



**SAINT PETERSBURG  
MINING UNIVERSITY**

Department of Geoecology

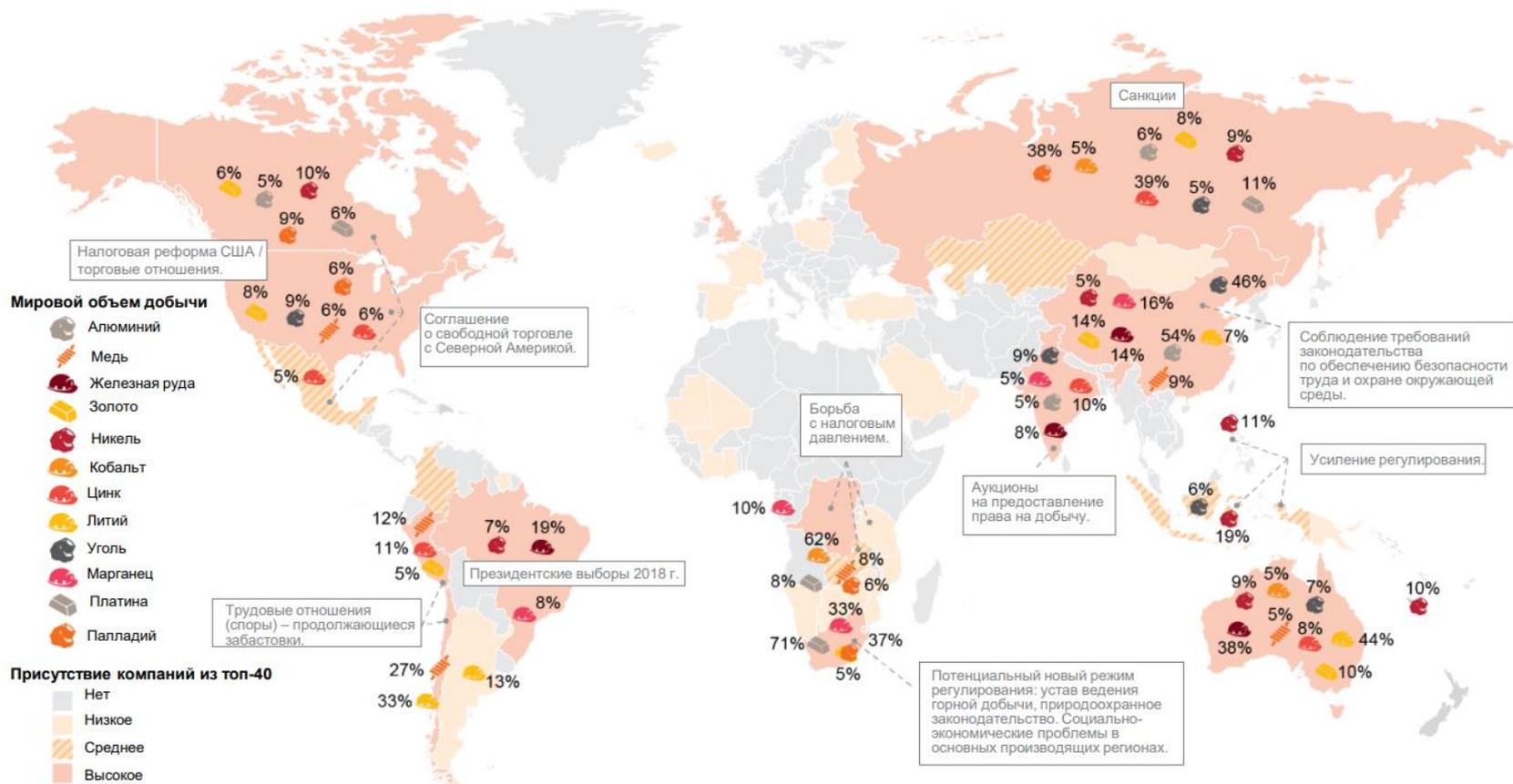


# Применение дистанционных технологий для мониторинга складирования ТКО

Данилов А.С., н.с. ЦКП Горного университета

Казань  
12.09.2019

# Производство основных сырьевых товаров



Источник: Геологическая служба США, Всемирный банк, аналитическое агентство BMI Research, анализ PwC

# Динамика основных рисков



Источник: анализ РвС и годовые отчеты компаний из списка топ-40

# Передвижная лаборатория экологического мониторинга (ПЭЛ)



## Решаемые задачи

оперативный контроль состояния атмосферного воздуха;

отбор и химический анализ проб различного генезиса;

оперативный контроль физико-механических свойств почв и грунтов;

геофизический контроль состояния приповерхностных отложений



- может обладать статусом независимой лаборатории
- может использоваться как стационарный пост наблюдений
- ограниченный штат сотрудников



- большие капиталовложения
- ограниченная проходимость
- узкая специализация конкретных лабораторий

# Спутниковое зондирование Земли



## Назначение

Получение цифровых данных дистанционного зондирования Земли для их использования при решении геоинформационных задач, в том числе для образовательных, научно-исследовательских и прикладных

## Возможности

Прием информации, передаваемой с низкоорбитальных природно-ресурсных искусственных спутников Земли в диапазоне 8ГГц со скоростью до 170Мбит/с в одном канале. Станция позволяет вести приём данных со спутников Aqua, Terra, SPOT-4, EROS A в режиме прямого доступа

# Передвижной лидарный комплекс



Характеристика	Значение
Диапазон сканирования: <ul style="list-style-type: none"><li>• по углу места</li><li>• по азимуту</li></ul>	<b>10...90 град</b> <b>-180...180 град</b>
Число приемных каналов	<b>3</b>
Количество одновременно измеряемых газов	<b>38</b>

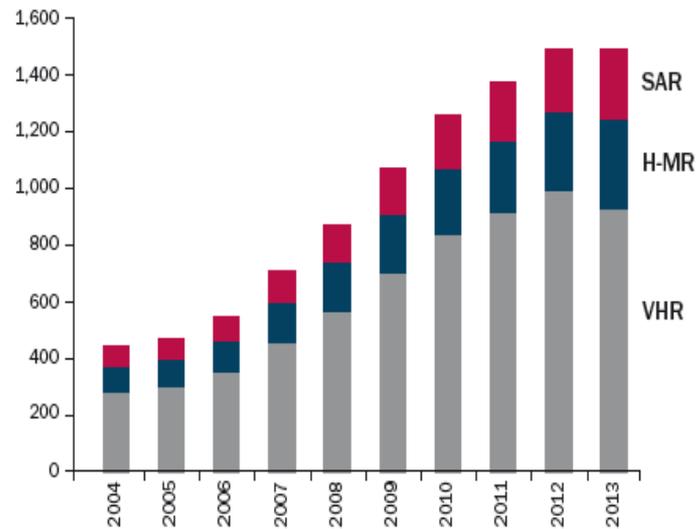
## Назначение

Лидарная станция предназначена для дистанционного контроля аэрозольных и газовых загрязнений атмосферы, для исследования процессов выбросов и переноса загрязнений в атмосфере в промышленных центрах и других регионах, где возможны загрязняющие выбросы. Лидарная станция позволяет дистанционным образом за короткое время обнаружить источники загрязняющих выбросов, идентифицировать загрязняющее вещество и оценить мощность выбросов.

## Возможности

Лидарный комплекс на базе автофургона Volkswagen Crafter предназначен для зондирования концентрации атмосферного аэрозоля, оценки размеров частиц и проведения мониторинга аэрозольного загрязнения в больших городах и промышленных районах. Система может измерять одновременно концентрации до 33 газов и 38 атмосферных примесей.

# Продажи коммерческих данных наблюдения Земли: оптические и радарные данные



Разрешение на местности (оптические данные)

