

**Научный совет СО РАН
по проблемам экологии Сибири и
Восточной Арктики (ПЭСВА)**

Докладчик

академик Андрей Георгиевич Дегерменджи

2021

АКТУАЛЬНОСТЬ:

- Деградация экосистем под действием антропогенных факторов
- Нарушение «жизненных циклов» различных организмов, инвазии «чужеродных» видов и миграций животных; нарушение циркуляции видов в природных очагах заболеваний – создание непредвиденных рисков для жизнедеятельности человека, включая лесные пожары.
- Накопление в экосистемах большого количества токсических соединений органической и неорганической природы; нарушение круговорота веществ, что приводит к изменению среды обитания в том числе человека.
- Городам Сибири нужен Чистый Воздух.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ И НАШИХ ЗНАНИЙ

- ❑ Экология как наука о взаимодействиях живых организмов между собой и с их средой обитания, автоматически включает в себя и активности человека
- ❑ Основной метод – наблюдения (мониторинг)
- ❑ Огромное биоразнообразие видов зачастую с неизвестными эко-функциями и свойствами видов
- ❑ Слабость знаний о взаимодействиях (трофических, аллелопатических и др.) даже для доминантных видов
- ❑ Неразвитость экспериментального моделирования с целыми объектами и/или частями
- ❑ Фрагментарность теории экосистем и существенная нелинейность взаимодействий приводит к сценариям контринтуитивного поведения и управления экосистем
- ❑ Скромный опыт управления целыми экосистемами.

ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ И СЕКЦИИ СОВЕТА

Проекты и предложения по кардинальному улучшению состояния окружающей среды через управление экосистемами

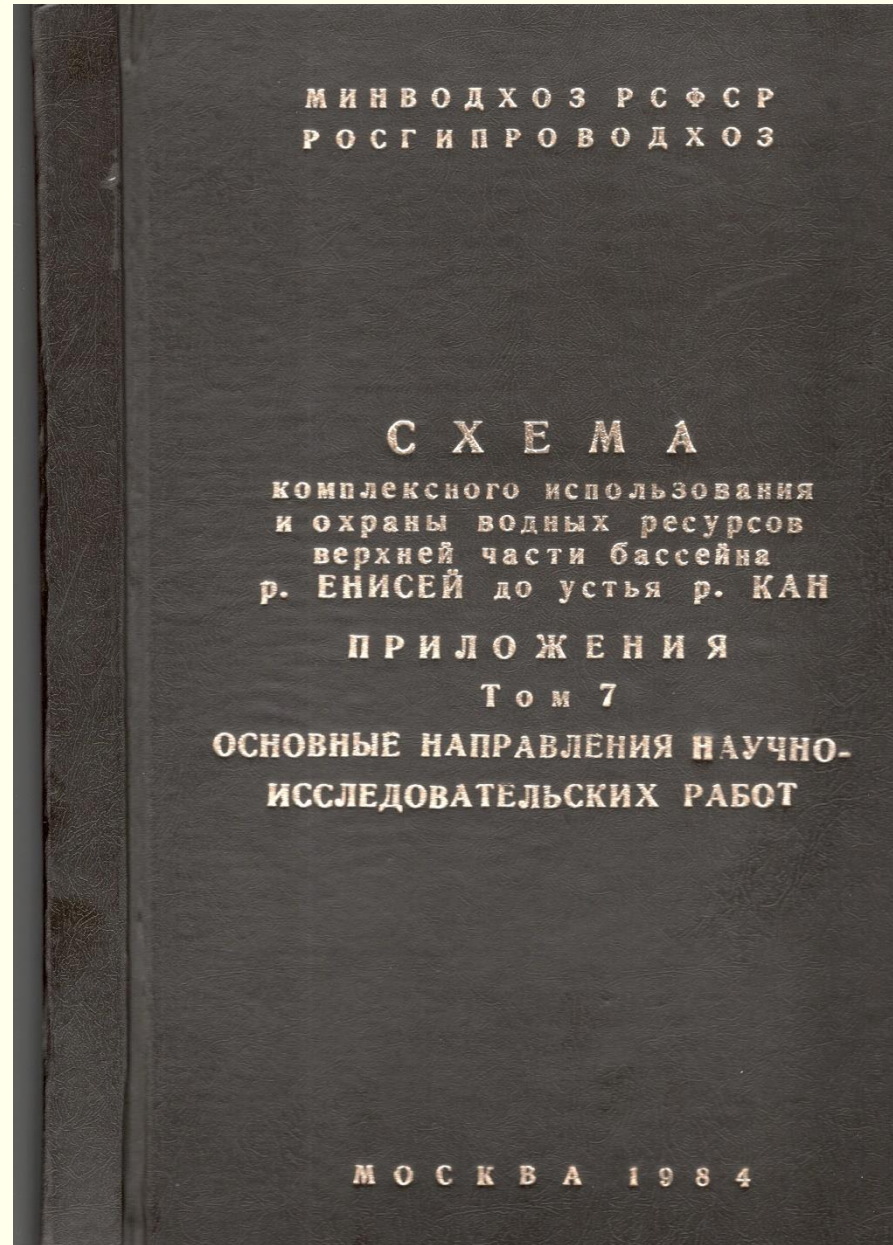
ТЕМАТИЧЕСКИЕ СЕКЦИИ:

- ❖ Экология городов
- ❖ Водные экосистемы
- ❖ Наземные экосистемы
- ❖ Промышленная экология

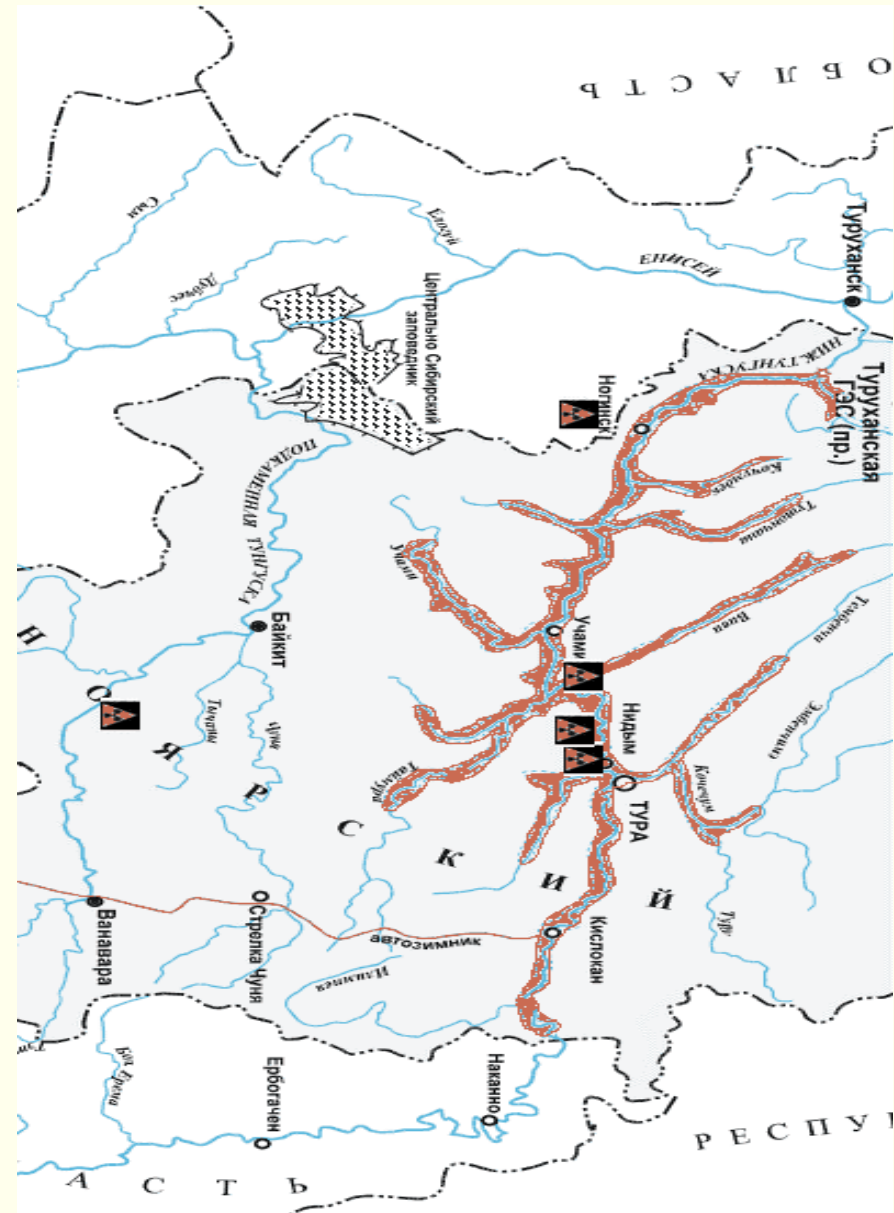
ЗАДАЧИ СОВЕТА:

- ✓ Инициация, разработка и сопровождение актуальных проектов на основе вовлечения экспертного сообщества Сибири (Чистый Енисей).
- ✓ Координация исследований
- ✓ Инициативы по обращению во властные структуры, особенно в части обязательно экологической экспертизы новых промышленно-технологических проектов (пример: Туруханская-Эвенкийская ГЭС)

