25		181,7	79,78	1008,62	-9,44	85,81	-9,07	78,98	-8,81
4	2020-11-15 10:19:26		181,6	79,77	1008,67	-9,43	85,85	-9,06	78,98	-8,8
5	2020-11-15 10:19:27		181,6	79,77	1008,63	-9,44	85,83	-9,04	78,99	-8,8
6	2020-11-15 10:19:28		181,5	79,75	1008,63	-9,45	85,85	-9,08	78,99	-8,81
7	2020-11-15 10:19:29		181,4	79,76	1008,64	-9,44	85,8	-9,03	79	-8,78
8	2020-11-15 10:19:30		181,4	79,77	1008,61	-9,44	85,83	-9,03	78,96	-8,81
9	2020-11-15 10:19:31		181,4	79,77	1008,64	-9,44	85,82	-9,03	78,96	-8,78
10	2020-11-15 10:19:32		181,3	79,78	1008,64	-9,43	85,77	-9,03	78,96	-8,78



Вертикальное распределение аэрозольных частиц PM2.5 и температуры воздуха

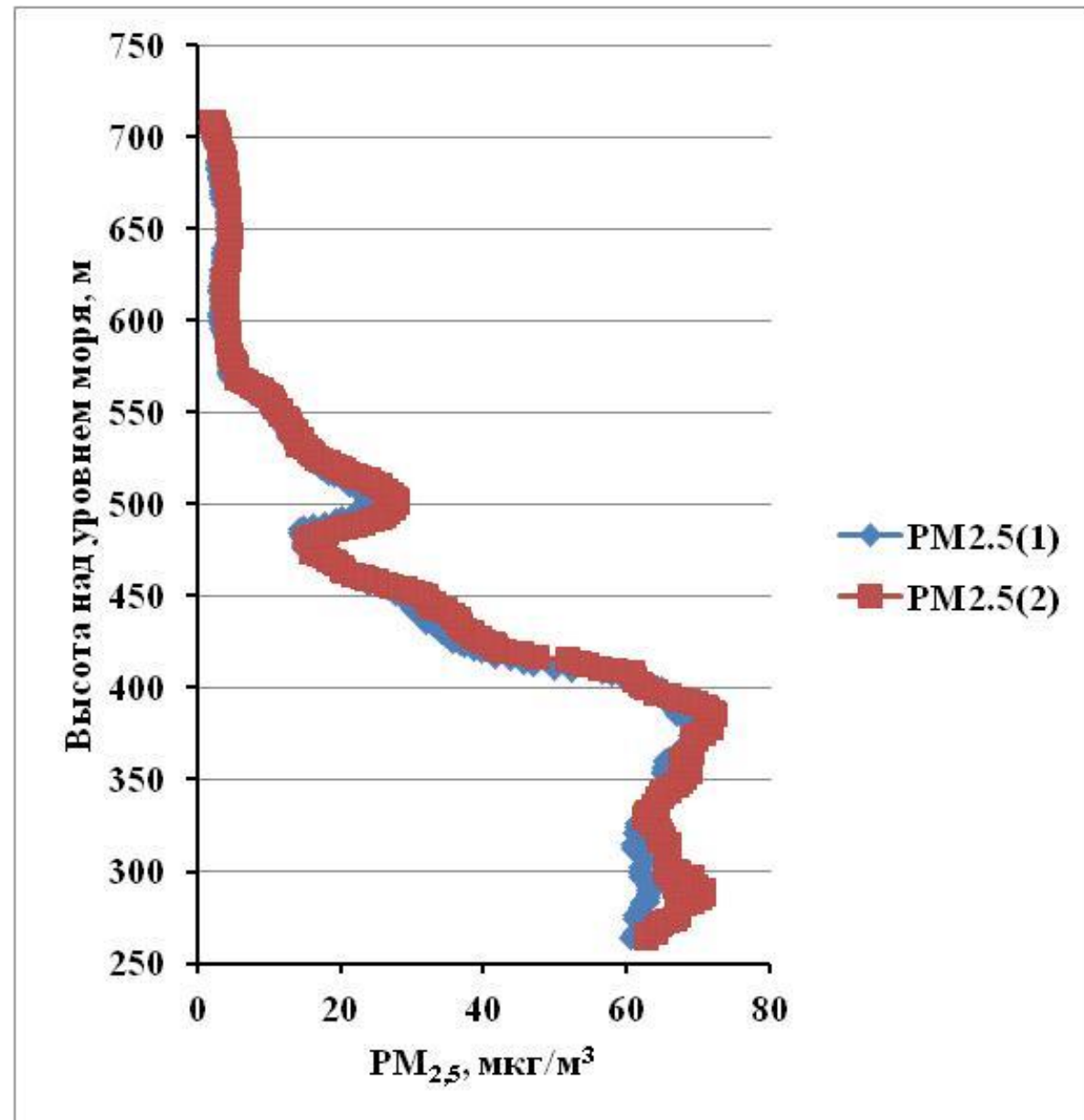
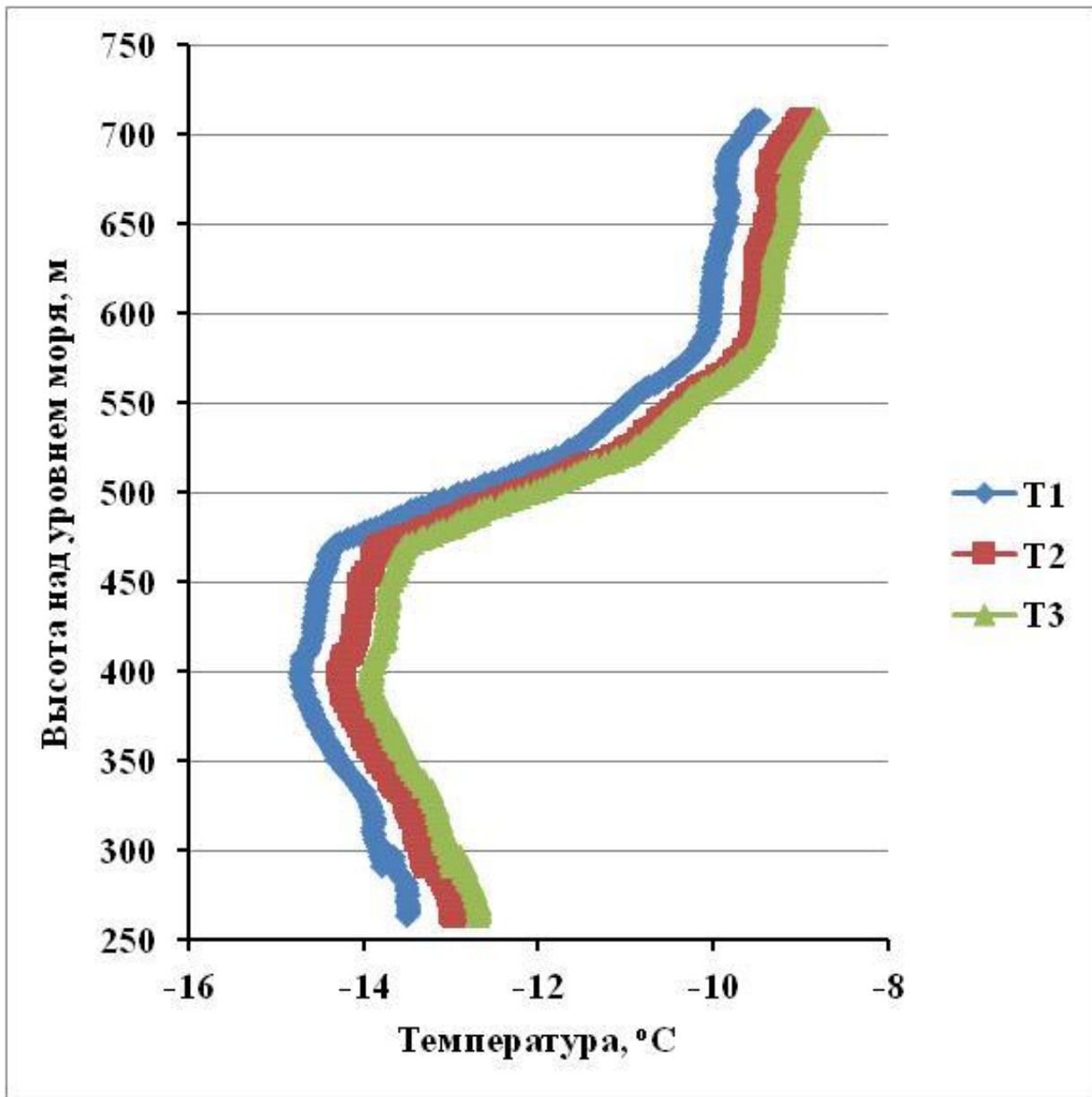


При наличии атмосферной инверсии.
Начало измерения: 2022-12-15 в 14:07

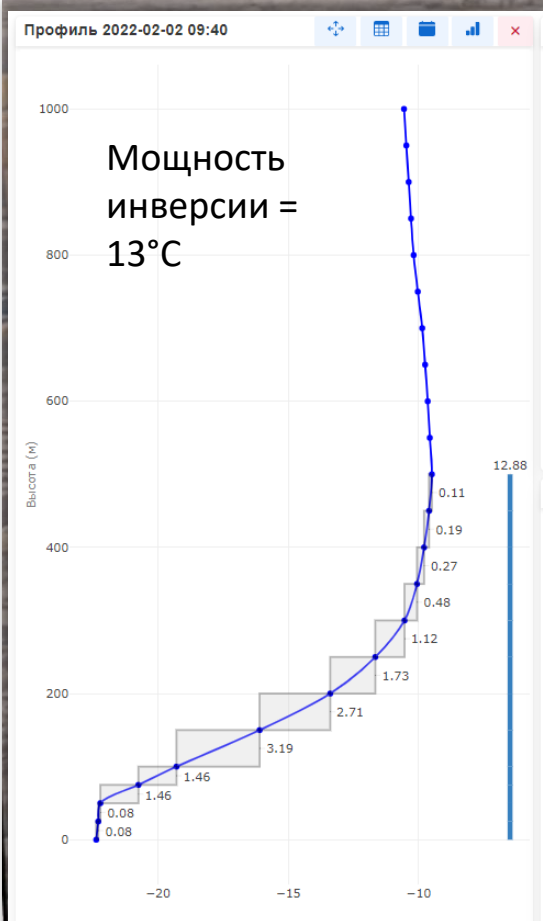


При отсутствии атмосферной инверсии.
Начало измерения: 2022-12-16 в 10:49

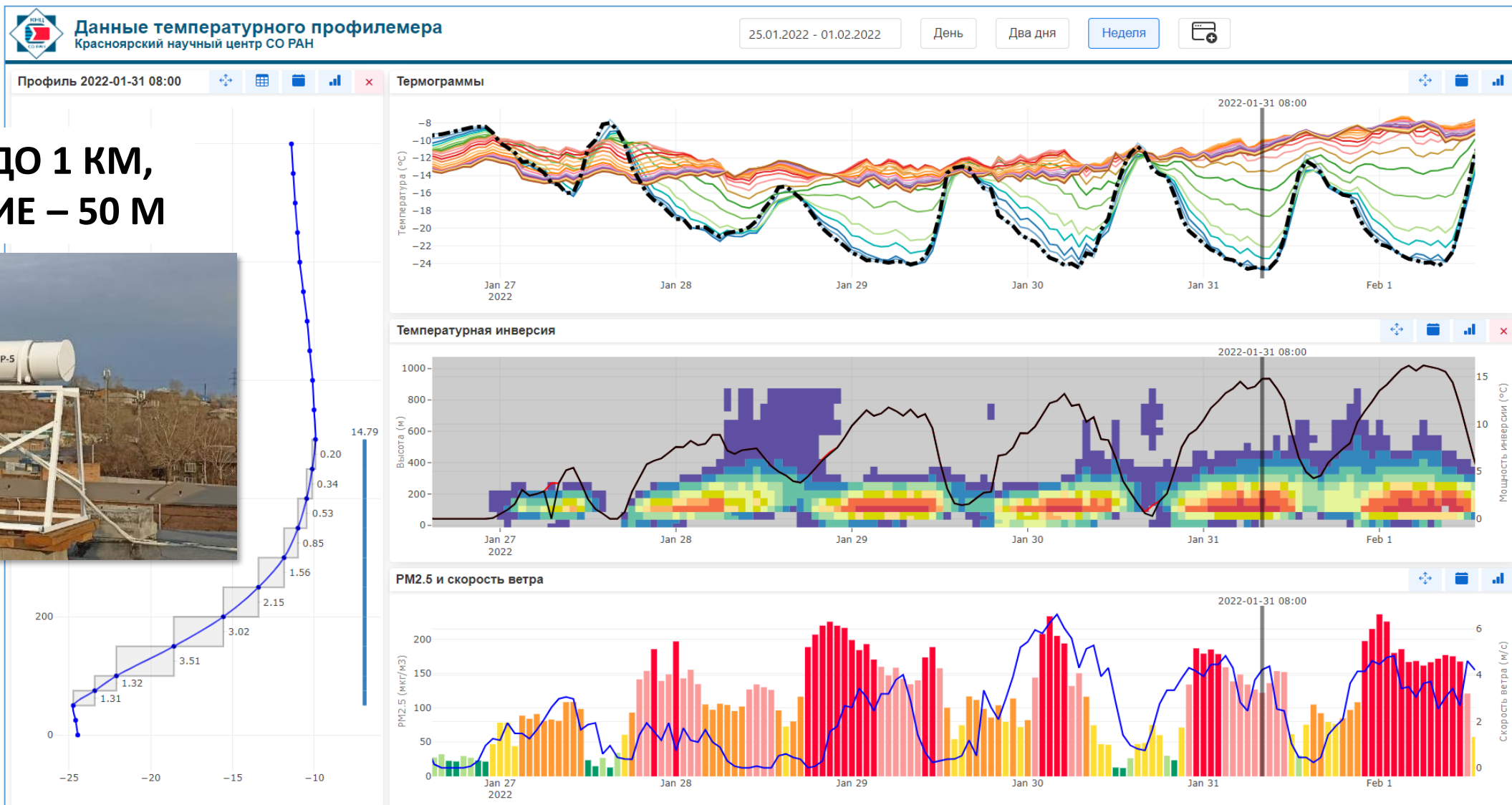
Распределение температуры, PM2.5 в условиях инверсии в режиме НМУ 27.11.2020



2 февраля 2022 г.



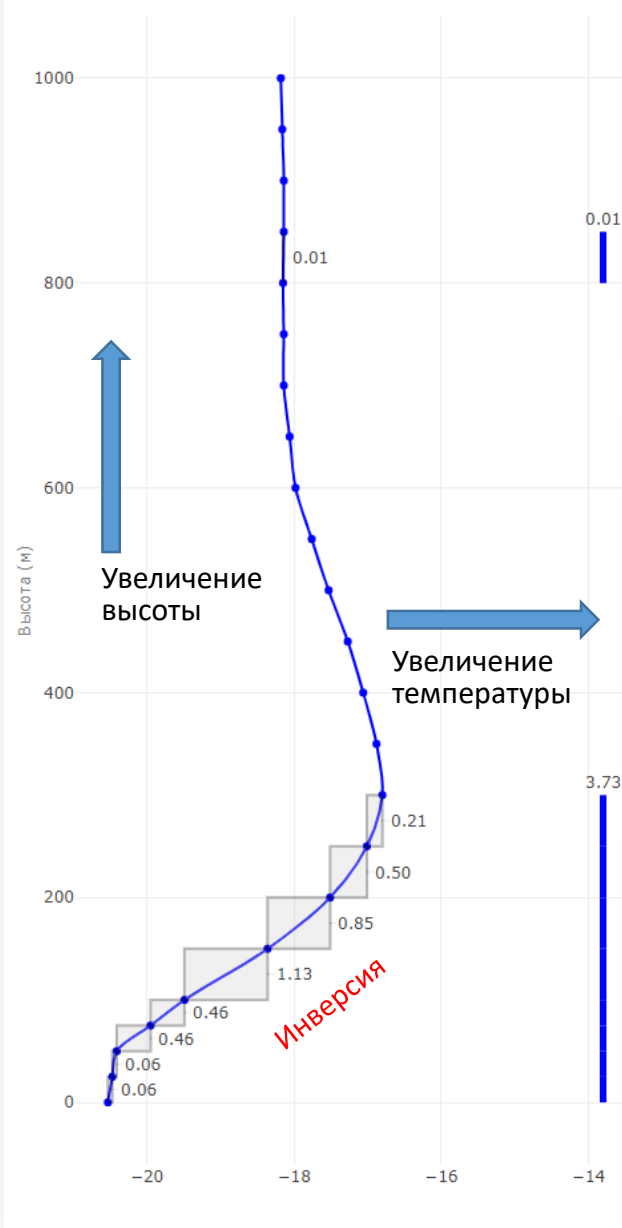
С октября 2021 г. в ФИЦ КНЦ СО РАН с помощью температурного профилемера МТР-5 ведется мониторинг вертикального распределения температуры атмосферы



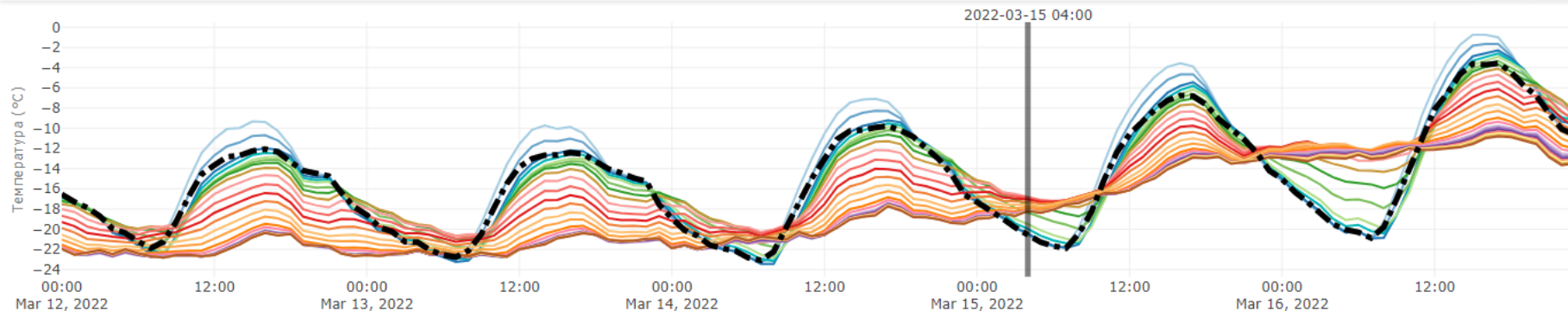
Показаны температурные инверсии в конце января 2022 г., достигающие в утренние часы 15°C. При этом в середине дня наблюдаются штилевые условия, практически полное отсутствие инверсии