VHR	Сверхвысокое разрешение	≤ 1 метр
H-VHR	Высокое – среднее разрешение	≈ 1 метр

Общий объем рынка: 1,5 млрд долларов США

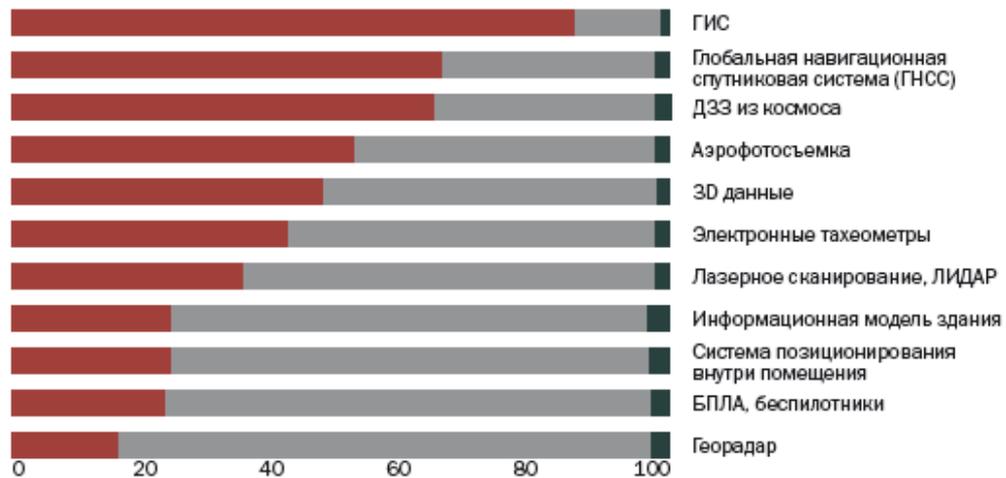


# Глобальные тенденции применения технологий с использованием геопространственных данных (2015)

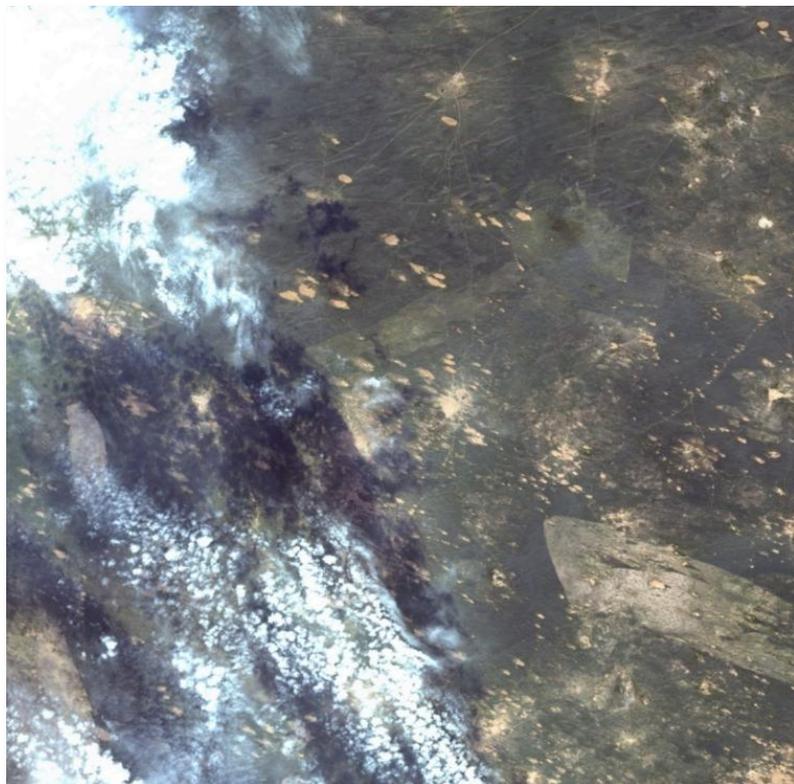
## ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

- ГИС — технология № 1, за которой по популярности использования следуют ГНСС, ДЗЗ и аэрофотосъемка
- Технология лазерного сканирования имеет большой процент использования, за ней следует технология BIM
- Определение местоположения и топографическая съемка стимулируют использование ГНСС
- Технологии BIM и 3D активно интегрируются с геопространственными данными
- Позиционирование внутри помещения набирает обороты
- Ожидаются локальные регулятивные нормы, проекты по использованию БПЛА еще не запущены в работу

Мировые тенденции использования геопространственных технологий



# Данные ДЗЗ полученные с помощью спутников



- **Преимущества:**
  - С помощью космического аппарата (КА), охватывается широкий диапазон спектров, в том числе инфракрасный, в пределах от 0.07 до 2.1 мкм.
  - Размер матрицы на съемочной аппаратуре КА позволяет уместить большую площадь на одном снимке.
- **Недостатки:**
  - Данные ДЗЗ, полученные с КА, характеризуются большой степенью зависимости от прозрачности атмосферы.
  - Невозможность получить данные ДЗЗ на строго обозначенные даты.
  - Малое пространственное разрешение (30 см/Пикс и более).

# Данные ДЗЗ полученные с беспилотных комплексов



- **Преимущества:**
  - Возможность проведения съемки в любых атмосферных условиях.
  - Высокая точность геопривязки (до 10 см в плане и по высоте).
  - Высокое пространственное разрешение (до 2-х см/Пикс).
- **Недостатки:**
  - Необходимость проведения полевых работ.
  - Захват небольшой площади с высоты полета БВС.

# Сравнение стоимости данных ДЗЗ полученных различными способами

Данные ДЗЗ полученные с помощью КА:

- Стоимость 1 снимка 60x60 км – 100 000 р.
- Пространственное разрешение  $\geq 30$  см/Пикс
- Точность привязки на местности  $\approx 10$  м



Данные ДЗЗ полученные с БВС :

- Стоимость съемки площадью 60x60 км – 120 000 р.
- Пространственное разрешение  $\geq 25$  см/Пикс
- Точность привязки на местности  $\approx 1$  м

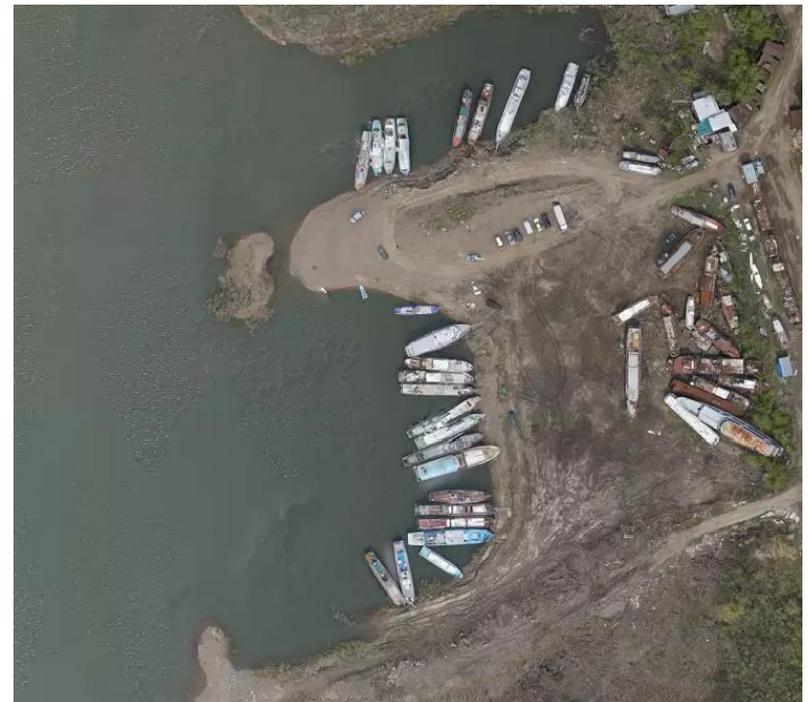


Данные АФС позволяют получить детализацию снимков на порядок лучше, по сравнению с космическими данными:

**Космосъёмка (WorldView-2, 2012)**



**Съёмка с БВС (2014)**



Слева фрагмент сцены, снятый с БПЛА,  
справа – с КА

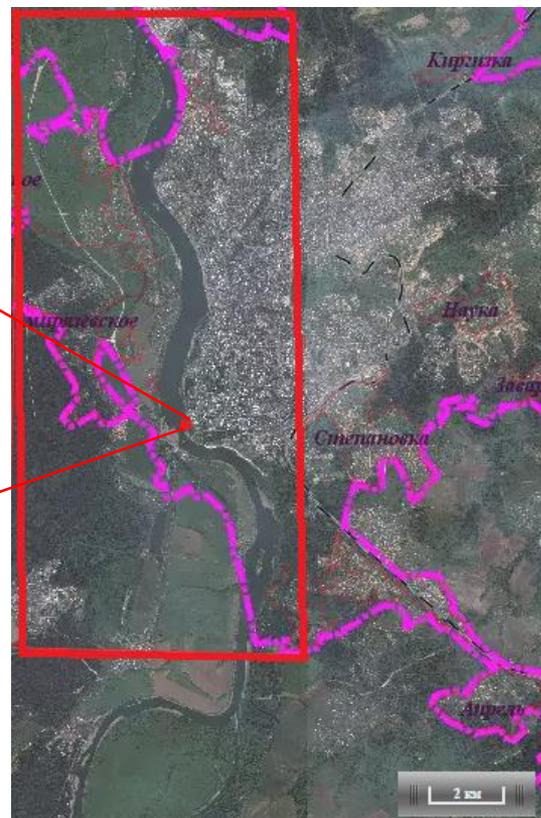


Однако размер кадра КА на несколько порядков больше размера кадра БПЛА

Типичный размер кадра БПЛА  
(~100×100 м)



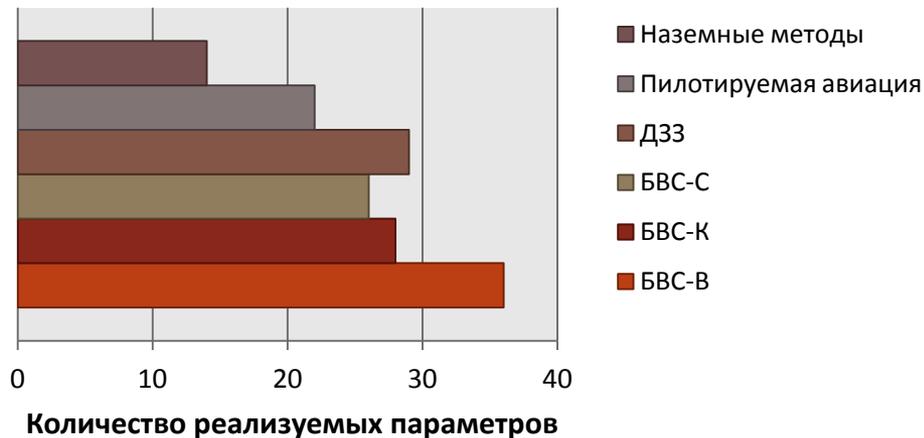
Половина кадра WorldView-2  
(~17,5×8,75 км)