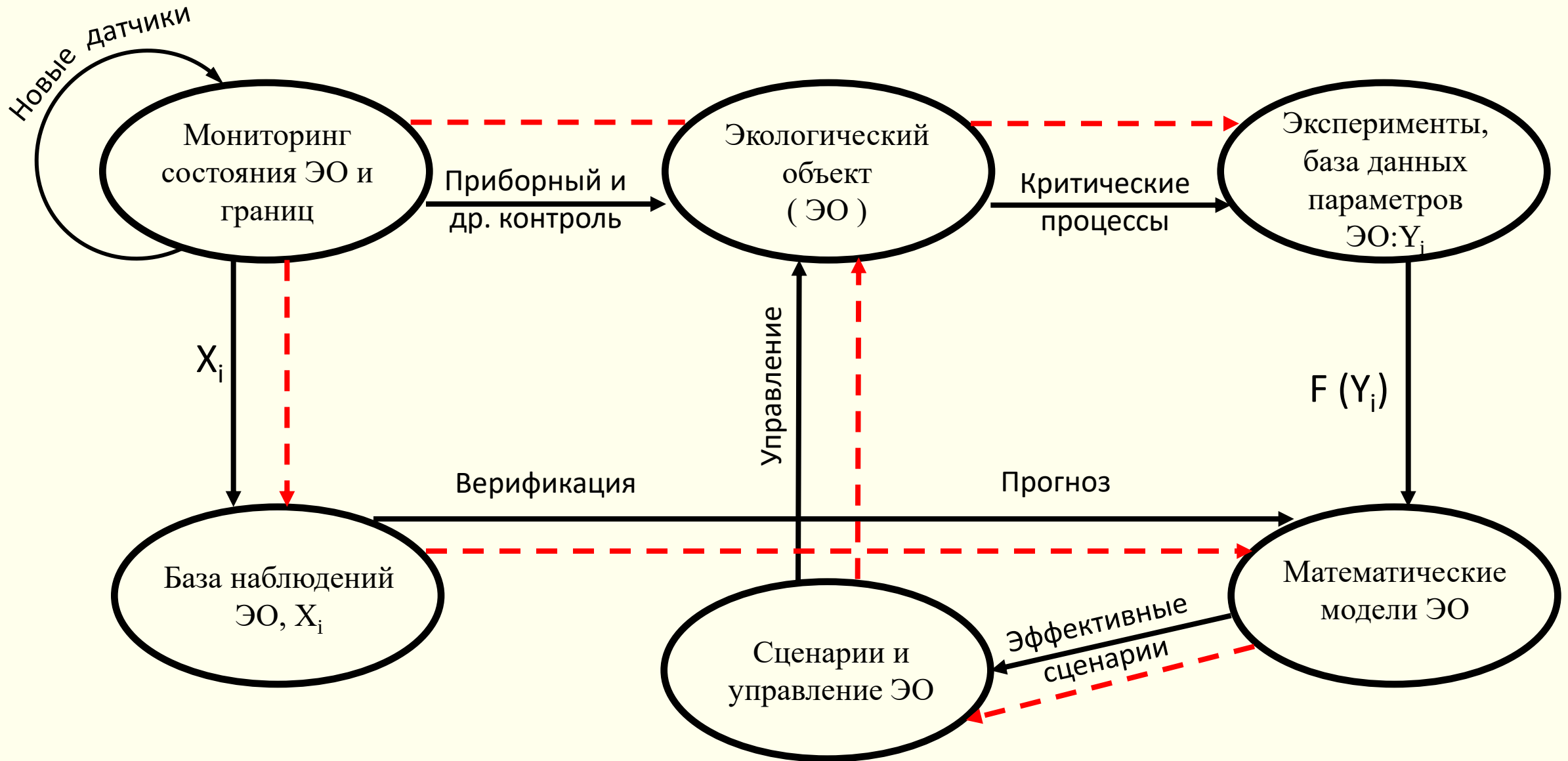
Программа «Чистый Енисей»



Проект Туруханской (Эвенкийской) ГЭС

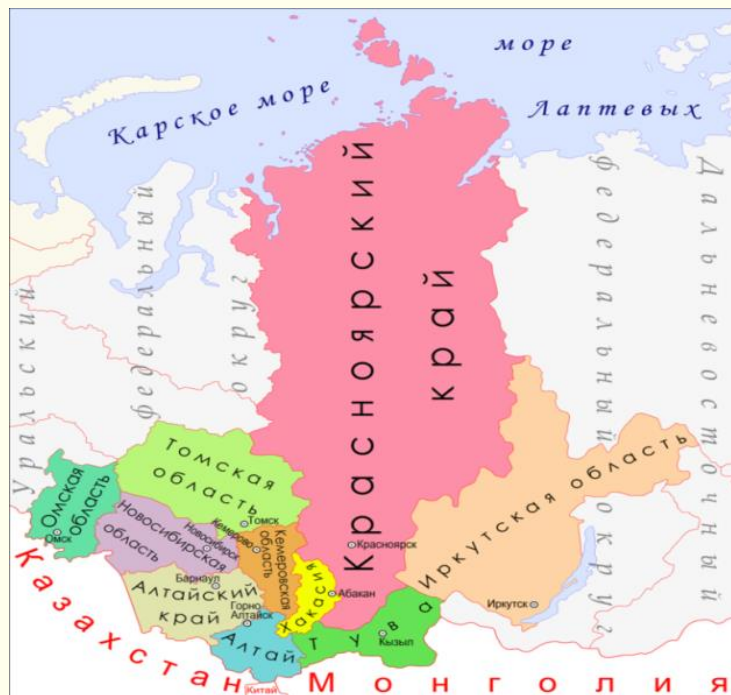


Общая схема управления экосистем



Города Сибирского федерального округа

Новосибирск	↗ 1 625 631 ^[8]	Бийск	↘ 200 629 ^[9]
Омск	↘ 1 154 507 ^[8]	Прокопьевск	↘ 190 334 ^[8]
Красноярск	↘ 1 093 771 ^[8]	Абакан	↗ 186 797 ^[8]
Барнаул	↘ 632 391 ^[8]	Норильск	↗ 181 830 ^[8]
Иркутск	↗ 623 562 ^[8]	Рубцовск	↘ 142 551 ^[9]
Томск	↗ 576 624 ^[8]	Кызыл	↗ 119 438 ^[8]
Кемерово	↘ 556 382 ^[8]	Северск	↘ 106 516 ^[8]
Новокузнецк	↘ 549 103 ^[8]	Ачинск	↗ 105 531 ^[8]
Братск	↘ 226 269 ^[8]	Бердск	↗ 104 334 ^[8]
Ангарск	↘ 224 630 ^[8]	Междуреченск	↗ 96 299 ^[8]



Эколого-медицинский антирейтинг городов Сибири

Уровень субъектов РФ

ИРКУТСКАЯ область, КРАСНОЯРСКИЙ край,
Республика Хакасия, Алтайский край

Уровень муниципалитетов

Крупнейшие города (более 1 млн чел):

Красноярск

Крупные города (250-1000 тыс чел):

Новокузнецк, Иркутск, Барнаул

Большие города (100-250 тыс чел):

Норильск, Братск

Малые города (10-50 тыс)

Шелехов, Усолье-сибирское, Лесосибирск, Черемхово

- Государственных докладов субъектов СФО «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения» за 2017-2019гг.;
- Ежегодника "Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России" за 2017–2019 гг.;
- Информационного бюллетеня «Актуальные аспекты заболеваемости населения Сибирского Федерального округа»

По двум и более показателям:

Красноярск (загрязнение воды и воздуха)

Новосибирск (химия и ТМ в почве, загрязнение воды)

Новокузнецк (химия в почве, загрязнение воздуха)

Кемерово (химия в почве, загрязнение воздуха)

Томск (химия и ТМ в почве, загрязнение воды)

Норильск (ТМ в почве, загрязнение воздуха)

По одному показателю:

Братск, Чита (загрязнение воздуха)

- Доклада Росгидромета «Обзора состояния и загрязнения окружающей среды в российской федерации за 2019 год»

Проекты экспериментальной системы оперативного контроля (СО РАН)

Автоматизированная система контроля воздушного бассейна «Город» (ИОА СО РАН)

Система предназначена для определения уровня загрязнения в приземном слое воздуха, измерения объема выбросов, распространения примесей над территорией конкретного города, обследования одиночных и распределенных источников выбросов, сбора, обработки и хранения информации, передачи ее заинтересованным органам, прогноза уровня загрязнений.

Все автоматизированные системы оперативного контроля, существующие в мире, построены по одному из двух принципов - *пространственно-репрезентативные* (сеть контроля концентраций) и *ориентированные на источники* (определение источников загрязнения). Данная система, в отличие от всех имеющихся, объединяет оба принципа.

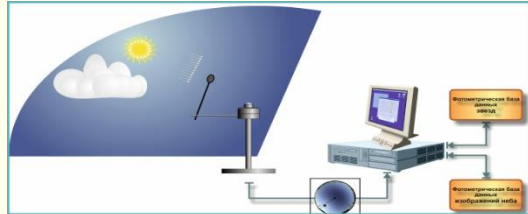
Система состоит из следующих основных элементов:

- Лазерные локаторы (лидары)
- Широкоформатный фотометр «все небо»
- Пункты наземного контроля
- Мобильные станции (двух типов)
- Акустический локатор (содар)
- Модель прогноза
- Центр управления системой

Стоимость комплекса на один средний город ~350 млн. руб.

