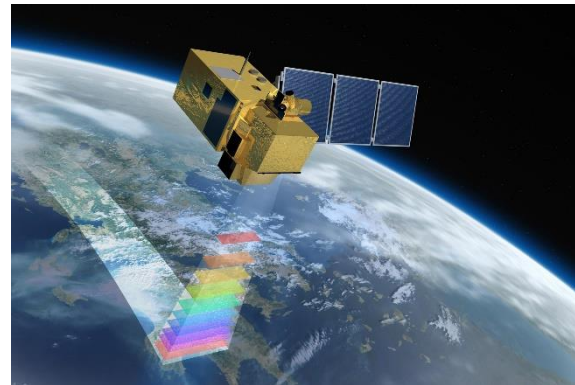


# Экологический мониторинг Сибири: проблемы, состояние, цифровая трансформация

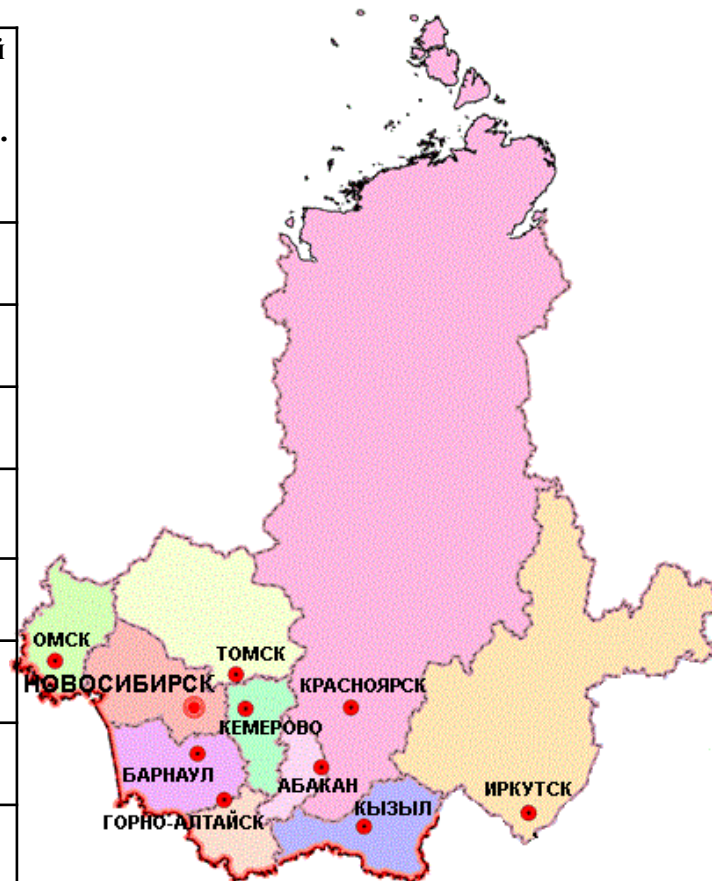


Академик РАН И.В. Бычков

**Возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан – это один из семи больших вызовов, обозначенных в Стратегии научно-технологического развития России**

## ОБОБЩЕННАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СФО

| Регионы СФО           | Площадь тыс. км <sup>2</sup> | Численность населения на 2019 г., тыс. чел. | Среднее кол-во ЧС за 5 лет | Среднее кол-во погибших при ЧС | Средний ущерб, млн. руб. |
|-----------------------|------------------------------|---|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Республика Алтай      | 92,9                         | 220,6                                       | 1                          | 3                              | 5,4                      |
| Республика Тыва       | 168,6                        | 327,4                                       | 2                          | 7                              | 8,5                      |
| Республика Хакасия    | 61,6                         | 534,3                                       | 1                          | 7                              | 232,4                    |
| Алтайский край        | 168,0                        | 2017,6                                      | 3                          | 9                              | 26,5                     |
| Красноярский край     | 2366,8                       | 2866,3                                      | 6                          | 20                             | 634,7                    |
| Иркутская область     | 774,8                        | 2391,2                                      | 6                          | 28                             | 90,9                     |
| Кемеровская область   | 95,7                         | 2657,9                                      | 3                          | 13                             | 30,5                     |
| Новосибирская область | 177,8                        | 2798,2                                      | 2                          | 5                              | 8,4                      |
| Омская область        | 141,1                        | 1926,7                                      | 3                          | 13                             | 299,4                    |
| Томская область       | 314,4                        | 1079,3                                      | 1                          | 0                              | 0                        |



**Общая площадь** – 4361,8 тыс. км<sup>2</sup>, **общая численность населения** около 17000 тыс. чел., **плотность населения** – 3,9 чел. на 1 км<sup>2</sup>., **ВРП** 7134 млрд. руб., **экологически неблагоприятные города:** Красноярск, Норильск, Абакан, Ангарск, Искитим, Иркутск, Зима, Братск, Кызыл, Лесосибирск и др.

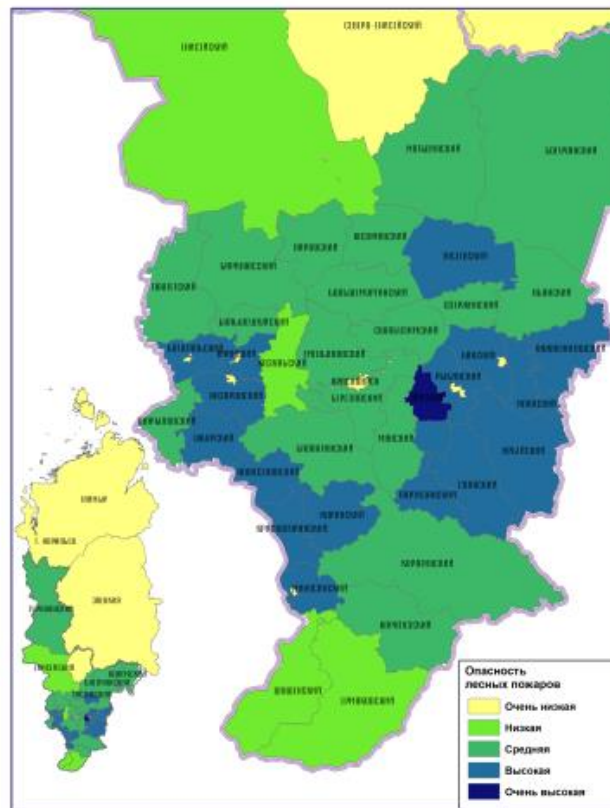
## СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ СУБЪЕКТОВ СФО ОТ ЧС ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

| Наименование субъектов региона | Наводнения                               |  | Лесные пожары                         |                                     | Землетрясения   |   | Общая степень опасн. ЧС субъекта |
|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|-------------------------------------|---|---|----------------------------------|
|                                | Площадь наводнения, тыс. км <sup>2</sup> | Население в зонах наводнения, тыс.чел. | Площадь пожаров, тыс. км <sup>2</sup> | Население в зонах пожаров, тыс.чел. | Площадь сейсмоопасной территории, тыс.км <sup>2</sup> | Население в зонах землетрясения, тыс.чел. |                                  |
| Республика Алтай               | 0,5                                      | 13                                     | 12                                    | 5                                   | 40  | 60  | 3                                |
| Республика Тыва                | 0,5                                      | 30                                     | 40                                    | 9                                   | 110   | 160                                       | 3                                |
| Республика Хакасия             | 6  | 95                                     | 10                                    | 7                                   | 20  | 70  | 2                                |
| Алтайский край                 | 20                                       | 120                                    | 8                                     | 10                                  | 120   | 90  | 1                                |
| Красноярский край              | 3  | 140                                    | 1500                                  | 40                                  | 60  | 150                                       | 1                                |
| Иркутская обл.                 | 0,9                                      | 70                                     | 180                                   | 30                                  | 160   | 300                                       | 1                                |
| Кемеровская обл.               | 2,7                                      | 70                                     | 16                                    | 15                                  | 130   | 120                                       | 1                                |
| Новосибирская обл.             | 13                                       | 300                                    | 20                                    | 15                                  | 107   | 320                                       | 1                                |
| Омская обл.                    | 4,0                                      | 16                                     | 2,5                                   | 18                                  | -   | -   | 1                                |
| Томская обл.                   | 3,5                                      | 40                                     | 0,9                                   | 70                                  | -   | -   | 1                                |
| <b>Всего</b>                   | <b>54,1</b>                              | <b>894</b>                             | <b>1789,4</b>                         | <b>219</b>                          | <b>747</b>  | <b>1270</b>                               | <b>-</b>                         |

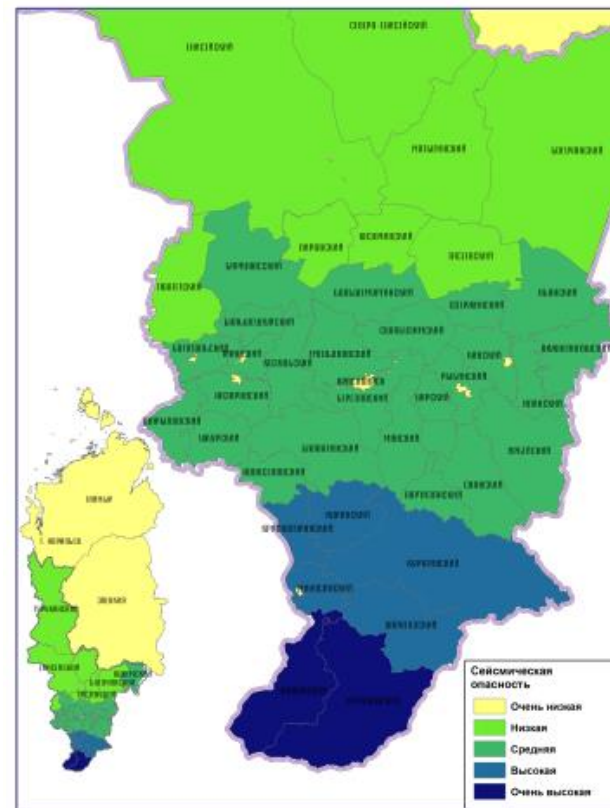
# КАРТЫ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ РАЙОНОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ



Повторяемость наводнений



Опасность лесных пожаров



Сейсмическая опасность

# **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ**

**1 Проблемы природно-техногенной и экологической безопасности – результат дестабилизации системы «социум – техносфера – природная среда»:**

- игнорирование требований концепции устойчивого развития;
- обострение дилеммы научно-технического прогресса: высокие темпы развития техносферы и возникновение новых угроз человеку, обществу, природной среде со стороны объектов техносферы.

**2 Переход от решения отдельных экологических проблем к комплексному обеспечению природно-техногенной безопасности региона.**

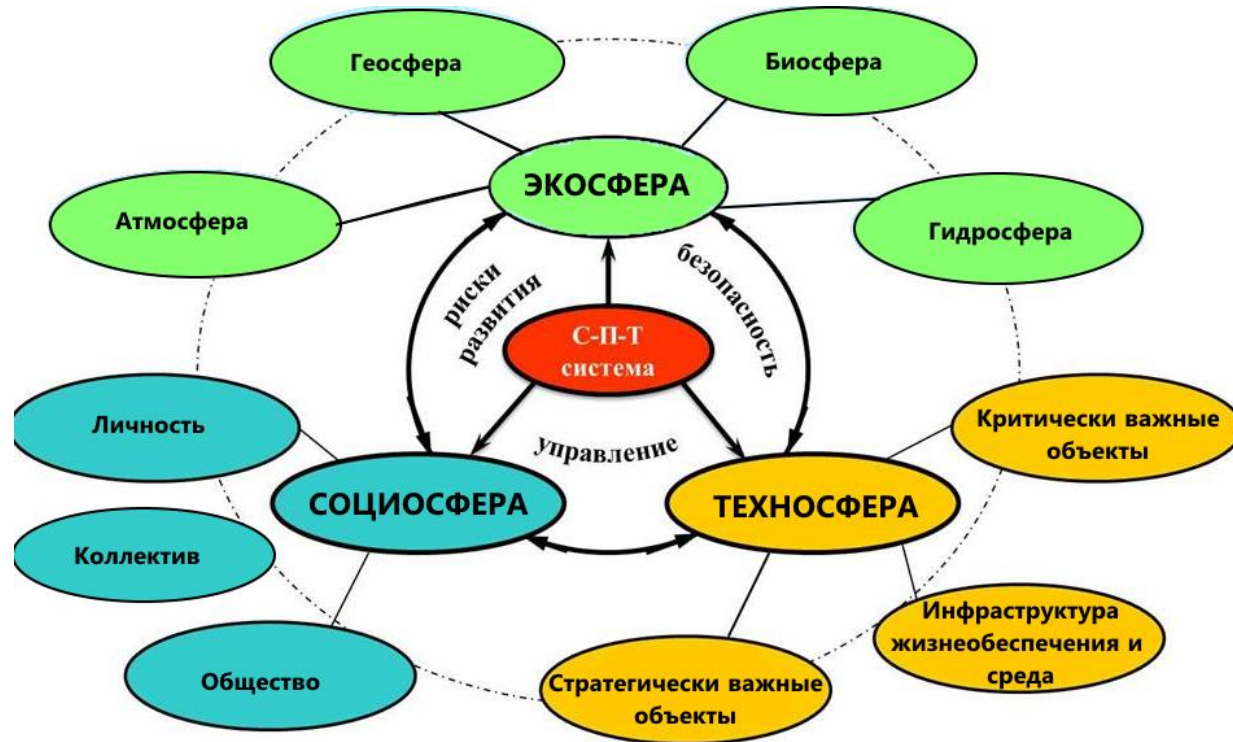
**3 Мониторинг природно-техногенной безопасности – фактор стабилизации кризисных явлений в экономике, обеспечивающий:**

- сохранность и функционирование основных производственных фондов;
- защиту населения и территорий от ЧС природного и антропогенного характера.