# Оценка применимости дистанционных методов

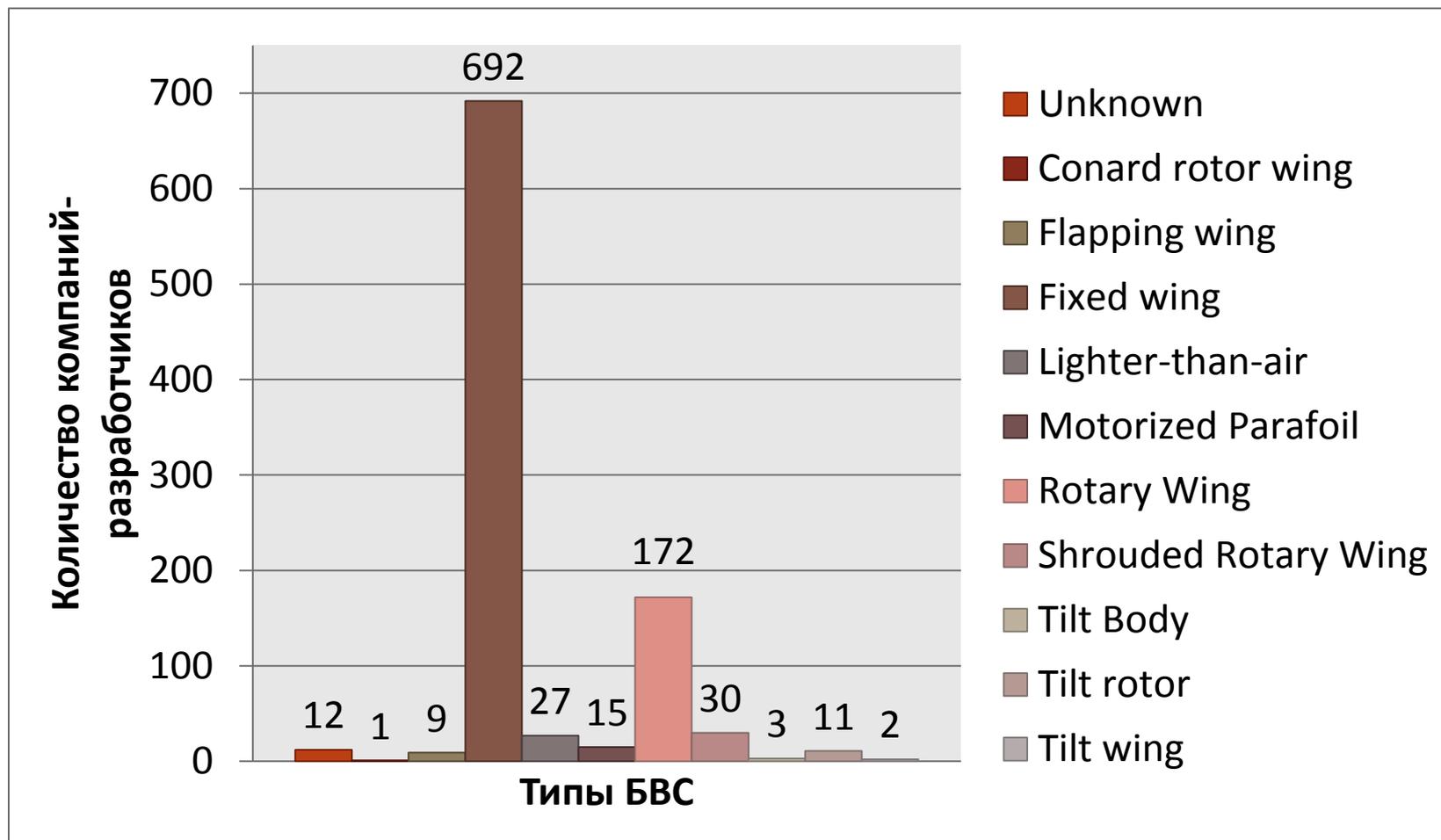
Наименование параметра	Пилотируемая авиация	Наземные методы	ДЗЗ	БВС (К-тип)	БВС (С-тип)	БВС (В-тип)
Оперативность	1	4	1-5	5	5	5
Продолжительность	5	2	2-5	2	5	5
Всепогодность	2-3	2	2	3	3	4
Себестоимость	1	4	1-4	4	4	5
Требуемая инфраструктура	1	4	5	5	3	5
Трудоемкость	1-3	3	4	5	5	5
Производительность	5	3	5	2	5	5

## Сравнение по параметрам (max=40)



В ходе оценки применимости дистанционных методов при решении задач экологического мониторинга, применялся алгоритм экспертно-бального ранжирования Штейнгауза

# Анализ рынка БВС

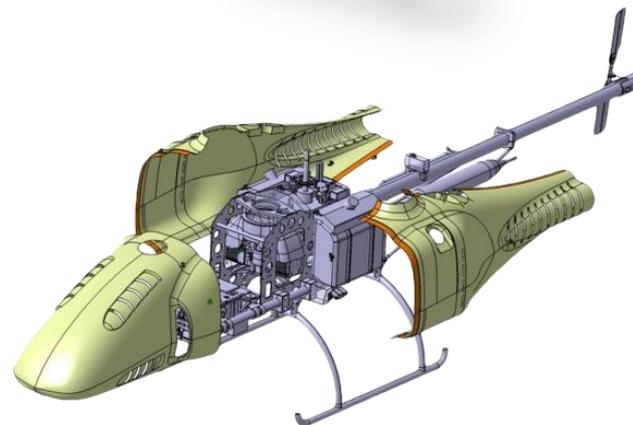


В коммерческом сегменте рынка РФ работают не менее 58 отечественных производителей. Большинство компаний выпускает продукцию двойного назначения. Производителями с наибольшим числом коммерческих моделей БВС в портфеле являются Zala Aero Group, ООО «Беспилотные системы» и «Истринский экспериментальный механический завод».

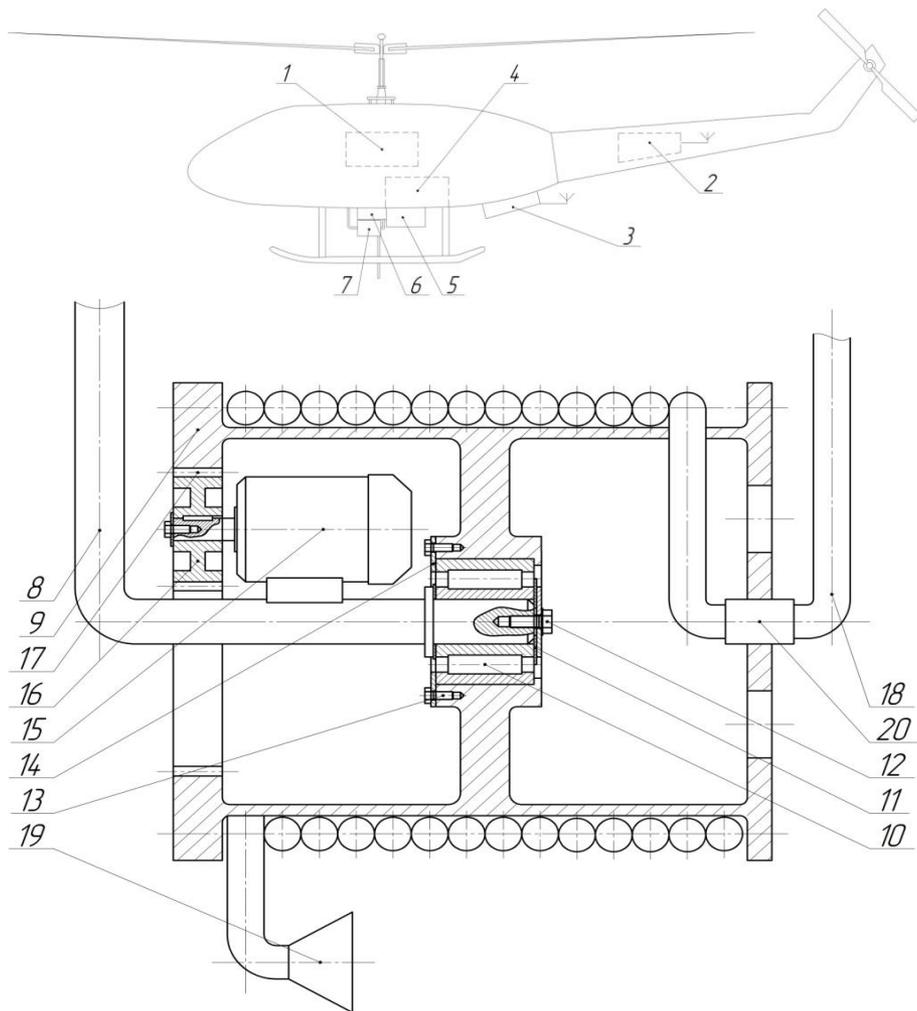
# БВС вертолетного типа

Характеристика	Значение
Взлетная масса, кг	34
Масса полезной нагрузки, кг	9
Радиус действия, км	20
Максимальная высота полета, м	1200
Время автономной работы, ч	1,5
Скорость полета, км/ч	0...70
Средства навигации	GPS/ГЛОНАСС

Измеряемый компонент	Диапазон концентраций
Оксид углерода (CO)	0–200 мг/м <sup>3</sup>
Оксид азота (NO)	0–50 мг/м <sup>3</sup>
Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	0–20 мг/м <sup>3</sup>
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	0–100 мг/м <sup>3</sup>
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	0–100 мг/м <sup>3</sup>
Аэрозоль	0,01-100 мг/м <sup>3</sup>