Проекты экспериментальной системы оперативного контроля (СО РАН)

Структура системы контроля воздушного бассейна «Город» (ИОА СО РАН)



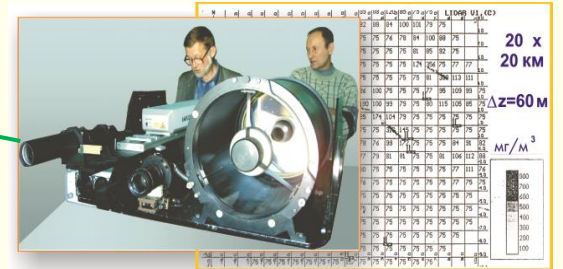
Панорамный фотометрический комплекс ВЗОР



Содар ВОЛНА-4



Дистанционная акустическая диагностика высотно-временных профилей скорости и направления ветра, структуры термической турбулентности в пограничном слое атмосферы



Лазерные локаторы (лидары)



Лидар "ЛОЗА-3"



Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс МЕТЕО-2



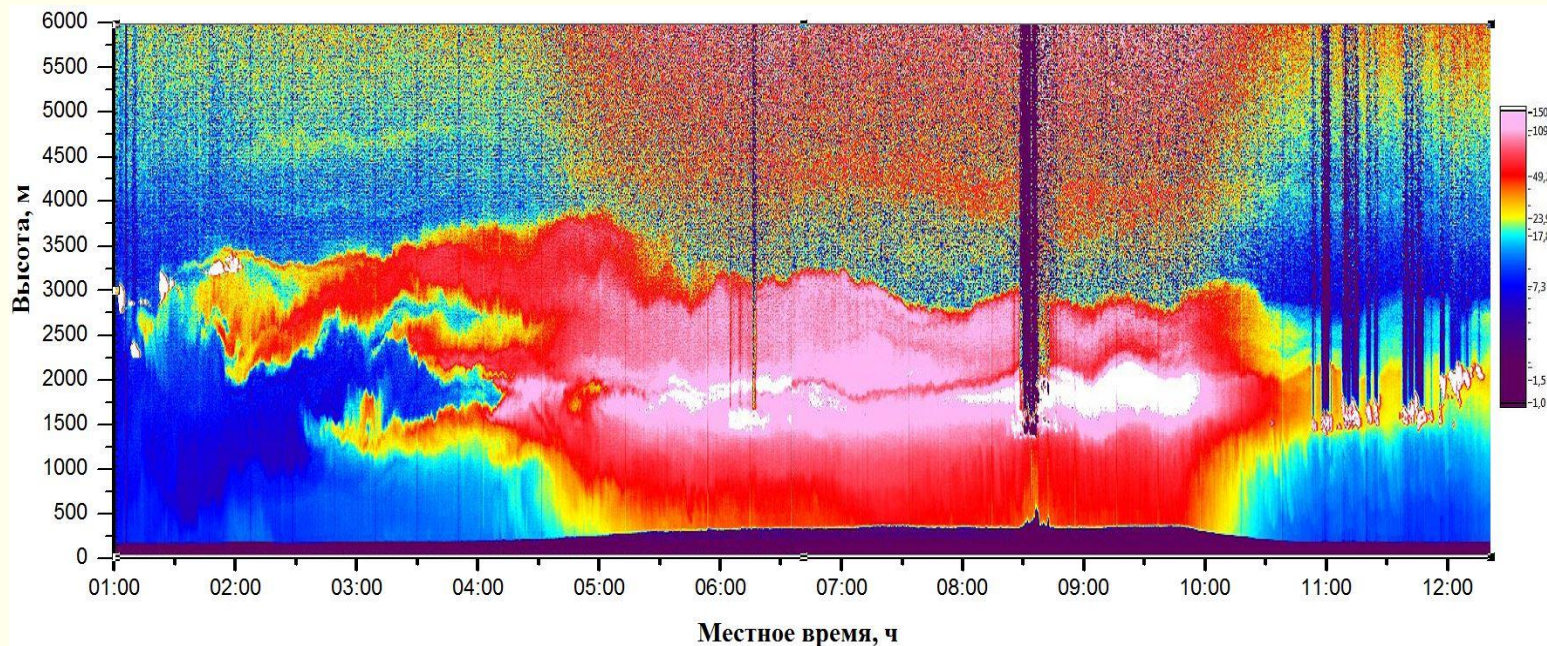
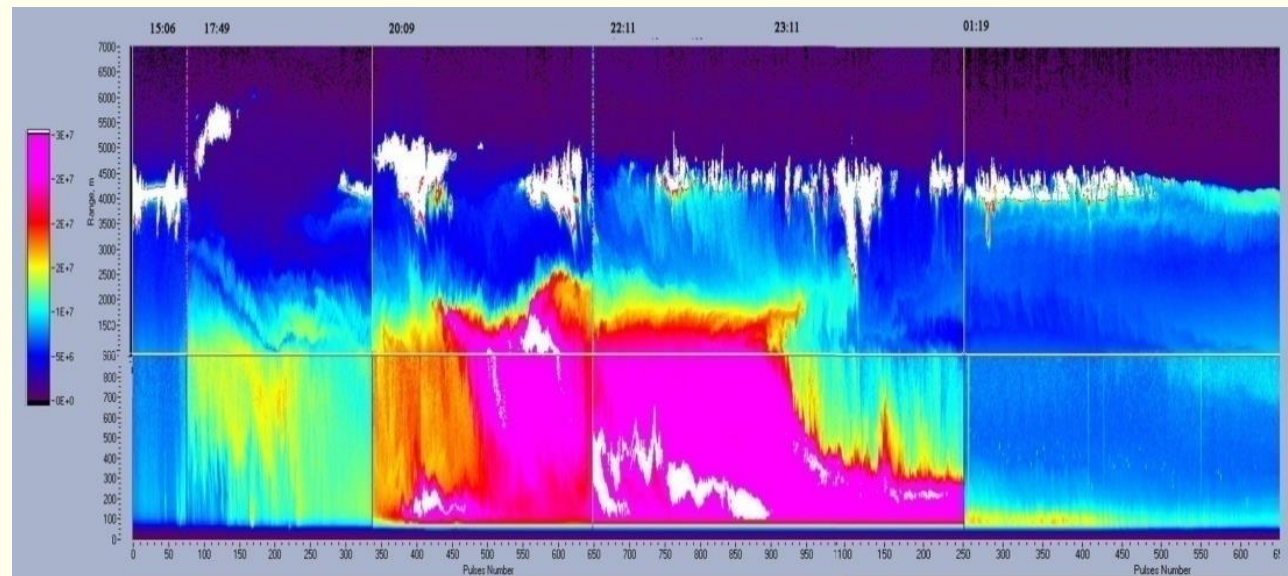
Оптический приемопередатчик на вращающейся платформе

Проекты экспериментальной системы оперативного контроля (СО РАН)

Лидарное сканирование аэрозольного загрязнения над городом (ИОА СО РАН)



Лидарный вертикально-временной
разрез аэрозольного заполнения
тропосферы в период прохождения
песчаных бурь



