

Охрана воздушной среды

Пять продуктов промышленного экологического мониторинга:
от прибора на площадке до цифрового двойника атмосферы города

Кластер «Технологии защиты природы»

М.В. Иванов, д.т.н., руководитель кластера · mivanov@bmstu.ru



ВЫБРОСЫ СТОЯТ ДЕНЕГ, ДАЖЕ ПОКА ИХ НИКТО НЕ ВИДИТ



Плата и штрафы растут

Сверхнормативный выброс оплачивается с повышающими коэффициентами платы за НВОС. По ст. 8.21 КоАП РФ — штрафы вплоть до приостановки деятельности.



Надзор ужесточается

Квотирование выбросов в городах «Чистого воздуха» и требования ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» предполагают непрерывный инструментальный контроль.



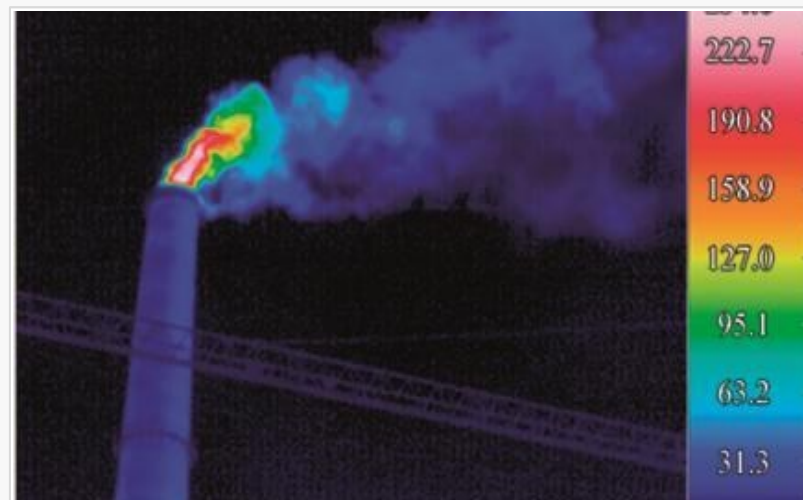
Жалобы без ответа

Без собственных измерений предприятию нечем доказать, что источник запаха или превышения — не оно. Спор с надзором и населением идёт вслепую.



Импорт недоступен

Bruker, LI-COR, Gasmeter и другие производители ушли с рынка. Парк измерительной техники стареет, а заменить его нечем.



Шлейф трубы в ИК: виден прибору, не глазу

Управлять можно только тем, что измеряешь

Пять продуктов МГТУ закрывают полный контур: обнаружить выброс, измерить, понять причину и управлять качеством воздуха.

ПЯТЬ ПРОДУКТОВ — ОДИН КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОМ

ОБНАРУЖИТЬ

ИЗМЕРИТЬ

ПОНЯТЬ

УПРАВЛЯТЬ

01



Визуализатор газов СГ

Дистанционно видит выброс: вещество, концентрация, направление — до 6 км, без отбора проб. Возможность изменения мощности выброса — Валидация и замена САКВ.

02



Посты «Палантир»

Непрерывная сеть постов: газы, пыль, метео и профиль атмосферы до 1 км — данные каждые 15–30 секунд

03



Газоанализатор NGAP

Измеряет потоки CO₂ и H₂O методом турбулентных пульсаций. Отечественная замена LI-COR

04



Мультиспектральная камера

16 спектральных каналов в одном кадре: состояние растительности, почв и территорий

05



ПАК «ЭкоМониторинг»

Цифровой двойник атмосферы: карта загрязнения, прогноз на 1–3 суток, поиск источника выброса



Каждый продукт работает отдельно — и все вместе

Данные визуализатора, постов, газоанализаторов и камеры сходятся в ПАК «ЭкоМониторинг» — предприятие получает одну достоверную картину воздуха вместо разрозненных протоколов.