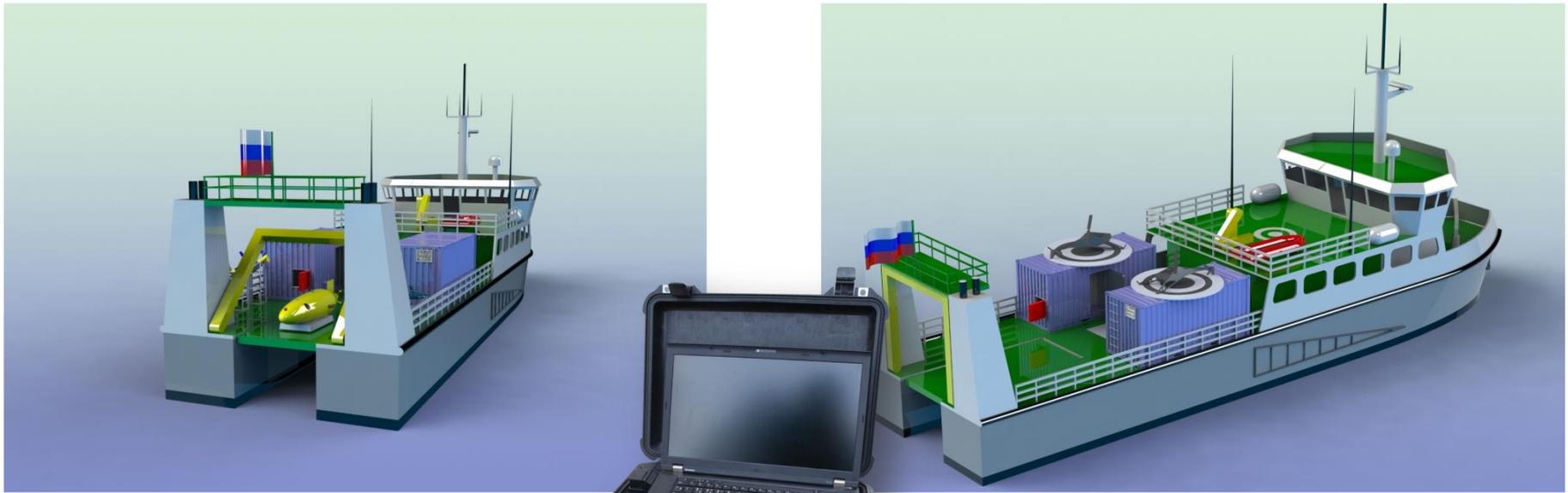
# Разработка спускаемого пробоотборного устройства



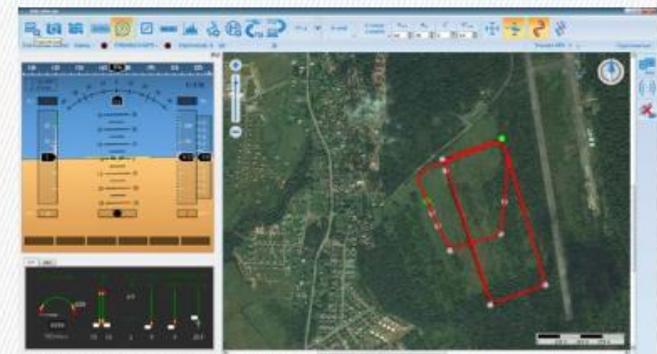
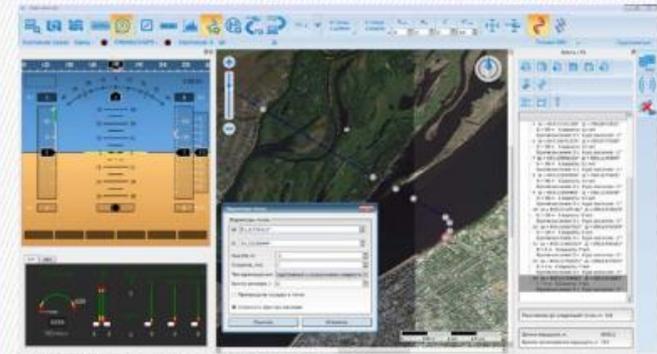
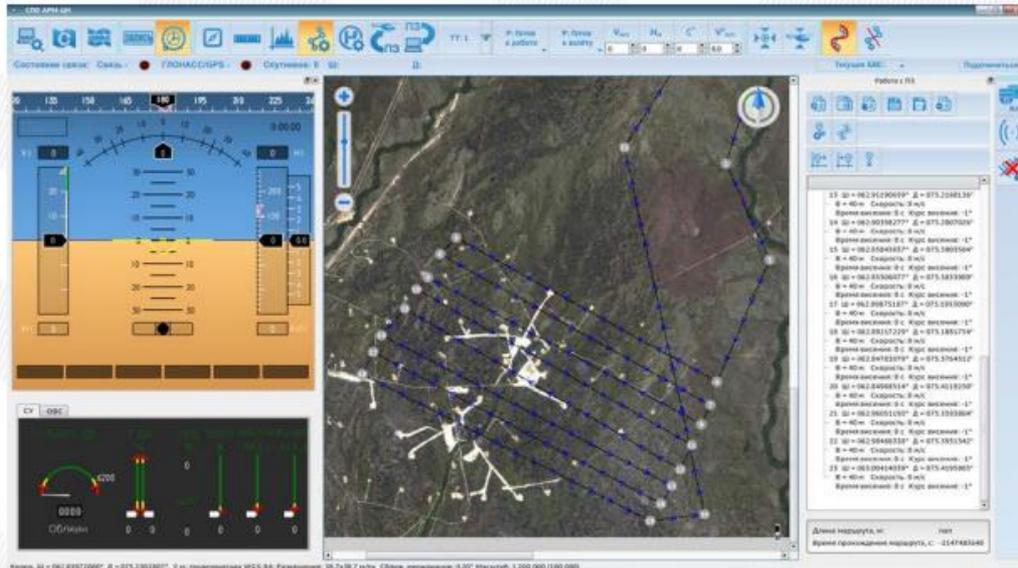
7 - разработанный блок спускаемого пробоотборника;  
8 - монтажная металлическая штанга крепления блока;  
15 – электродвигатель;  
18- полимерный шланг круглого сечения;  
19 - внешний зонд спускаемого пробоотборного устройства;  
20 – штуцер.



# Система управления

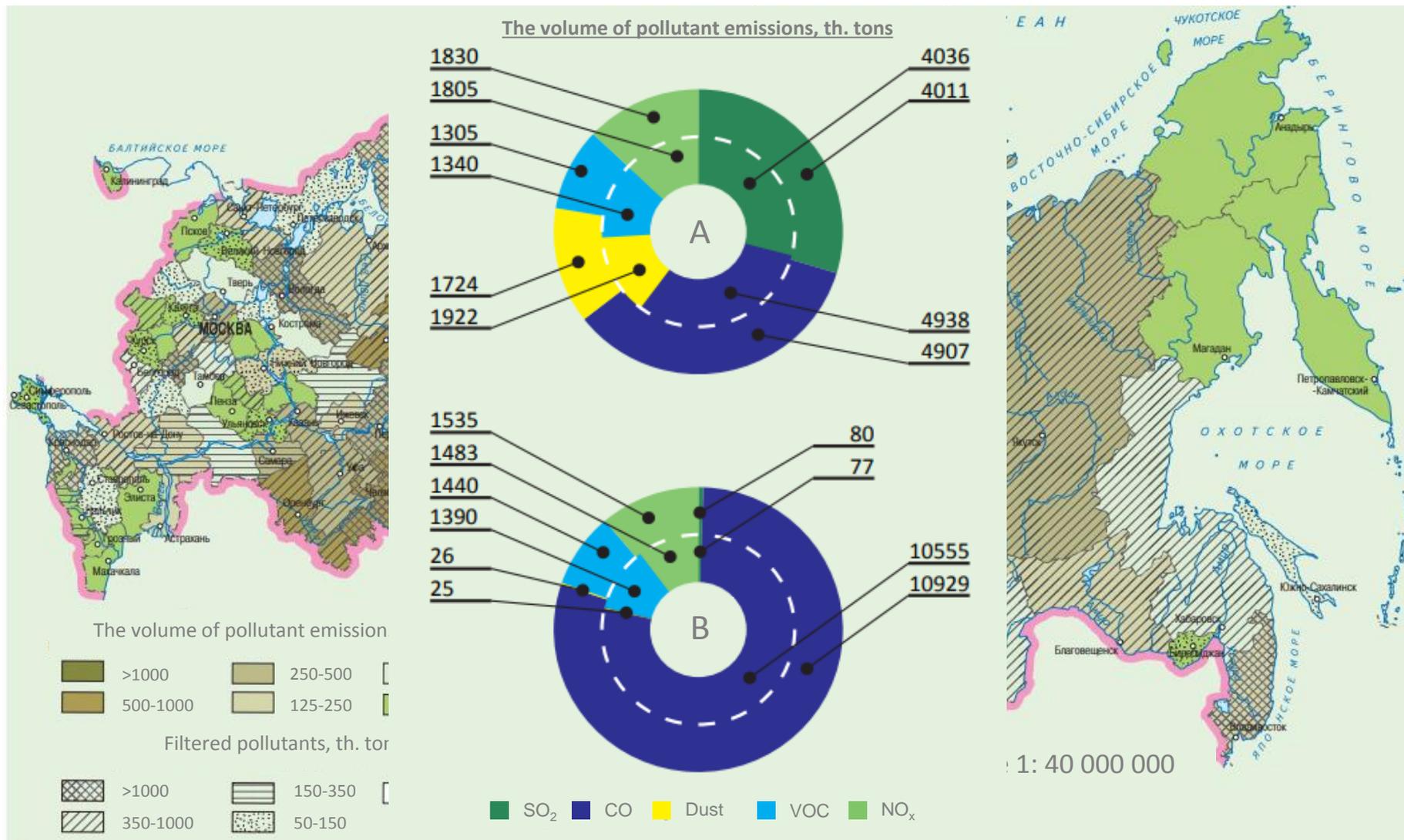


# Комплекс подготовки полетных заданий



- Автоматизированное формирование маршрута полета БВС
- Построение пространственной (трёхмерной) модели местности района работ
- Отображение структуры воздушного пространства в районе выполнения полетов БВС
- Моделирование полёта с учетом сформированной пространственной модели местности