**4 Оценка уровня природных, техногенных и экологических рисков – основа экономических механизмов регулирования природно-техногенной безопасности.**

**5 Снижение рисков развития обеспечивает более устойчивое функционирование экономического потенциала и повышает конкурентные (инвестиционные) преимущества региона.**

# СУБЪЕКТ РФ КАК СОЦИАЛЬНО-ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННАЯ СИСТЕМА (С-П-Т система)



- Характеризуется стратегическими рисками развития с учетом территориального фактора, масштабов, состава и уровня показателей развития.
- Реализуются техногенные, природные, экологические, технологические, социальные и другие группы рисков.
- Задача- мониторинг состояния техносферы и экосферы, организация системы управления антропогенными, экологическими, природными, геодинамическими и территориальными рисками.

С-П-Т система – территориальное образование, включающая элементы техносферы, экосферы и социосферы.

# Экологические проблемы Сибири

- Антропогенное технологическое воздействие и загрязнение атмосферы, водных ресурсов, почвенного покрова промышленными предприятиями металлургического, топливно-энергетического, горнодобывающего, лесопромышленного, нефтегазодобывающего комплексов
- Экологические аварии и катастрофы. Проблемы природно-техногенной безопасности стратегических, критически важных и потенциально опасных объектов техносферы и гидротехнических сооружений
- Проблемы бореальных лесов Сибири (рост площади лесных пожаров, эпидемиологическое поражение, рост болезней леса, незаконная вырубка лесов, низкий уровень лесовосстановления)
- Значительные экологические и ландшафтные изменения, загрязнение и изменение генезиса почв, ветровая эрозия, увеличение площадей нарушенных и деградированных земель
- Проблемы сбора, утилизации и захоронения бытовых и промышленных отходов, включая радиационно-активные отходы
- Повышенная опасность геодинамических процессов (сейсмичность, оползни, обвалы, сели и т.п.)
- Проблемы водопользования (чрезмерное загрязнение водных объектов, нерегулируемое потребление и т.д.)
- Обострение санитарно-эпидемиологической обстановки
- Изменение видового состава флоры и фауны, несмотря на большие площади природоохранных территорий
- Проблемы Сибирской Арктики (изменение климата и таяние арктических льдов, загрязнение вод северных морей, сокращение популяции арктических животных и изменение их среды обитания)



# Экологическое состояние Сибири

- **Несоответствие масштабов добычи полезных ископаемых с методами сохранности окружающей среды** (Братско-Усть-Илимского, Канско-Ачинского, Норильского, Ханты-Мансийского и других промышленных комплексов);
- **Сильная загрязнённость атмосферы городов Сибири** (1/3 городов России) **вредными выбросами** (более 100 наименований), с промышленных предприятий (Братск, Норильск, Кемерово, Новокузнецк, Усолье-Сибирское, Шелехов, Ангарск, Гусиноозёрск, др.). Увеличение выбросов произошло в основном за счет предприятий теплоэнергетики, на долю которых приходится 61,2 % выбросов;
- **Загрязнение воды в бассейнах крупных рек и озёр** (Обь-Иртышский, Енисейский и Ангарский бассейны, оз. Байкал (в прибрежной зоне) - концентрация нефтепродуктов, фенолов, солей тяжёлых металлов превышает предельно допустимые нормы в несколько десятков раз). К наиболее загрязненным (от 5 до 50 ПДК) водоемам Сибири относятся территории Новосибирской, Томской, Иркутской, Омской областей и другие площади, а северная часть Западной Сибири относится к зоне чрезвычайной экологической обстановки;
- **Значительное снижение в Сибири численности ценных видов рыб** (в Обь-Иртышском бассейне на 30000 – 35000 тонн в год, запрет на вылов омуля в оз. Байкал);

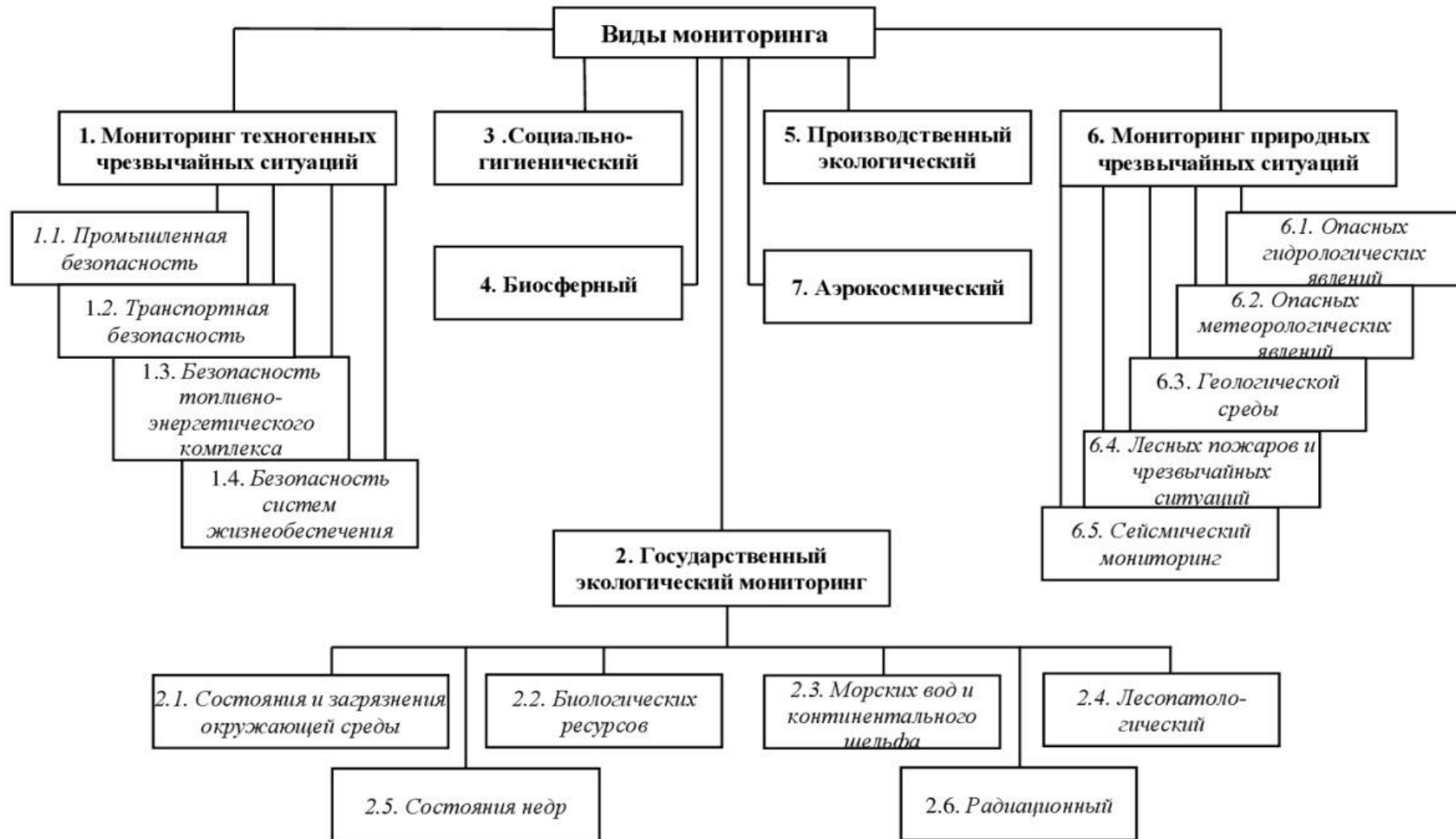
# Экологическое состояние Сибири

- **Старение, усыхание, деградация лесов** – причины роста числа пожаров и увеличения очагов вредителей и болезней леса (на территории Сибири спелые и переспелые леса составляют 70%). Рост физических объемов незаконных вырубок в Сибири и отсутствие планомерного лесовосстановления приводят к деградации почв в регионах Южной Сибири;
- **Расширение площади нарушенных и деградированных земель, изменение генезиса почв, их загрязнение бытовыми и промышленными отходами** (Кемерово, Новокузнецк, Саянск, Усолье-Сибирское, Братск и др.);
- **Неблагоприятная обстановка для животных, растений, микроорганизмов**, связанная с выбросами загрязняющих веществ в воду, атмосферу (территории Сибирь);
- **Изменение видового состава и исчезновение нескольких видов животных и растений;**
- **Риск здоровью населения** фиксируется на 80-85% территории Сибири. Риск на уровне пороговых хронических заболеваний характерен для 15% площади Сибири. Тяжелые хронические заболевания характерны для Кемерово, Новокузнецка, Братска, Усо́лья-Сибирского, Прокопьевска и в меньшей степени для Тюмени, Омска, Новосибирска, Томска и Барнаула.
- **Радиоактивное загрязнение окружающей среды на большей части Западной Сибири** (Новосибирск, Томск, Нефтеюганск, Когалым, Березовский и Тоцкий, Новоземельский и Семипалатинский полигоны) наблюдается.
- **Недостаточные оценка и прогноз климатических изменений на региональном и локальном уровнях Сибири** с разработкой сценариев последствий этих изменений. Учет последствий потепления климата на вечную мерзлоту и эрозию почв, оползней, разрушение строительных конструкций.

**Решение вопросов мониторинга и прогнозирования экологической обстановки в различных регионах мира, России и Сибири, в частности, чрезвычайно актуально и является одним из глобальных вызовов XXI века, связанных с взаимодействием человека и природы, с технологическим развитием и влиянием антропогенных факторов на окружающую среду.**

**Экологическое состояние ряда областей Сибири вызывает глубокую обеспокоенность как научного сообщества, так и проживающего там населения, и требует для своего кардинального улучшения комплексного взаимодействия научного потенциала РАН, Минобрнауки России, Минприроды России, Госкорпорации «Росатом» и других ведомств, заинтересованных организаций и бизнес-структур, а также региональных органов государственной власти и местного самоуправления.**

# МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ С-П-Т СИСТЕМ



Нормативное обеспечение – ФЗ, ПП РФ, ГОСТ (более 20 документов)

# Экологический мониторинг

**Экологический мониторинг** – информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, создаваемая с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

Основная **цель экологического мониторинга** – создание информационной системы, позволяющей получать достоверные сведения о состоянии окружающей среды и ее изменениях в физических и биотических компонентах под действием естественных и антропогенных факторов.

**Информационная система экологического мониторинга** должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния;
- о допустимости изменений и нагрузок на среду в целом;
- о существующих резервах биосферы.

**Экологический мониторинг решает следующие задачи:**

- сбор первичной информации, ее накопление, систематизация, анализ и формирование банка данных;
- обработка и представление данных в виде различных таблиц, графиков, карт;
- усовершенствование и разработку методов получения исходной информации, оценка текущего состояния окружающей среды и прогноза;
- анализ причин наблюдаемых и вероятных изменений состояния;
- оперативное обеспечение необходимой информацией всех заинтересованных лиц.

# Особенности проведения экологического мониторинга в Сибири

- **Территориальная распределенность и множественность участников мониторинга**
- **Использование нескоординированных между собой ведомственных схем мониторинга, программно-аппаратных комплексов, сетей передачи данных и средств наблюдений, формирующих большие объёмы пространственно-временных данных**
- **Отсутствие распределенной системы хранения и обработки данных экологического мониторинга, а также их разноформатность и низкая актуализация;**
- **Отсутствие интегрированной информационно-аналитической системы комплексного экологического мониторинга, оценки, моделирования и прогнозирования состояния**
- **Отсутствие оценки системной достаточности выбора «информативных показателей» экологического мониторинга территорий Сибири, а также единой системы идентификации пространственных объектов, как универсальных элементов связи ведомственных пространственных и тематических баз данных**
- **Слабая оперативность и ограниченность доступа к данным экологического мониторинга, что осложняет принятие управленческих решений и проведение междисциплинарных научных исследований**

# Цифровая трансформация мониторинга Сибири



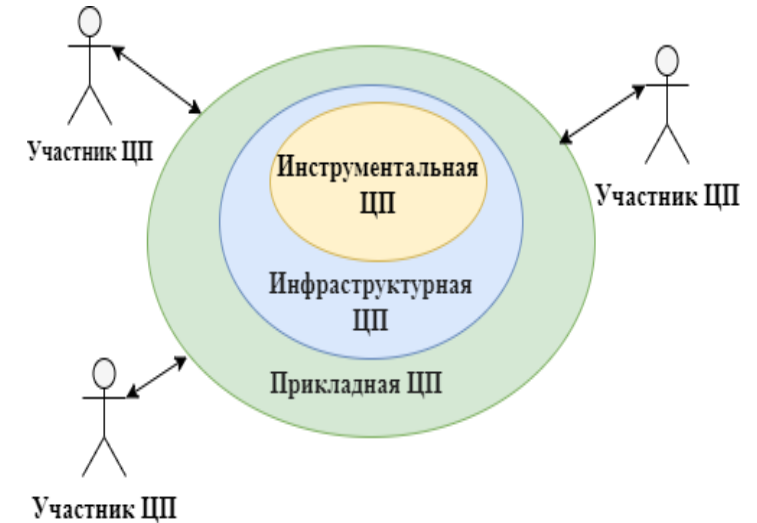
**Цифровизация** - ведущий тренд современного технологического развития, обусловлена совершенствованием цифровых информационных технологий, увеличением мощностей вычислительных кластеров, созданием сетей 4G и 5G, интернета вещей (IoT).