ВЫБРОС ВИДЕН НА ЭКРАНЕ — ЗА СЕКУНДЫ, А НЕ ЧЕРЕЗ СУТКИ

Панорамный фурье-спектрометрический прибор СГ-4Б дистанционно обнаруживает и идентифицирует газы в открытой атмосфере: какое вещество, в какой концентрации и откуда идёт. Без отбора проб, лаборатории и выхода персонала к источнику.

6 км

дальность обнаружения источника

> 100

веществ в базе, включая смеси

1 с

время одного измерения

360°

круговой обзор за 1 минуту

30 %

Погрешность дистанционного измерения мощности выброса SO₂

20 мин / 24 / 7

Среднее время одного измерения мощности.

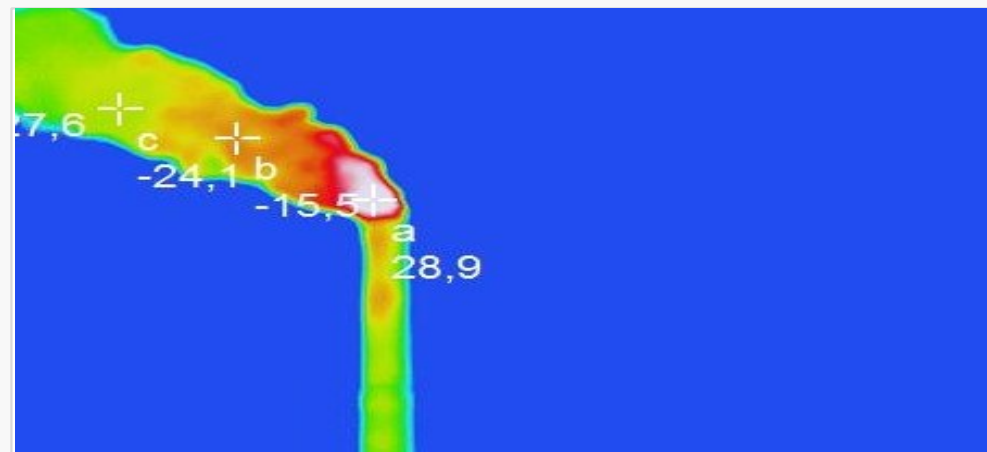
Постоянный режим работы

ЧТО ЭТО ДАЁТ ПРЕДПРИЯТИЮ

- Утечка метана или прорыв АХОВ виден в момент возникновения — с привязкой ко времени и направлению
- Разведка при инциденте с безопасной дистанции — до входа людей в зону
- Документированная доказательная база для ПЭК, надзора и споров
- Валидация САКВ. Дополнение САКВ



Испытания на «Норильском никеле», октябрь 2024



Экран оператора: облако вещества, концентрация, направление

ТРИ ИСПОЛНЕНИЯ ПОД РАЗНЫЕ ЗАДАЧИ ПЛОЩАДКИ

СГ-4Б · панорамный

Стационарный пост непрерывного контроля источников и границы санзоны

- 32 измерительных канала
- Круговой обзор 360° за 1 минуту
- Дальность до 6 км
- Арктическое исполнение, работа 24/7

СГ-2 · одноканальный

Наблюдение за выбранным источником, быстрое развёртывание на штативе

- Дальность до 6 км
- Определение дистанции до облака при работе в паре
- Выход в режим за 15 минут

СГ-5 · носимый

Обходы, разведка и выезд на инцидент — переносится одним человеком

- Дальность 250–800 м
- Работа от аккумулятора
- Портативная модификация СГ-4Б

КАК РАБОТАЕТ: ИК-ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ

01 Приём

Прибор пассивно принимает ИК-излучение облака и фона — подсветка не нужна, работает и ночью

02 Спектр

Интерферометр раскладывает излучение в спектр в диапазоне «отпечатков пальцев» молекул

03 Идентификация

Положение линий определяет вещество, глубина — концентрацию; смеси разбираются покомпонентно