# Загрязнение атмосферного воздуха в РФ



# Южноуральская горнопромышленная агломерация



СМОГ

# Южноуральская горнопромышленная агломерация



Эндогенные пожары

# Южноуральская горнопромышленная агломерация



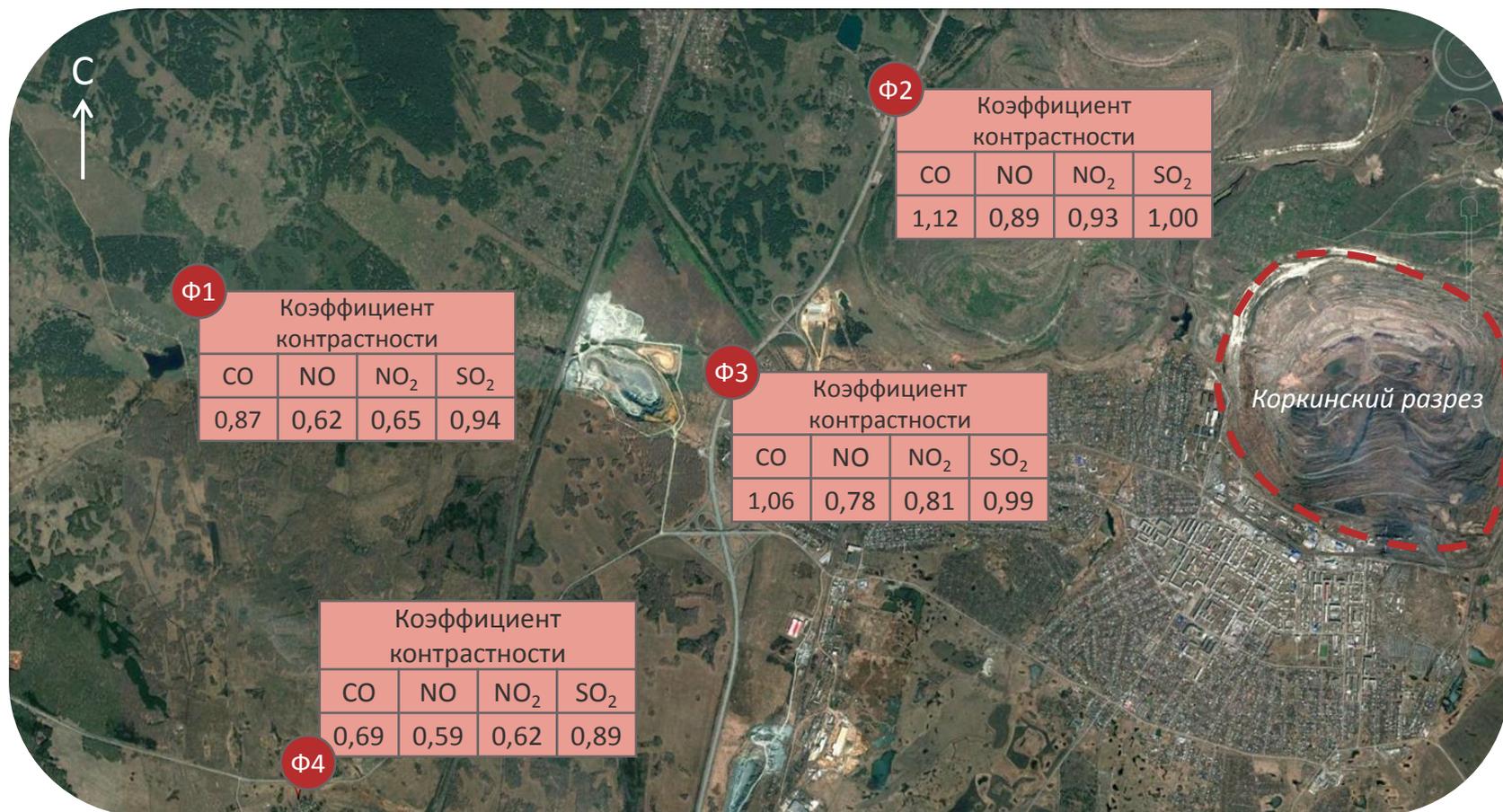
Загрязнение  
атмосферного воздуха

# Южноуральская горнопромышленная агломерация



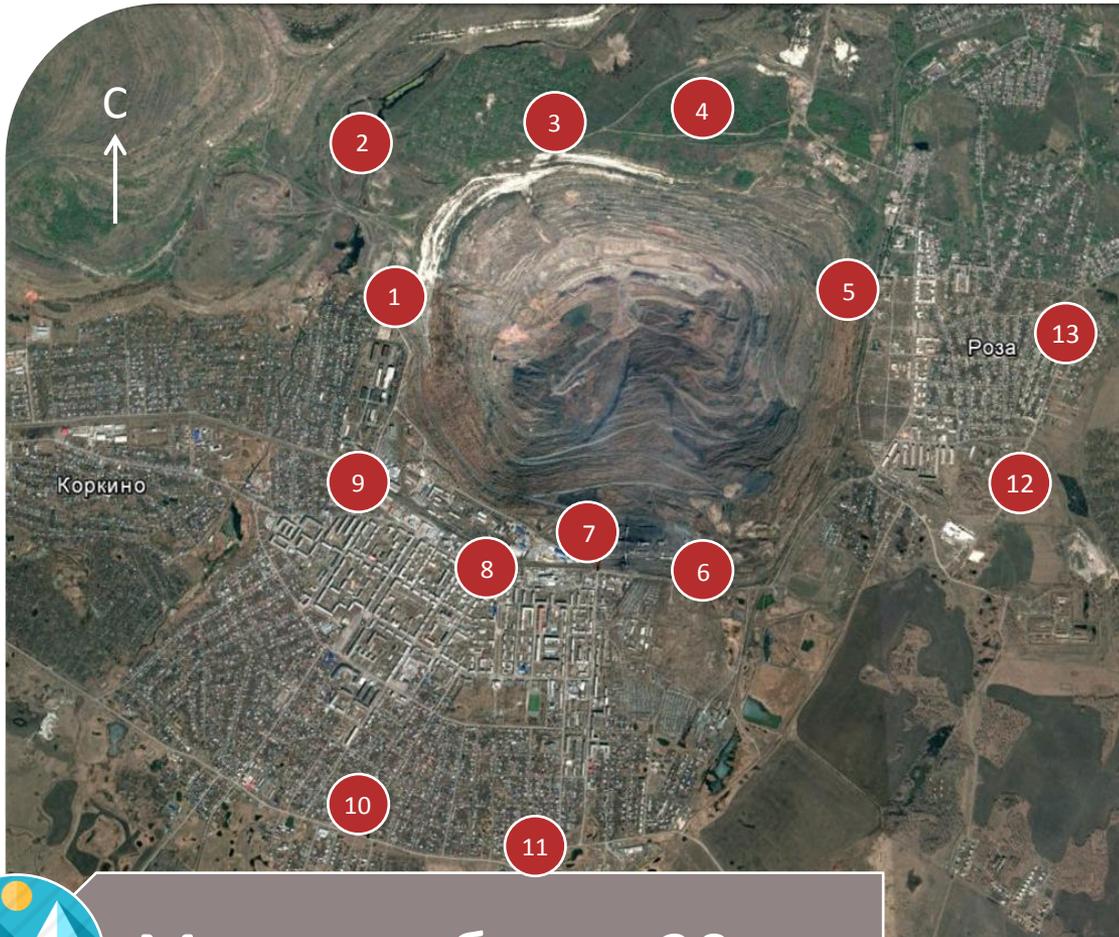
## Оползни и обвалы

# Фоновый мониторинг



*Схема расположения фоновых участков мониторинга атмосферного воздуха. Коэффициенты контрастности рассчитаны относительно среднесуточных предельно допустимых концентраций в соответствии с ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»*

# Оценка качества атмосферного воздуха



## Используемое оборудование

Газоанализатор (ПОЛАР-2)

Газоанализатор (ГАНК-4)

Пылемер (DustTrack TSI)

Метеостанция (DAVIS)

GPS-трекер



Маршрут более 20 км

*Схема расположения маршрутных постов мониторинга атмосферного воздуха, разработанная в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов»*