Основой цифровой парадигмы является принцип «все как услуга», ориентация на системный подход к использованию информационных ресурсов и внедрение цифровых технологий во все виды деятельности.

# Базовые типы цифровой платформы экологического мониторинга Сибири

**Цифровая платформа (ЦП)** - это среда накопления, обмена и управления данными в структурированном виде, а также система вызова бизнес-функций с подключенными к ней через технологические интерфейсы сервисами участников Цифровой экосистемы.

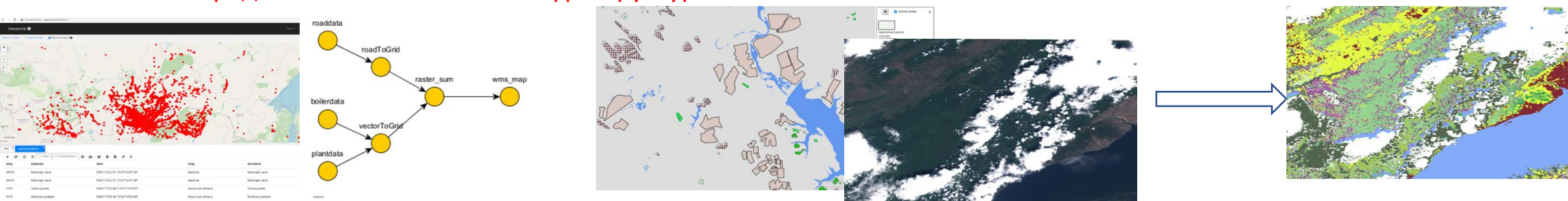
**Цифровая экосистема** - региональное **партнерство участников мониторинга** Сибири, поддерживающих открытый информационно-вычислительный и телекоммуникационный обмен данными, сервисами их обработки, моделями, цифровыми инструментами и услугами.



**Инструментальная ЦП** - поддерживает доступ участников ЦЭС мониторинга Сибири к разработке и отладке прикладных информационных и программно-аппаратных средств мониторинга путём предоставления стандартных функций, **инструментальных сервисов по обработке пространственно-временных данных и их интерфейсов.**

**Инфраструктурная ЦП** - поддерживает создание **прикладных программно-аппаратных средств мониторинга Сибири, тематических WPS сервисов обработки и распределенного хранения данных на основе информационно-аналитической среды,** сервис-ориентированных и сквозных технологий, использовании декларативных спецификаций и интеллектуализации.

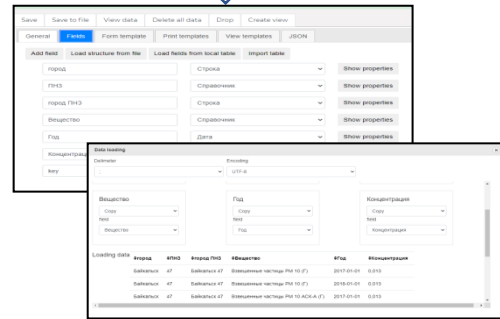
**Прикладная ЦП** - оперирует обработанными данными на уровне отдельной группы или вида мониторинга в целом, а также **поддерживает алгоритмический обмен услугами (сервисами) между участниками ЦЭС с использованием информационно-аналитической среды и технологической инфраструктуры.**



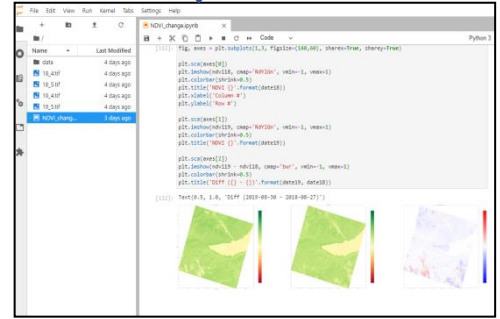


# Инструментальная цифровая платформа

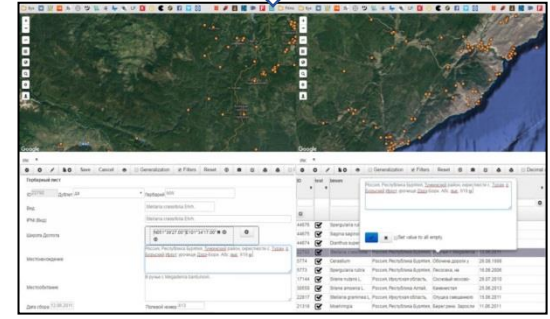
Разработка сервисов редактирования данных



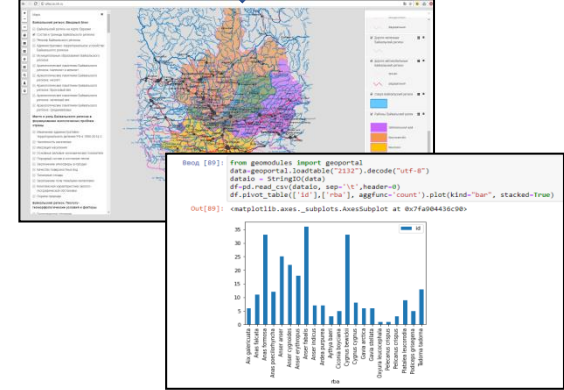
Инструменты разработки WPS сервисов



Инструменты развертывания геопорталов



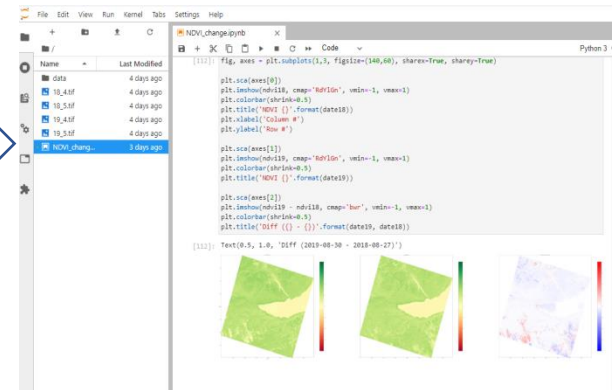
Инструменты разработки сервисов публикации данных



JupyterHub

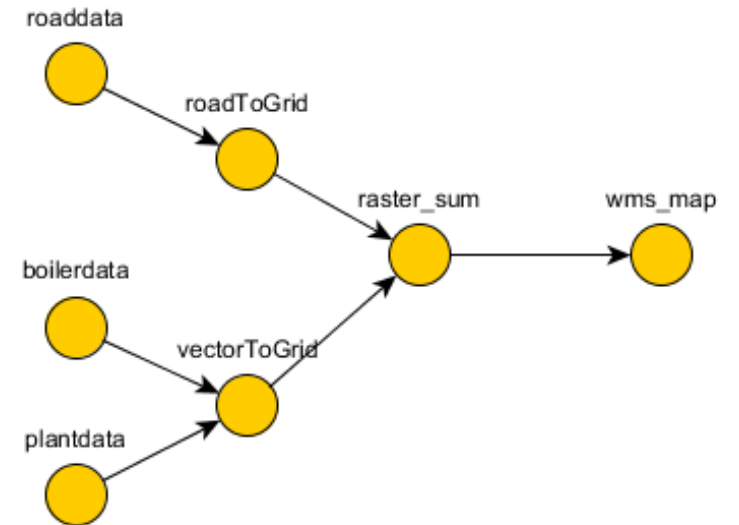


Авторизация пользователей



# Инфраструктурная цифровая платформа

- Инвентаризация сервисов обработки и предоставления данных.
- Предоставление вычислительных ресурсов.
- Обеспечение приоритетности наиболее часто используемых функций.
- Сбор статистики применения пользователями сервисов.
- На основе онтологии и статистической информации автоматическое построение композиции сервисов.



# Формирование информационной инфраструктуры ЦП для задач мониторинга Красноярского края

- Создание геопортальной информационной веб-системы для работы с разнородными данными оперативного мониторинга
- Решение задач информационного обеспечения прикладных систем оперативными данными через веб-сервисы

Геопортал: Данные оперативного мониторинга

## Данные оперативного мониторинга

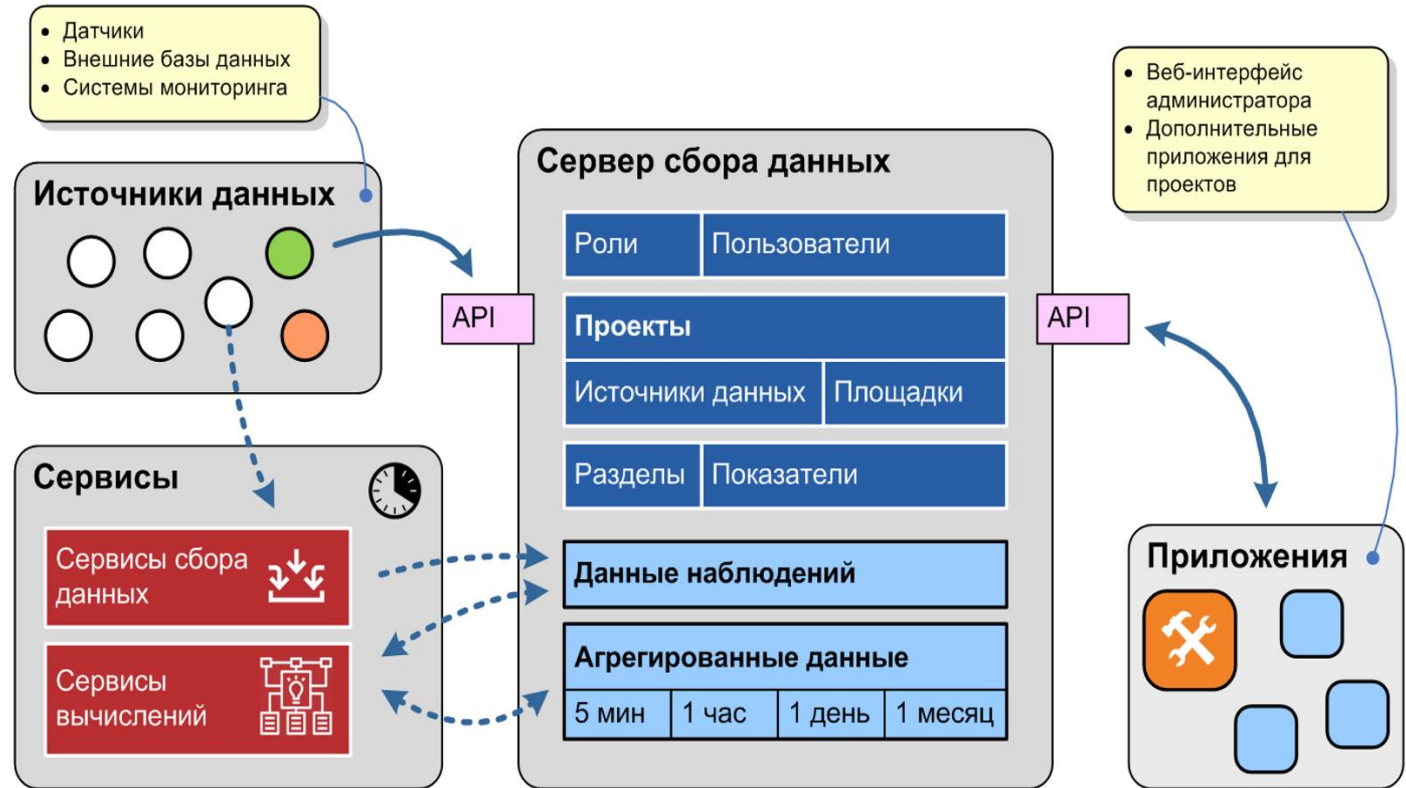
Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

### Коллекции данных

Аналитика Выход (student)

- Система мониторинга состояния атмосферного воздуха в г. Красноярске**  
Цель создания системы – накопление и анализ объективных данных о состоянии атмосферного воздуха Красноярске, получаемых с помощью сертифицированных автоматических станций контроля загрязненности атмосферного воздуха.
- Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС КГБУ "ЦРМПиО"**  
Данные Краевой ведомственной информационно-аналитической системы данных о состоянии окружающей среды Красноярска (КВИАС). Оператор системы – Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярска» (<http://www.krassecology.ru/>). Информация формируется сетью автоматизированных постов наблюдений, лабораторией.
- Данные системы мониторинга ФГБУ «Среднесибирское УГМС»**  
Метеорологическая информация и данные мониторинга загрязнения окружающей среды, полученные на публично доступных информационных ресурсах Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (<http://meteo.krasnoyarsk.ru/>).
- Климатические данные GSOD на территорию Красноярского края**  
Метеорологическая информация (данные метеостанций) на территорию Красноярского края и его окрестностей. Информация формируется на основе общедоступного глобального набора данных GSOD (Global Surface the Day), который содержит ежедневные среднесуточные метеоданные. База данных GSOD поддерживается Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (NOAA) США.
- Данные гидрологических наблюдений в Красноярском крае**  
Оперативные данные ежедневных наблюдений (уровень воды и характеристики его изменения, температура воды и воздуха) на гидрологических постах в Красноярском крае. Источник информации – портал федеральной межведомственной информационной системы «Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане» (ЕСИМО, <http://portal.esimo.ru/>), на котором представлены данные «Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ВНИИГМИ-МЦД).