04 Визуализация

Облако с границами и полем концентраций накладывается на видеокартинку оператору

ДОКАЗАНО СЛИЧЕНИЯМИ С ЭТАЛОНОМ И АРКТИКОЙ

СЛИЧЕНИЯ С BRUKER SIGIS-2 · ОКТЯБРЬ 2024

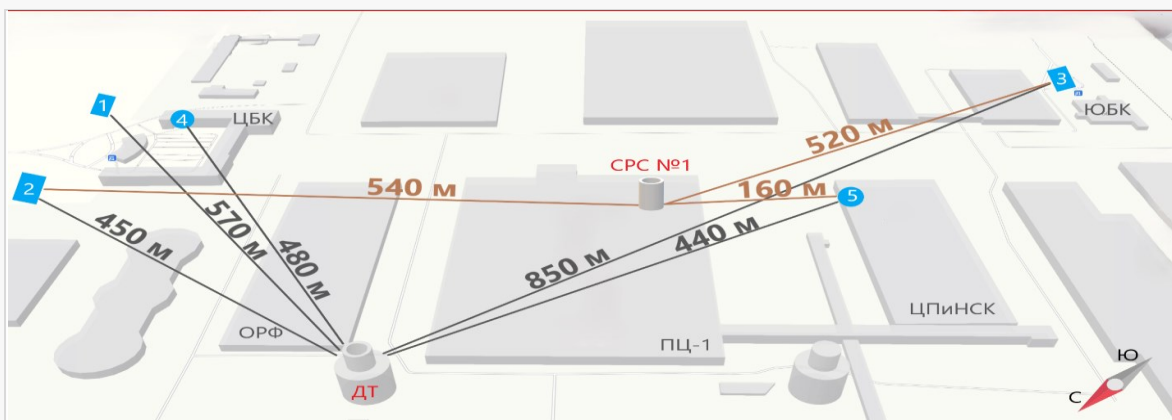
- Одновременные измерения SIGIS-2, СГ-2 и СГ-4Б при одинаковой мишенной обстановке и метеоусловиях
- Надёжное обнаружение тестовых газов и распознавание двух- и трёхкомпонентных смесей покомпонентно
- Паритет характеристик с эталонным импортным прибором, который сегодня недоступен к поставке в РФ

«НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ» · ОКТЯБРЬ 2024

540 м — дистанция измерения шлейфа дымовой трубы, **< 3 %** — погрешность дистанционных измерений лучшей модели. Работа в арктических условиях действующего металлургического производства.

НА ФОНЕ ДОСТУПНЫХ АНАЛОГОВ

	EXPEC 1900	OGI-камеры	СГ-4Б
Идентификация вещества	да	нет	да
Смеси покомпонентно	да	нет	да
Концентрация	да	нет	да
Дальность	5 км	десятки м	6 км
Цена	80 млн ₽	—	30 млн ₽



30 млн ₽ против 80 млн ₽

За бюджет одного импортного комплекса — два СГ-4Б и ещё 20 млн ₽ на монтаж, обучение и сервис. Прибор и разработчик — в России: рублёвый договор, поверка Росстандарта, сервис без пересечения границы.

«ПАЛАНТИР»: НЕПРЕРЫВНАЯ СЕТЬ КОНТРОЛЯ ВОЗДУХА

Программно-аппаратный комплекс мониторинга и прогнозирования экологической обстановки на городских и промышленных объектах. Сеть недорогих постов с высокой плотностью покрытия — вместо единичных дорогих станций.



Малогабаритный стационарный пост

Газоанализатор, пылемер, метеостанция и система жизнеобеспечения в термостатическом корпусе. Непрерывные измерения 2–4 раза в минуту



Передвижная станция (референтная)

Аналитика высокого класса точности на автомобиле или прицепе: калибровка сети и выезд на угрожаемые направления



Профилемер МТР-5

Профиль температуры до 1 км каждые 5 минут: прибор видит инверсии — условия накопления загрязнений



Модуль БПЛА

Измерение ветра, метеопараметров и газового состава до 1000 м; облёт очагов и факелов выбросов



Программная платформа

Единая платформа сбора и обработки: доступ по ролям, перенос данных во внешние системы, облако или локальный сервер



Математическое ядро

Химико-транспортные модели переноса примесей: прогноз обстановки и ретроспективный поиск источников



Стационарный пост



Прицепное исполнение: референтный пост



Фургон-лаборатория (опция)

от 2–3 млн ₽

стоимость поста (стационарный пост). Плотная сеть — высокое пространственное разрешение без пропуска значимых событий.