# Этапы работ. Технология использования БВС

**АФС**

Автоматическая  
аэрофотосъемка с БВС

**Photoscan**

Автоматическая  
обработка данных

Текстурированная 3D-модель

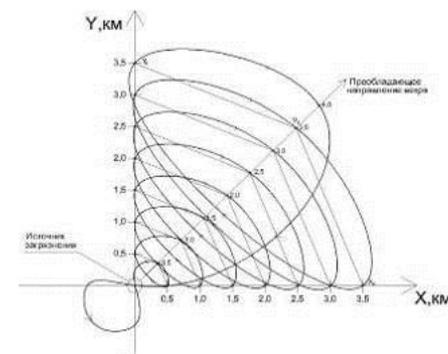
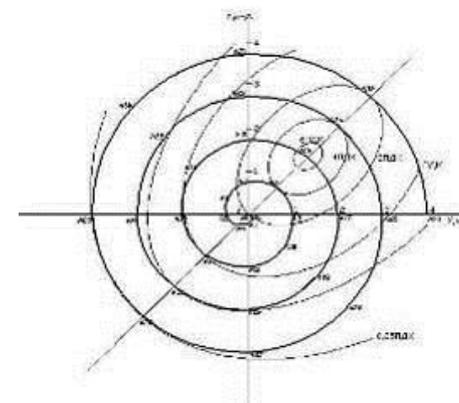
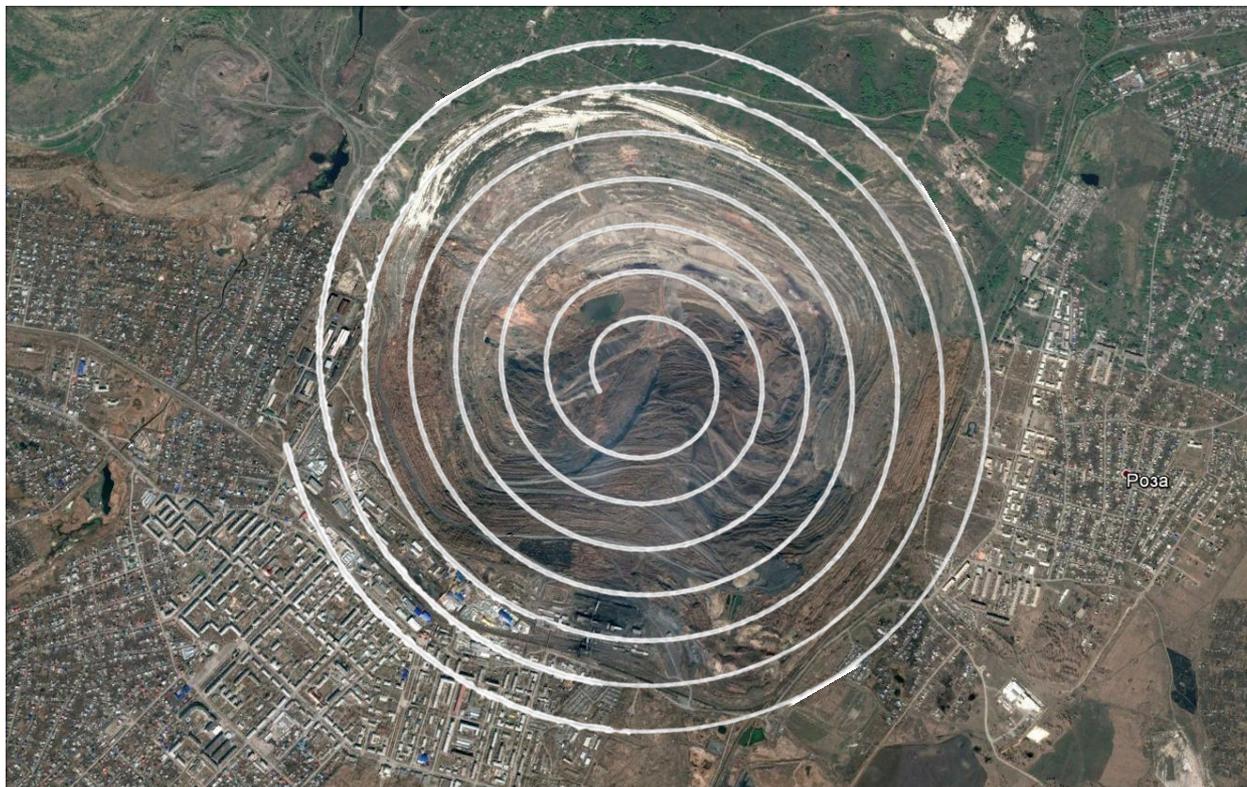
Ортофотоплан

Матрица высот

**ГИС Спутник**

Визуализация и анализ

# Разработка программы мониторинга

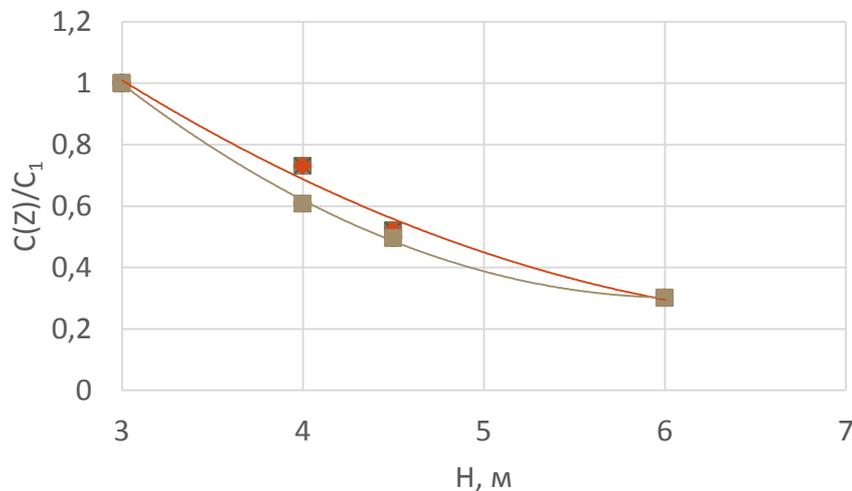


- Схема определения вклада загрязняющих веществ по преобладающему направлению ветра на различных высотных горизонтах в общем загрязнении атмосферного воздуха от выбранного источника загрязнения по максимальной длине полета БВС.
- Оптимальная высота проведения измерений: 50 – 100 м.
- Частота проведения полетов БВС: при наступлении НМУ или 1 раз в 8-10 дней.

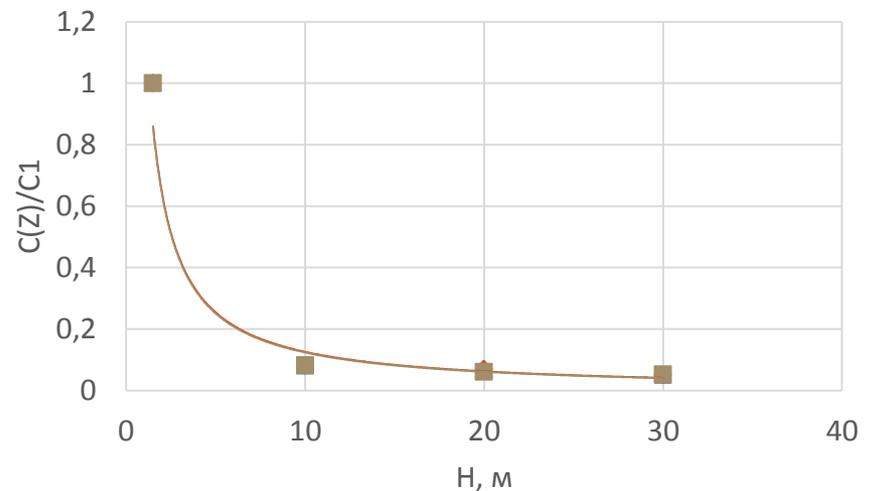
# Математический аппарат

$$C(z) = \frac{C_1}{\left[1 + V^2 \cdot \frac{\overline{\omega_g}}{g} \cdot \psi(z)\right]^{1/V^2}} \longrightarrow \frac{C(z)}{C_1} = \left[1 + A \cdot b \cdot \ln\left(\frac{z}{z_1}\right)\right]^{-1/V^2}$$

- $w_g$  – средняя по спектру скорость осаждения;
- $V$  – коэффициент вариации скорости осаждения;
- $\psi(z)$  – универсальная функция теории подобия, описывающая распределение с высотой параметров воздуха.

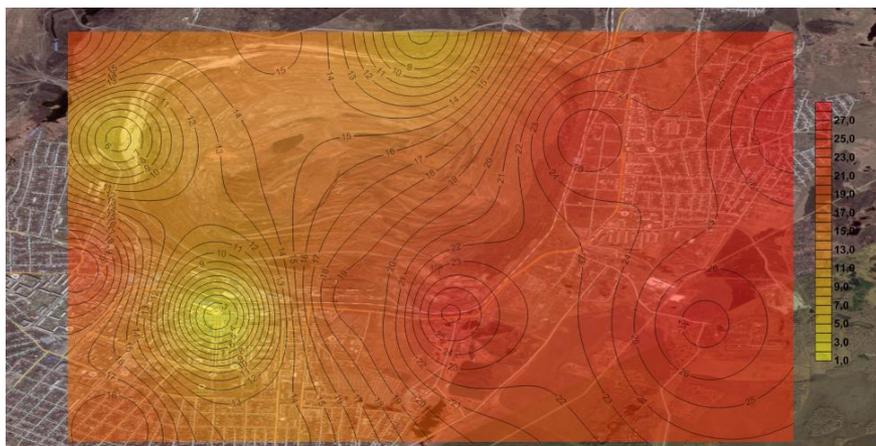


Оценка применимости принятой математической модели в приземном слое атмосферы (на примере CO)

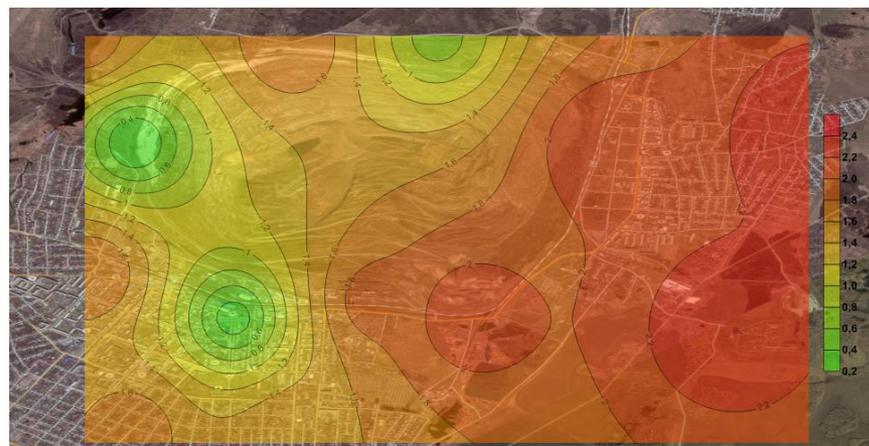


Оценка применимости принятой математической модели с применением БВС (на примере CO)