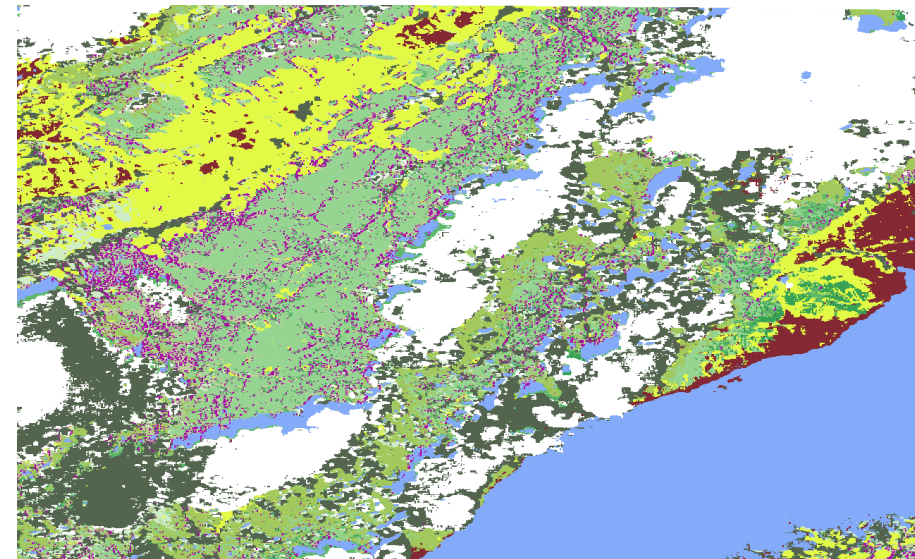
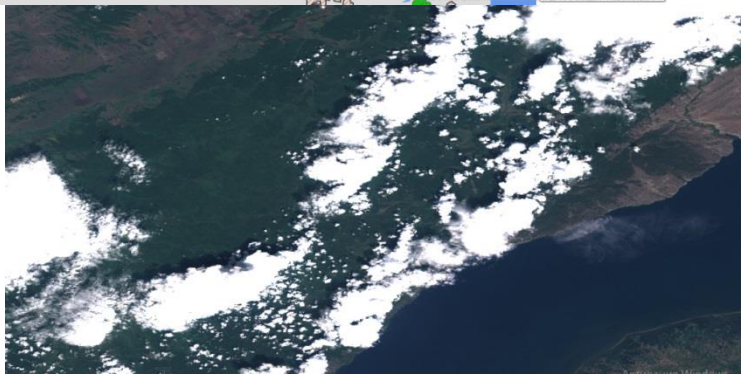
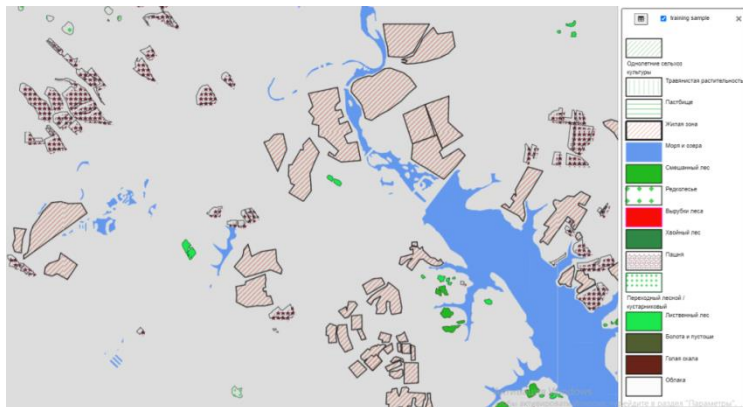
gis.krasn.ru/sc/project/5/info.html



В основе разработанного программного обеспечения – спецификации стандарта Sensor Web Enablement (SWE)

# Прикладная цифровая платформа

- Развитие методов ДЗЗ снизило стоимость мониторинга и увеличило частоту до режима, близкого к реальному времени, или ретроспективного обзора на десятилетия назад.
- Информация об изменениях земного покрова необходима для отслеживания стихийных бедствий, оценки состояния окружающей среды, территориального планирования.



Необходима реализация цифрового двойника, позволяющего получать и анализировать модель земного покрова.

# Мультимодальный подход создания систем экологического мониторинга на основе цифровых двойников

Три типа модальностей, для обеспечения пространственными данными:

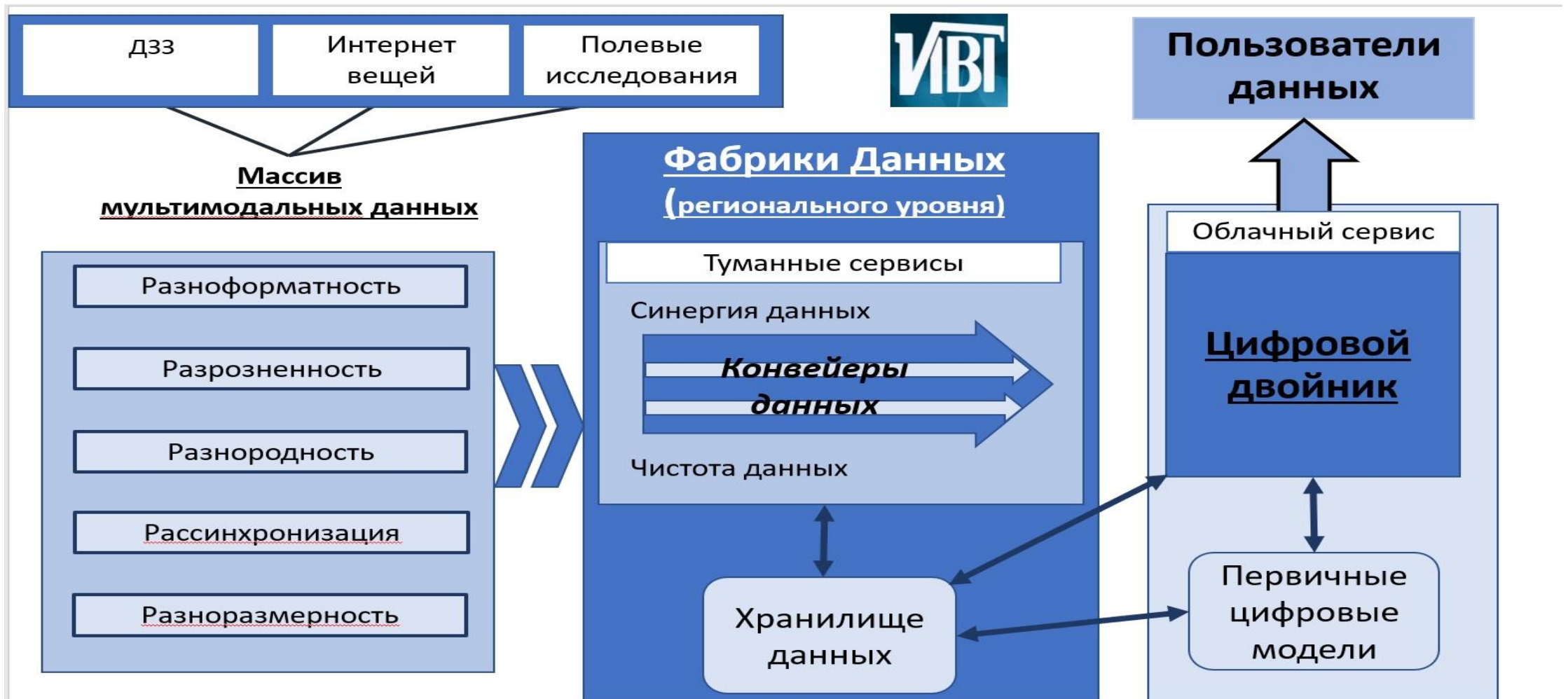
- Аэрокосмическая - ДЗЗ (мультиспектральные, гиперспектральные, радарные, физико-химические параметры, собираемые дронами)
- Интернет вещей (умные датчики и системы сбора информации по всем средам-воздух, вода, почва)
- Экспедиционные данные по реальным объектам на местности, включая мультимедиа

Интеграция данных и их обработка проводятся на уровне «туманных вычислений», с последующей передачей их для хранения и анализа на облачном уровне.

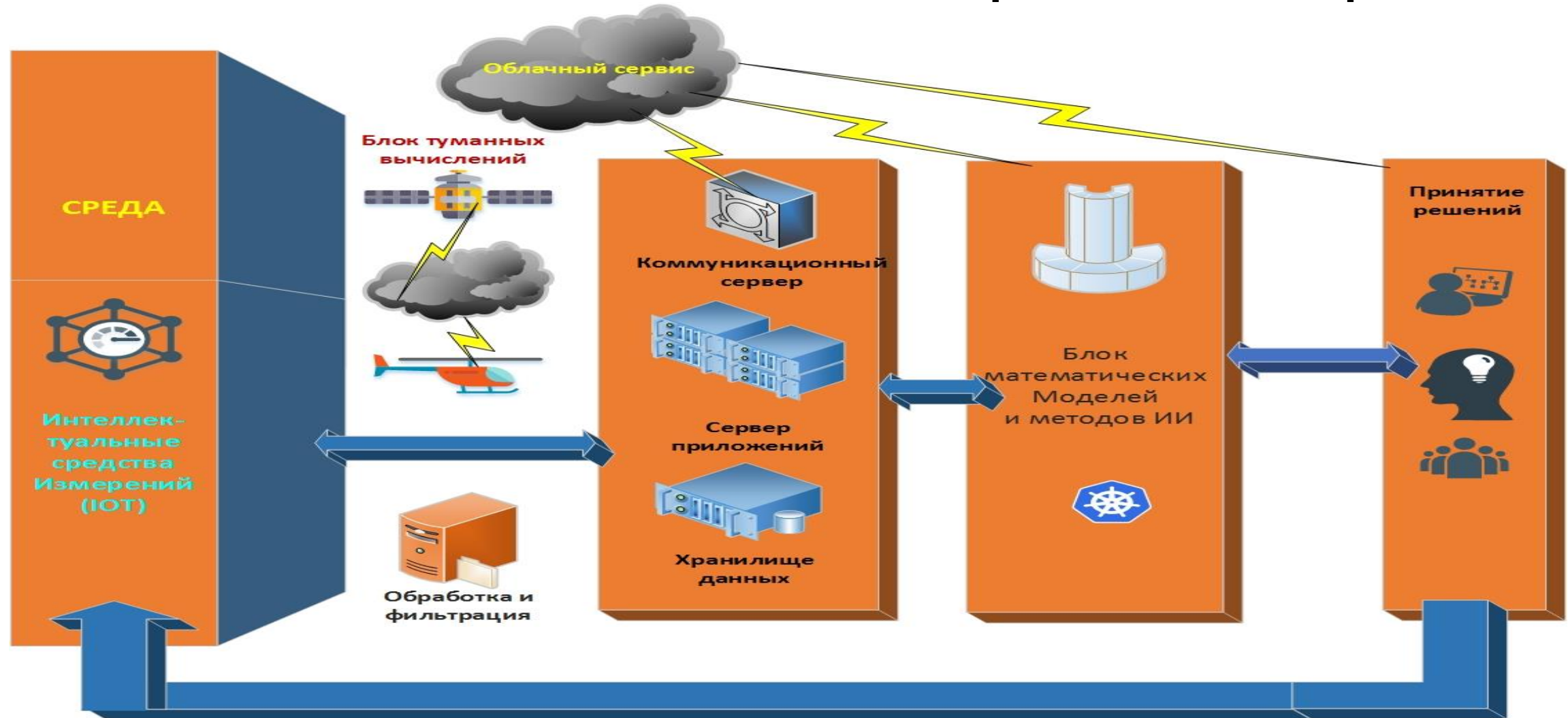
## Пирамида технологий для цифровых двойников