ЧТО ИЗМЕРЯЕТ СЕТЬ — ОТ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ДО 1 КМ

ГАЗЫ И ПЫЛЬ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

CO — оксид углерода

SO₂ — диоксид серы

NO — оксид азота

NO₂ — диоксид азота

O₃ — озон

NH₄ — аммиак

Взвешенные частицы: PM1.0, PM2.5, PM10 и общая пыль (TSP) — оптическим методом, с термopодготовкой и стабилизацией влажности пробы

МЕТЕОПАРАМЕТРЫ

- Температура, давление, влажность
- Направление и скорость ветра
- Синхронно с каждым измерением газов

ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ

- Профиль температуры до 1 км каждые 5 минут (МТР-5)
- Контроль инверсий — предвестников НМУ
- Работа при -60...+50 °C, автоматически

Непрерывность вместо разовых замеров: измерения 2–4 раза в минуту исключают пропуск значимых событий; относительная погрешность станций компенсируется плотностью сети и верификацией передвижной лабораторией.



Метеостанция поста

ДО 1 КМ

высота зондирования атмосферы: посты, БПЛА и профилемер видят не только приземный слой

ПОВЕРКА И МЕТРОЛОГИЯ

- Референсный комплекс проходит поверку в органах Росстандарта
- Стационарные посты калибруются на основании данных референсного поста
- Состав каналов расширяется под заказчика без ухудшения метрологических характеристик
- Данные пригодны для отчётности и споров

СЕРИЙНЫЙ ЗАВОД И НАУЧНАЯ КООПЕРАЦИЯ ЗА СПИНОЙ ПРОДУКТА



Калужский электромеханический завод (ГК «Ростех»)

Серийный производитель изделий комплекса: поставка, монтаж, пусконаладка, гарантийное и постгарантийное обслуживание



МГТУ им. Н.Э. Баумана

Главной разработчик программно-аппаратного комплекса и методик измерений



ЦАО Росгидромета

Научно-методический консультант: математические модели атмосферных процессов и переноса примесей



ООО «БЕР»

Системный интегратор и оператор развёртывания мобильных измерительных комплексов

ВСТРОЕН В ГОСУДАРСТВЕННУЮ ПОВЕСТКУ

- Разработка ведётся в рамках госпрограммы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности» и задач федерального проекта «Чистый воздух»
- Соответствует ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»; проект курируется Росприроднадзором — одним из потребителей данных
- Система не конкурирует с государственными сетями наблюдения, а сопрягается с ними в единое информационное пространство

Кому нужен «Палантир»

- Промышленные предприятия — контроль собственных выбросов и границы СЗЗ
- Города и регионы — сеть наблюдения за качеством воздуха, «Чистый воздух»
- Экологические службы — оперативные данные и прогноз для решений

NGAP: ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ БЕЗ LI-COR

Недисперсионный ИК-газоанализатор для измерения потоков CO_2 и H_2O методом ковариации турбулентных пульсаций — ключевой прибор карбоновых полигонов, климатических проектов и экологического мониторинга. Полностью отечественная разработка и производство.

10 Гц

частота измерений — как у эталона отрасли

0,20 ppm

чувствительность по CO_2

−40...+60 °C

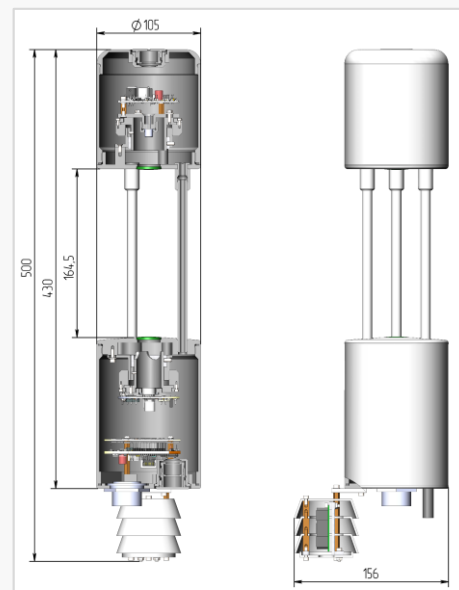
рабочий диапазон, включая высокую влажность