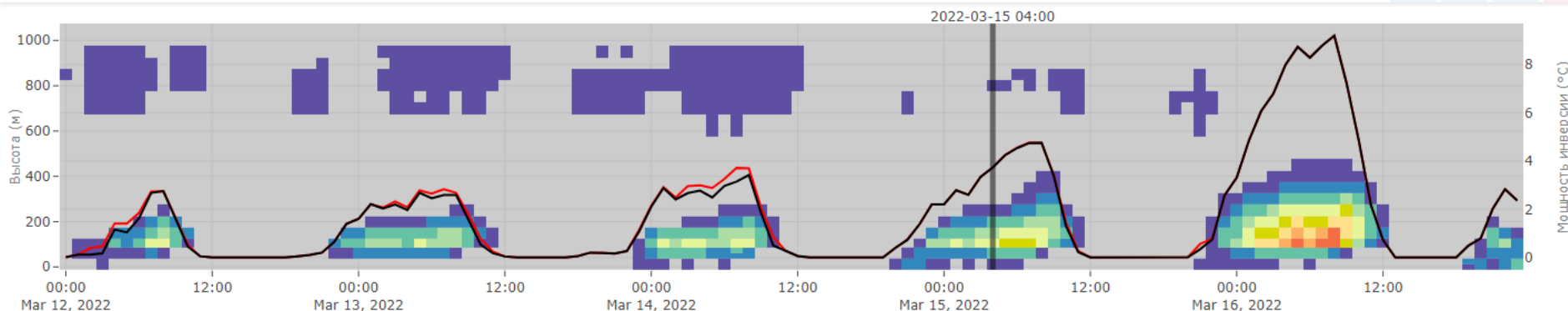
Профиль 2022-03-15 04:00



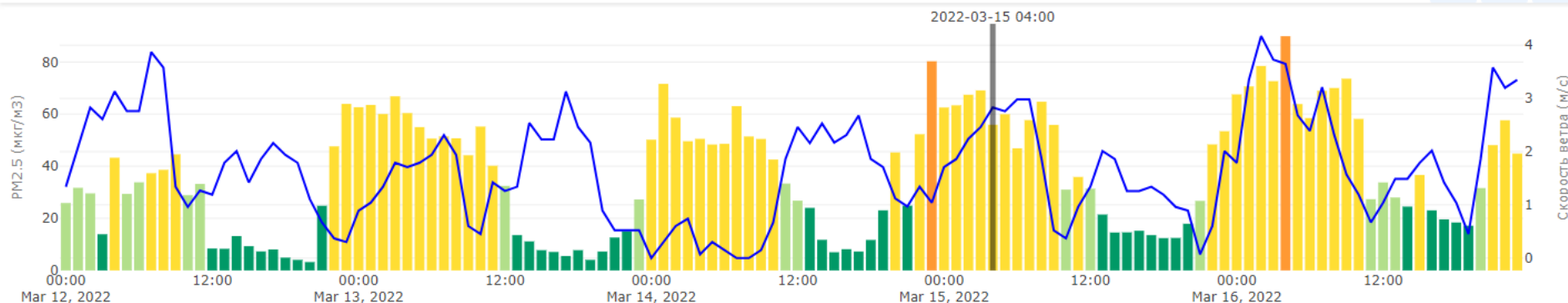
Термограммы



Температурная инверсия

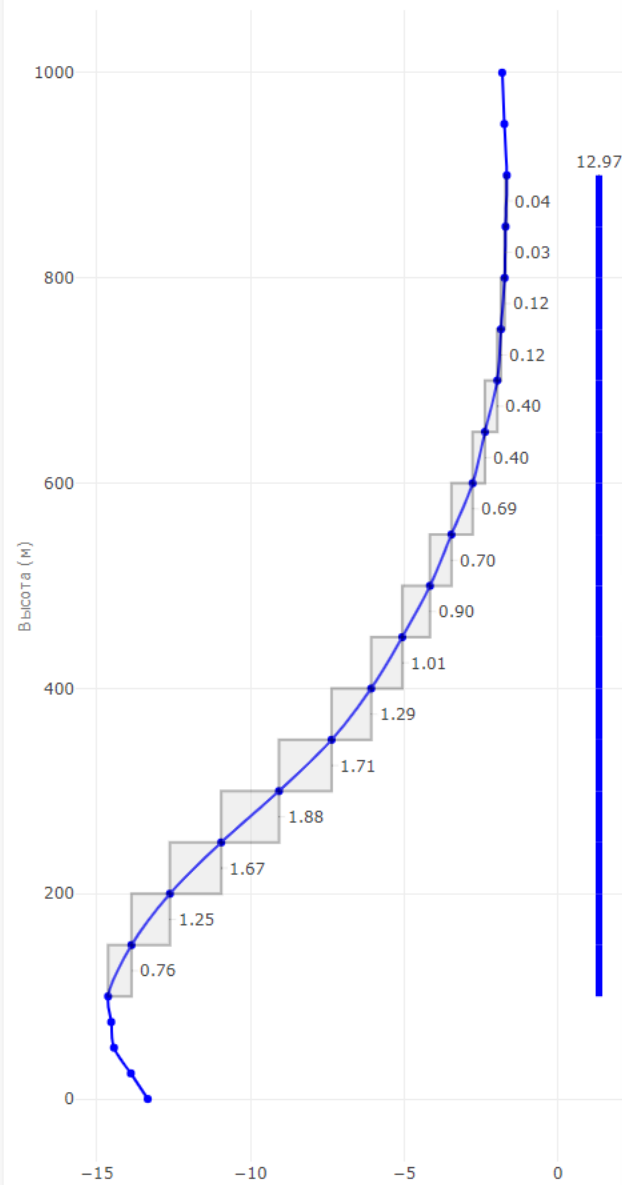


PM2.5 и скорость ветра

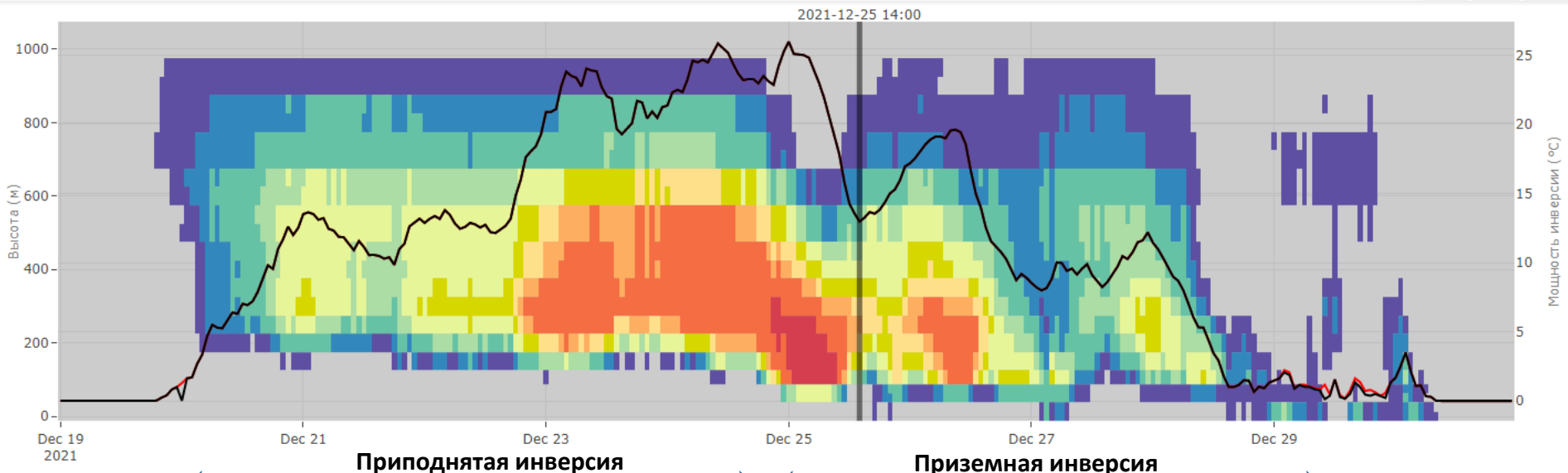




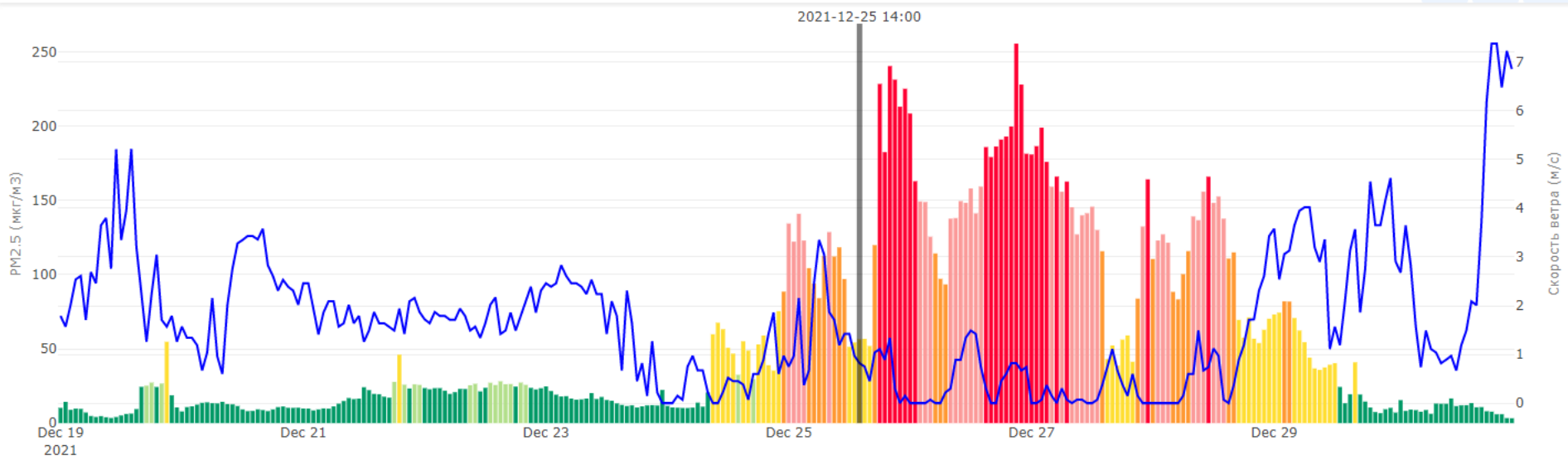
Профиль 2021-12-25 14:00



Температурная инверсия

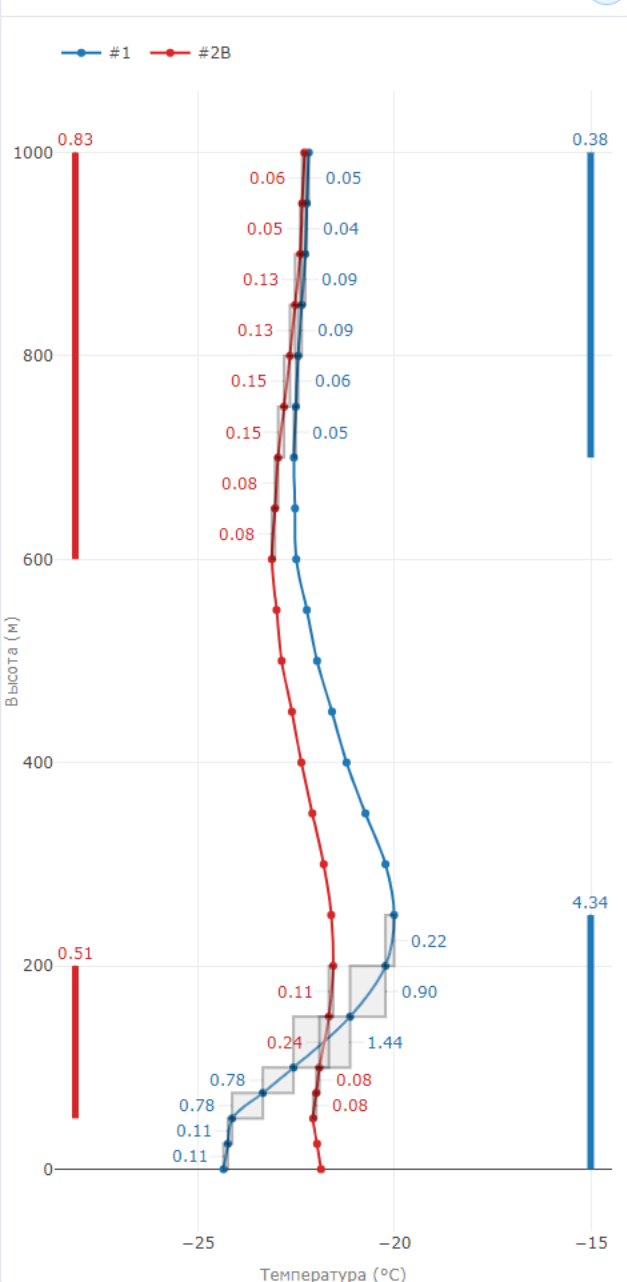


PM2.5 и скорость ветра

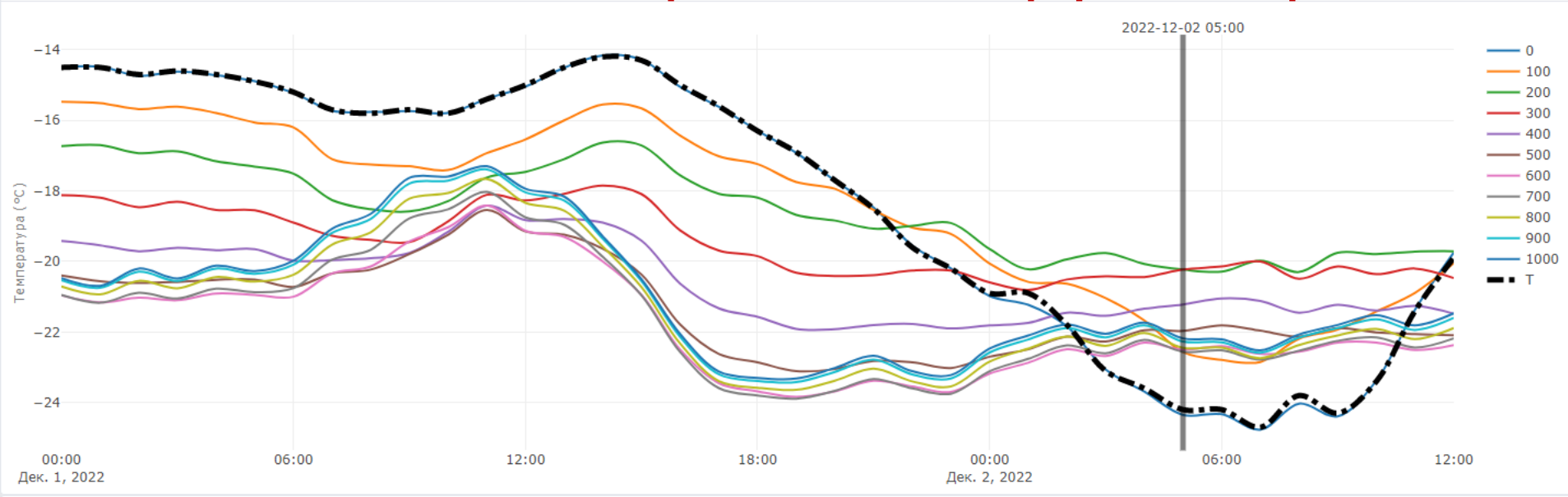




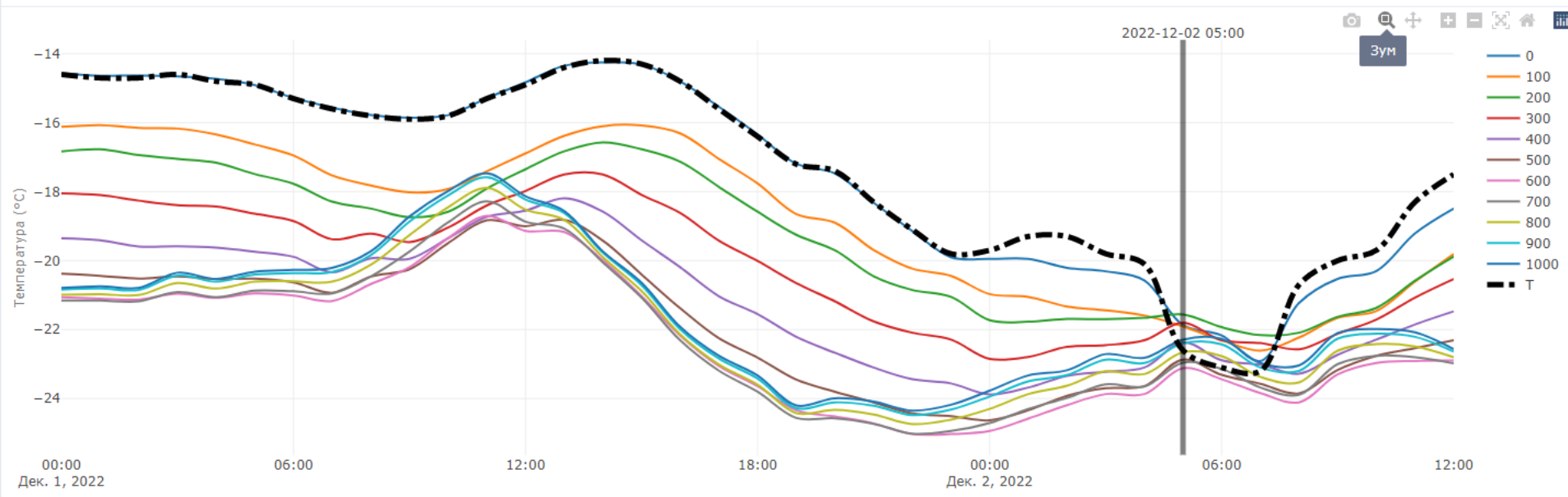
Профиль 2022-12-02 05:00



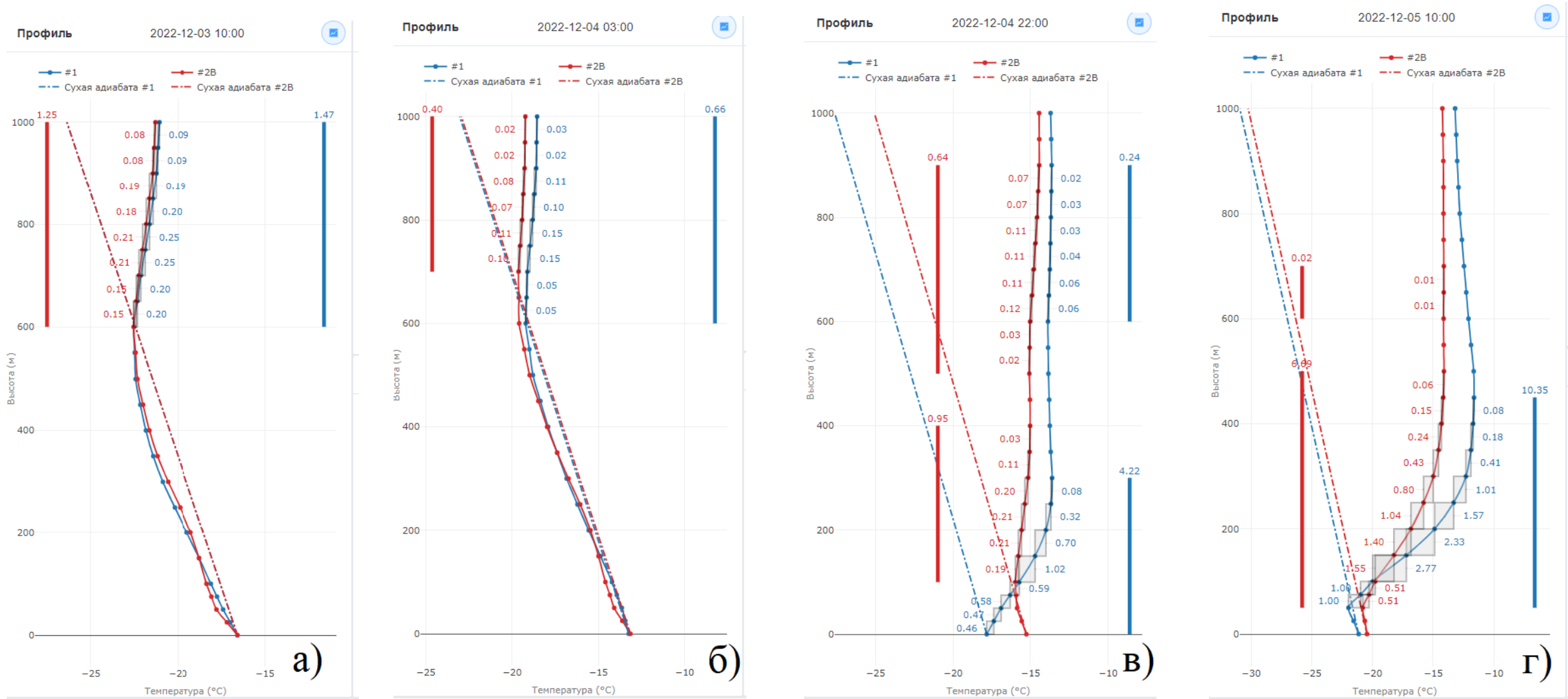
#1 :: Термограммы показывают неоднородность атмосферы над городом



#2 #2B :: Термограммы



Вертикальные профили температуры по данным профилемера МТР-5



Сравнение профилей температуры в центре г. Красноярска (синий) и над р. Енисей (красный):

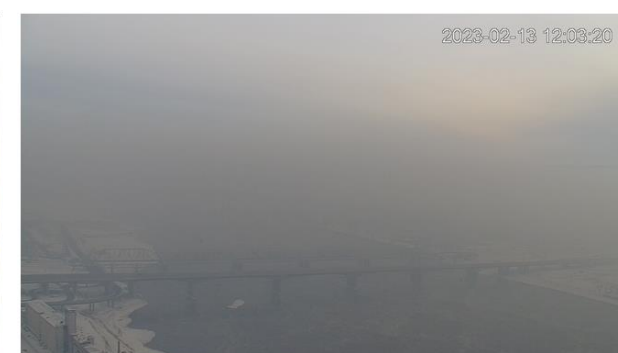
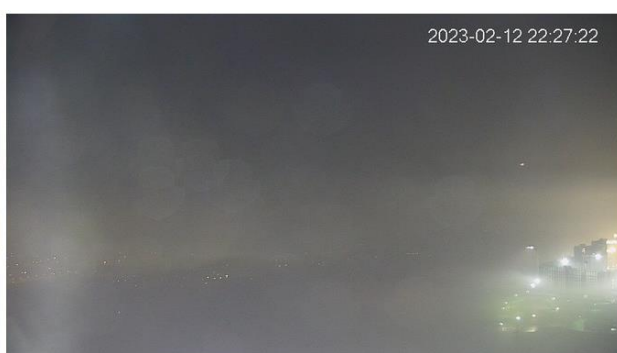
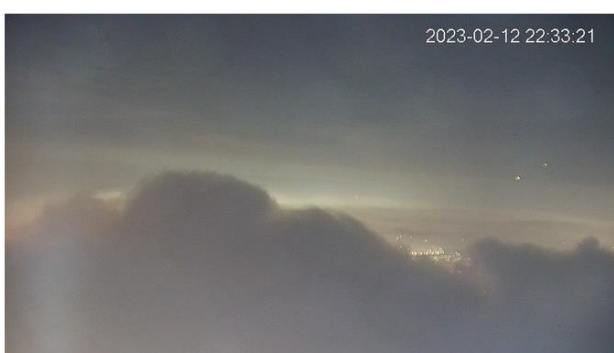
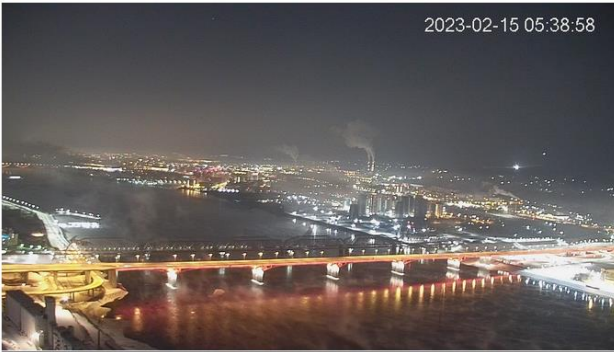
а) температурные профили практически совпадают в дневное время;