# Схема генерации и обработки мультимодальных потоков пространственных данных



# Концептуальная модель цифрового двойника системы экологического мониторинга Сибири



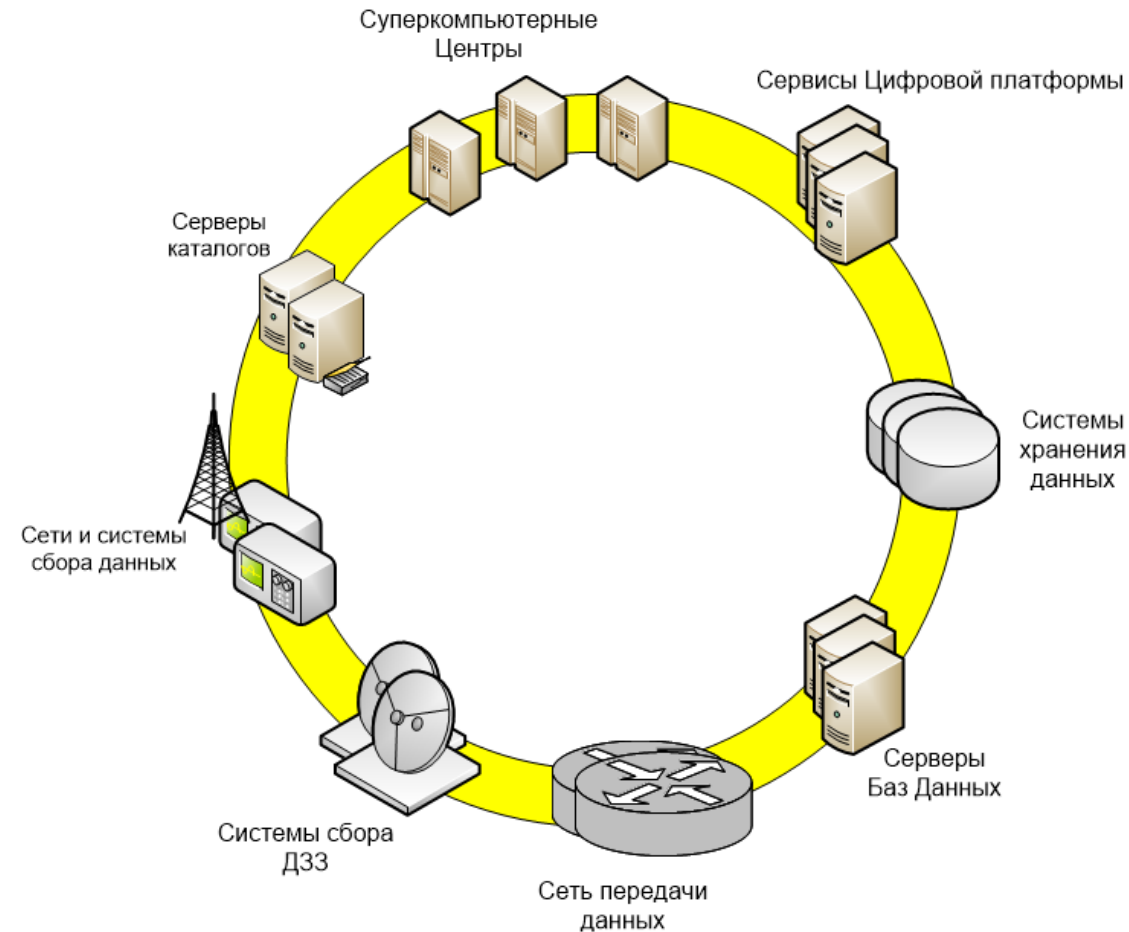


## Развитие ЦОД экологического мониторинга

Существенное повышение эффективности хранения, консолидации, обработки и представления больших объёмов распределённых междисциплинарных пространственно-временных данных экологического мониторинга Сибири за счёт:

- значительного увеличения общего объема дискового ресурса ЦОД для хранения междисциплинарных данных большого объема, в том числе данных ДЗЗ;
- эффективного распределения дискового ресурса в зависимости от задач за счет его разделения на уровни с соответствующими требованиями по объему/производительности (данные дисков виртуальных машин, оперативное/архивное хранение данных, автоматический SSD-кэш для наиболее часто используемых данных);
- увеличения оперативной емкости и производительности информационно-вычислительной облачной инфраструктуры (возможного количества виртуальных машин и используемой ими оперативной памяти) для работы WEB-сервисов, СУБД, внедрения сервис-ориентированной парадигмы и функционирования цифровой платформы, а также перехода на «сквозные технологии»;
- улучшенные возможности по управлению и мониторингу информационно-вычислительной облачной инфраструктуры (переход на последнюю версию управляющего ПО).

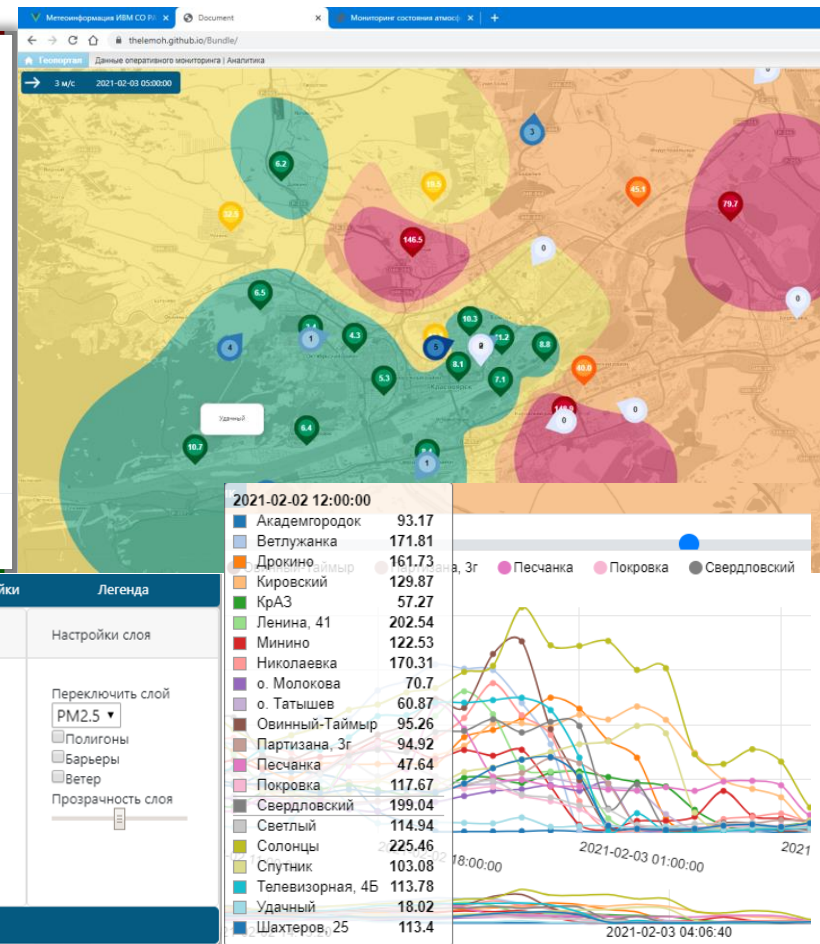
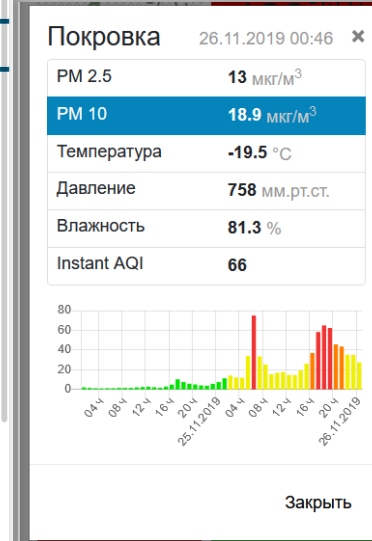
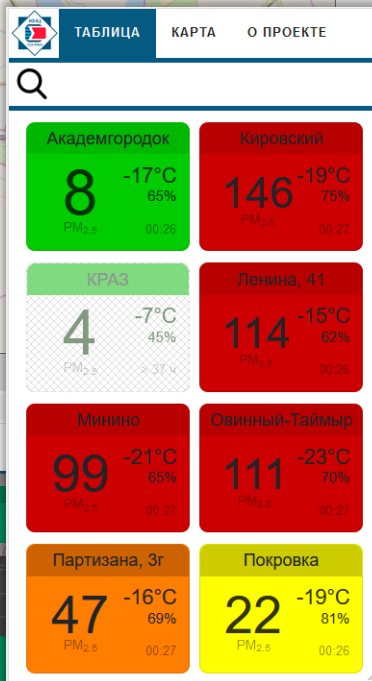
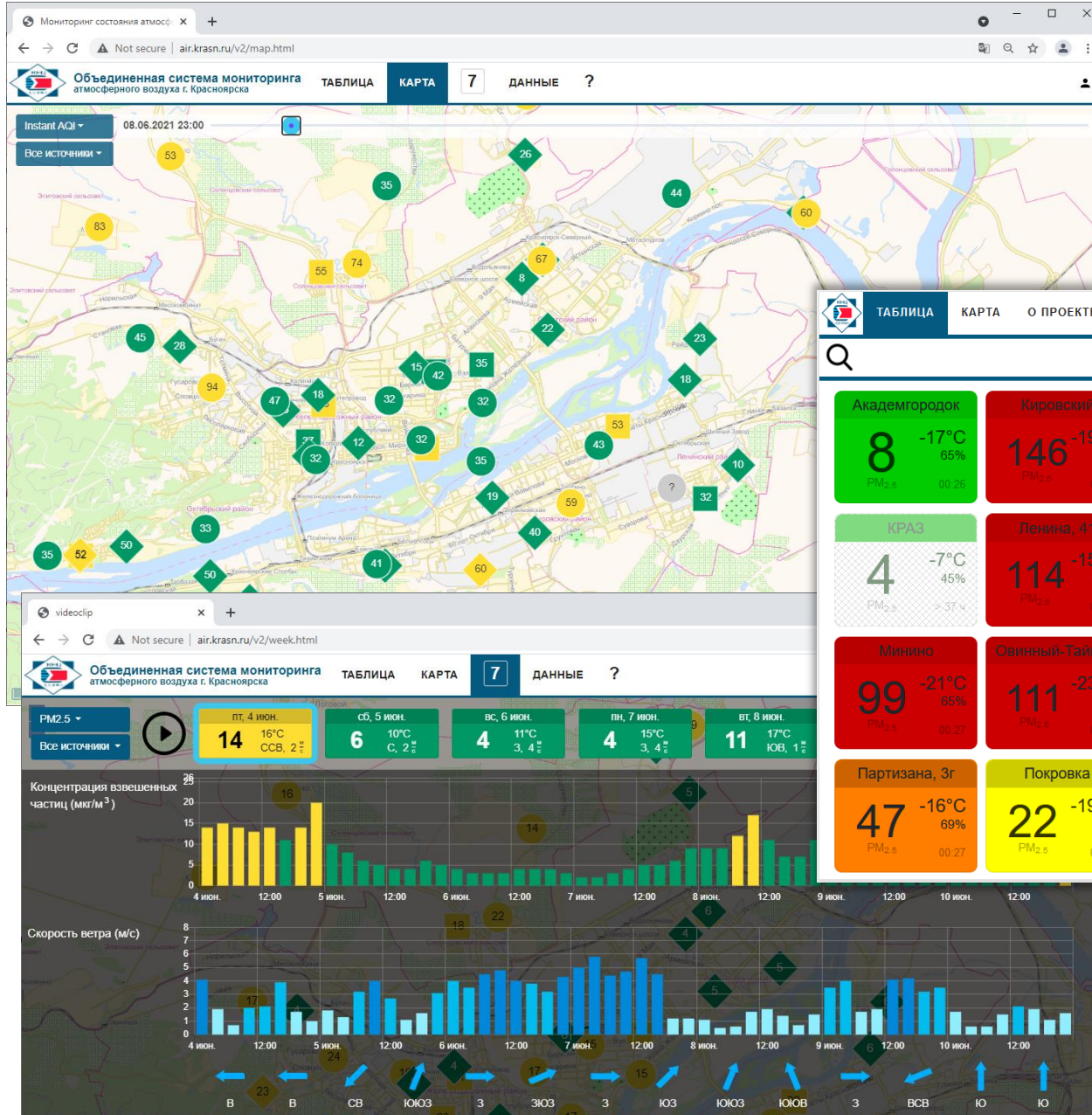
# Инфраструктура центров обработки данных цифрового мониторинга Сибири



- Распределенные системы сбора, хранения и обработки данных;
- Ресурсы Суперкомпьютерных центров (СКЦ);
- Высокоскоростная сеть передачи данных;
- Системы резервного копирования и репликации;
- Эффективное распределение информационно-вычислительных ресурсов;
- Политика общего доступа к данным мониторинга и инструментам их использования ;