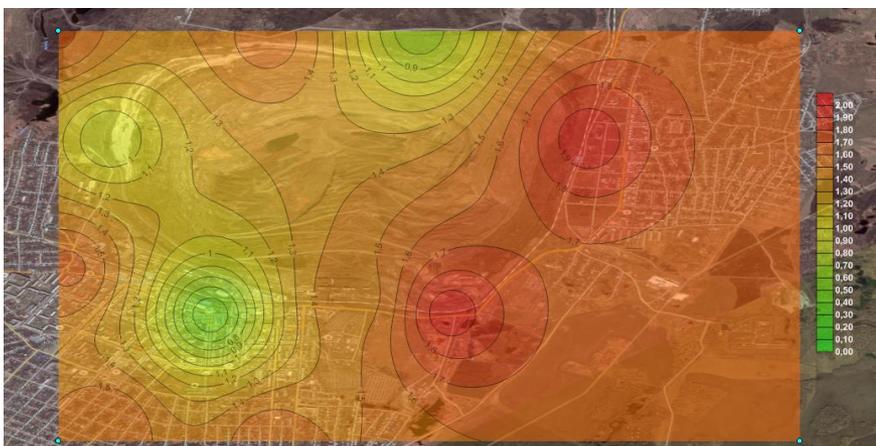
# Выявленные атмосфернохимические аномалии



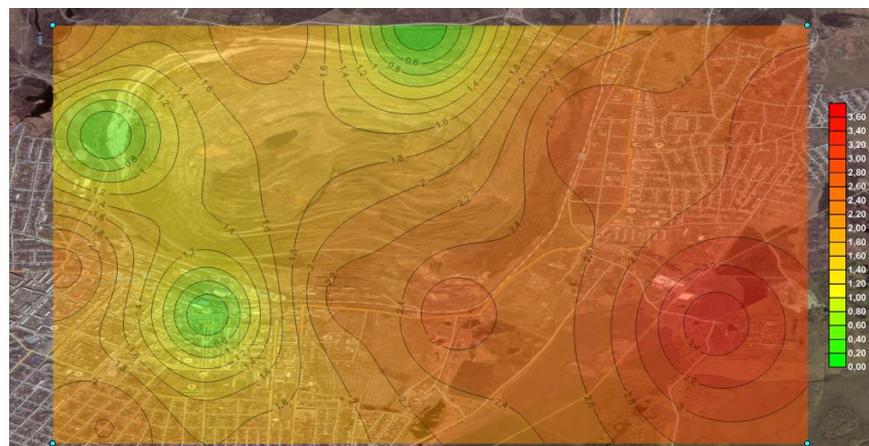
Атмосфернохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода ( $\text{CO}$ )



Атмосфернохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом азота ( $\text{NO}_2$ )

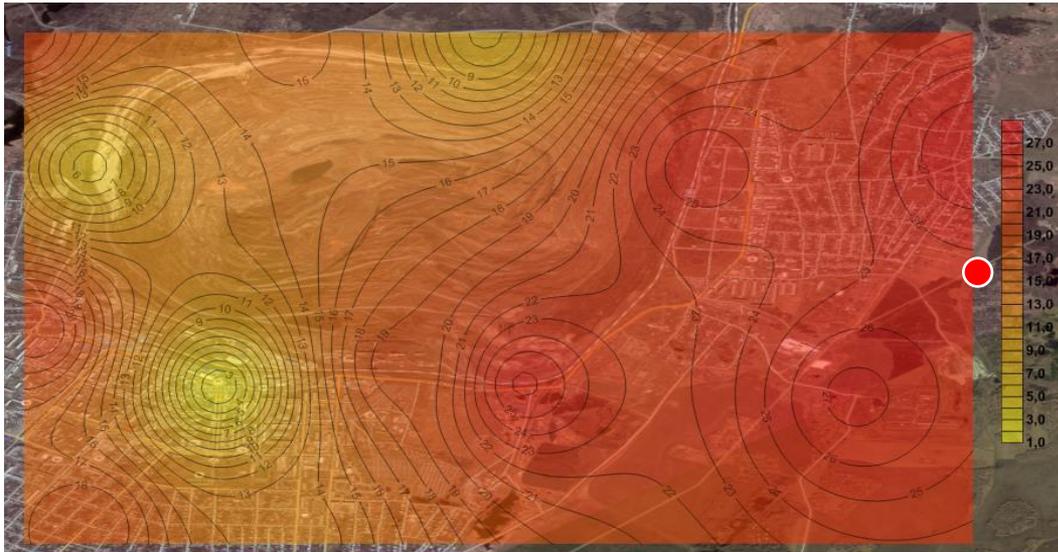


Атмосфернохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы веществами, входящими в группу неполной суммаций (диоксид серы + диоксид азота)

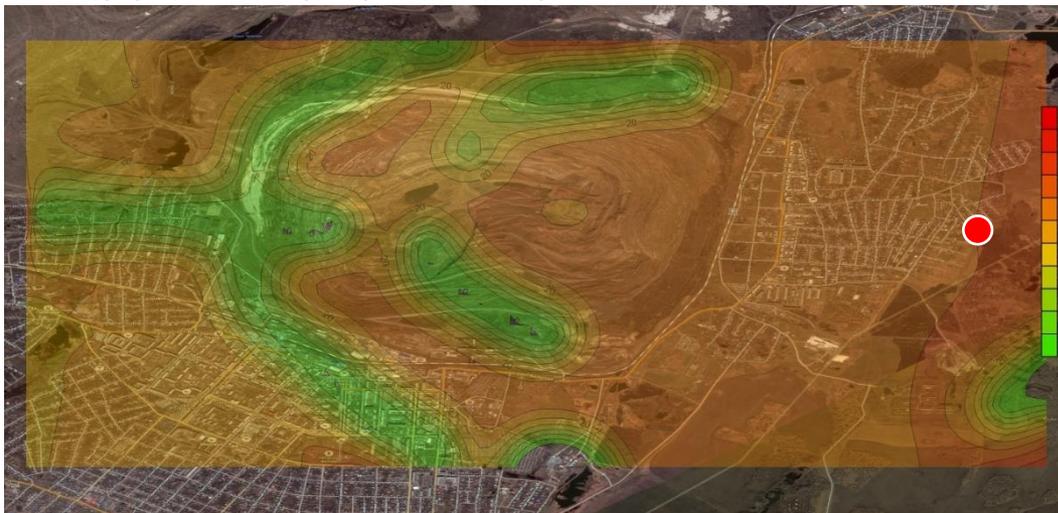


Атмосфернохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы веществами, входящими в группу суммаций (диоксид серы + сероводород)

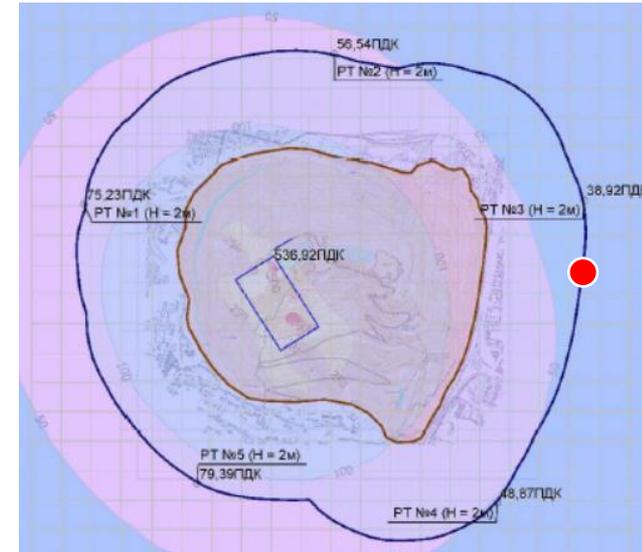
# Сравнение результатов мониторинга наземными и дистанционными методами



Выявленный атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода (CO) с применением наземных методов