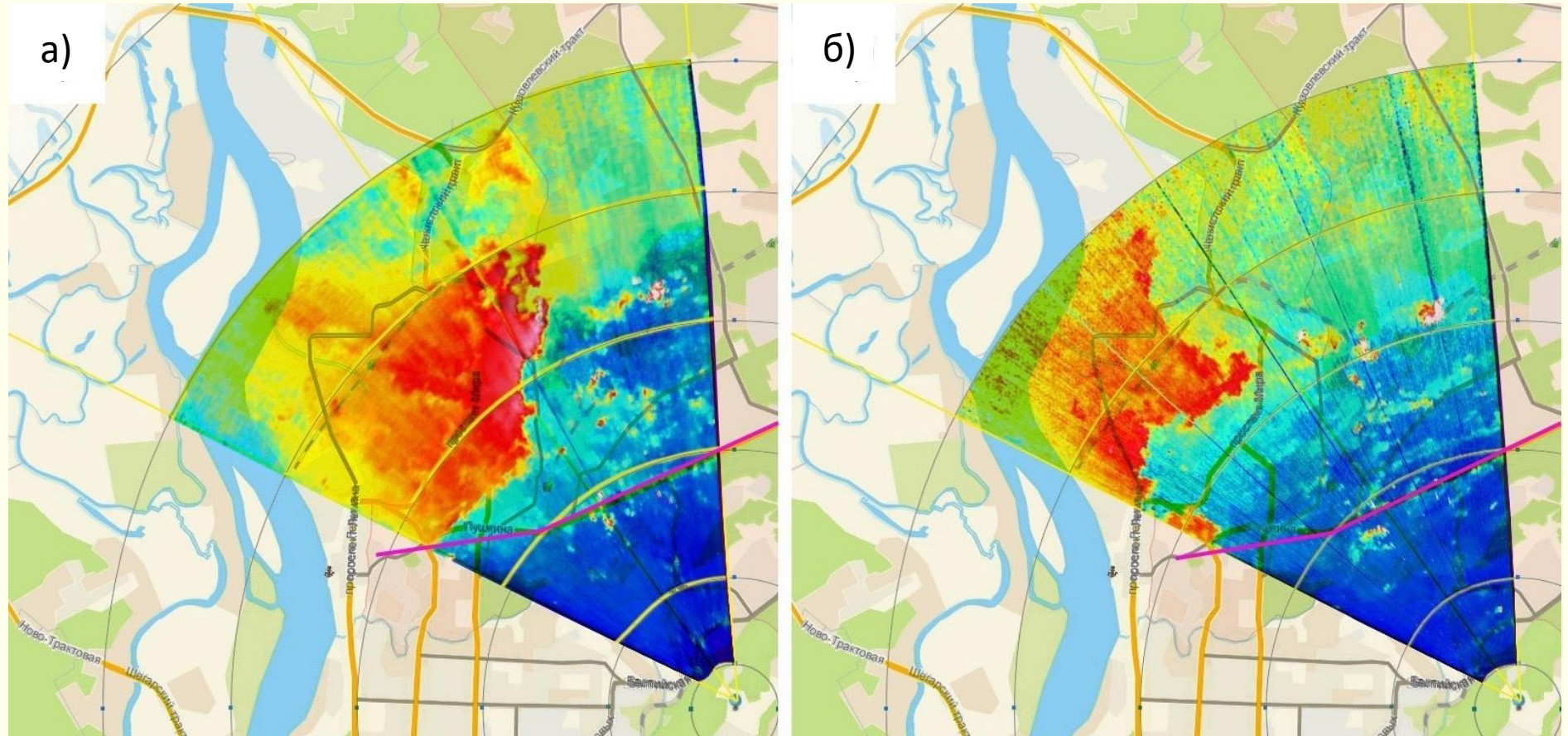
Вертикально-временная структура
аэрозольного поля тропосферы во
время лесных пожаров 22 июля
2018 г.

Лидарное сканирование аэрозольного загрязнения над городом (Томск)



Лидар ЛОЗА:

Диапазон зондируемых высот от 50 м до 13 км



Пространственное распределение аэрозольных загрязнений над г. Томском 06.09.2018 в промежуток от **11:50 (а)** до **12:40 (б)** местного времени на фоне карты городского района. Радиусы круговых секторов через 2 км.

Проекты экспериментальной системы оперативного контроля (СО РАН)

Ферментативный экспресс-биотест для мониторинга химического и биологического загрязнения водной и воздушной среды (ИБФ СО РАН)

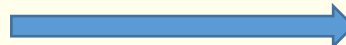
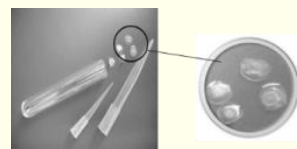
Химический контроль, в первую очередь, должен проводиться в тех местах, в которых биотесты показали "тревогу".



Мобильная
экологическая
лаборатория

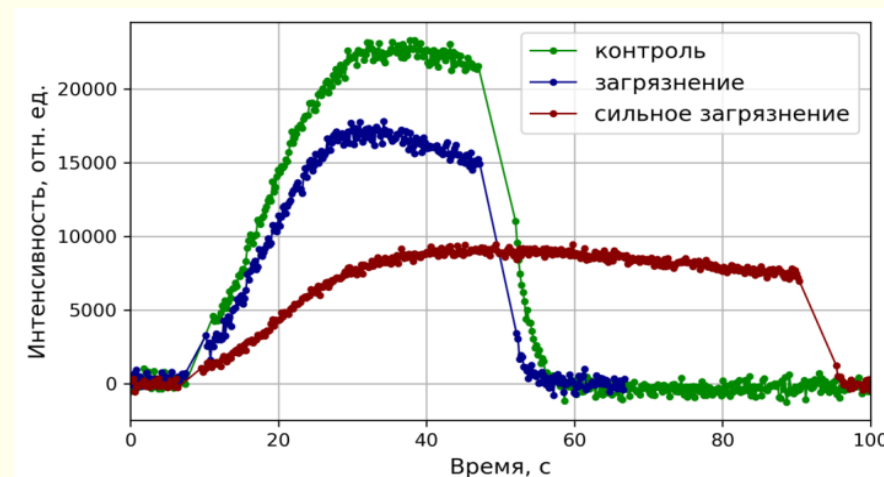


Стационарные посты
отбора проб воздуха г.
Красноярск



Инструменты мониторинга:

Воздухозаборник + портативный люминометр (LumiShot) + набор реагентов «Энзимолум» + методики



При превышении ПДК в пробах интенсивность свечения уменьшается в сравнении с контролем, что говорит о потенциально негативном действии загрязняющих веществ на биотест.

Экология городов:
2. Математические модели
гидродинамики, переноса и
трансформации примесей для задач
управления качеством атмосферы в
городе

Математические модели качества воздуха

Глобальные модели
динамики (и химии)
атмосферы

SL-AV (Гидрометцентр),
GFS(NCEP), ICON (DWD),
IFS- Mozart (ECMWF)

Краевые и начальные условия

Учет процессов в атмосфере

Гидро-
термодинамика
атмосферы

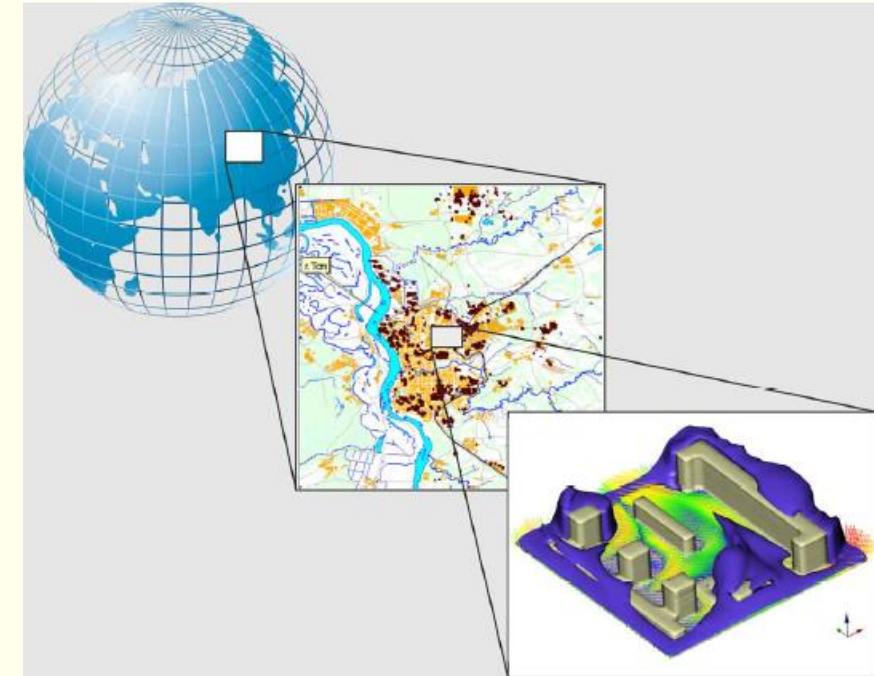
Процессы
переноса
примесей

Интегрированные
модели [Baklanov et al.,2014]

Процессы трансформации
примесей

Мезомасштабные
модели
(масштаб города)

WRF-Chem, COSMO-Art,
Enviro-HIRLAM, CAMx,
ТГУ, ИВМиМГ СО РАН,
ИТ СО РАН



Микро масштабные
модели
(масштаб квартала и улицы)

Fluent, ANSYS, ИТПМ СО РАН,
ИВМиМГ СО РАН

Структура математических моделей

Гидротермодинамика атмосферы

$$\left. \begin{aligned} L_t(u) - D(u) + \frac{\partial p}{\partial x} - \rho(lv - kw) - f_u &= 0 \\ L_t(v) - D(v) + \frac{\partial p}{\partial y} + \rho lu - f_v &= 0 \\ L_t(w) - D(w) + \frac{\partial p}{\partial z} + g\rho - \rho ku - f_w &= 0 \end{aligned} \right\} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$L_t(T) - \kappa D(T) + A_T \rho T \nabla \cdot \mathbf{u} - \kappa f_T = 0 \quad \text{☀}$$

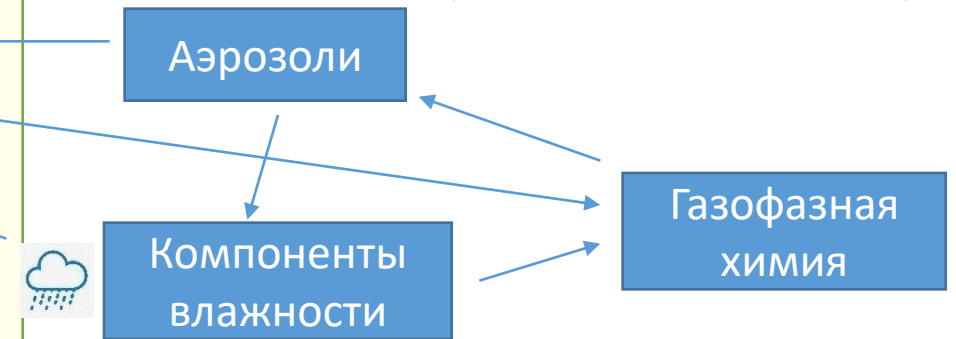
$$L_t(p) - (\kappa - 1) D(p) + \kappa \rho p \nabla \cdot \mathbf{u} - (\kappa - 1) f_p = 0$$

$$p = \rho R_d (1 + \alpha) T, \quad \alpha = (R_v / R_d - 1) q_v - q_l - q_f$$

- Краевые условия на ограниченной территории: непрерывный выход на фоновые процессы;
- Параметризация пограничного и приземного слоев во взаимодействии с подстилающей поверхностью;
- Параметризация турбулентности
- Начальные условия для всех переменных