3 кг

масса прибора во внелабораторном исполнении

ЗАЧЕМ ОН ПРЕДПРИЯТИЮ И НАУКЕ

- Углеродная отчётность и климатические проекты требуют измеренных, а не расчётных потоков CO_2
- Прямой аналог LI-COR LI-7500A, недоступного к поставке; чувствительность не уступает эталону
- Непрерывные измерения зимой и в дождь — там, где открытая оптика импортных приборов деградирует
- Совместимость с Eddy Pro.



Газоанализатор NGAP-1



Пост на полигоне «Камшиловка»

ИСПЫТАНО В ПОЛЕ

Корреляция потоков CO_2 с LI-7500A — **0,90** по результатам совместных полевых испытаний на учебной базе «Камшиловка» МГТУ (декабрь 2025). Калибровка по поверенным газовым смесям и генератору точки росы.

ЛИНЕЙКА ПОД ЗАДАЧУ: ОТ МАЧТЫ ДО НОСИМОГО ПРИБОРА

NGAP-1 · метод турбулентных пульсаций (УГТ – 7)

Потоки CO_2 и H_2O на метеомачте методом eddy covariance

- Диапазон 0–2000 ppm CO_2
- 10 Гц, Ethernet + 4 аналоговых входа
- Экран Стивенсона: Т, влажность, давление
- Питание 12 В, потребление 20 Вт

NGAP-2 · отбор пробы (УГТ-4)

Почвенное дыхание и точечные измерения с принудительным забором

- Диапазон 0–20 000 ppm CO_2
- Камера принудительного забора пробы
- Ethernet и RS-485 для интеграции
- Стационарные и полевые схемы работы

NGAP · носимый (аванпроект)

Экспресс-обследование площадок и обходы — аналог Gasmeter 5000

- Масса не более 15 кг
- Чувствительность не хуже 0,1 мг/м³
- Оптический путь 6 м
- Время анализа — до 1 минуты

РАЗВИТИЕ ЛИНЕЙКИ

- Разработана эскизная конструкторская документация газоанализатора на метан (CH_4) и закись азота (N_2O)
- Начато макетирование NGAP-2 для почвенного дыхания — полного цикла измерений экосистемы
- Интеграция с анемометром Gill WindMaster и системой сбора данных «под ключ»
- Совместимость с анемометром АМК-04 (Россия)



16 СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ В ОДНОМ КАДРЕ

Мультиспектральная камера регистрирует изображение одновременно в 16 узких спектральных каналах от УФ до ближнего ИК — за один кадр, без сканирования. Там, где глаз видит «зелёное поле», камера видит хлорофилл, азот, влагу и стресс растений.

300–1000 нм

диапазон: 15 монохромных каналов по 10 нм + широкополосный

37 Гц

полный спектральный куб в каждом кадре

450 г

масса: готова к установке на БПЛА

УПТ 7

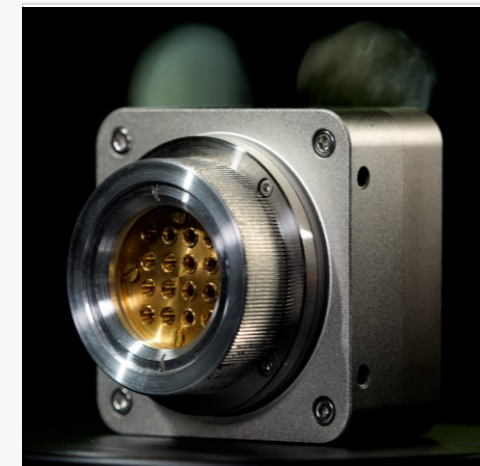
прототип продемонстрирован в условиях эксплуатации