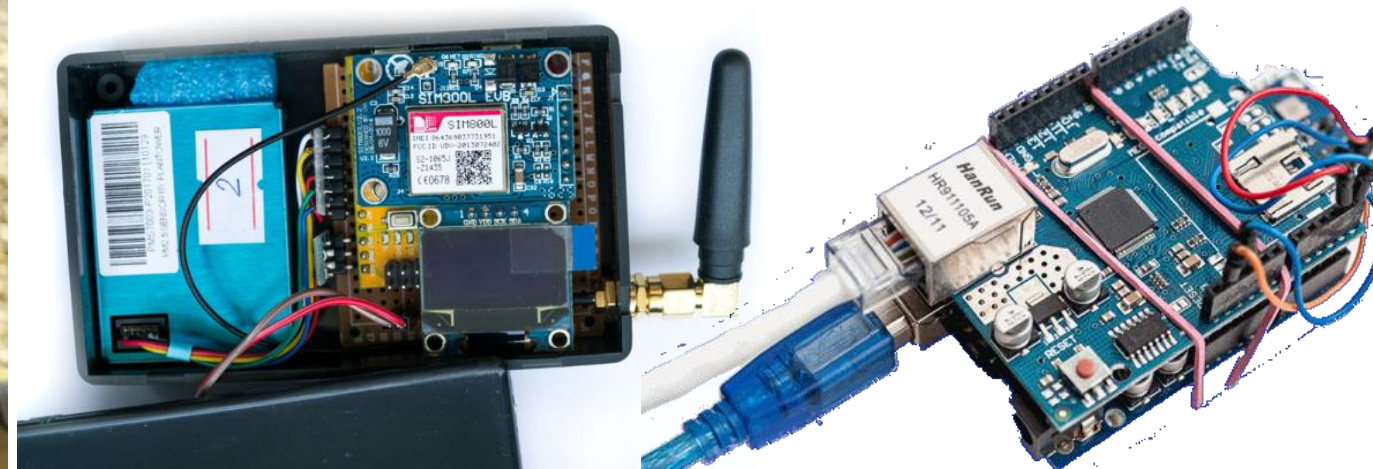
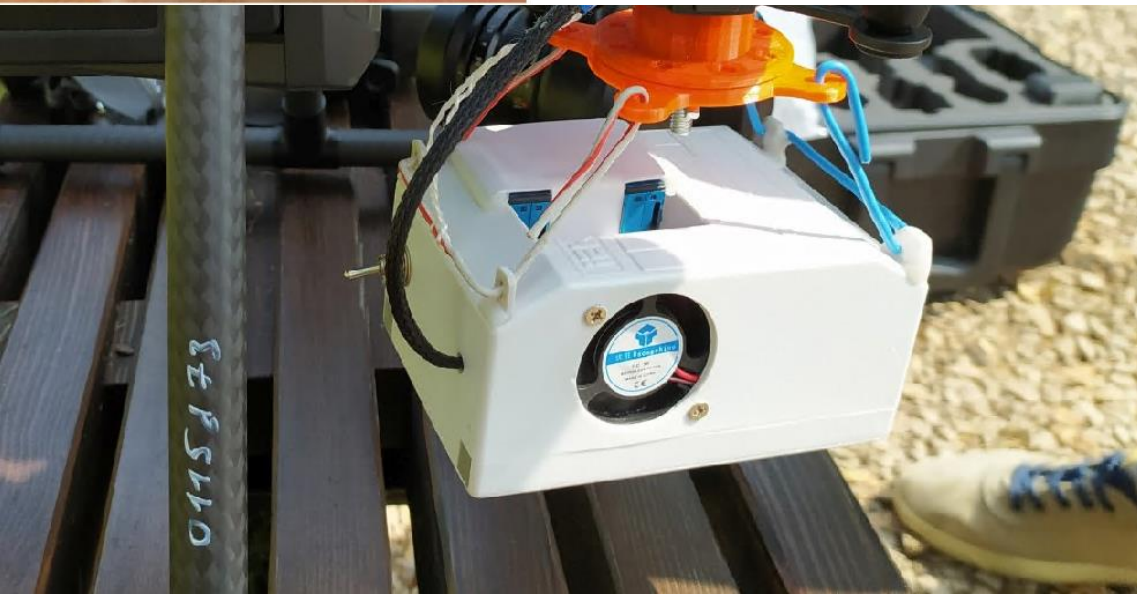
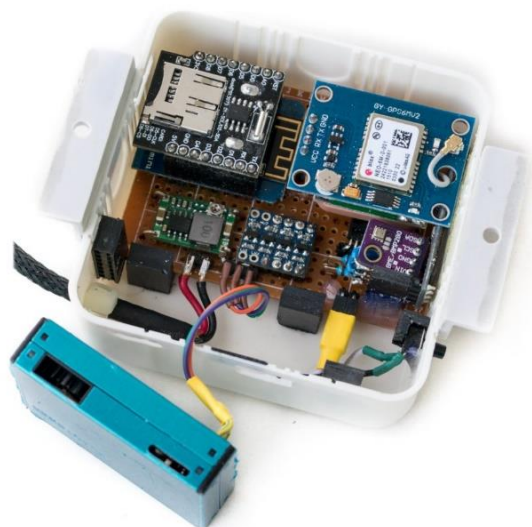
# Системы мониторинга атмосферного воздуха промышленного города

- Технологии сбора, обработки и представления информации, получаемой с распределенных по городу постов мониторинга
- Геопортал для визуализации данных по загрязнению воздуха
- Формирование исходных данных для вычислительного моделирования распространения примесей в атмосфере



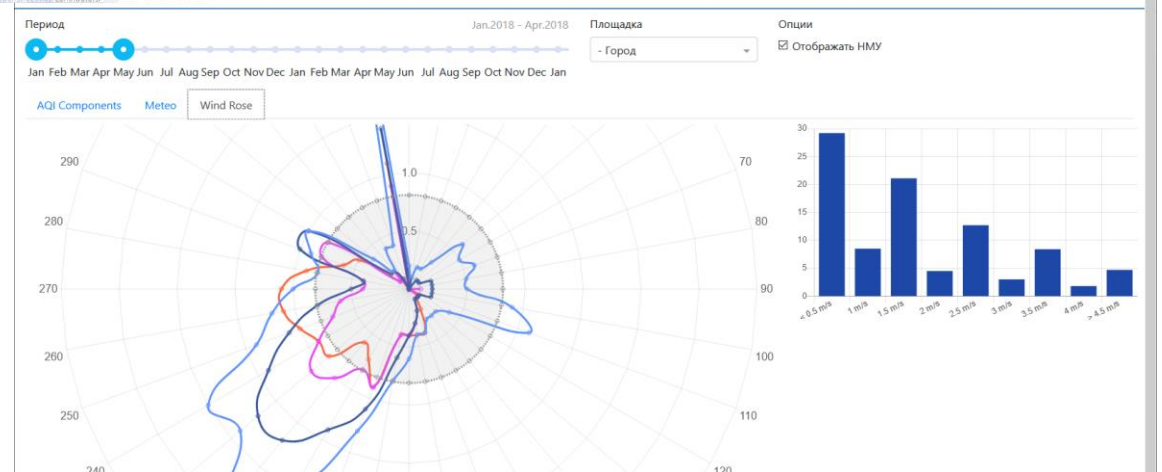
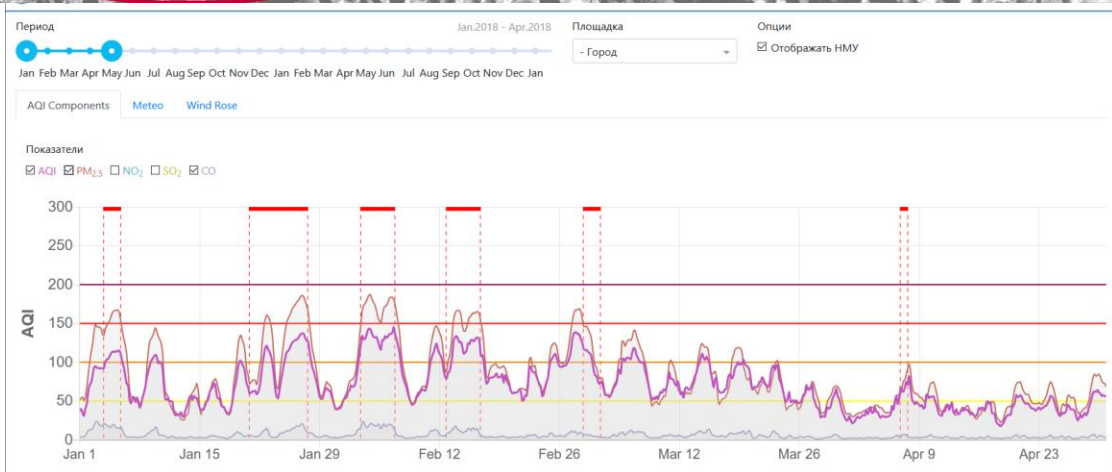
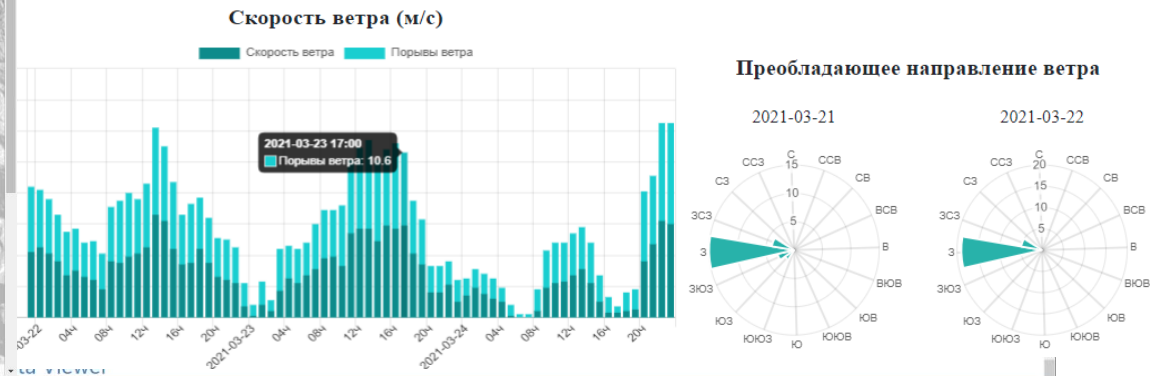
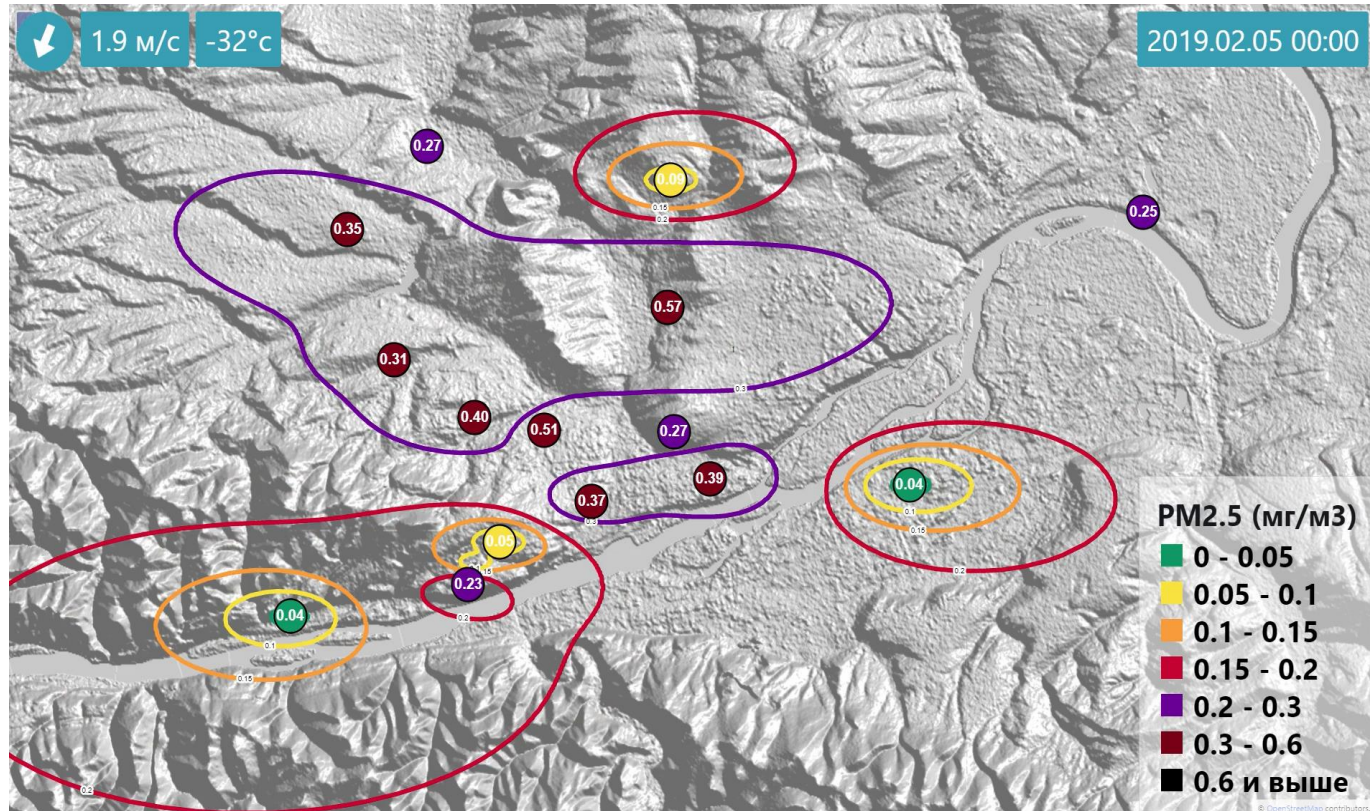
# Специализированное приборно-измерительное обеспечение мониторинга