Перенос-трансформация примесей

$$L_t(\varphi_i) - D(\varphi_i) + \rho (P_i(\varphi) \varphi_i - \Pi_i(\varphi) - f_{\varphi_i}) = 0$$



Обозначения $L_t(\varphi) := \frac{\partial \rho \varphi}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \varphi \mathbf{u})$ $D(\varphi) := \nabla \cdot (\mu_\varphi \nabla (\rho \varphi))$ $\kappa = c_p / c_v$ $A_T = \kappa R_d (1 + \alpha) / c_p$

Использование математических моделей для планирования управляющих воздействий

Здоровье населения

Экономические последствия

Социальные последствия

Рецепторы загрязнения

Качество воздуха
(газы и аэрозоли)

Поглотители



Вторичные загрязнители

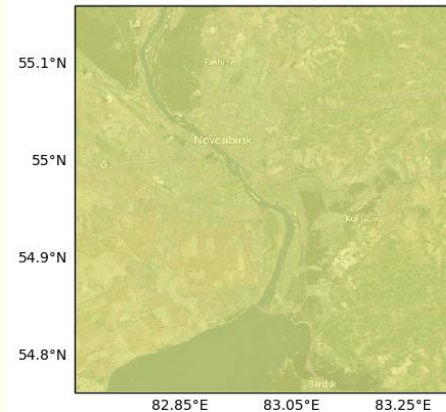


Первичные загрязнители



Исследование чувствительности к воздействиям

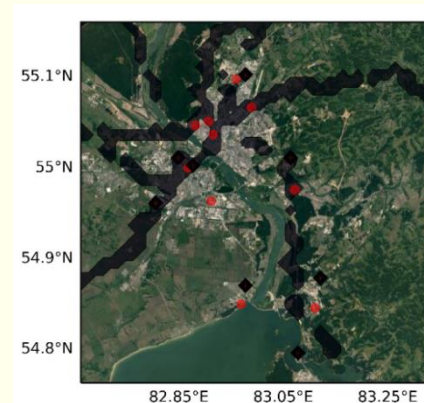
Воздействие на все рецепторы



Задать источники

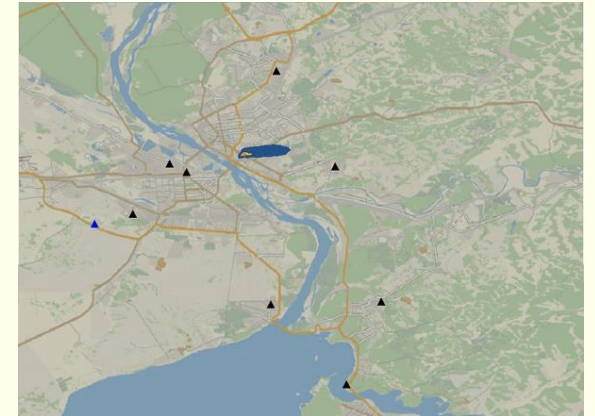


Прямая задача



ТЭЦ и транспорт как источники

Воздействие от всех источников



Задать рецепторы



Сопряженная задача



ГПНТБ СО РАН как рецептор

Возможные меры воздействия на качество воздуха

- В краткосрочной и среднесрочной перспективе:

- Влияние на источники:** Управление транспортом, предприятиями, общественными мероприятиями.

- Влияние на рецепторы:** Помощь в принятии личных решений о пребывании на открытом воздухе, защитные средства, фильтрация воздуха.



- В долгосрочной перспективе:

- Влияние на источники:**

- Размещение предприятий и дорог

- Смена технологий

- Влияние на рецепторы:** Размещение жилых объектов и объектов социальной инфраструктуры.



- Фильтрация воздуха (зеленые насаждения)**

Целевые
показатели
управления



Поиск оптимальных
управлений с
помощью
математических
моделей



Ограничения и
стоимость
управлений

Сложности и доступная информация

Сложности моделирования

Структура моделей
(какие процессы
являются ключевыми
для данного региона)

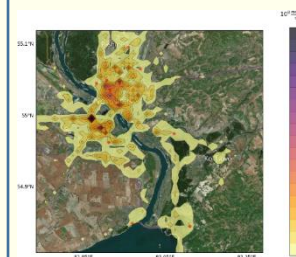
Моделирование на
ограниченной
территории
(начальные и
граничные условия)

Моделирование на
длительные интервалы
(поиск характерных
сценариев)

Частичная
информация об
источниках
загрязнения

Высокая сложность и
размерность моделей

Что известно?



Данные о
транспорте



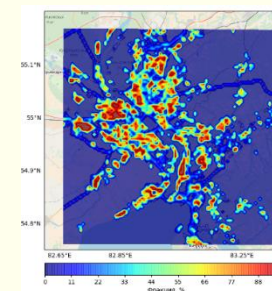
Основные
предприятия



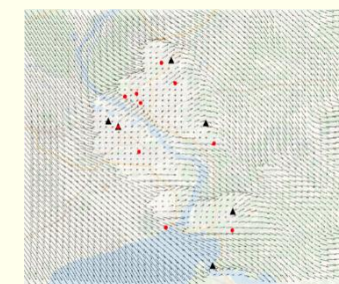
Данные
мониторинга



Рельеф
и география

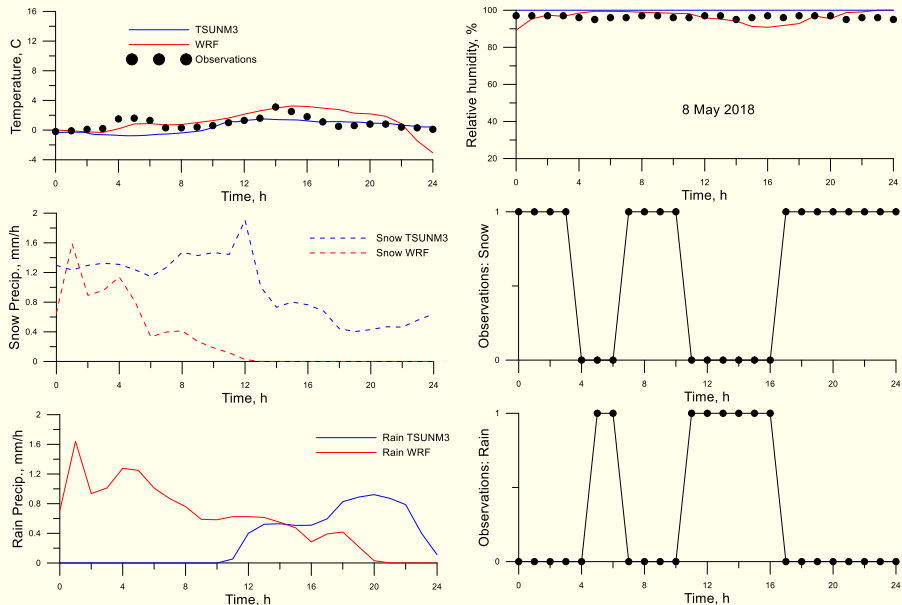
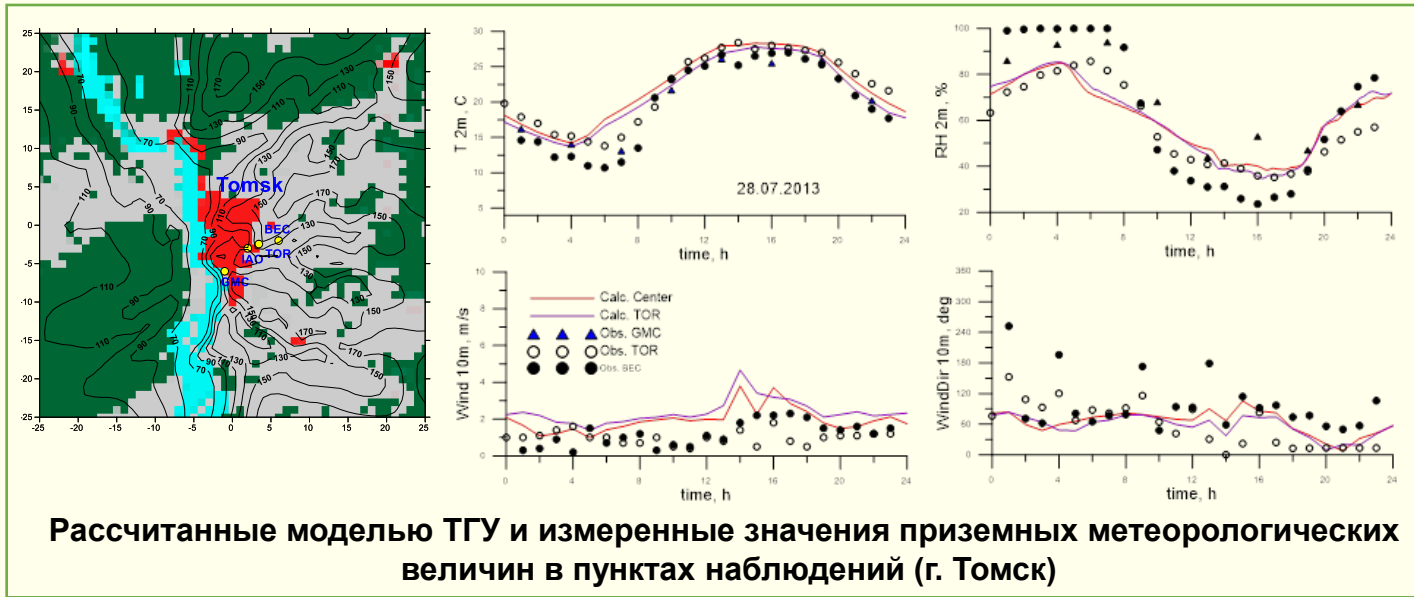