ПРОТИВ ЗАРУБЕЖНЫХ АНАЛОГОВ

- 16 каналов против 5–10 у Parrot Sequoia+, TOUCAN и Monarch II; полоса канала 10 нм против 40–80 нм
- Патент РФ на изобретение; камера полностью импортонезависима — от растра до ПО



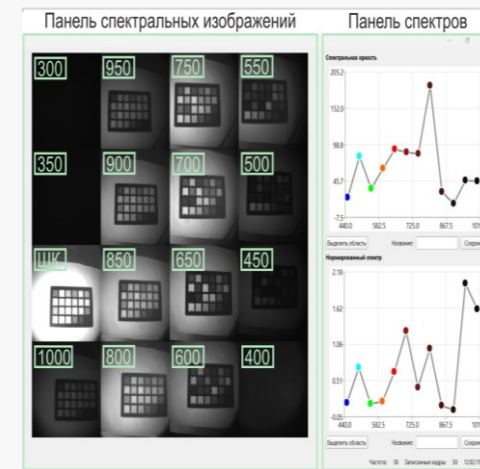
Камера: 68×68×45 мм



Оптический блок



Полевая апробация



ПО: спектры и каналы

ОТ ПОЛЯ ДО СОРТИРОВОЧНОЙ ЛЕНТЫ



Точное земледелие

Карты хлорофилла, влагообеспеченности и потребности в азоте; прогноз урожайности и выноса макроэлементов



Экологический мониторинг

Состояние растительности СЗЗ, оценка секвестрационного потенциала, контроль гумуса в почвах



Сортировка вторсырья

Спектральное дифференцирование материалов на ленте; нейросетевой модуль — точность классификации 93,6 %



Контроль качества

Продукция АПК, фармацевтика, фитопатологии: фузариоз виден в каналах 732 и 905 нм до видимых признаков

АПРОБИРОВАНО НА РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

- Полевые кампании: СНЦ РАН (Сочи), НИИСХ УрО РАН (Пермь), СКНИИГПСХ ВНЦ РАН (Владикавказ) — базы данных культур от пшеницы до сои
- Совместные работы с Почвенным институтом и МГУ: вынос макроэлементов, содержание гумуса
- Методики опубликованы в журналах Q1: Frontiers in Environmental Science, Agricultural and Forest Meteorology

Дальнейшее развитие

- БПЛА-комплекс — камера и ПО для оперативной съёмки полей и СЗЗ
- Метановый канал — картирование CH_4 в диапазоне 7–12 мкм
- Нейросетевой модуль — классификация объектов по спектру в реальном времени

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК АТМОСФЕРЫ ГОРОДА И ПЛОЩАДКИ

Программно-аппаратный комплекс превращает данные постов, метеосети и профилемера в живую модель переноса загрязнений. Предприятие и город переходят от констатации превышений к управлению обстановкой.



Карта загрязнения

Поле концентраций по всему городу за несколько минут; разрешение не хуже 5 км и 1 часа



Прогноз на 1–3 суток

Предсказание НМУ и накопления загрязнений — режимы ограничений вводятся заранее



Поиск источника

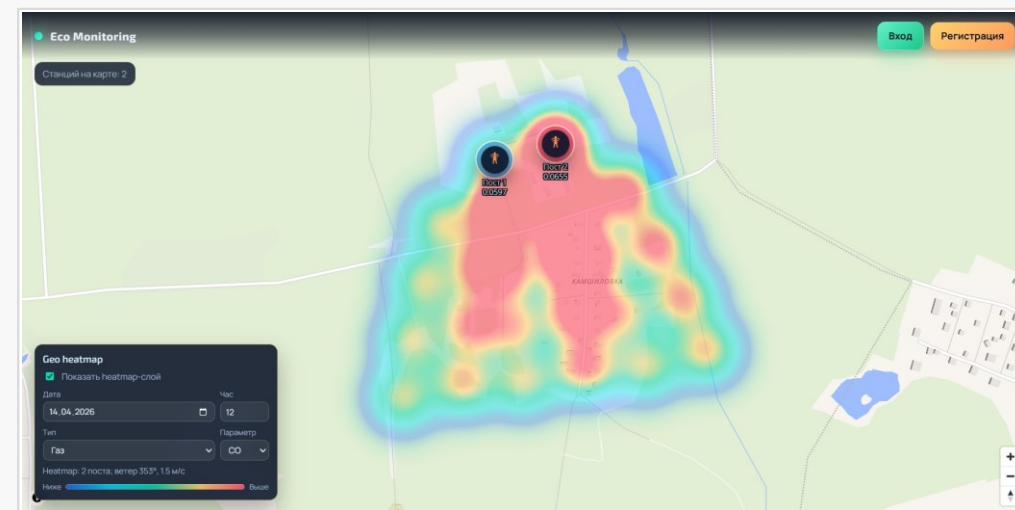
Координаты нарушителя при превышении нормы — автоматически, за 5–15 минут