- Стационарные и мобильные устройства, навесное оборудование для БПЛА (квадрокоптера) с передачей регистрируемых данных на геопортал данных мониторинга через сотовую сеть



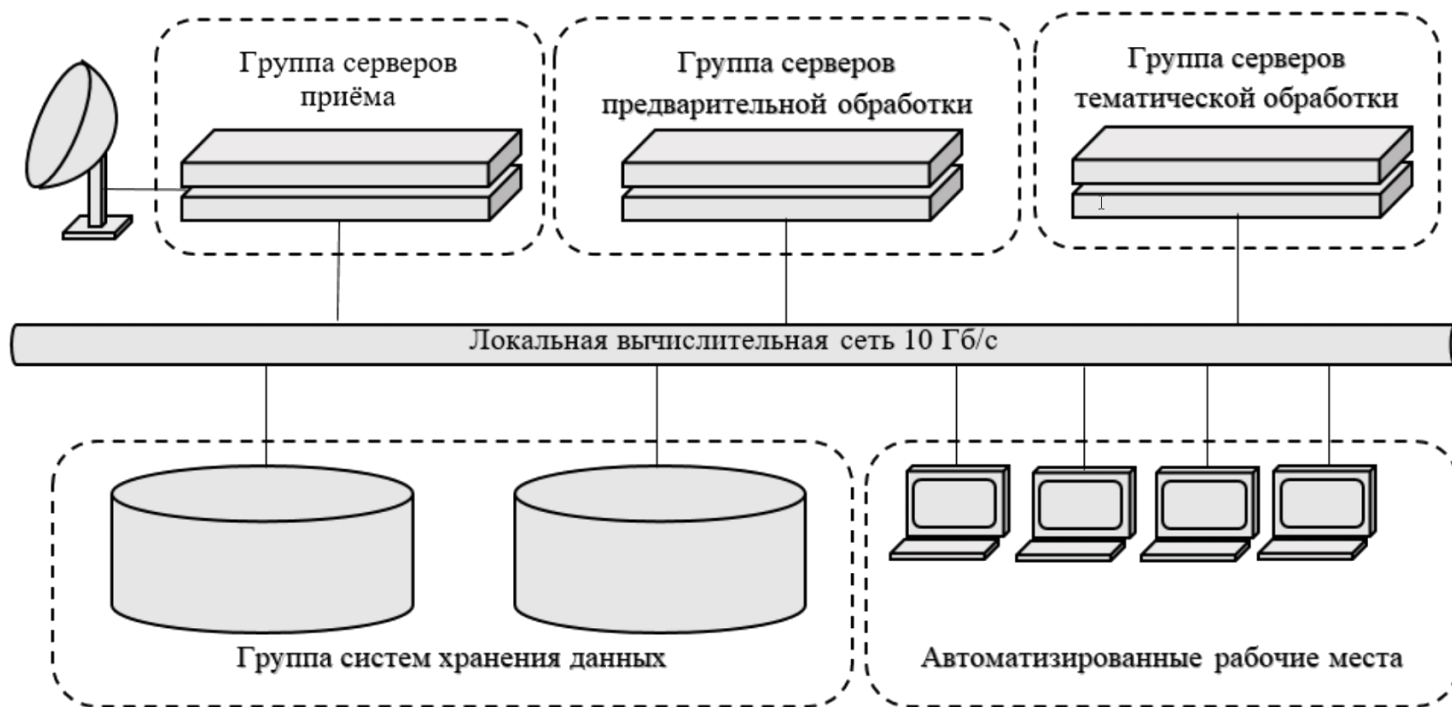
# Информационно-вычислительные технологии для анализа данных мониторинга

- Интерфейсы и системы интерактивной картографической веб-визуализации регистрируемых данных мониторинга: картограммы, таблицы, гистограммы и графики...
- Моделирование данных, различные методы логического представления мониторинговой информации
- Аналитические сервисы данных на основе веб-шаблонов



# Вычислительные технологии приема и оперативной обработки спутниковых данных

## Инфраструктура Центра обработки спутниковых данных

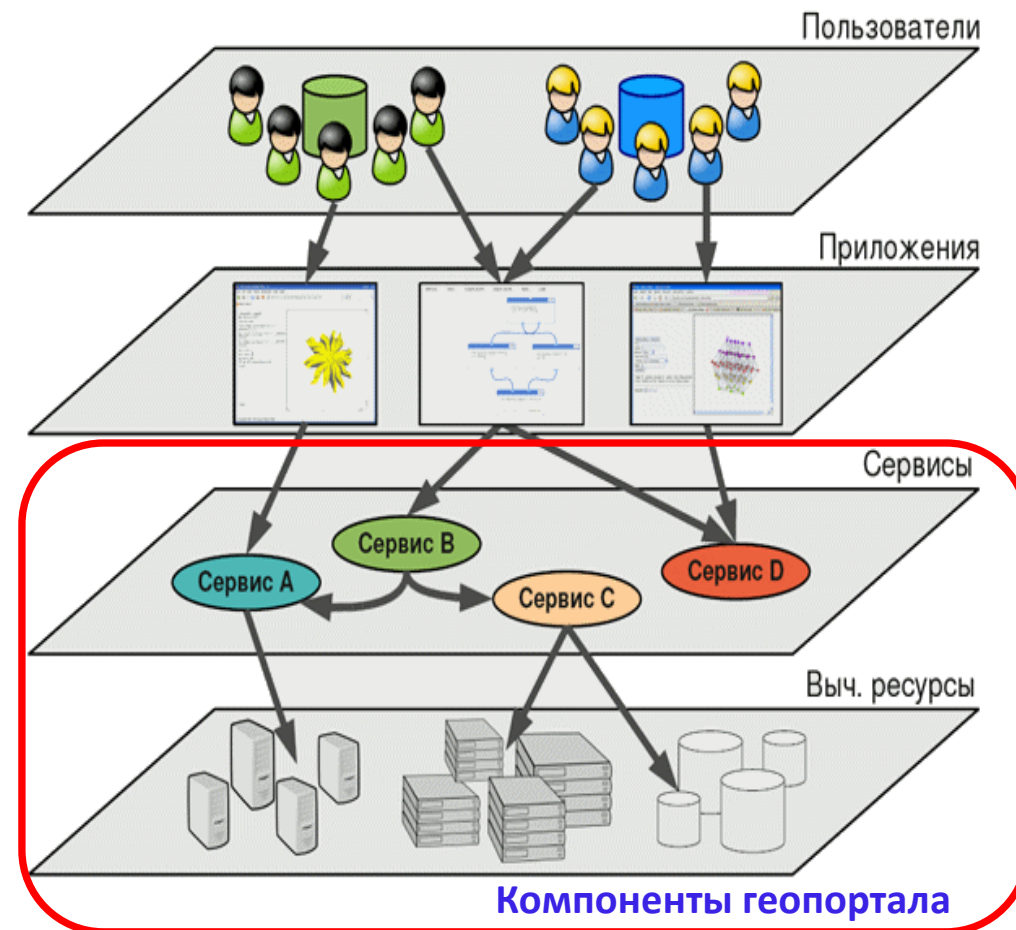


## Формирование информационных продуктов:

- **Базовые информационные продукты** («сырые» мультиспектральные данные)
- **Тематические продукты для специалистов** (маски облачности, термоточки пожаров, вегетационные индексы, температура поверхности, характеристики аэрозолей, и т.п....)
- **Проблемно-ориентированные сервисы для пользователей** (автоматически формируемые тематические карты и схемы для геопорталов, прикладные картографические веб-сервисы для встраивания в сторонние ГИС...)

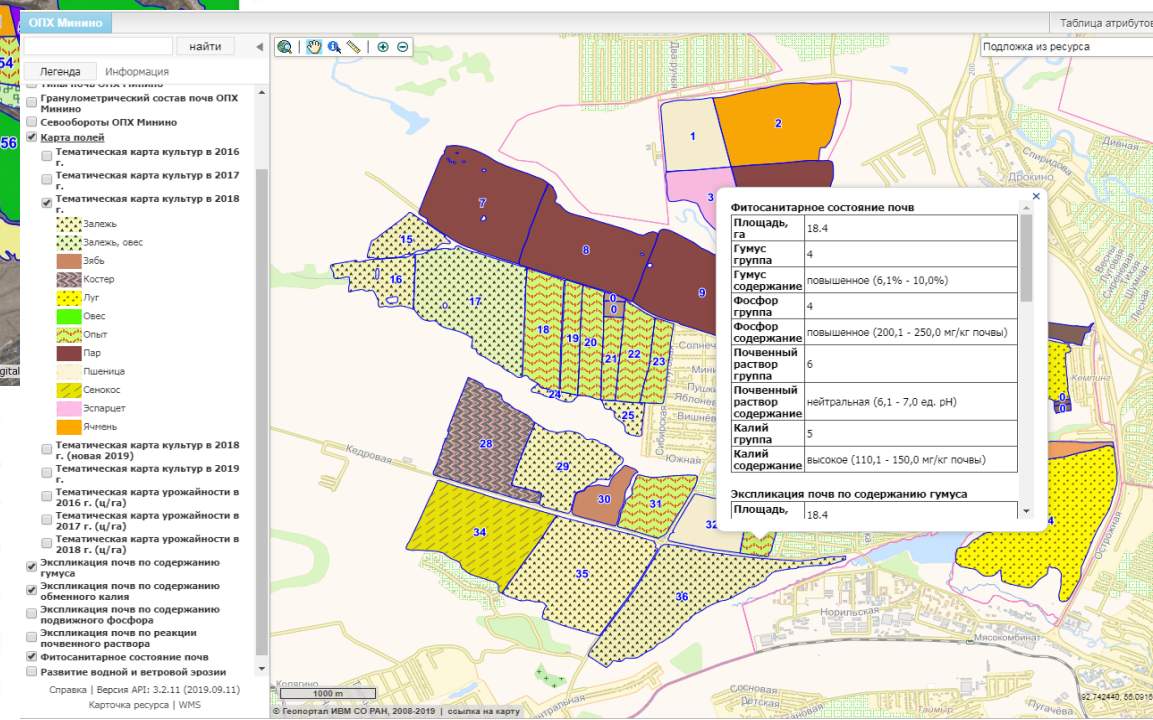
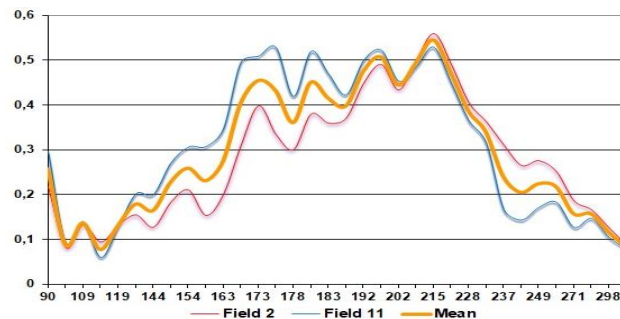
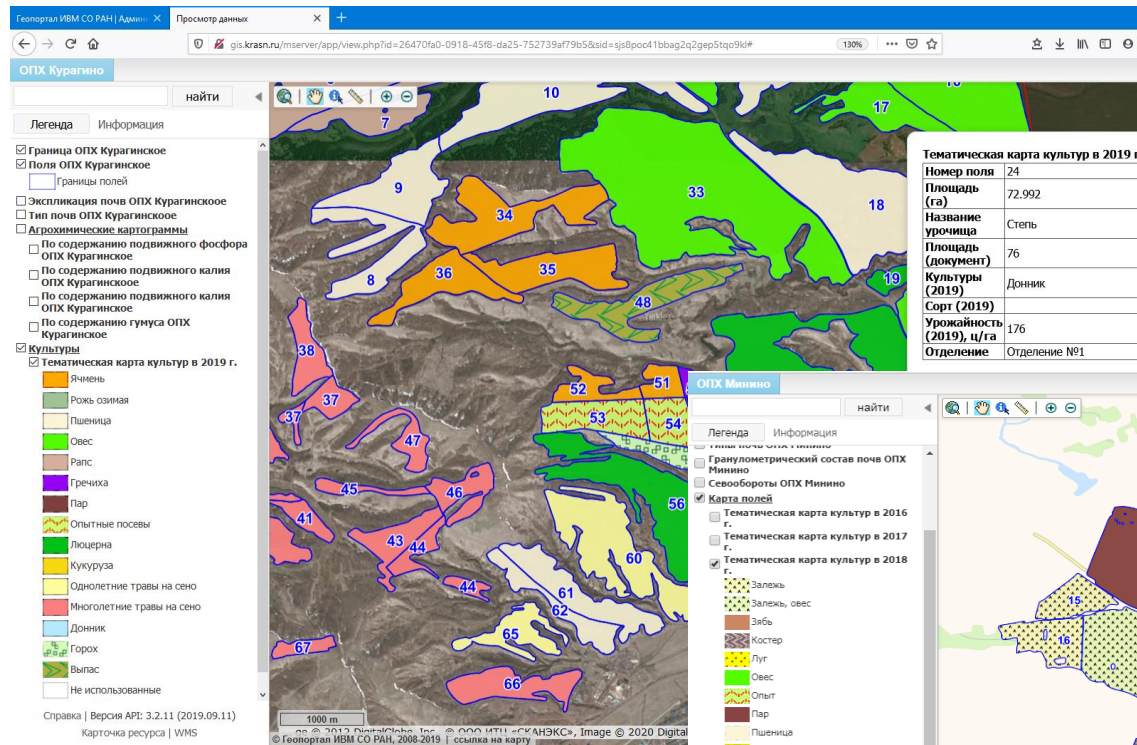
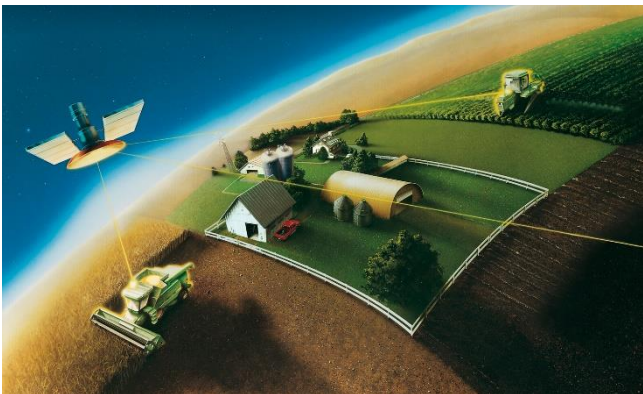
## Технологическая основа –