б) температурные профили практически совпадают в ночное время;

в) над городом образовалась приземная инверсия, в то время как над р. Енисей ее нет (состояние изотермии);

г) приподнятые инверсии как над городом, так и над Енисеем, но в то же время инверсия над городом гораздо больше.

Система видеомониторинга с помощью городских и собственных IP-видеокамер



КНЦ / ГЭС

КНЦ / Орбита 2

КНЦ / Орбита 4

КНЦ / Орбита 1



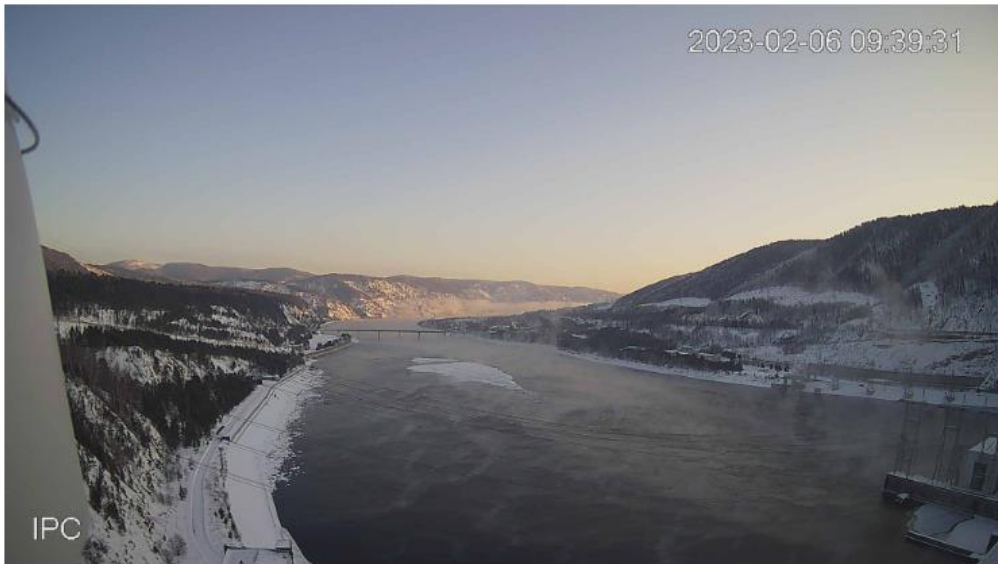
2023-02-05

To

2023-02-07

06 Feb 09:40

05 Feb 06:00 12:00 18:00 06 Feb 06:00 12:00 18:00 07 Feb 06:00 12:00 18:00 08 Feb



IPC

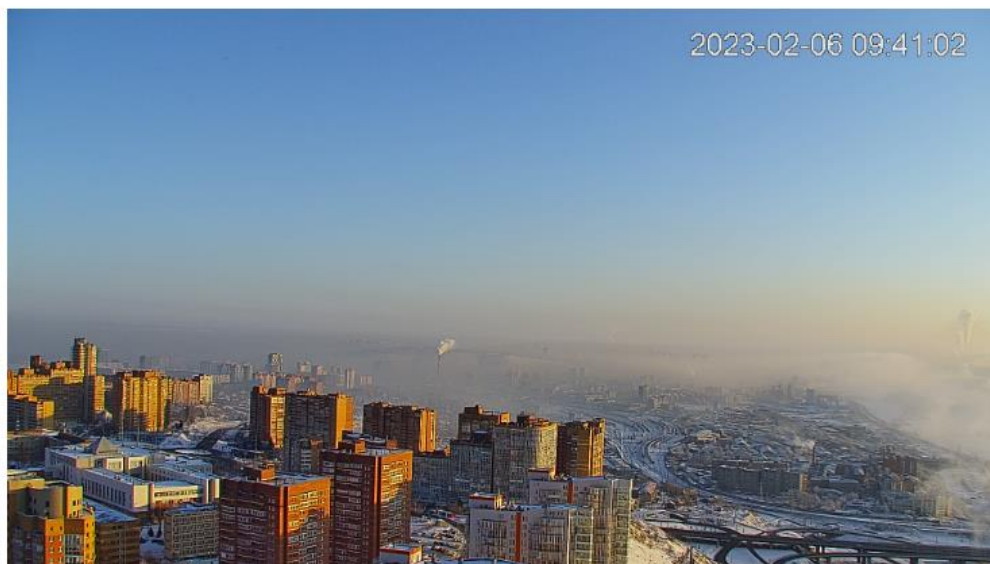
КНЦ / ГЭС



КНЦ / Орбита 2



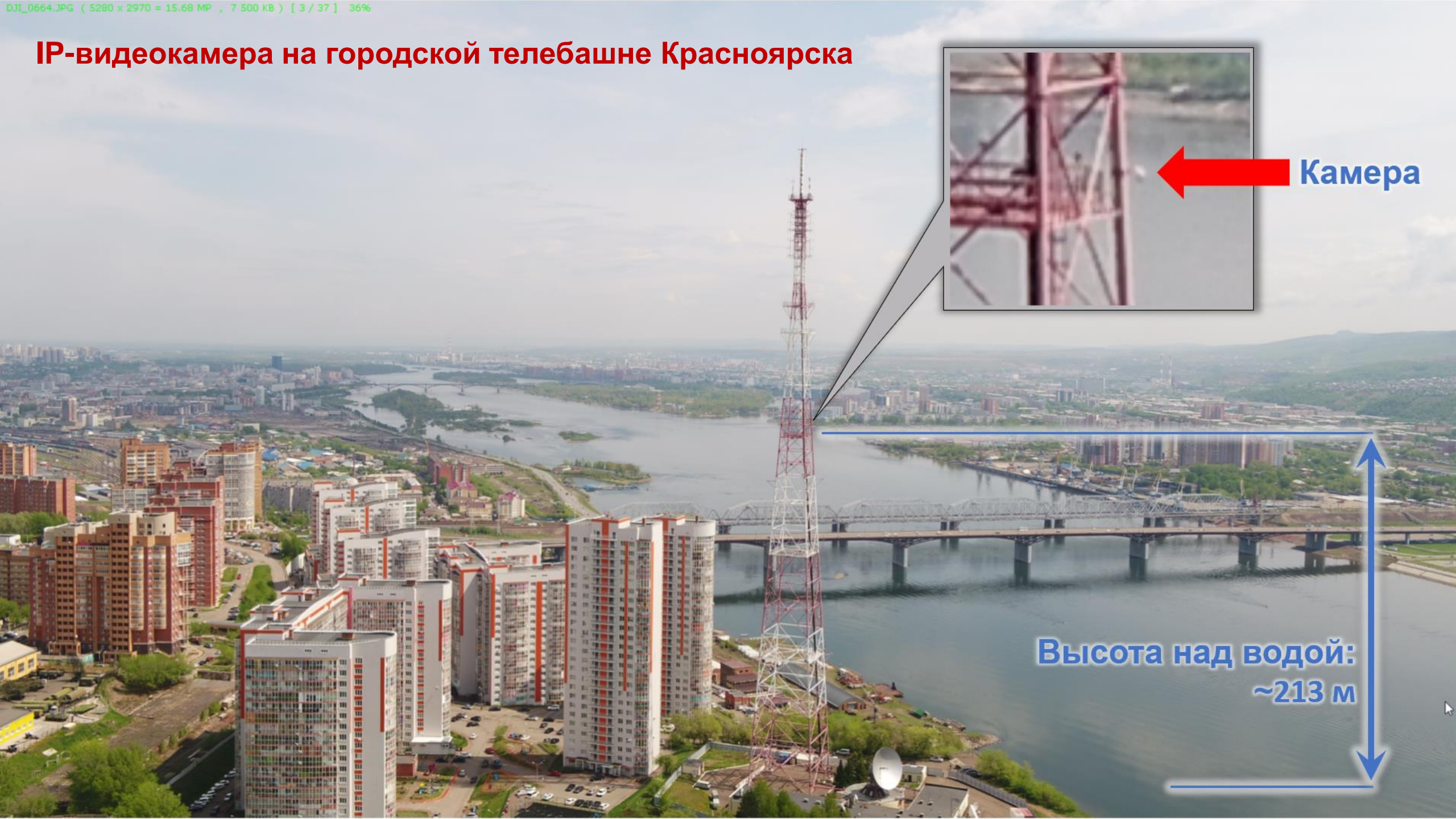
КНЦ / Орбита 4



КНЦ / Орбита 1



IP-видеокамера на городской телебашне Красноярска



Камера

Высота над водой:
~213 м

03 Feb 09:10

01 Feb 12:00 02 Feb 12:00 03 Feb 12:00 04 Feb 12:00 05 Feb



КНЦ / ГЭС



КНЦ / Автоспецбаза



КНЦ / Посадный



КНЦ / Орбита 1



КНЦ / Орбита 2



КНЦ / Орбита 3



КНЦ / Орбита 4



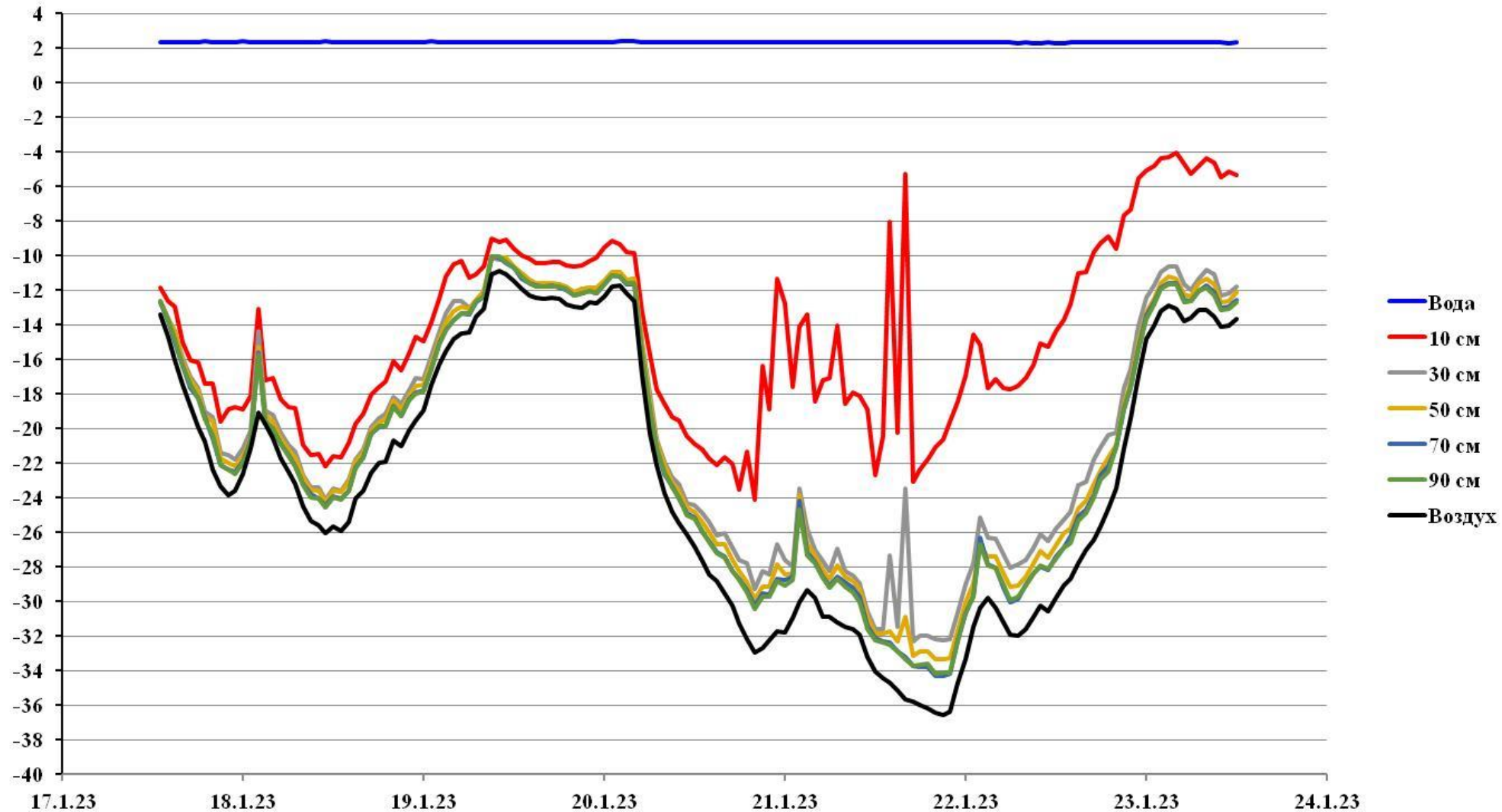
КНЦ / Орбита 5

Архив фотоизображений:

- **Съемка:** с 25 камер (добавляются новые) (1 фото / 10 минут)
- **Период:** ~1,5 года
- **Объем данных:** ~1 терабайт
- **Система хранения данных и веб-приложение для визуализации**

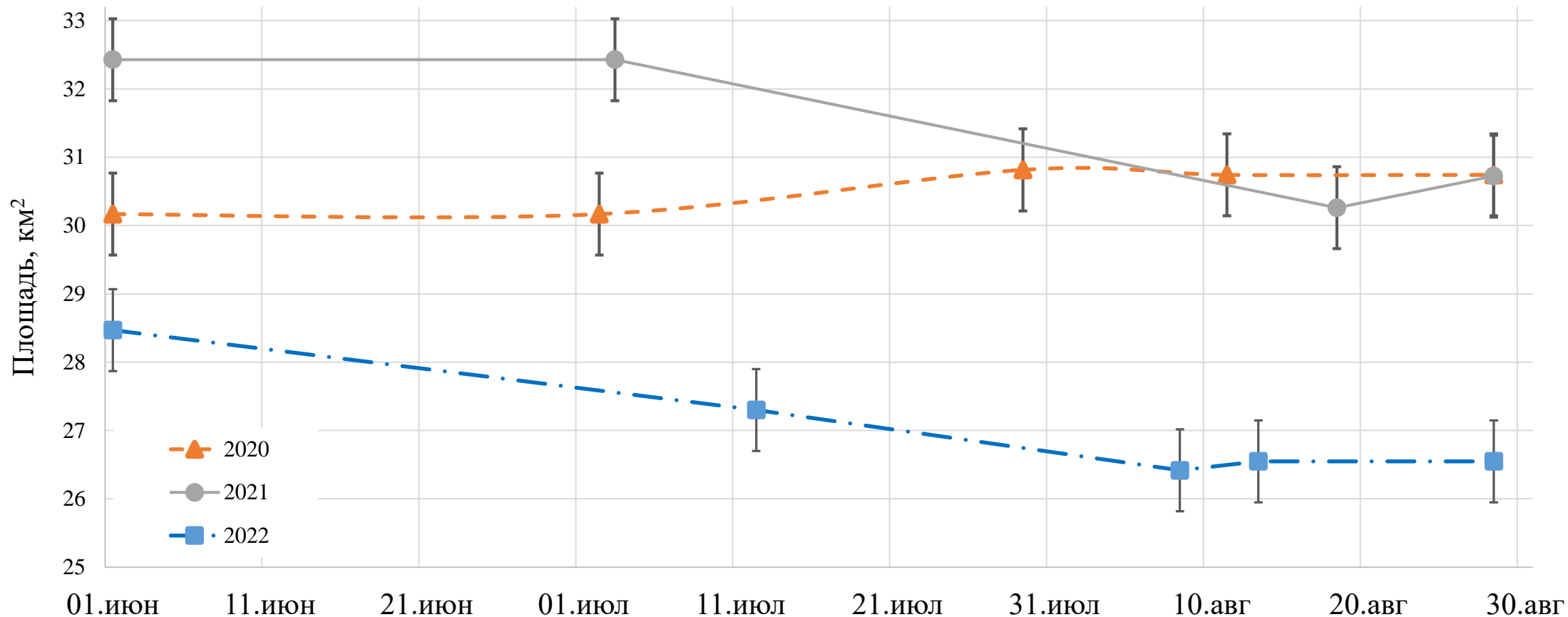
Оценка влияния температуры воды на температуру воздуха над поверхностью реки

Термокоса –
это «поплавок»
с дата-логгерами
для измерения
температуры воздуха
над поверхностью реки



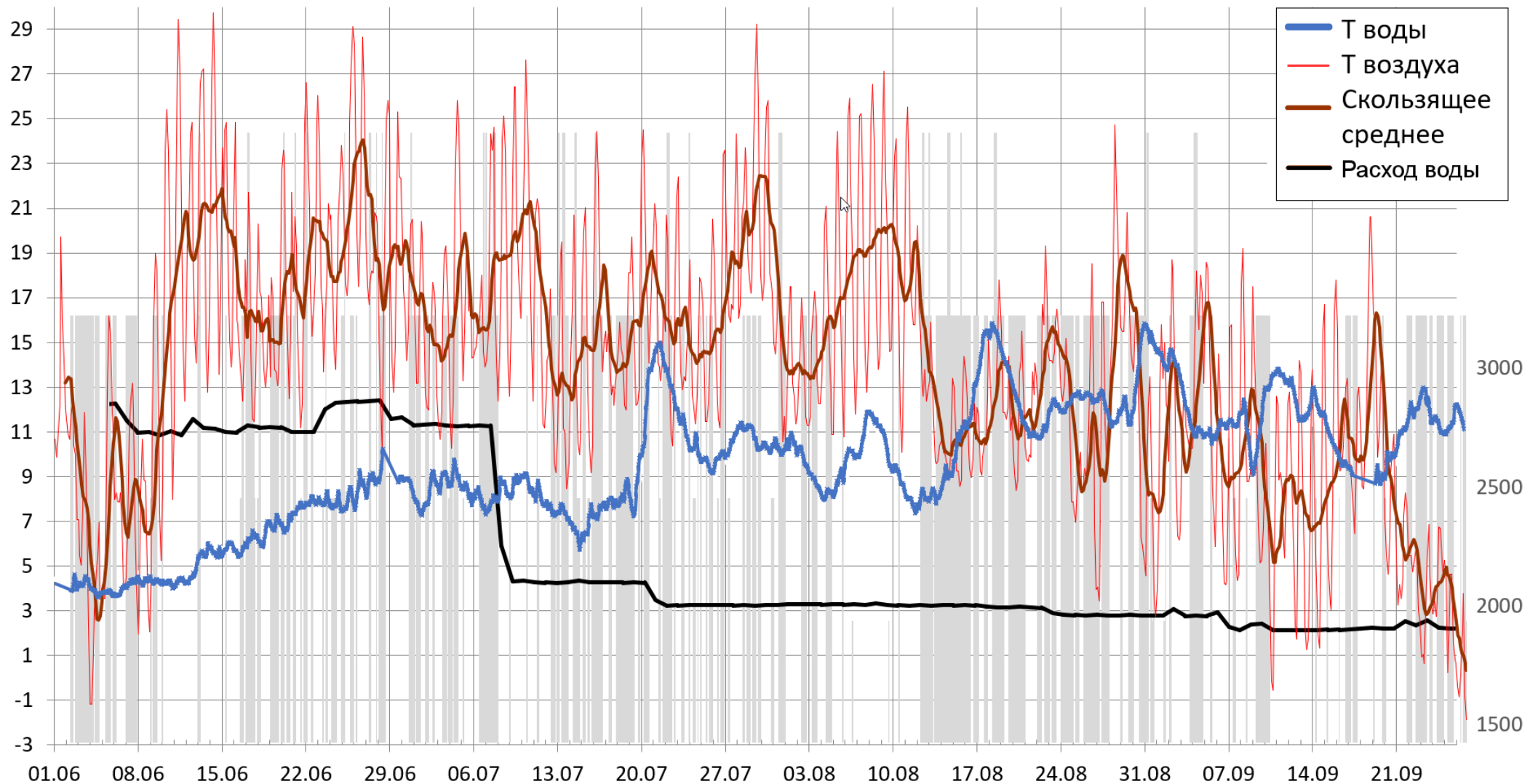
Характерные данные о температуре над зеркалом реки для зимы (18-24 января 2023 г.)

Изменение площади р. Енисей в пределах городской черты Красноярска



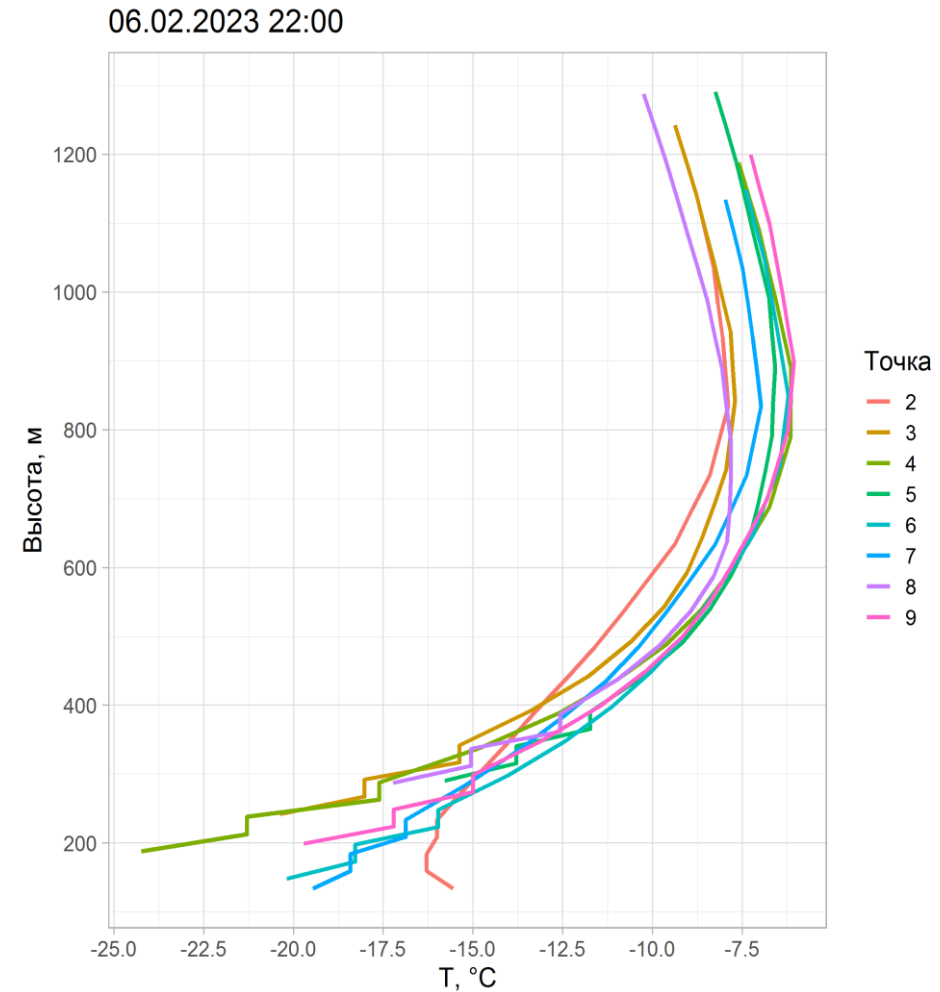
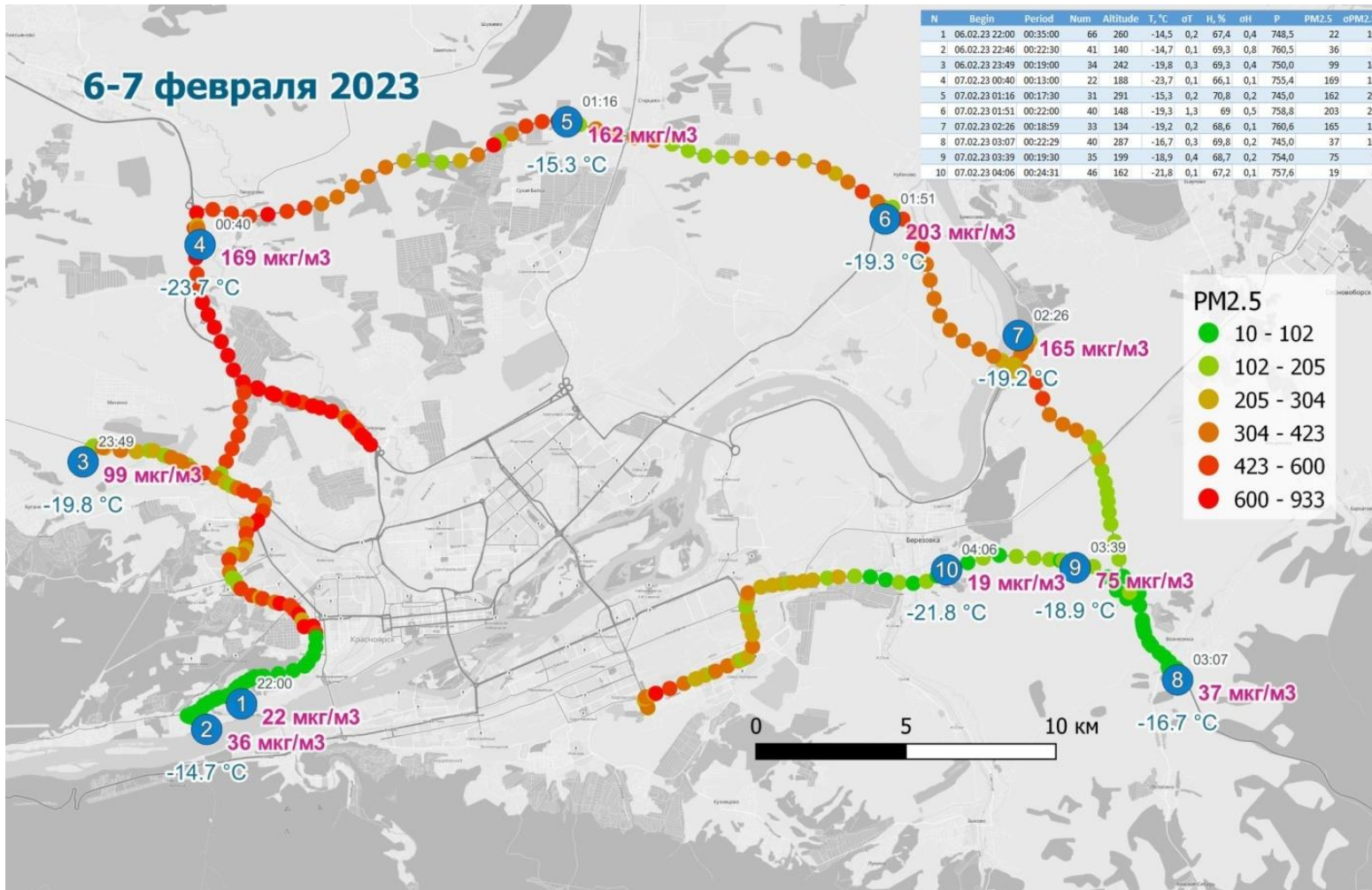
2020 год имеет средние значения площади. В 2021 году был паводок, площадь реки увеличилась на 2,5 км². В летний период 2022 года площадь реки уменьшилась, до 26,5 км², что на 3,5 км² меньше средних значений, полученных за 2020 год и на 6 км² меньше, чем значений годом ранее.