Категории
землеполь
зования

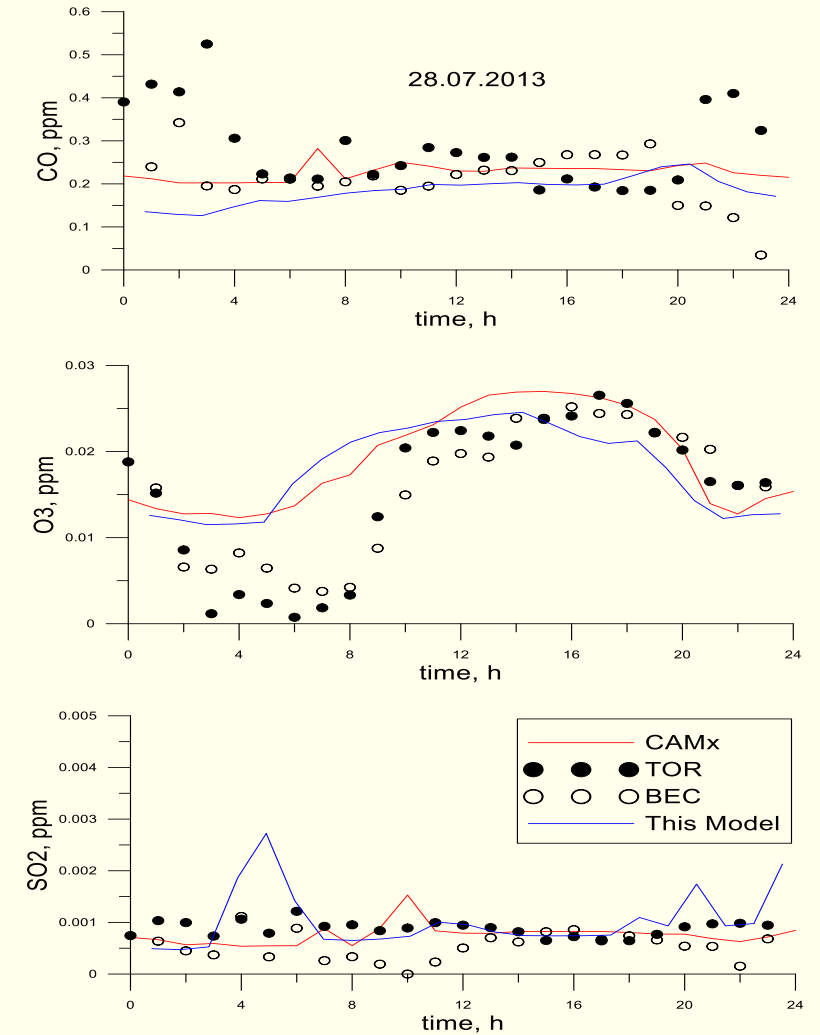


Метеоданные
и климат

Примеры валидации модели TSUNM3 по данным мониторинга

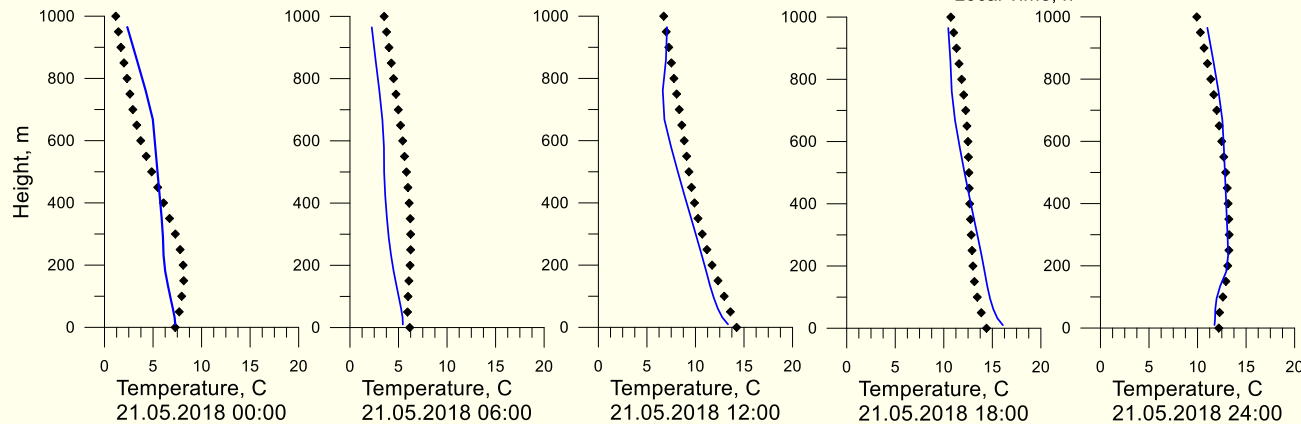
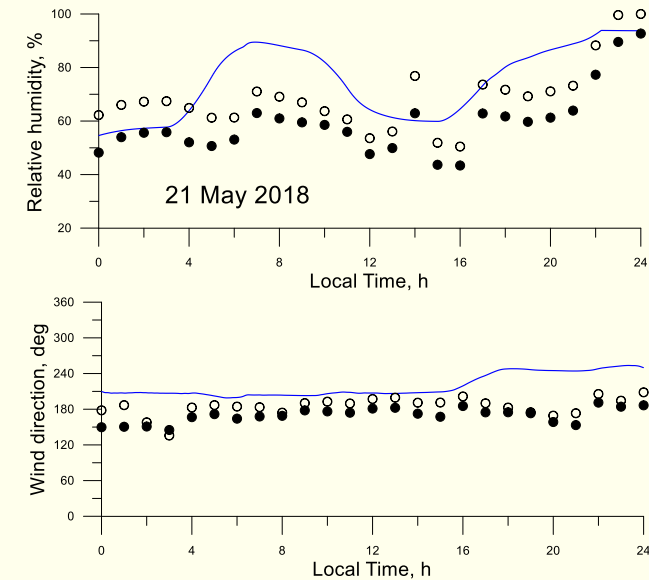
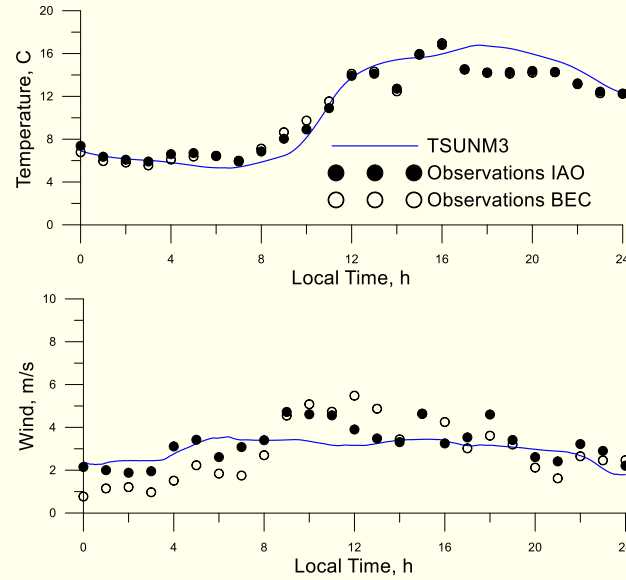


Предсказанные значения приземной температуры и относительной влажности на высоте 2 м, а также накопленных за 1 час осадков на 8 мая 2018 в районе аэропорта Богашево (ТОФ). Черные значки — результаты наблюдений в аэропорту Богашево (<http://rp5.ru>).