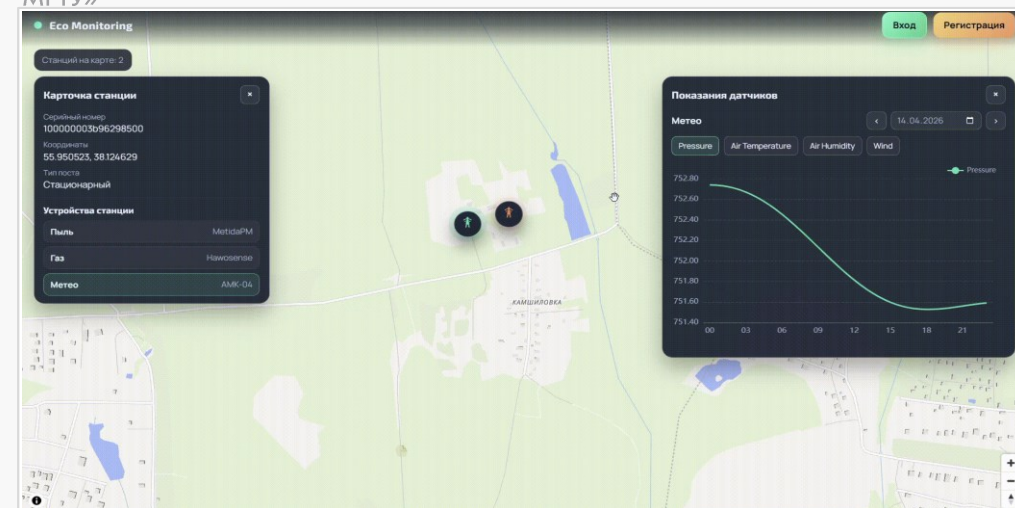
Самообучение

Модель непрерывно калибруется по выездам мобильной лаборатории и данным сети — ИИ на больших данных

В основе — гибкая гауссова модель переноса с динамической адаптацией: ПО решает уравнения турбулентной диффузии по данным стационарных постов, МТР-5 и кадастра выбросов.



Модель переноса оксида углерода, рассчитанная в ПО ПАК «ЭкоМониторинг МГТУ»



Аналитическая панель: посты, метео, тренды концентраций

ДВА ЗАКАЗЧИКА — ДВЕ ЗАДАЧИ, ОДНА СИСТЕМА

ПРОМЫШЛЕННОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ

- Доказательство соответствия: моделирование собственного вклада подтверждает выполнение нормативов ПДВ
- Сценарии на период НМУ: как перестроить режим работы, чтобы не попасть под ограничения
- Аварийный выброс: быстрая оценка зоны воздействия для планирования защитных мероприятий
- Аргументированный ответ на жалобы: чей вклад в превышение — ваш или соседнего предприятия

РЕГИОНУ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ

- Быстрая идентификация нарушителей: координаты источника сверхнормативного выброса для целевой проверки
- Упреждающее управление: прогноз НМУ и заблаговременное введение режимов ограничений
- Верификация кадастра выбросов: выявление неучтённых источников и заниженной отчётности
- Доказательное расследование обращений населения по качеству воздуха



Безопасность данных: защищённые каналы связи, хранение в контуре заказчика, разграничение прав доступа. Критические данные предприятия не покидают его периметра.