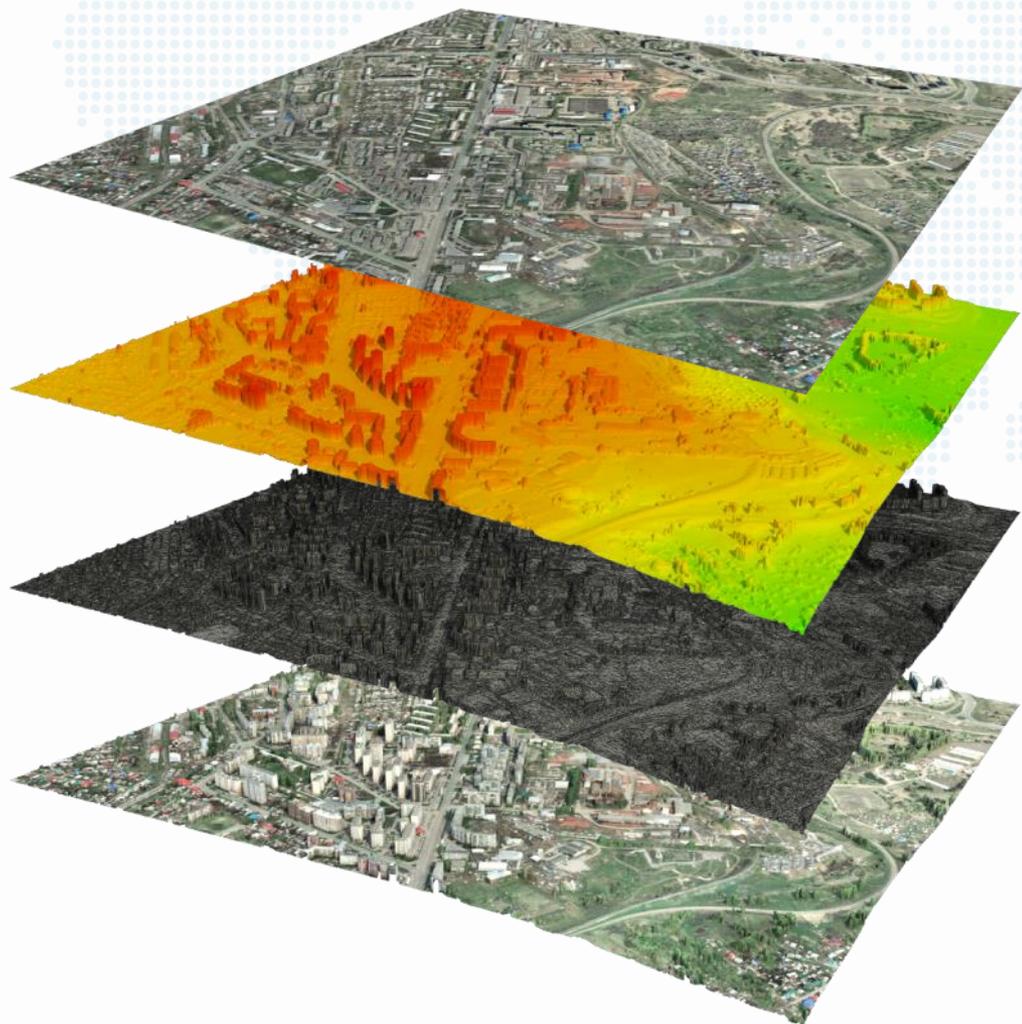
Выявленный атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода (CO) с применением БВС



Расчетная карта распространения атмохимического ореола загрязнения приземного слоя оксидом углерода (CO)

Выявленные преимущества использования мониторингового комплекса на базе БВС В-типа:

- Повышение оперативности проведения исследований.
- Снижение трудоемкости проведения исследований
- Уменьшение стоимости проведения исследований.



## Выходные данные:

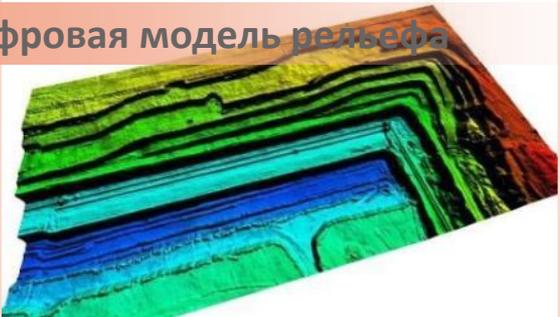
- ▶ Ортофотоплан
- ▶ Цифровая матрица высот
- ▶ Трехмерная модель
- ▶ Текстурированная трехмерная модель

# Маркшейдерия

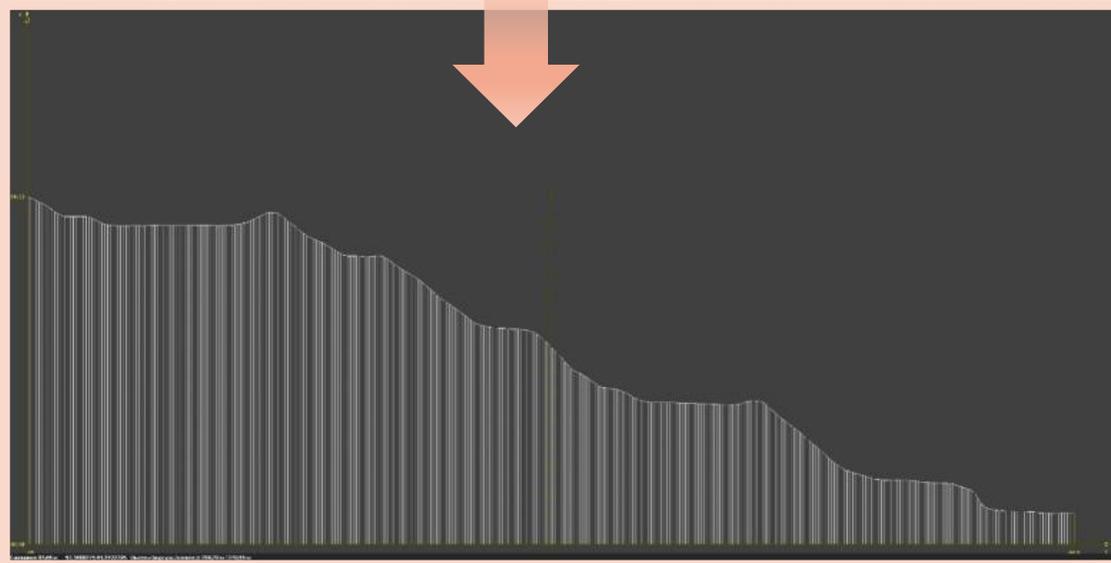
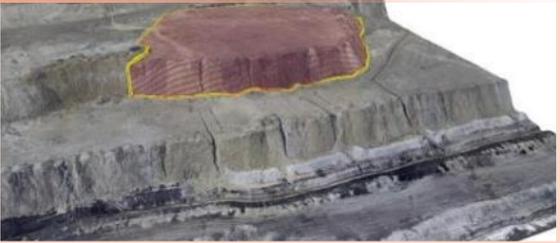
Ортофотоплан



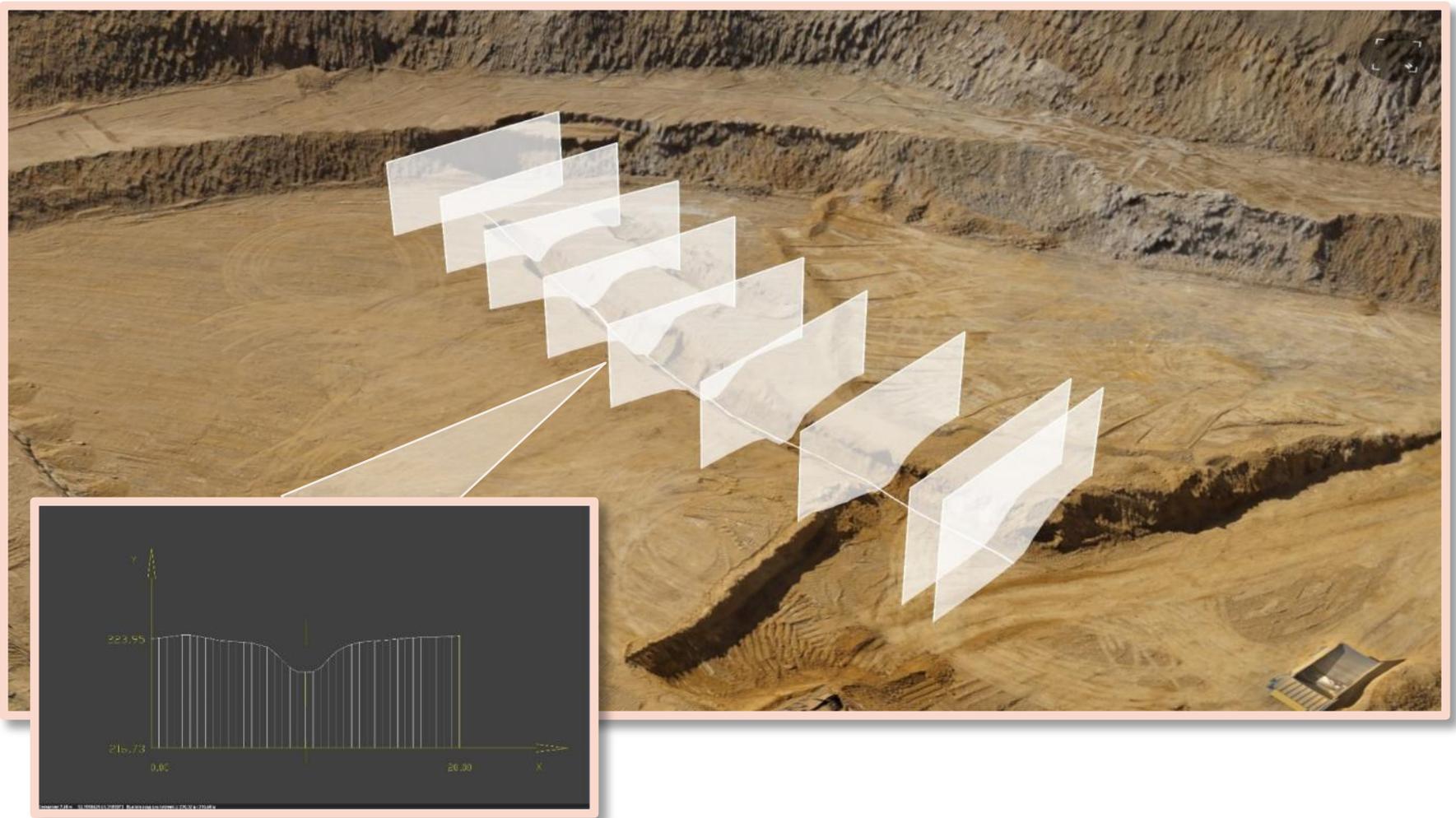
Цифровая модель рельефа



Определение объема



# Создание поперечных профилей



Спасибо за внимание

СКР@spmi.ru