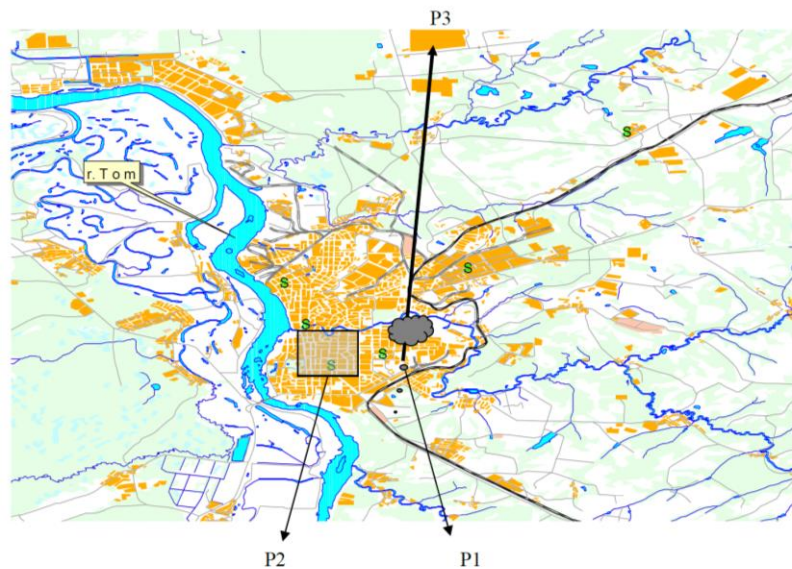
Графики рассчитанных по моделям CAMx и ТГУ и измеренным в пунктах TOR и BEC концентраций.

Валидация модели TSUNM3 на данных наблюдений ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН для г. Томск



Рассчитанные с помощью мезомасштабной модели TSUNM3 и измеренные температурным профилемером МТР-5 вертикальные профили температуры для **21 мая 2018 года**

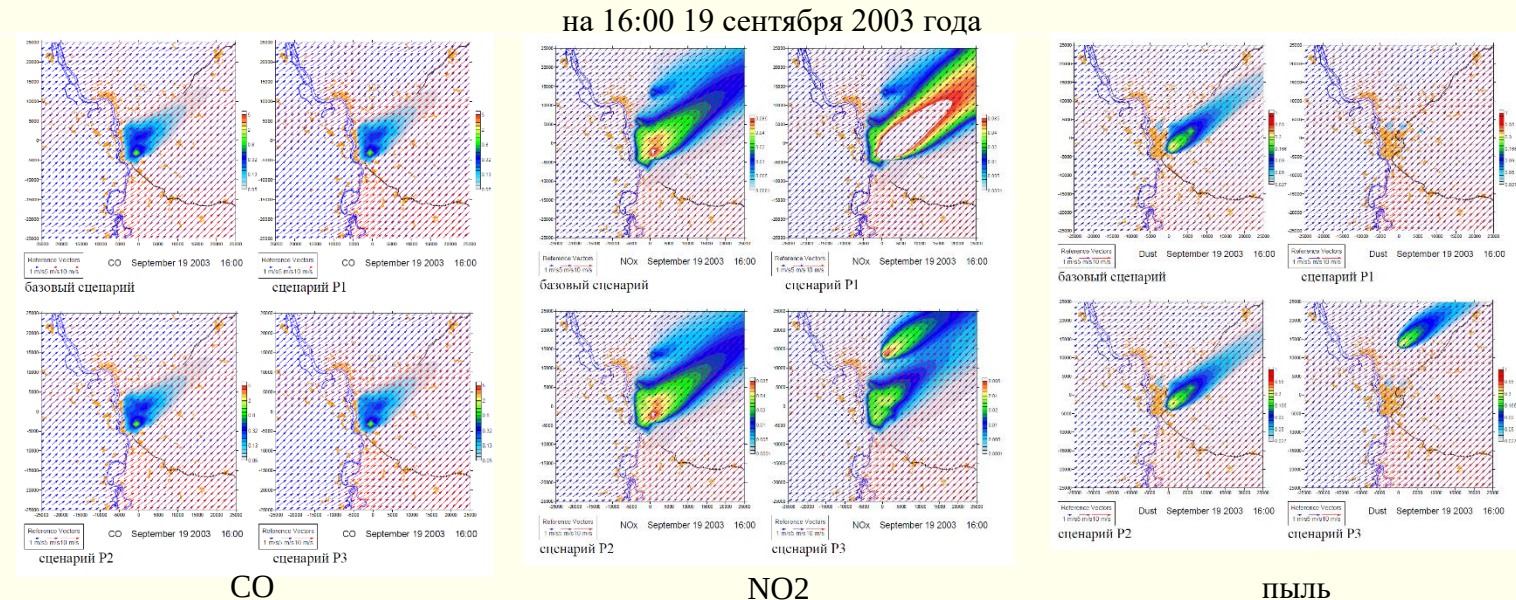
Расчет сценариев управления источниками для г. Томска



• **Сценарий P1** Перевод теплоэнергетического предприятия ГРЭС-2 на полное газовое обеспечение: при задании интенсивности выбросов ГРЭС-2 было увеличено на порядок расход выбросов NO₂, снижен на порядок расход CO, а расход пыли был принят равным нулю.

• **Сценарий P2:** Введение ограничения на движение автобусов по центральным улицам города (центральная часть пр. Ленина и пр. Фрунзе): часть выбросов автотранспорта с указанных улиц была переведена на соседние объездные улицы (ул. Красноармейская, пр. Кирова, пр. Комсомольский).

• **Сценарий P3:** Перенос ГРЭС-2 в район северного промузла, расположенного в тридцати километрах на север от города Томска.



Выводы:

- При юго-западном ветре концентрация пыли, поступающей из труб промышленных предприятий, существенно падает. При северо-восточном ветре (сценарий В) наблюдается незначительное ее увеличение в дневные часы по сравнению с базовым сценарием. Это позволяет сделать вывод, что основным поставщиком мелкодисперсных частиц в атмосферу является ГРЭС-2, поскольку по сценарию P1 она не выбрасывает пыли вообще, а по сценарию P3 ГРЭС-2 расположена на севере от Томска и оказывает меньшее воздействие на качество воздуха по этому параметру.
- Гораздо в меньшей степени видны перспективы снижения концентрации CO в приземном слое воздуха. По всем предлагаемым сценариям расчеты показывают незначительное снижение уровня загрязнения воздуха этим продуктом неполного сгорания топлива. Более отчетливо тенденция уменьшения содержания CO в воздухе отмечается для центрального района г.Томска. Над постом наблюдения №5, расположенным вблизи ГРЭС-2, изменения условий функционирования этого крупного теплоэнергетического гиганта практически не ощущаются. Это связано, по всей видимости, с тем, что здесь основную роль в загрязнении воздуха играют другие источники.
- Более заметное влияние результаты моделирования показывают для концентрации NO₂. Десятикратное увеличение расхода выбросов NO₂ через трубы ГРЭС-2 приведет к катастрофической ситуации в северном районе города. Здесь при юго-западном ветре концентрация NO₂ может достигнуть уровня 1мг/м³ (концентрация диоксида азота 15мг/м³ вызывает раздражение глаз). При юго-восточном ветре содержание оксидов азота в воздухе может увеличиться над восточным и центральным районами города. **Сравнивая сценарии P2 и P3, можно отметить, что удаление из города ГРЭС-2 приведет к большему уменьшению концентрации NO₂, чем вывод автобусов с центральных улиц города.**

Экология городов:

3.ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ

Проблемы:

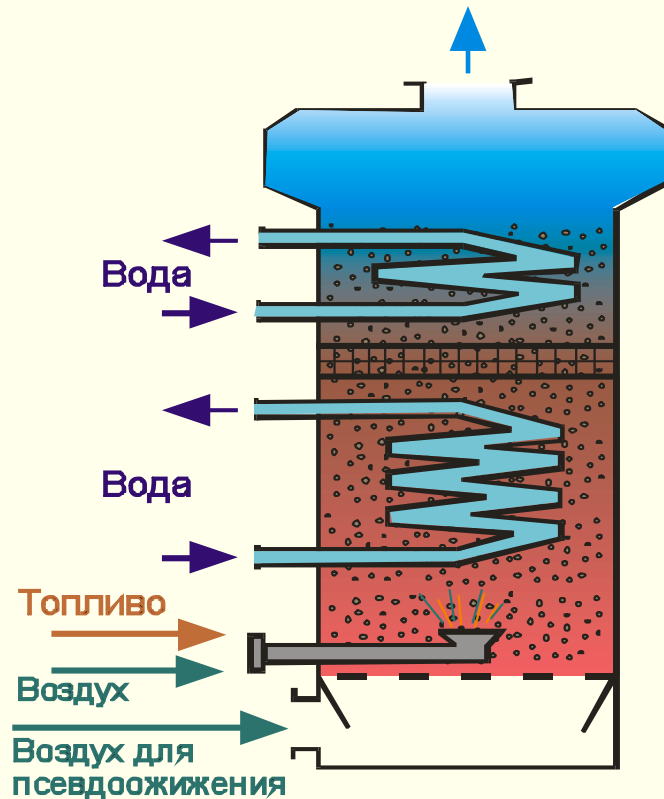
1. Загрязнение

- Воздуха
- Воды
- Снежного покрова
- Почвы

2. Отходы производств, теплоэнергетики, транспорта, бытовые и ЖКХ

- Твердые отходы
 - Пластик, полимеры, бумага, стекло, металл
- Жидкие отходы:
 - ГСМ, органика, неорганические растворы