Измерение температуры воды в нижнем бьефе Красноярской ГЭС



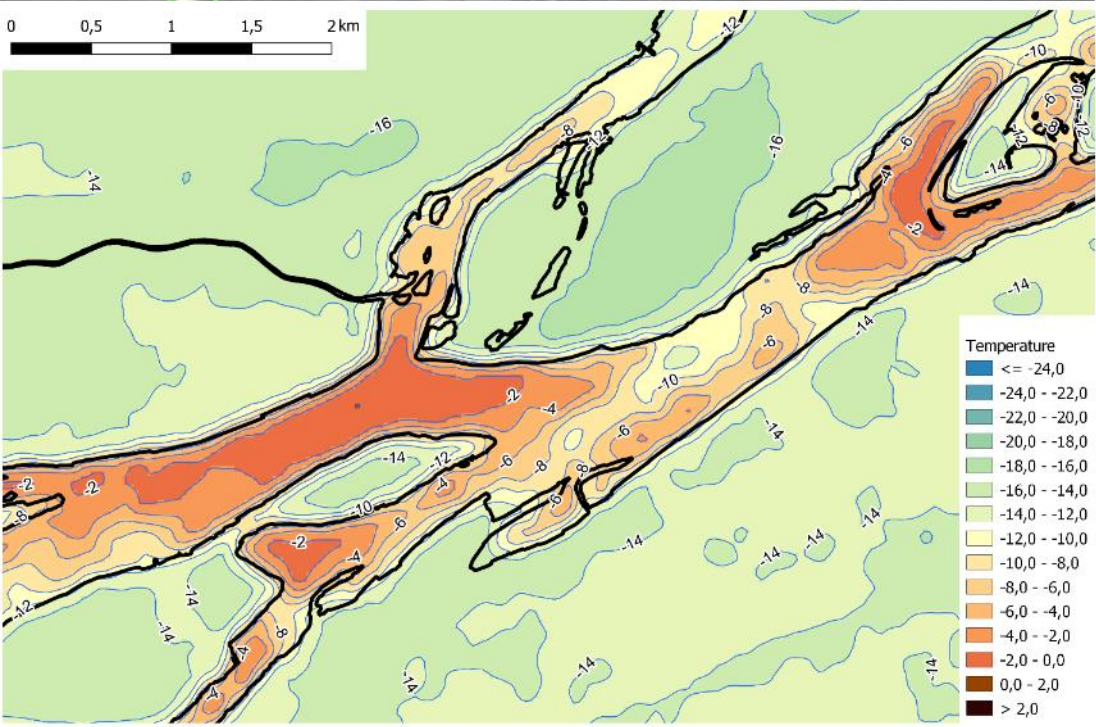
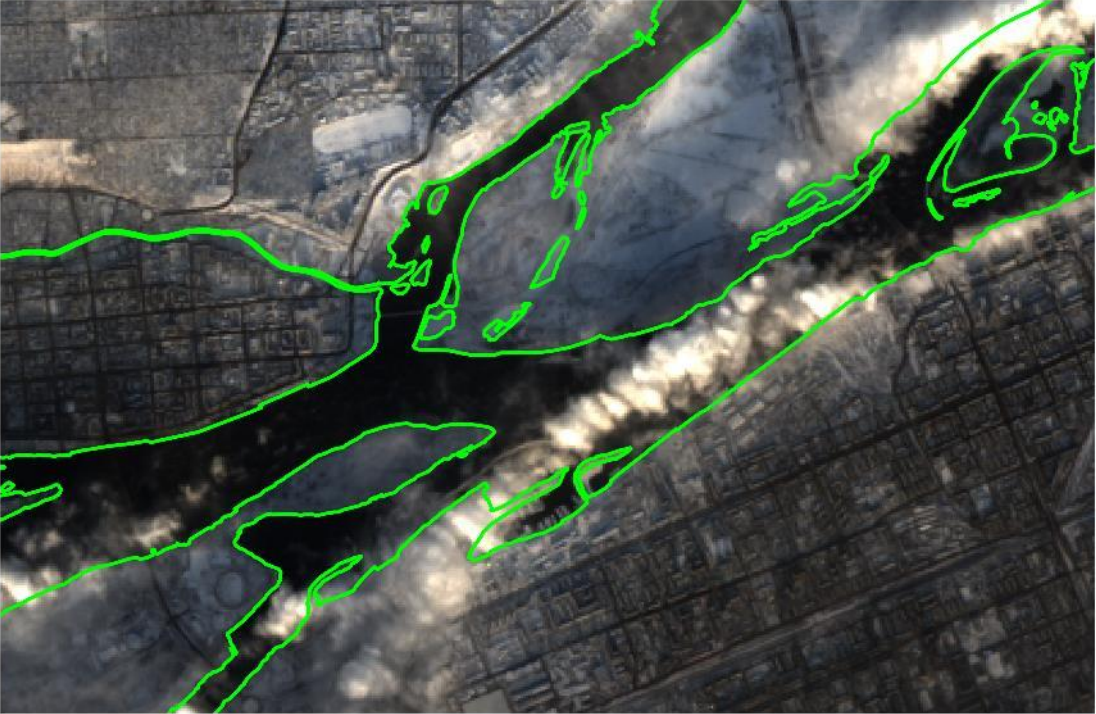
Анализ взаимосвязи колебаний температуры воды в районе нижнего бьефа Красноярской ГЭС в летний период 2022 года от температуры воздуха (на рисунке также приведена скользящее среднее), облачности (периоды облачного неба обозначены серым цветом) и расхода воды через плотину Красноярской ГЭС (значения расхода воды через плотину в м³/сек – на оси Y справа). Данные по температуре воздуха и облачности – по измерениям метеостанции в г. Дивногорске.

Мобильный мониторинг с использованием температурного профилемера МТР-5



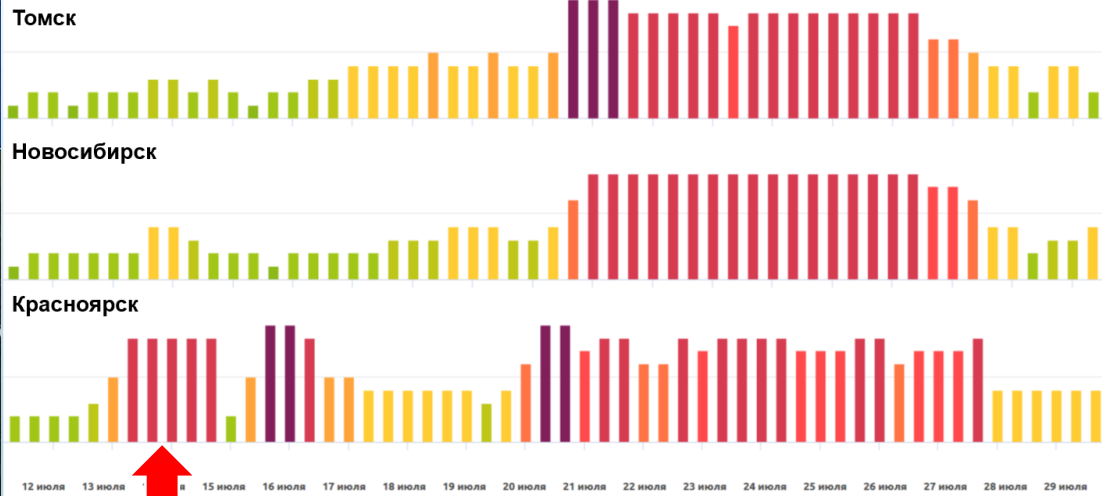
Маршрут, точки измерения вертикальных профилей температуры (синие кружки) и концентрации PM2.5 вдоль пути следования автомобиля.

Вертикальные профили температуры в различных точках города и пригорода

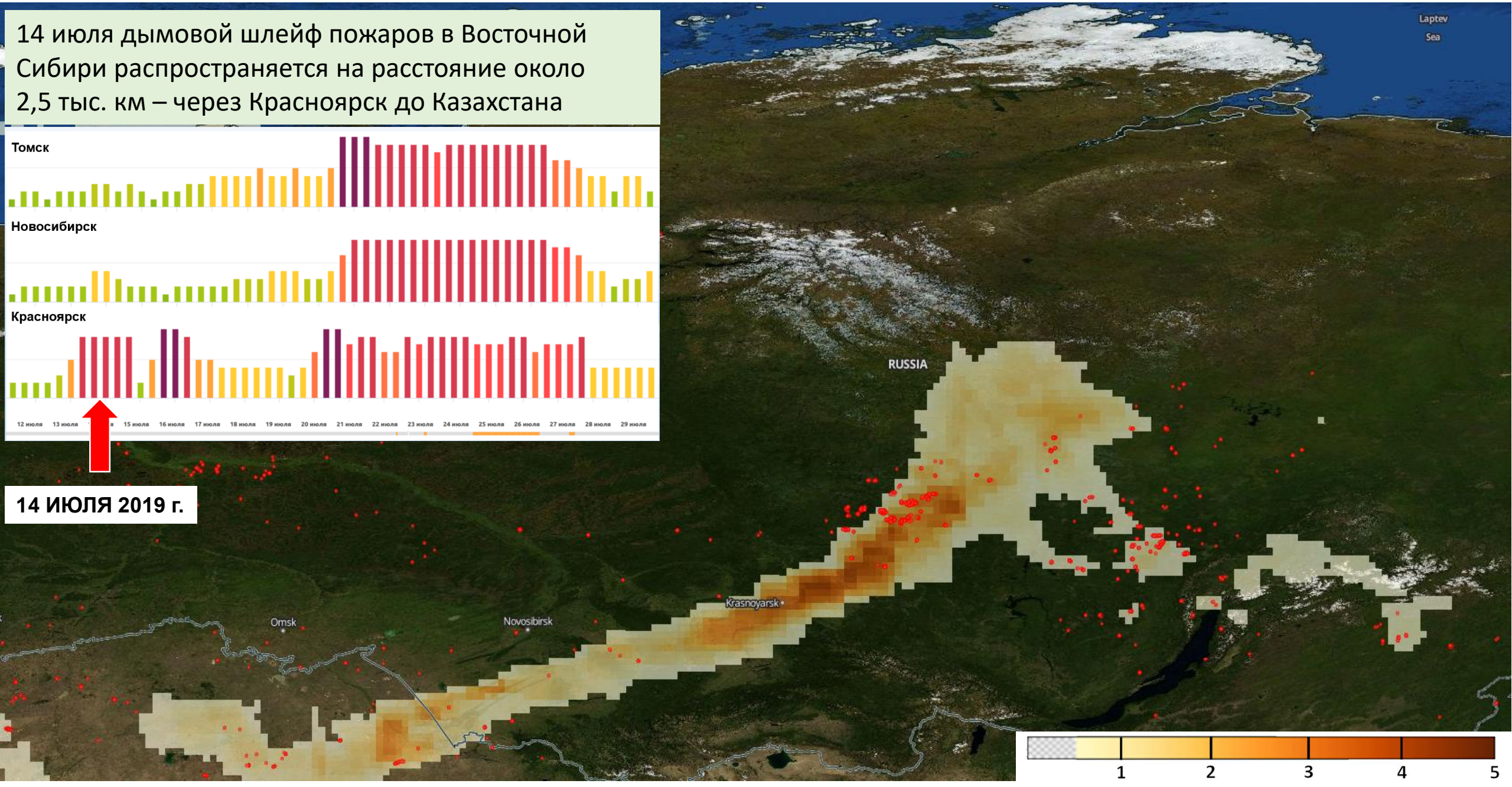


Распространение дымового шлейфа от лесных пожаров по данным спутника NASA Suomi-NPP

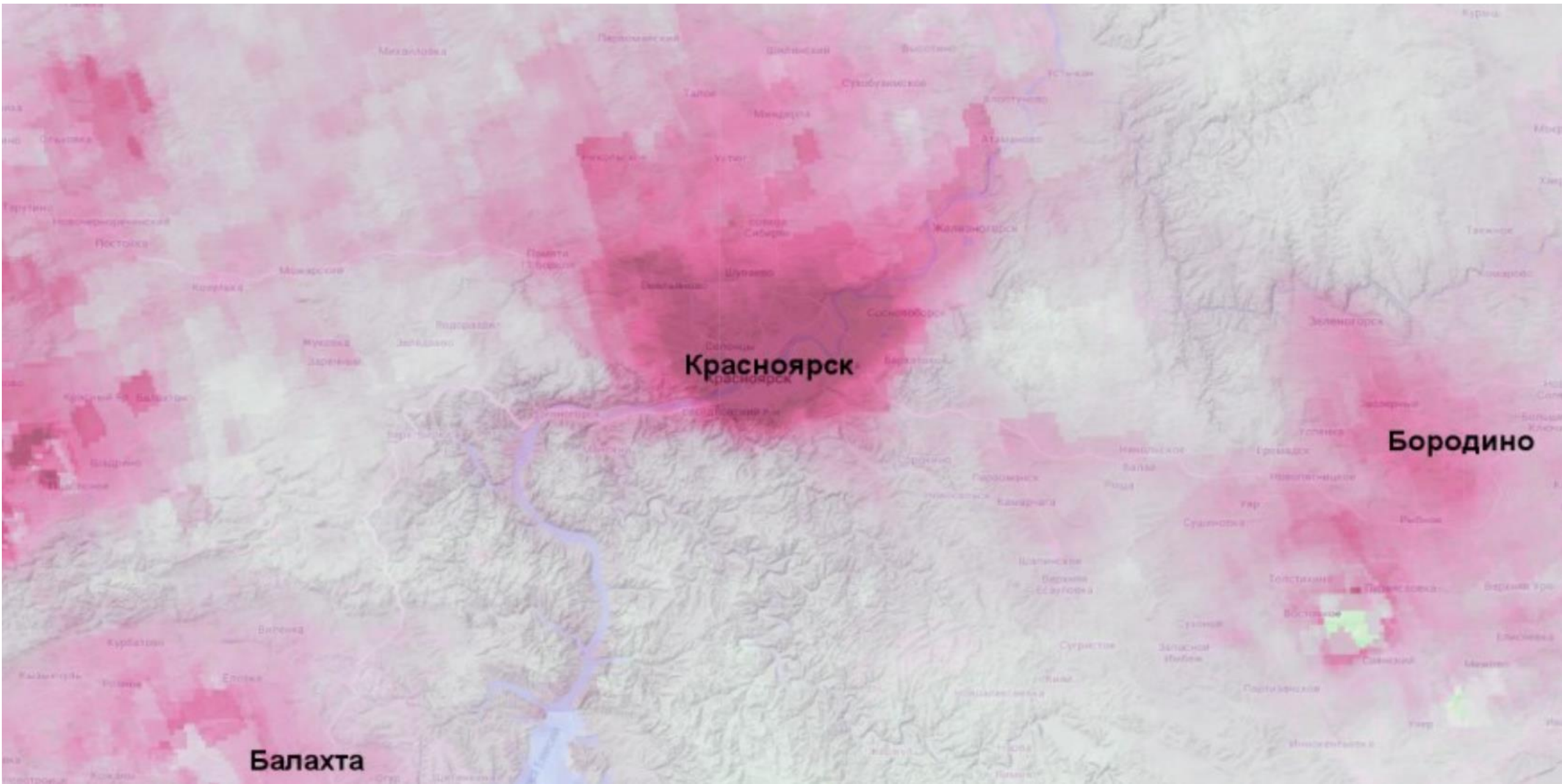
14 июля дымовой шлейф пожаров в Восточной Сибири распространяется на расстояние около 2,5 тыс. км – через Красноярск до Казахстана



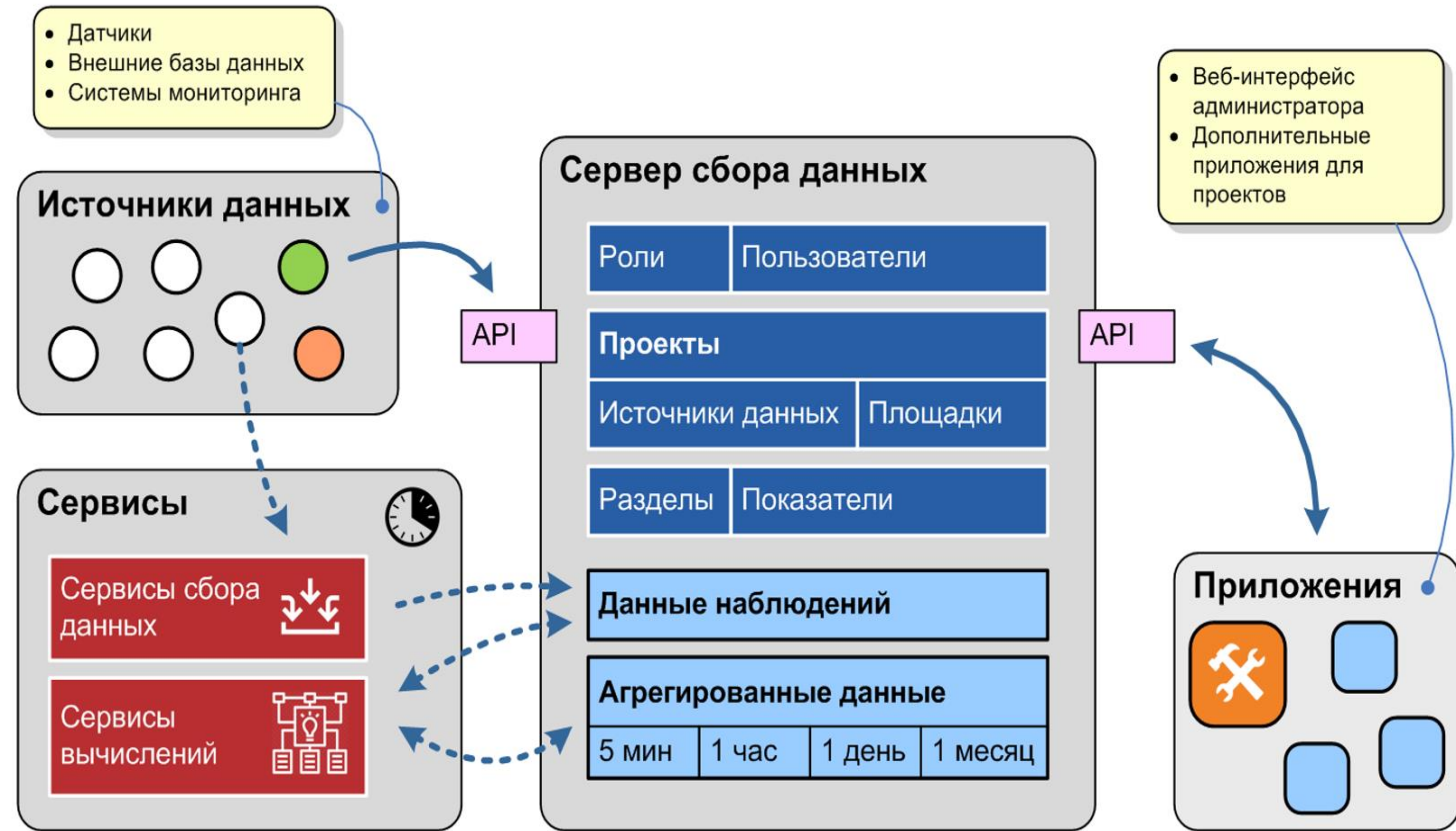
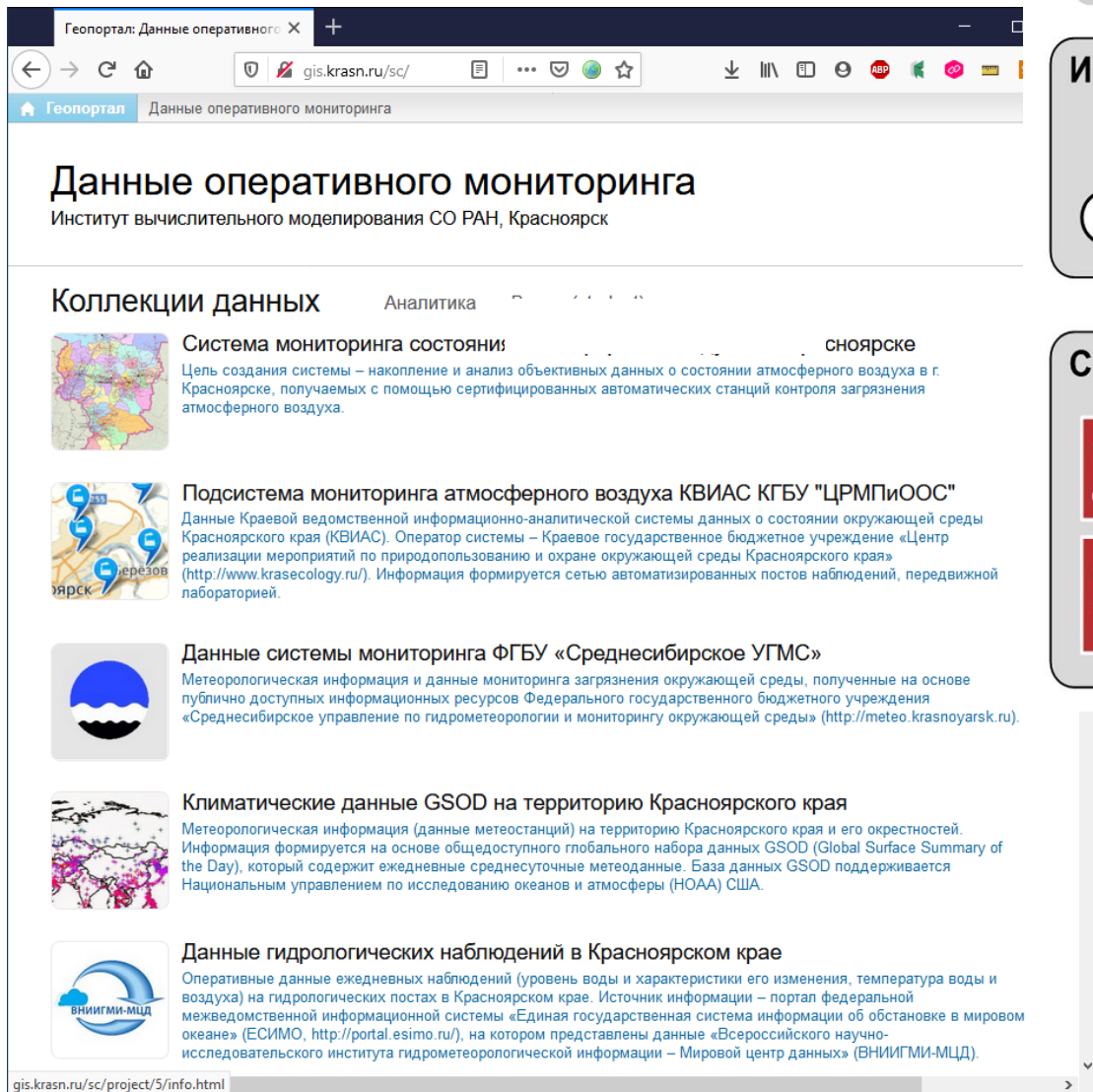
14 ИЮЛЯ 2019 г.