ПОЧЕМУ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА



Разработчик и производитель

Приборы, ПО и методики создаются в одном месте — без посредников, с сервисом и доработкой под задачу. Серийная площадка — КЭМЗ (ГК «Ростех»)



Метрологическая база

Взаимодействие с профильными институтами Росгидромета (ГГО, ЦАО), а также с профильными метрологическими институтами (ВНИИМ, ВНИИМС)



Собственный полигон

Учебно-опытный полигон «Камшиловка»: каждый прибор проходит полевые испытания до того, как попасть к заказчику



Промышленный опыт

Опытная эксплуатация на действующих производствах — от Заполярья («Норильский никель») до Московской области

Кластер «Технологии защиты природы»

Кафедра «Экология и промышленная безопасность» (с 1930 г.), Мытищинский филиал, НОЦ «Фотоника и ИК-техника» и ещё 16 базовых подразделений университета — в одном кластере. Полный цикл: НИР, ОКР, производство, внедрение, сопровождение.

1930

год основания кафедры-
родоначальника

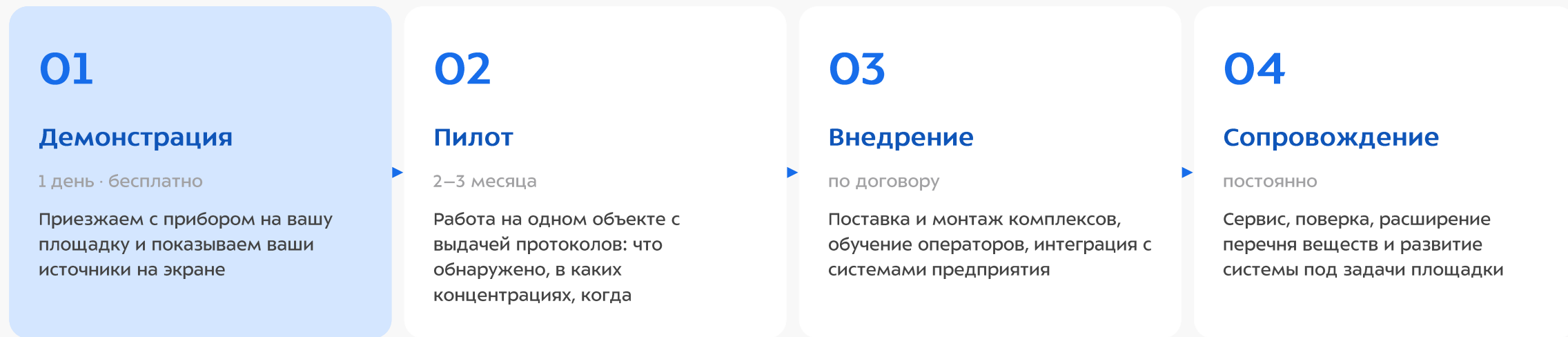
16+

подразделений в «зелёном»
кластере

34 000 га

опытный лесхоз и полигоны

КАК НАЧАТЬ: ОТ ДЕМОНСТРАЦИИ ДО СЕТИ — ЗА ОДИН СЕЗОН



ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Поставка — комплекс по договору с университетом или серийным заводом

Аренда — прибор на период испытаний или сезонных работ

Измерения как услуга — выезд специалистов с приборами и выдача протоколов

НИОКР под задачу — доработка приборов и ПО под специфику вашей площадки

Один договор — любая комбинация продуктов: от одного прибора до системы мониторинга «под ключ»

Покажем ваш воздух на экране за один выезд

Демонстрация на вашей площадке — бесплатно: развернём прибор за 15 минут и покажем, что уходит в атмосферу прямо сейчас. Дальше — пилот с протоколами и решение о системе.

М.В. Иванов

д.т.н., руководитель кластера «Технологии защиты природы»

mivanov@bmstu.ru · ecology@bmstu.ru