Технология сжигания топлив и органических отходов в псевдоожиженном слое (ПОС) катализатора



Процесс осуществляется при низкой температуре (500-750°C), в ПОС специальных высокопрочных активных катализаторов. В слое катализатора происходит полное окисления органических соединений до CO_2 и H_2O . Процесс можно проводить с утилизацией тепла. Обезвреживание отходов в ПОС катализатора по сравнению с традиционными термическими методами **обеспечивает резкое снижение выброса токсичных веществ: HC , NO_x , CO , ПАУ и диоксинов в атмосферу.**

Преимущества:

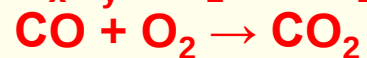
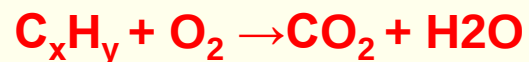
- Отсутствие открытого пламени
- Полное отсутствие токсичных продуктов: CO , NO_x , HC , сажи, характерных для пламенных печей
- Низкая температура (600-700° C) – нет необходимости использования термостойких материалов
- Возможность эффективной утилизации тепла

С использованием этой технологии можно утилизировать различные жидкие и твердые органические отходы, в частности нефтешламы, а также сточные воды с высоким содержанием органики

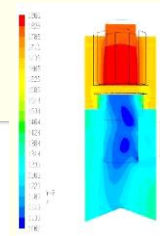
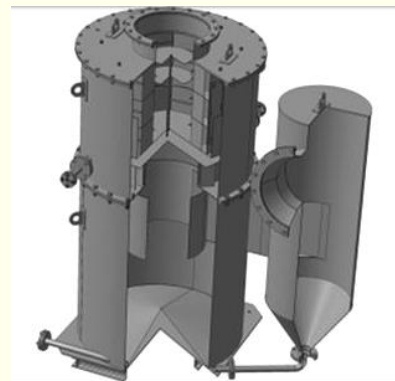
Очистка выхлопных газов дизель-генераторов

- Задача: экологически чистое сжигание газовых и жидких топлив, утилизация горючих токсичных отходов

- Сфера применения: Объекты аварийного энергоснабжения (транспорт, больницы, диспетчерские, банки, госучреждения и пр.)



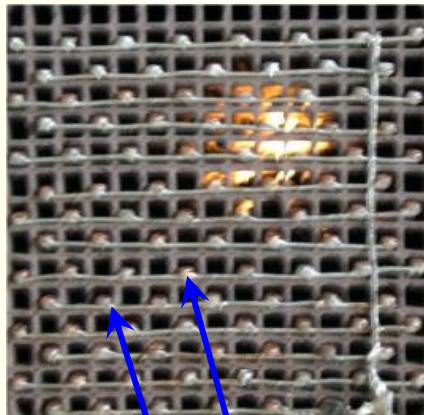
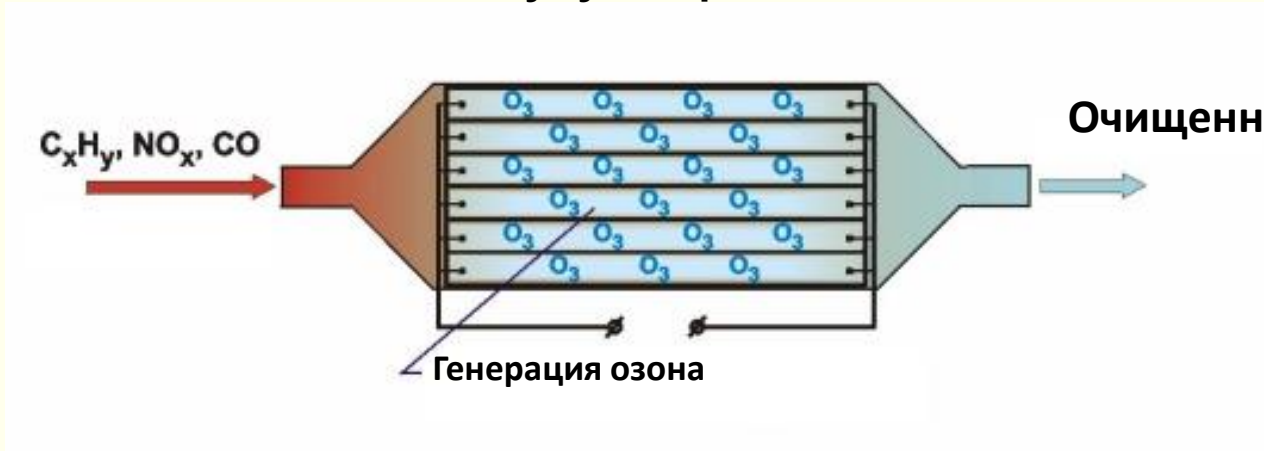
- Эффективный катализатор: Pt/CBK в виде структурированных картриджей



6 систем очистки и охлаждения газов
успешно приняты в промышленную
эксплуатацию в Московском
метрополитене (2016 г.)

Озон-каталитический метод очистки выхлопных газов автомобилей

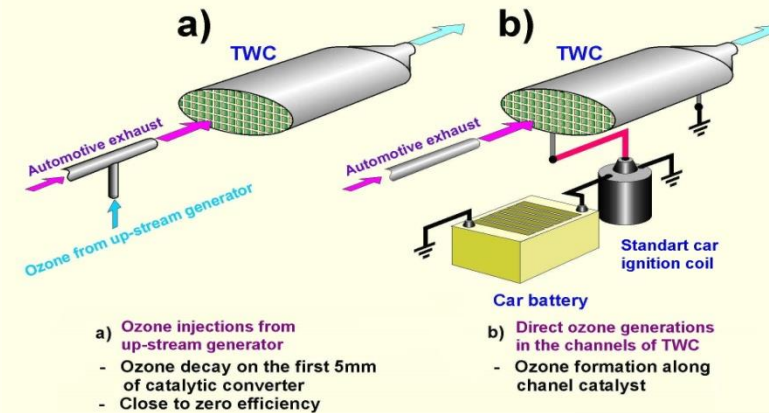
Принцип - генерация озона во всем объеме катализатора. Источник питания устройства - автомобильный аккумулятор



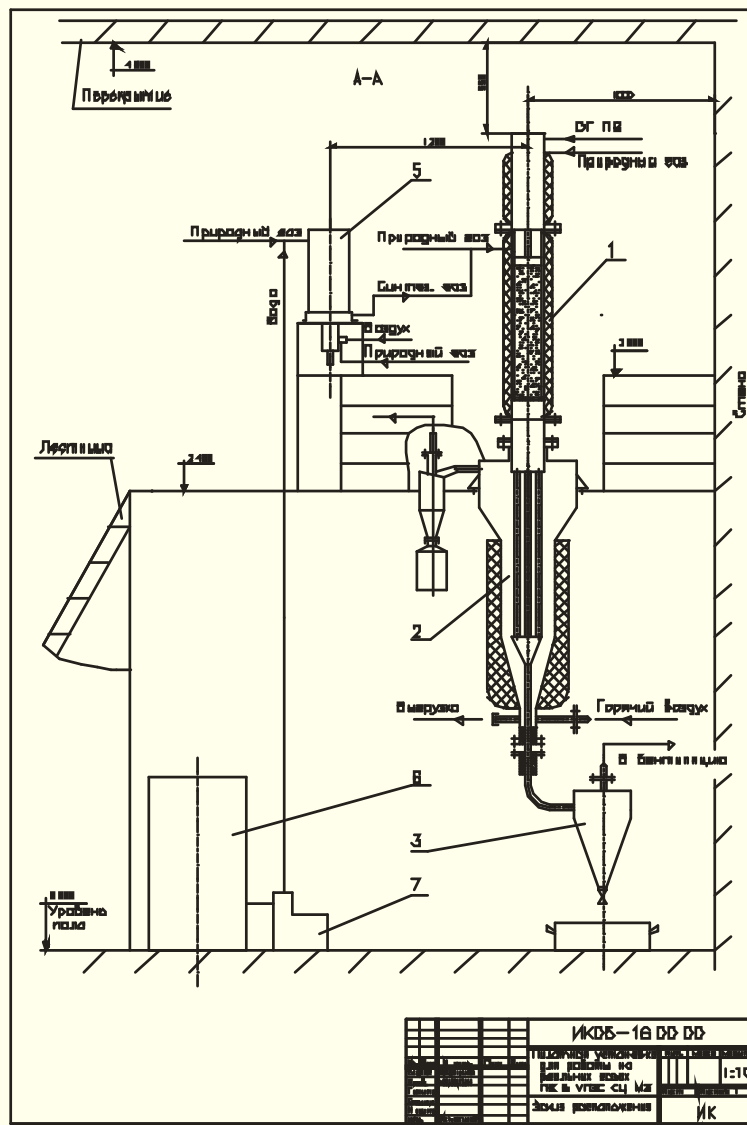
Электроды

Катализатор сотовой структуры с электродами, расположенными в каналах блока

Ozone-catalytic methods for diesel exhaust treatment upon cold start conditions



Эскиз и фото пилотной установки восстановления SO_2 на «ГМК «Норильский никель»



Фотография пилотной установки на
Медном заводе ЗФ ОАО «ГМК
«Норильский никель»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!