Содержание диоксида азота NO_2 в вертикальном столбе атмосферы в декабре 2021 г. по спутниковым данным TROPOMI Sentinel-5P



Программное обеспечение основано на технологиях геопортала ИВМ СО РАН

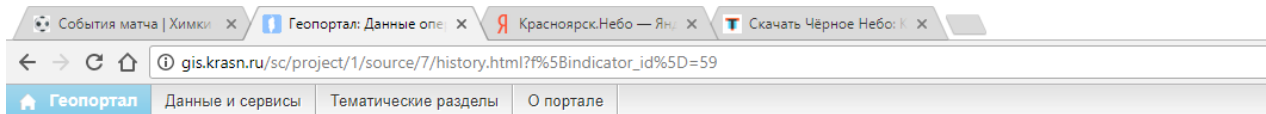


Многоуровневая архитектура программного обеспечения на основе спецификаций стандарта Sensor Web Enablement (SWE)

Данные с сенсоров поступают в реальном времени,

Контроль и предварительная обработка, агрегация данных

Подсистема геопортала ИВМ СО РАН «Данные оперативного мониторинга»



Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС

Данные оперативного мониторинга, Геопортал ИВМ СО РАН

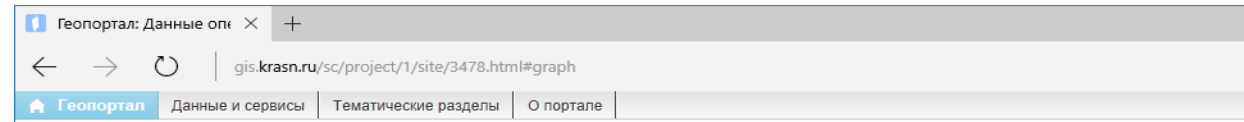
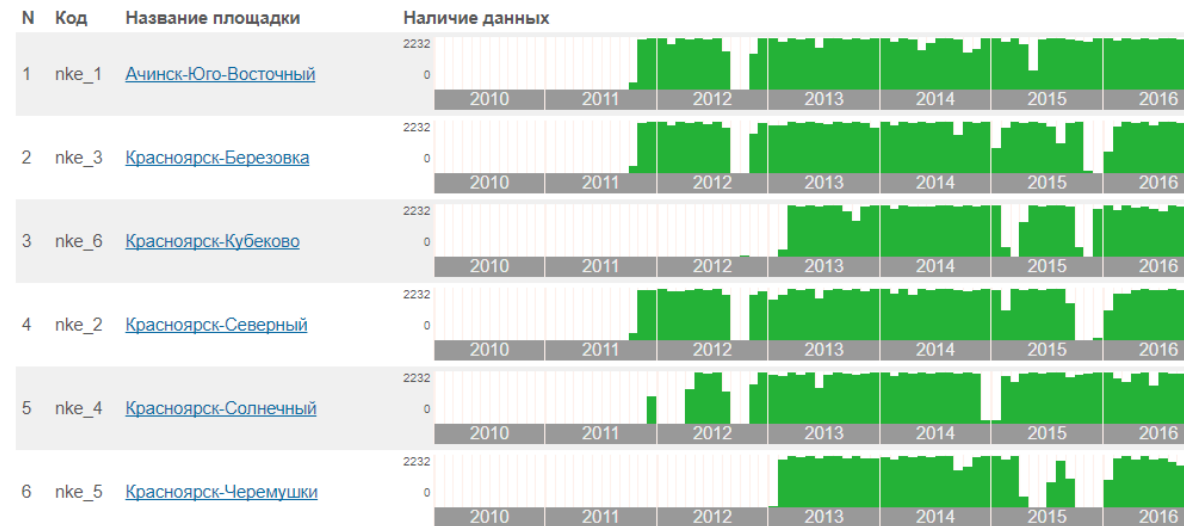
[Коллекции](#) » [Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС КГБУ "ЦРМПиООС"](#) » БД "Измерения СКАТ"

[О ПРОЕКТЕ](#) [КАРТА](#) [ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ](#) [ДААННЫЕ](#) [ПОКАЗАТЕЛИ](#)

Источник данных БД "Измерения СКАТ" (source=7) [информация](#)
Вид Агрегированные данные , периодичность: 00:20 ч
Создан 18.01.2017, [Кадочников Алексей](#)

Статистика по данным

Показатель
 Атмосферный воздух / Азота оксид (мг/м3)



Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС

Данные оперативного мониторинга, Геопортал ИВМ СО РАН

[Коллекции](#) » [Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС КГБУ "ЦРМПиООС"](#) » БД "Измерения СКАТ" » Красноярск-Березовка

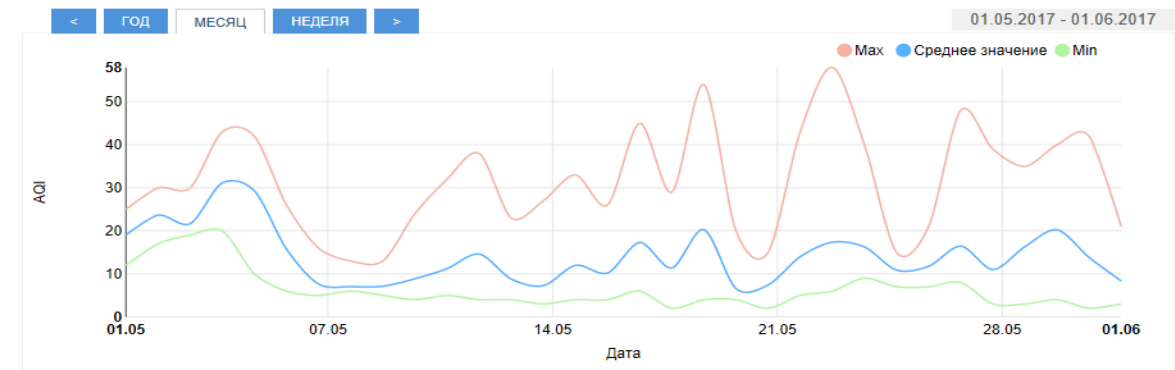
[О ПРОЕКТЕ](#) [КАРТА](#) [ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ](#) [ДААННЫЕ](#) [ПОКАЗАТЕЛИ](#)

Название Красноярск-Березовка
Размещение Статичный ([93.136592, 56.046361](#))
Источник данных БД "Измерения СКАТ"
Создан 18.01.2017, [Кадочников Алексей](#)

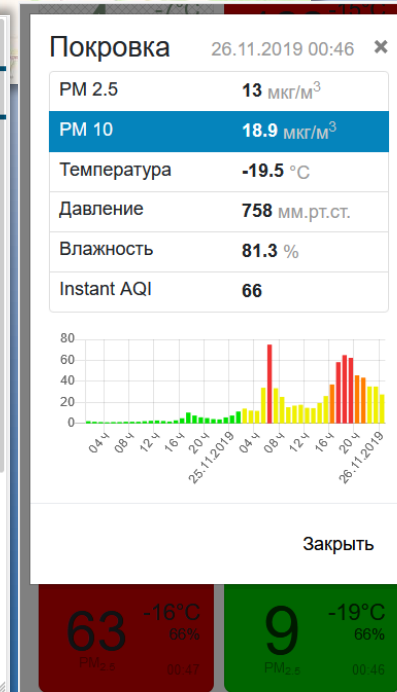
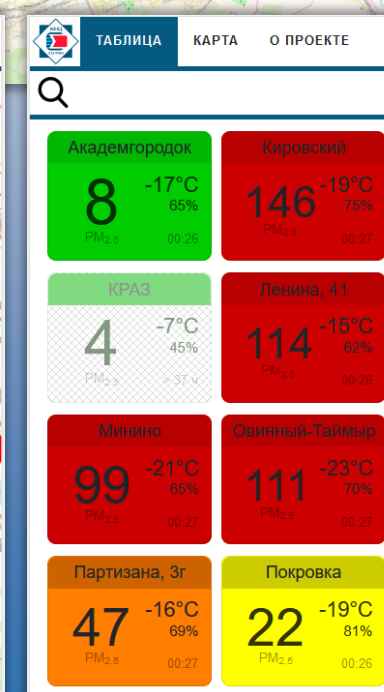
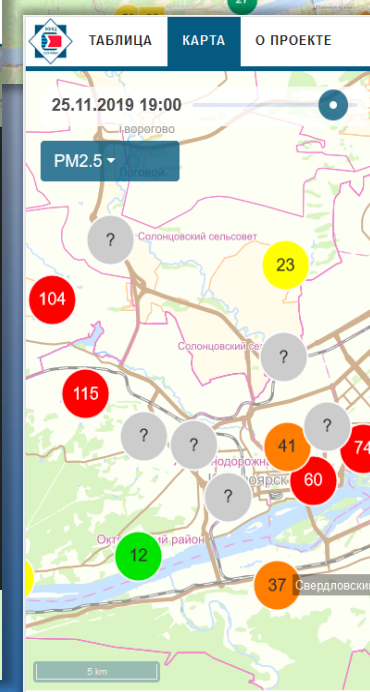
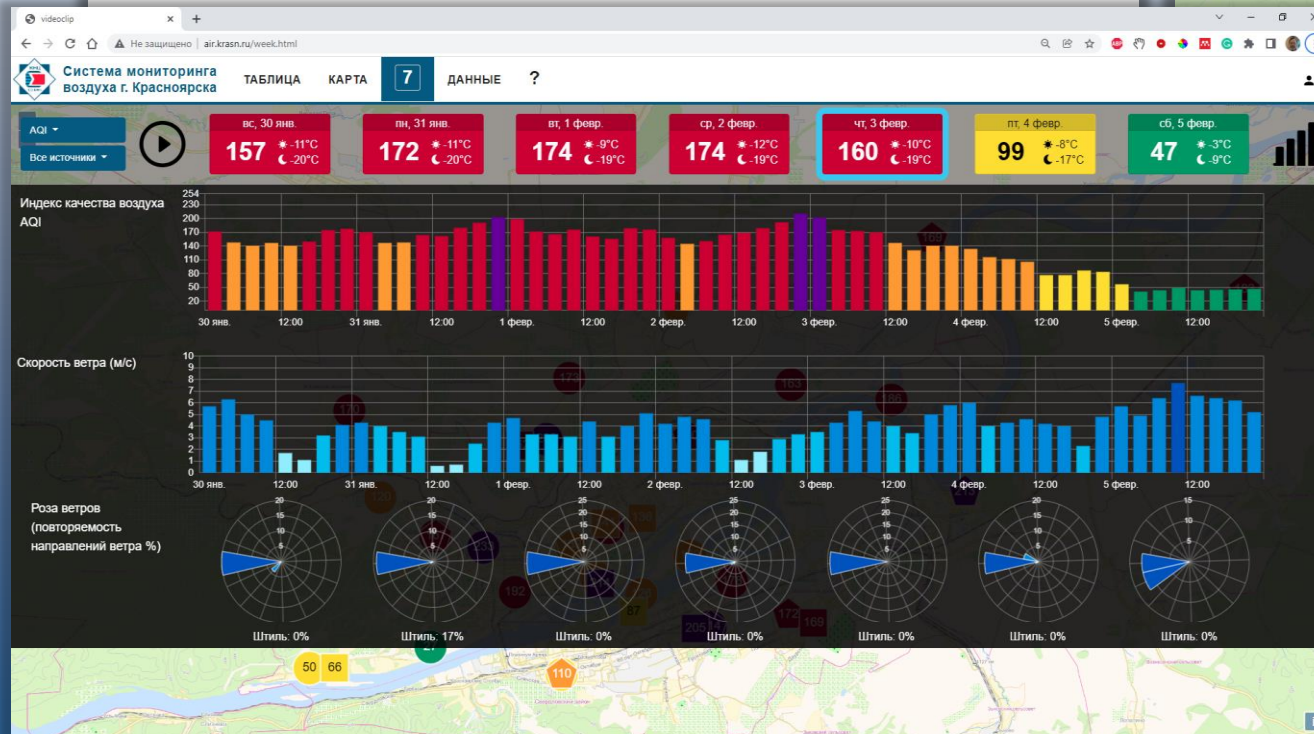
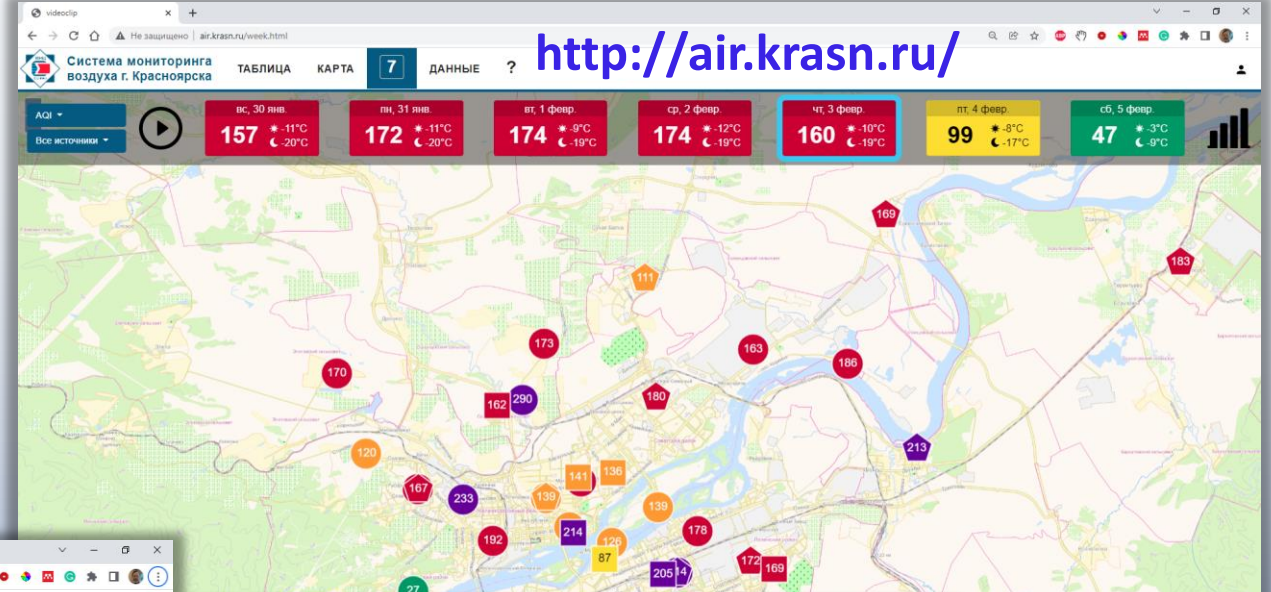
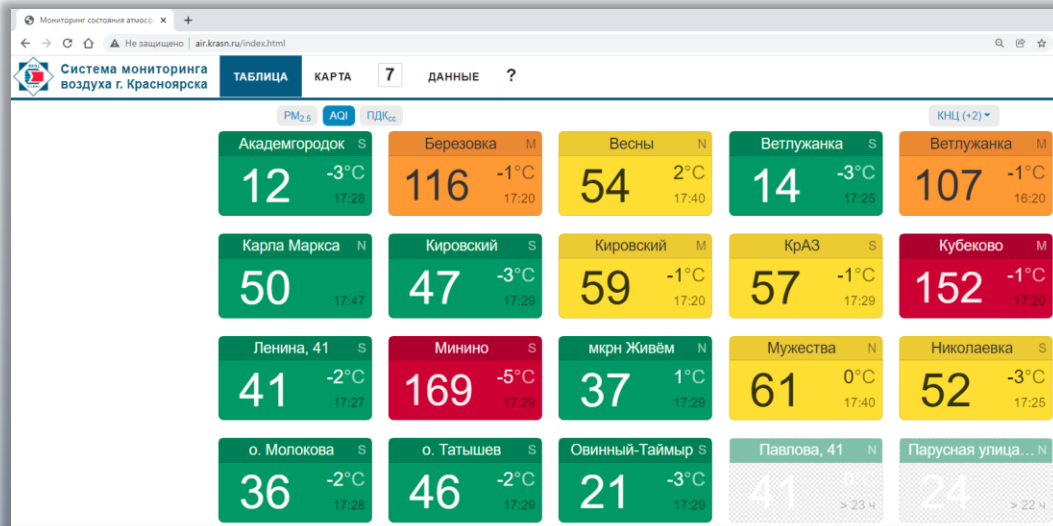
Актуальные данные

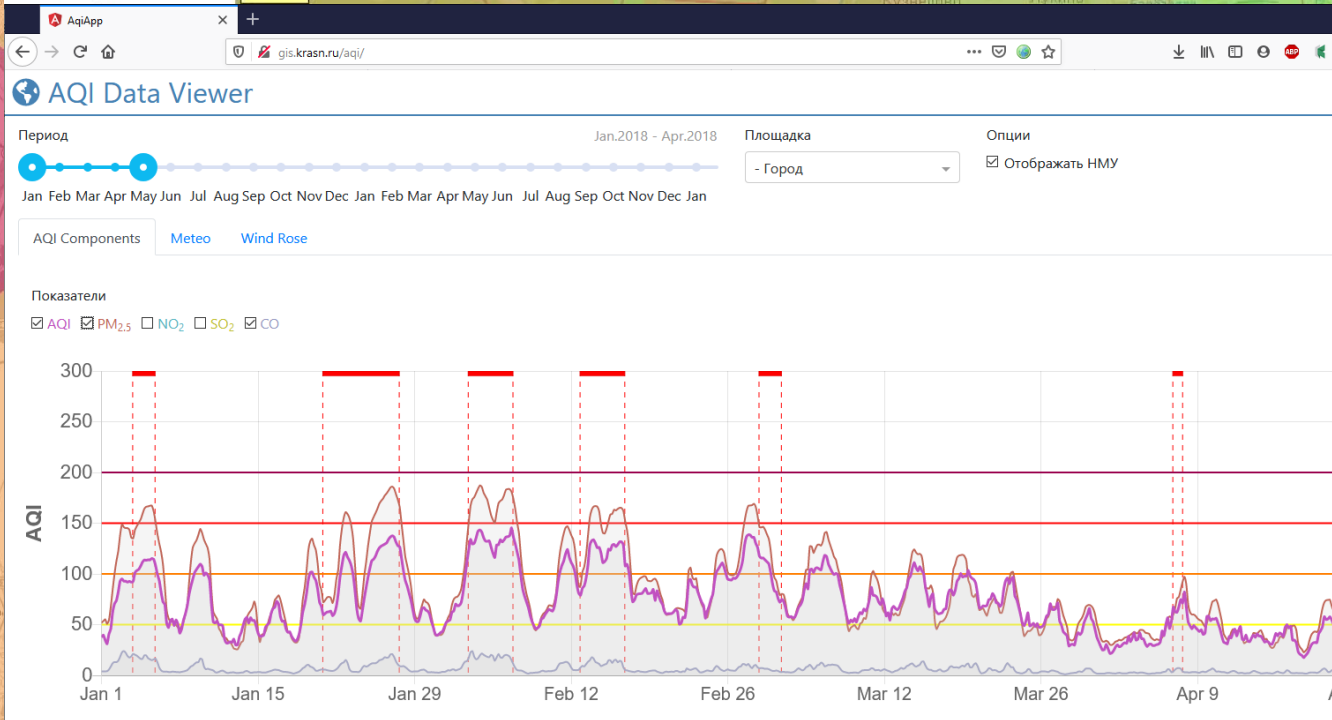
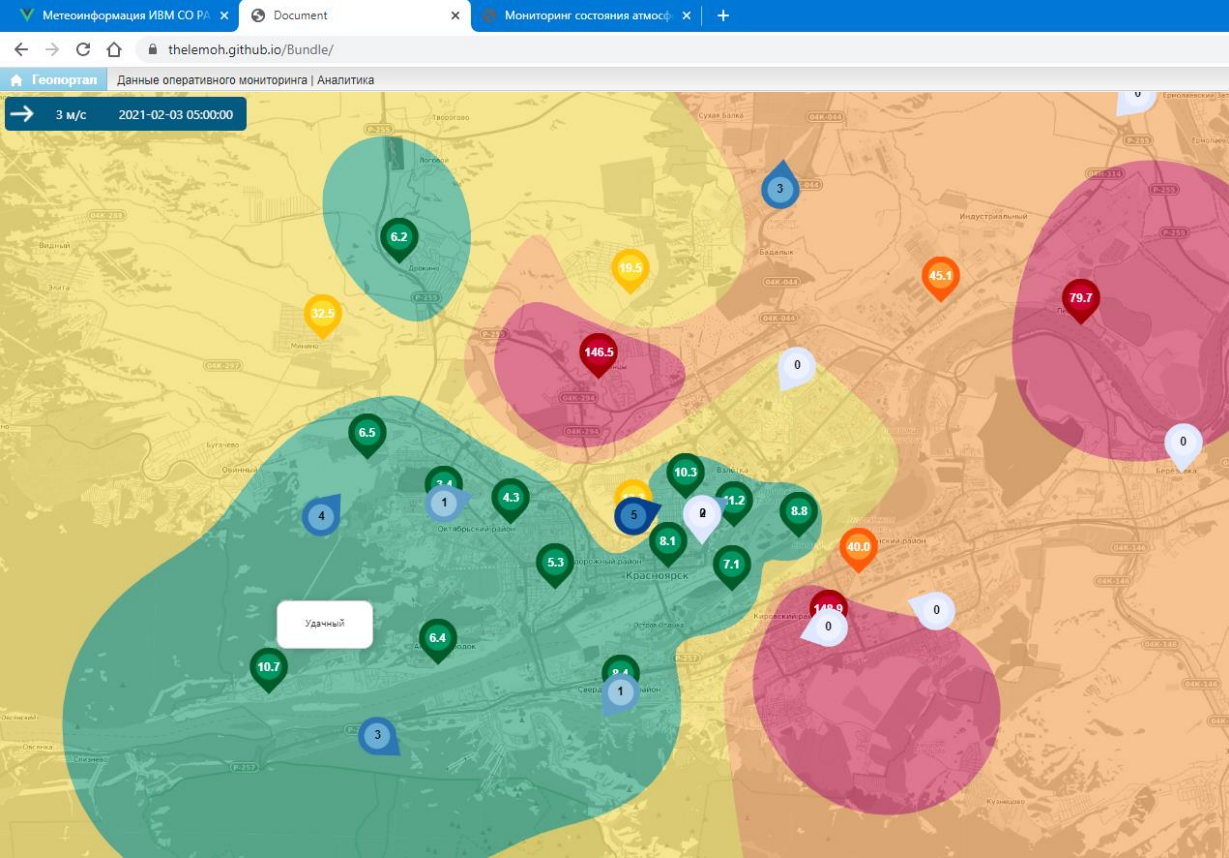
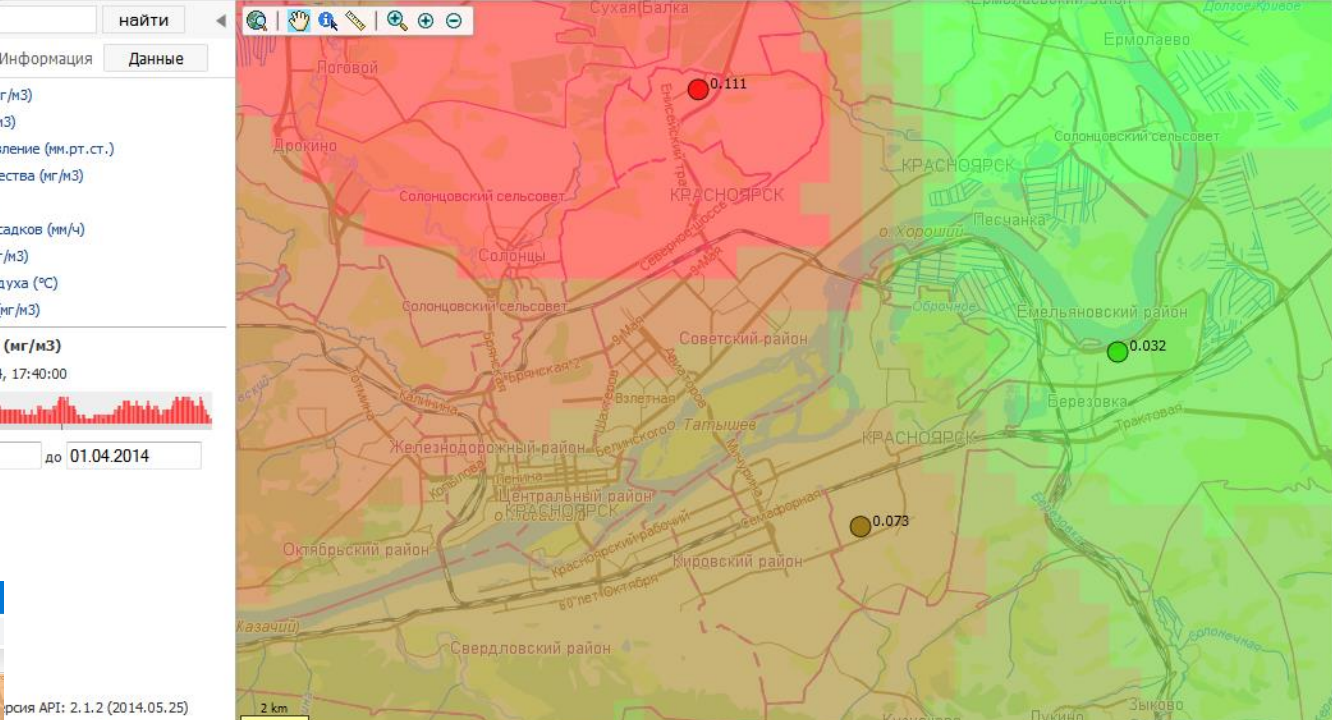
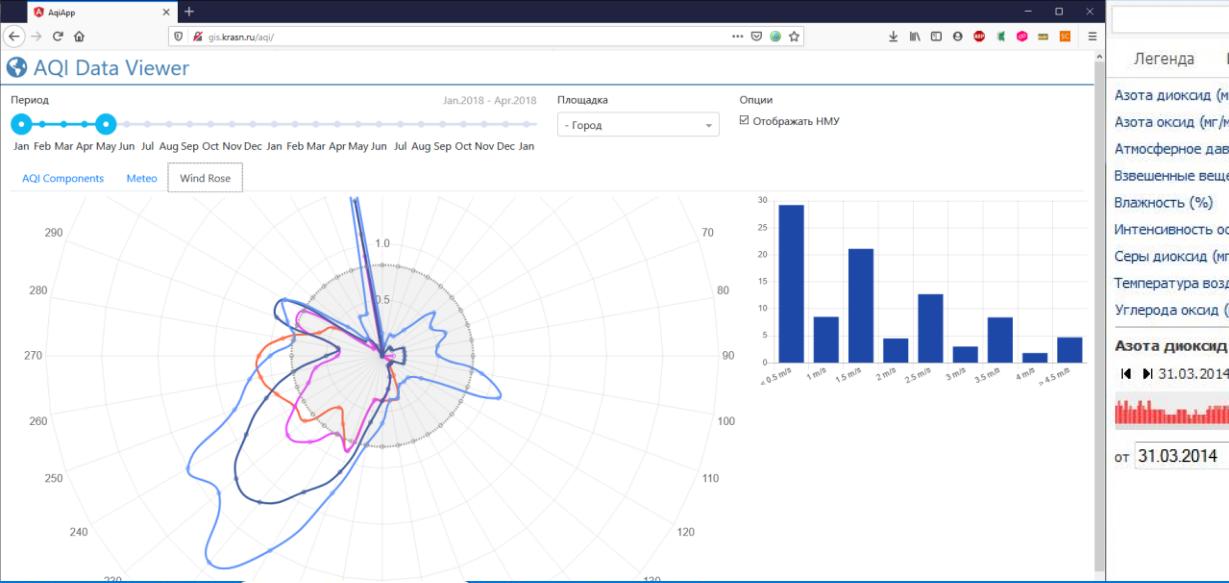
N	Показатель	Ед. изменения	Значение	ПДК	Последние данные
Air Quality Index					
1	AQI		2		03.07.2017
2	AQI - CO		2		03.07.2017
3	AQI - NO2		9		03.07.2017
4	AQI - PM10		9		01.12.2016
5	AQI - SO2		2		03.07.2017
Атмосферный воздух					
6	Азота диоксид	мг/м3	0.016	0.04	03.07.2017
7	Азота оксид	мг/м3	0.0085	0.4	03.07.2017
8	Взвешенные частицы PM10	мг/м3	0.004668	0.15	30.11.2016
9	Серы диоксид	мг/м3	0.0038	0.5	03.07.2017
10	Углерода оксид	мг/м3	0.081	5	03.07.2017

AQI

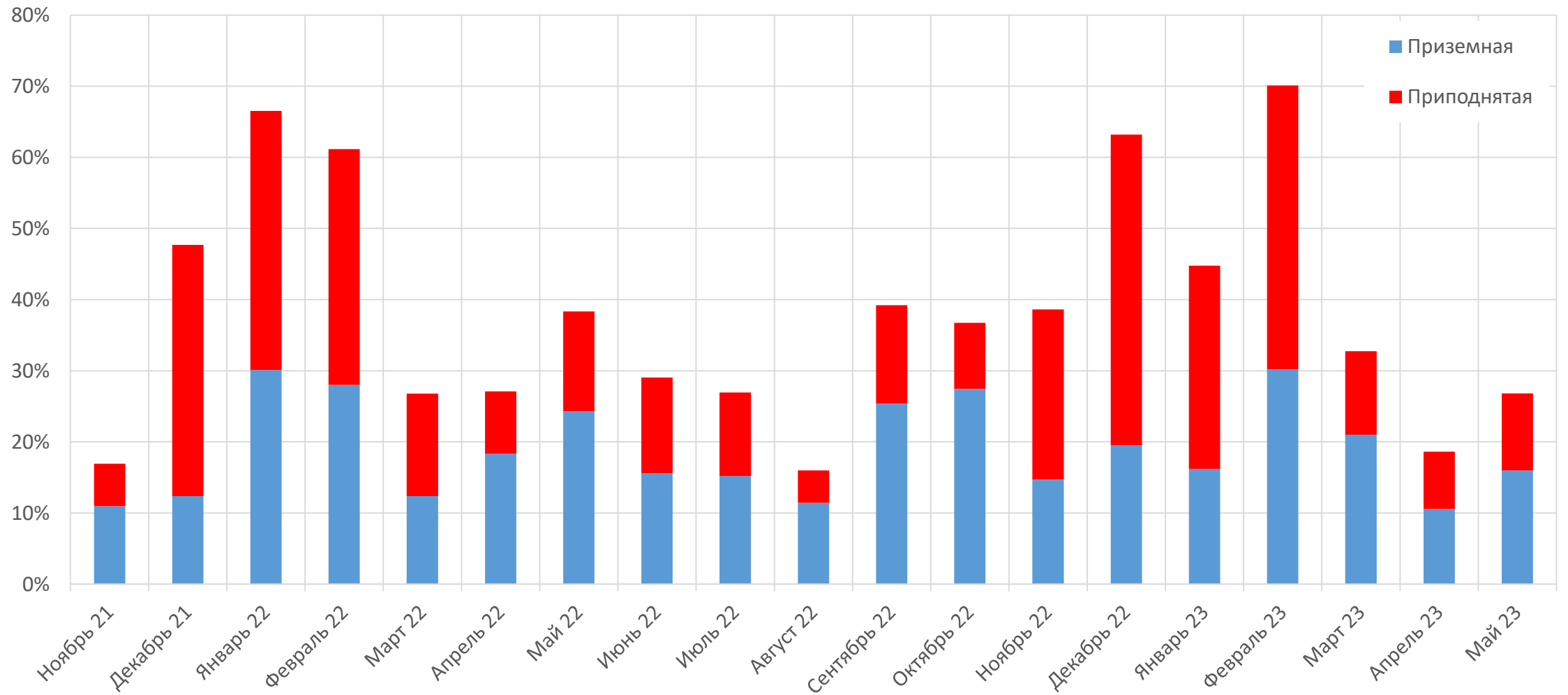


Система мониторинга воздуха Красноярского научного центра СО РАН



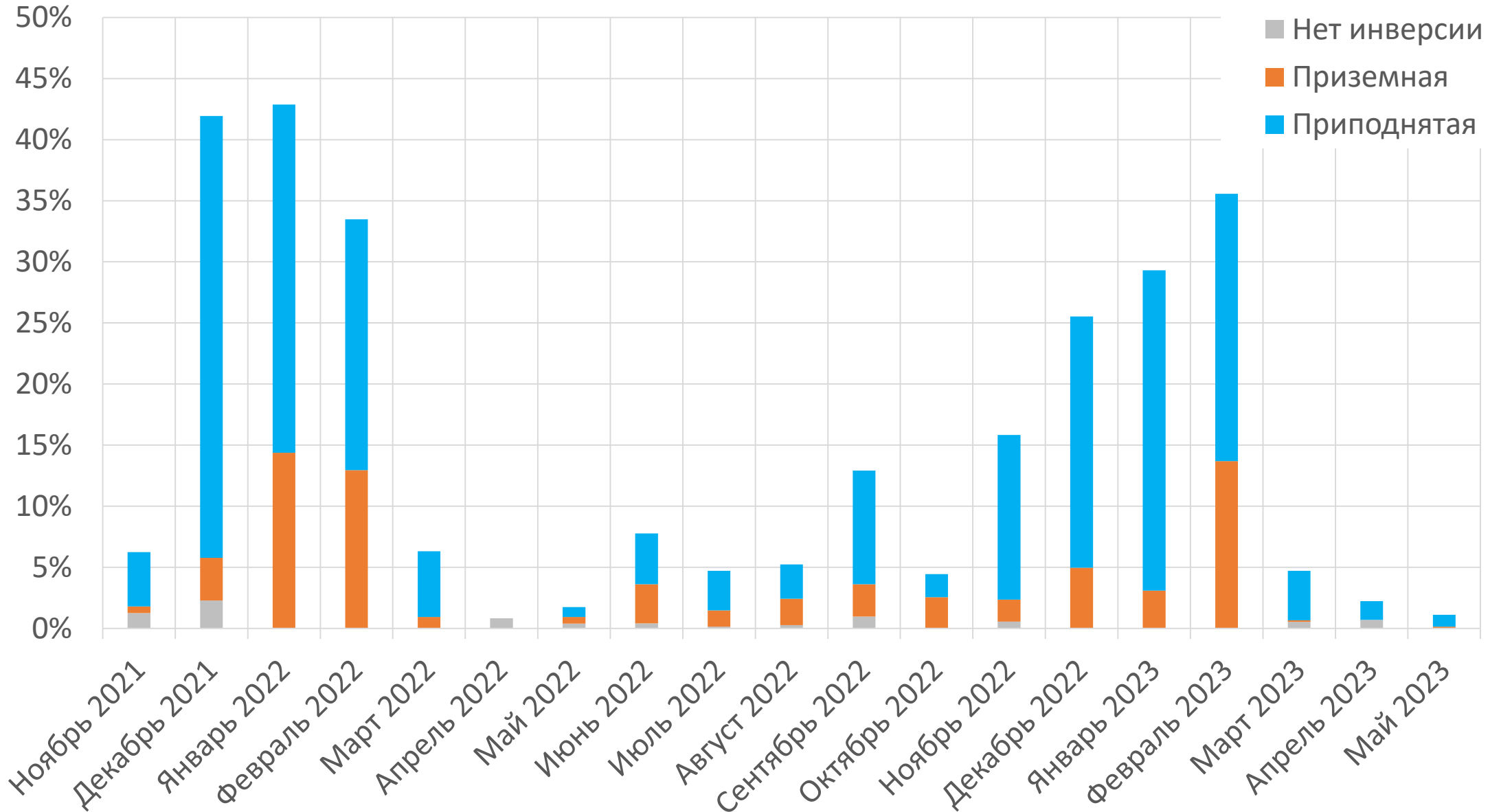


Температурные инверсии в Красноярске

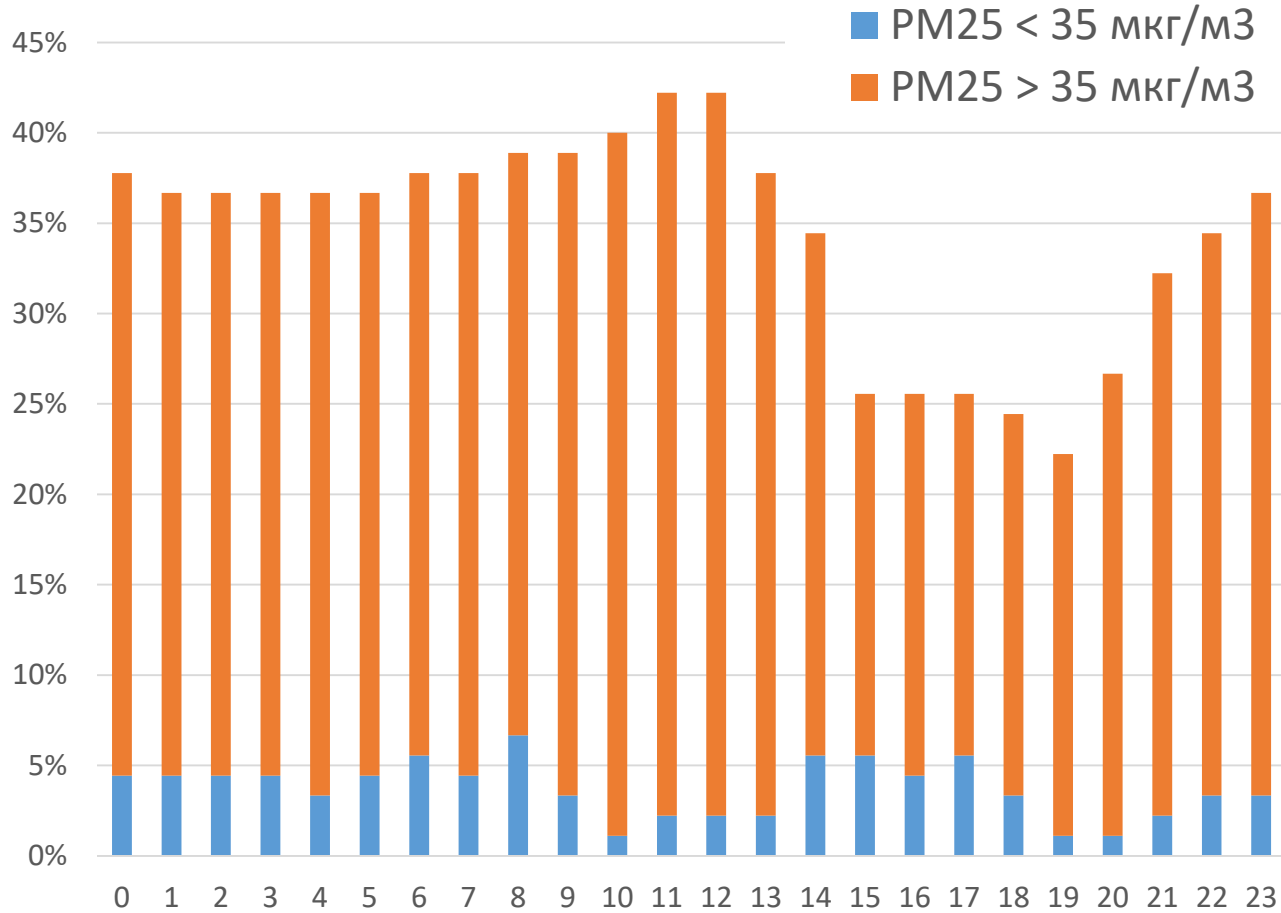


Повторяемость температурных инверсий (доля количества часов с инверсиями) и их типы

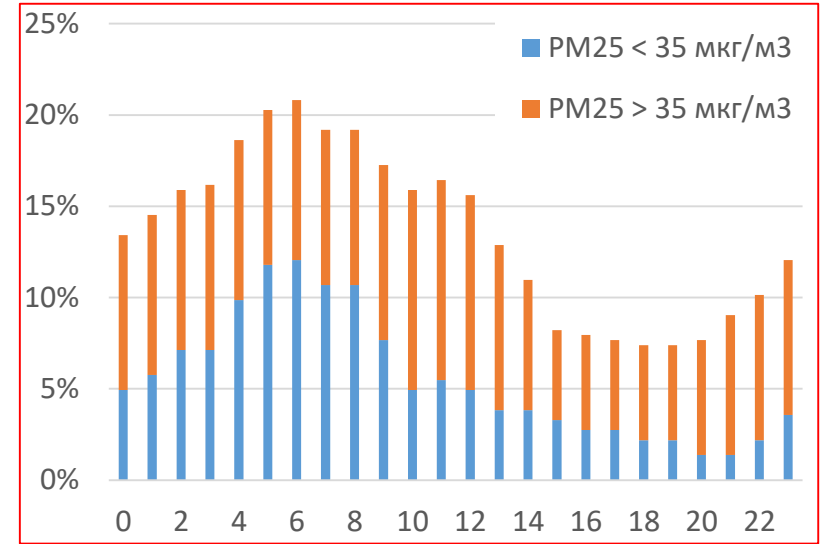
Повторяемость туманов за весь период наблюдений. Зависимость от температурной инверсии (по данным профилемера МТР-5)



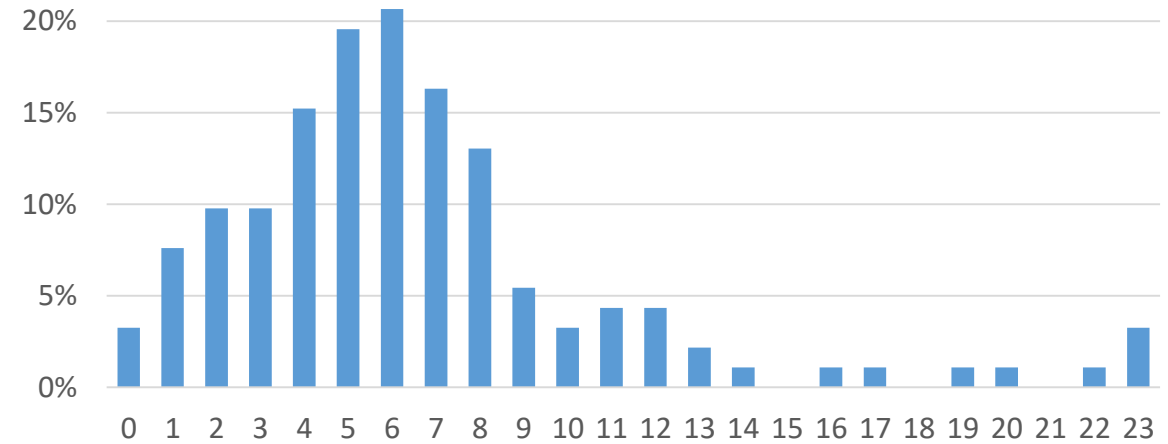
Суточный ход значений повторяемости туманов в 2022 году



В зимние месяцы

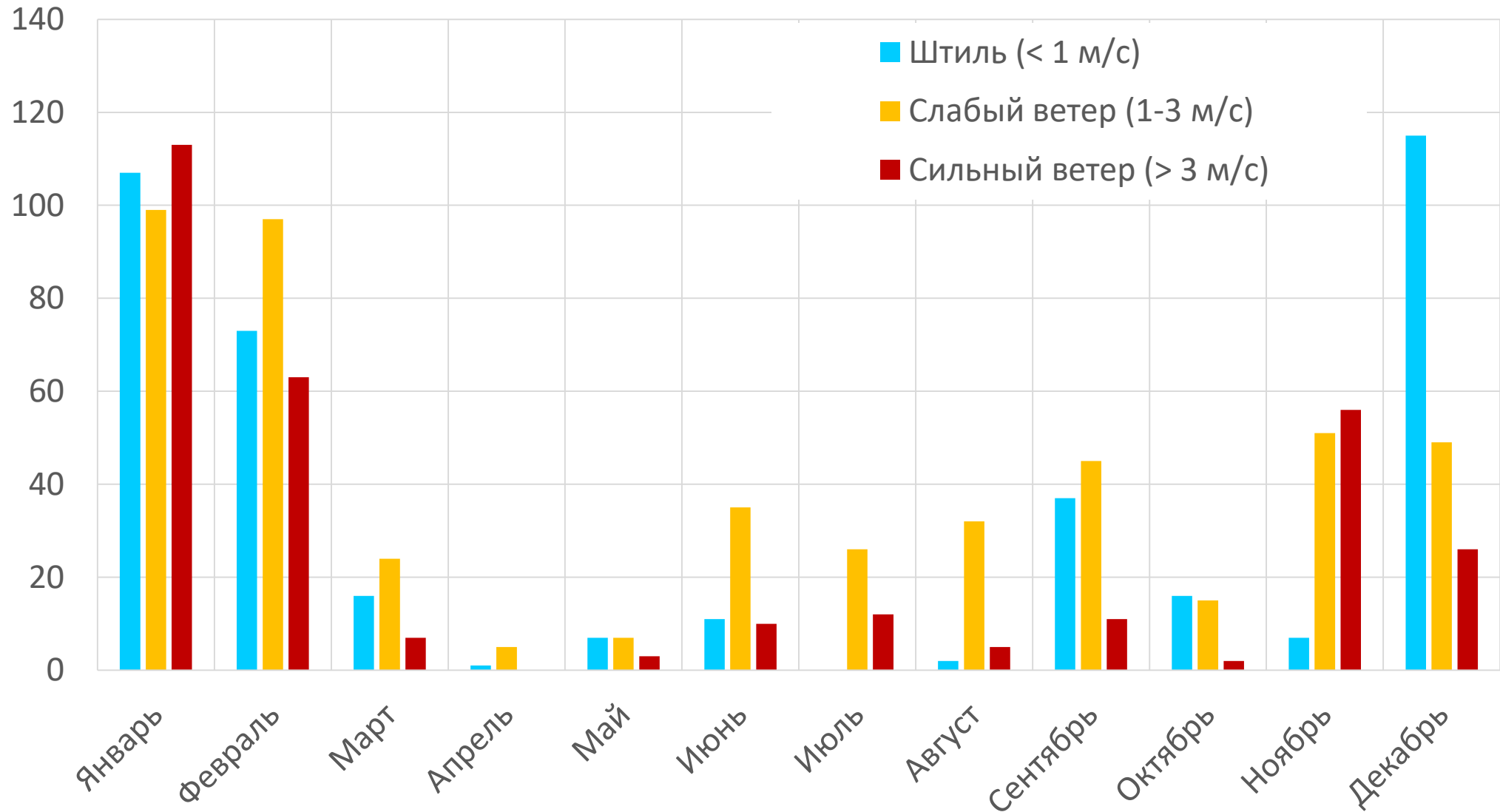


в среднем за год



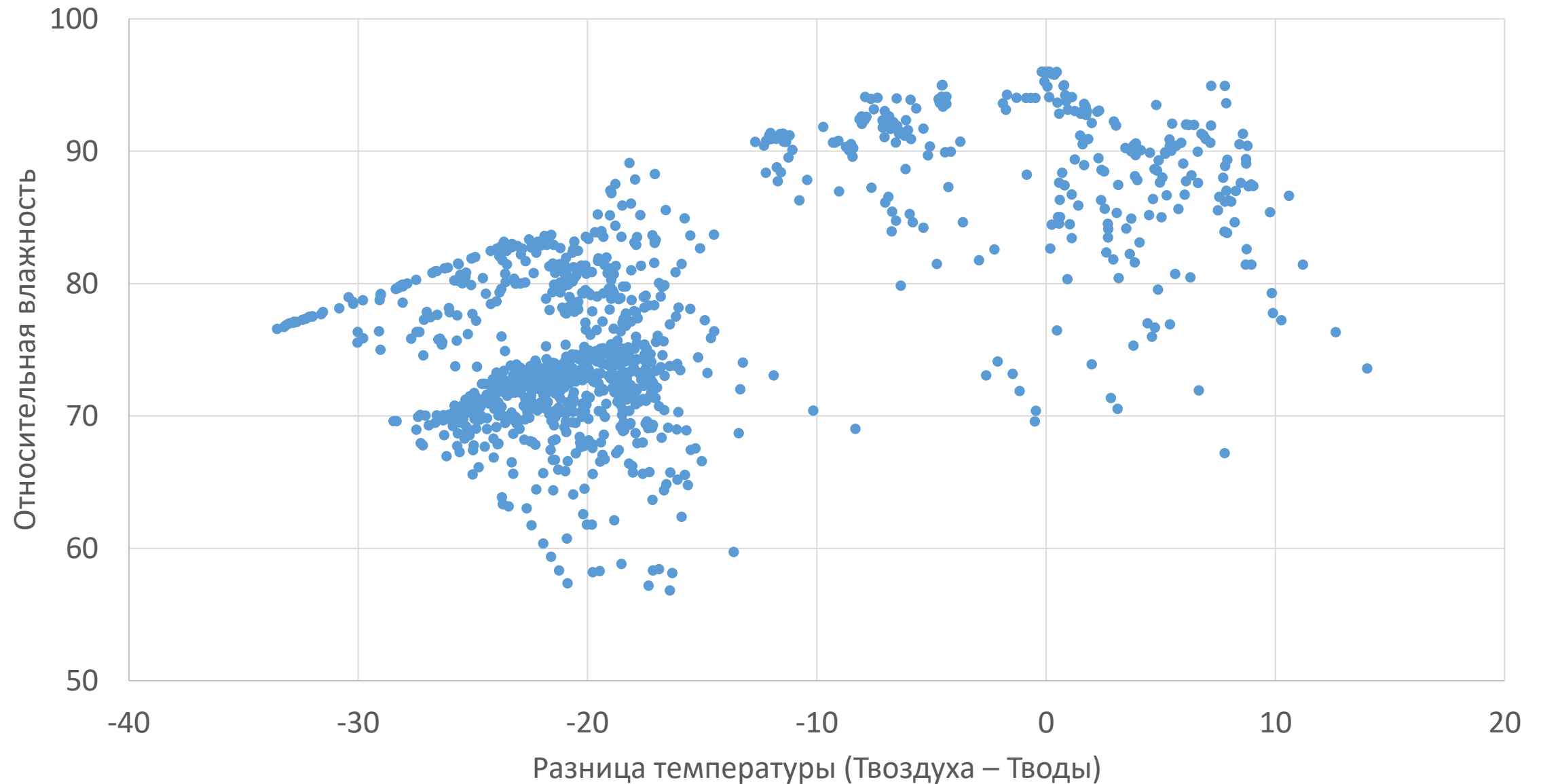
В летние месяцы

Помесячное количество часов с туманами в 2022 году при различной средней скорости ветра в соответствующие периоды времени



Характеристики метеоусловий в периоды образования туманов.

Относительная влажность в зависимости от разности температур ($T_{\text{воздуха}} - T_{\text{воды}}$) в 2022 году



Основные закономерности образования туманов над руслом реки Енисей

1. Практически необходимым **условием образования облаков (туманов) парения** является температурная инверсия. По данным мониторинга в 97% случаев туманообразования имело место температурная инверсия, в том числе доля приземной инверсии – 24%, приподнятой – 73%. Лишь в 3% случаев в момент образования туманов инверсии не было зафиксировано.
2. **В зимние месяцы интенсивность температурной инверсии** при образовании облаков (туманов) парения – **высокая ($>1^{\circ}\text{C}$) и чаще всего – очень высокая ($>5^{\circ}\text{C}$).**
3. По результатам анализа данных по относительной влажности воздуха и разнице температур на границе вода/воздух в периоды возникновения облаков (туманов) парения хорошо выделяются два предельных случая:
 - зимой: образование облаков (туманов) парения происходит при разнице температур ($T_{\text{воздуха}} - T_{\text{воды}}$) порядка $15-25^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 65 – 85%.
 - летом: образование облаков (туманов) парения происходит при разнице температур ($T_{\text{воздуха}} - T_{\text{воды}}$) от 0 до 10°C и относительной влажности 80 – 95%.
4. В зимние месяцы **наблюдается корреляция образования туманов с высоким уровнем концентраций $\text{PM}_{2.5}$** – в периоды туманов превышение среднесуточного ПДК (35 мкг/м^3) составило 94%. Летом в периоды образования туманов воздух был практически чистым.
5. Обнаружен интересный результат: **скорость ветра не оказывает заметного влияния на образование туманов**. Не наблюдалось увеличение численности туманов при штиле по сравнению с периодами сильного ветра ($>3 \text{ м/с}$).
6. **Обнаружено существенное различие в суточном ходе значений повторяемости туманов** – если в летние месяцы образование туманов имело место в основном с 1 ночи до 8 утра, то зимой, при отрицательных температурах, особой зависимости от времени суток не наблюдалось, имело место лишь небольшое уменьшение повторяемости в послеобеденные часы с 15:00 до 20:00 (Рис. 94, 95).

Спасибо за внимание!