Сервис-ориентированная архитектура геопортала, программное обеспечение на основе набора слабо связанных компонентов, взаимодействующих через стандартизированные прикладные веб-сервисы





# Комплексный мониторинг сельхозугодий, цифровизация системы земледелия



**Создание проблемно-ориентированного программно-технологического обеспечения, геопространственных баз данных и семейства геоинформационных веб-систем для информационно-аналитической поддержки цифровых технологий земледелия**



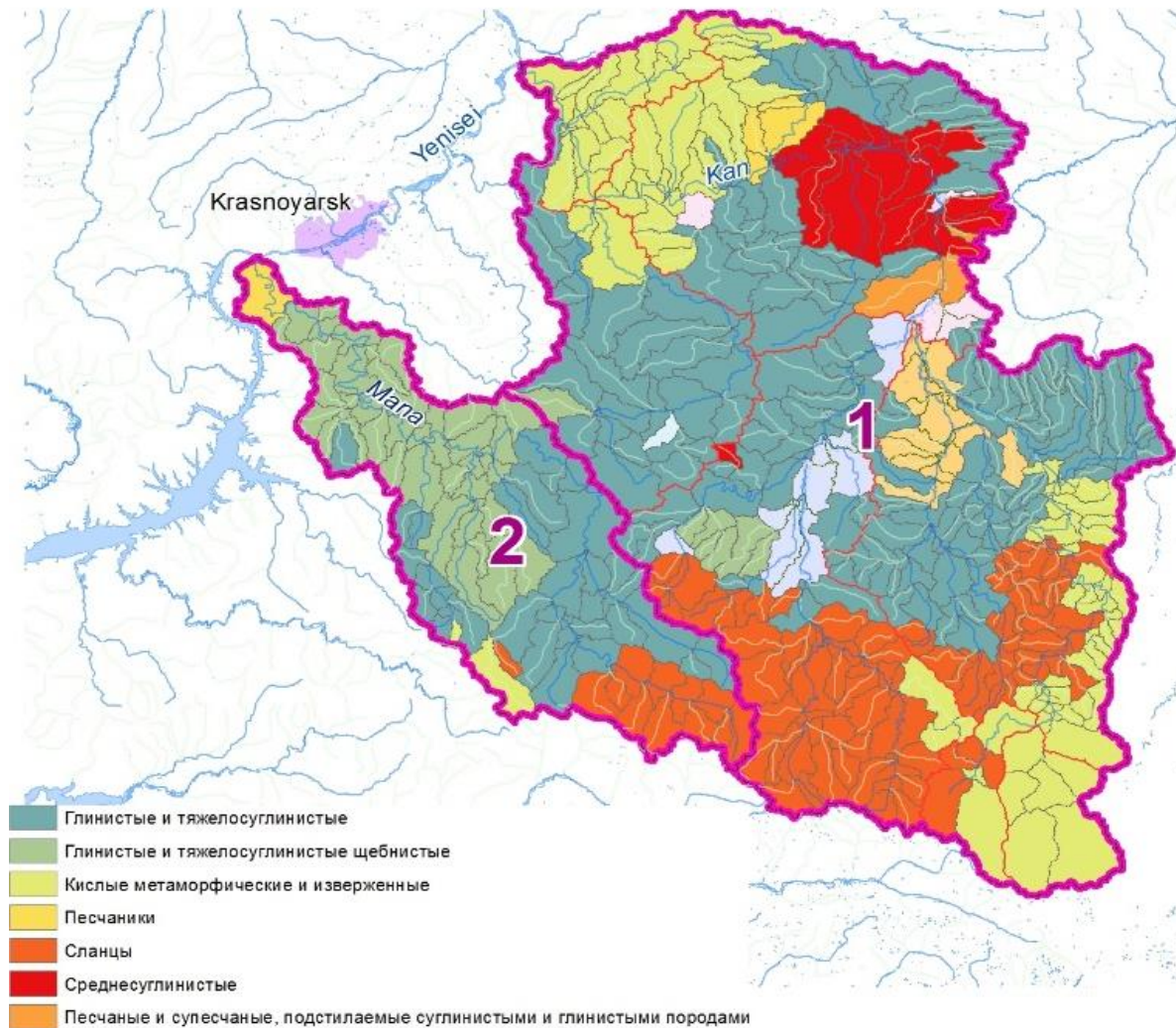
# Геоинформационное моделирование экосистем на основе бассейнового подхода

- Разработана концепция информационно-аналитического обеспечения задач оценки состояния наземных экосистем на основе ландшафтно-бассейнового подхода,
- Созданы необходимые технологии и программные средства, сервисы обработки пространственных данных.

По данным гидрологически корректной цифровой модели рельефа сформирована детальная многоуровневая иерархическая система водосборного деления территории. Она используется как информационная основа для решения широкого класса задач районирования территории – природно-ресурсного, физико-географического, агроэкологического, ландшафтно-климатического, и др.

Минимальные водосборные бассейны модели выступают в качестве элементарных территориальных единиц, с которыми связан набор атрибутов-характеристик на основе рельефа, метеорологических, ландшафтных, почвенных и прочих данных, в том числе – данных ДЗЗ.

Методы многомерного анализа данных позволяют выявлять закономерности распределения данных, определять взаимосвязи между ними.

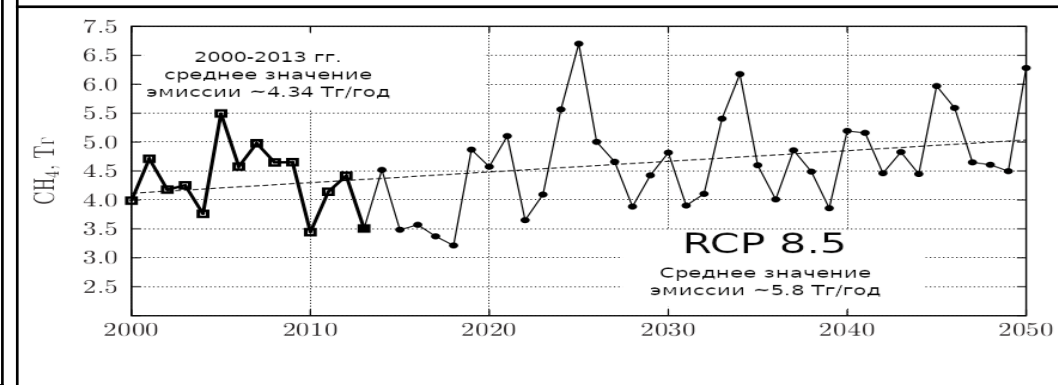
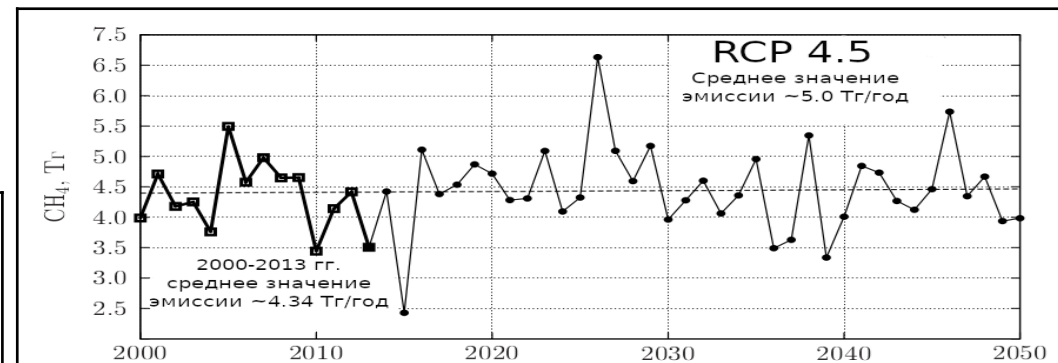
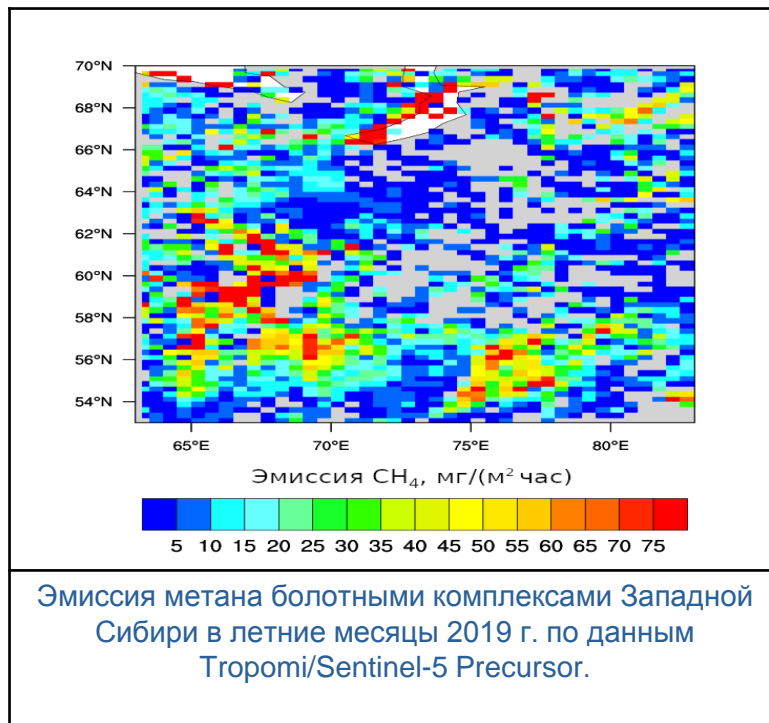


Фрагмент карты 4-уровневого водосборного деления территории (1– р. Кан и 2 – р. Мана Красноярского края). Тематическая раскраска водосборных бассейнов – основные почвообразующие породы

# Вычислительный комплекс моделирования эмиссии $\text{CH}_4$ болотными экосистемами Западной Сибири

Расчеты эмиссии  $\text{CH}_4$  проведены с использованием подхода, в котором суммарный суточный выход метана определяется накопленной почвой к этому времени суммой положительных значений температур и ее влагосодержанием.

Необходимые для расчета эмиссии  $\text{CH}_4$  характеристики почвы получены с использованием региональной климатической модели RegCM4/CLM4.5. Для задания начальных и граничных условий использовались данные реанализа NCEP-DOE AMIP-II (R2) и глобальной модели HadGEM2-ES для сценариев RCP4.5 и RCP8.5 возможной эволюции климатической системы.



Эмиссия метана болотными комплексами Западной Сибири в 2000-2050  
Жирная линия — данные для периода 2000-2013 гг. граничные условия задавались с использованием реанализа NCEP-DOE AMIP-II (R2). Тонкие — прогностические оценки, нормированные на данные современного граничные условия по данным глобальной модели HadGEM2-ES

Полученные оценки эмиссии  $\text{CH}_4$  согласуются с результатами наземных наблюдений. Отметим также, что оценки эмиссии в 2019 г. согласуются с результатам обработки данных спектрометра Tropomi/Sentinel-5 Precursor. Установлено, что значение эмиссии  $\text{CH}_4$  в летние месяцы 2019 г. для ряда зон может достигать 75 мг/(м<sup>2</sup> час).

# Концепция цифровой трансформации научных исследований экологических проблем Байкальской природной территории

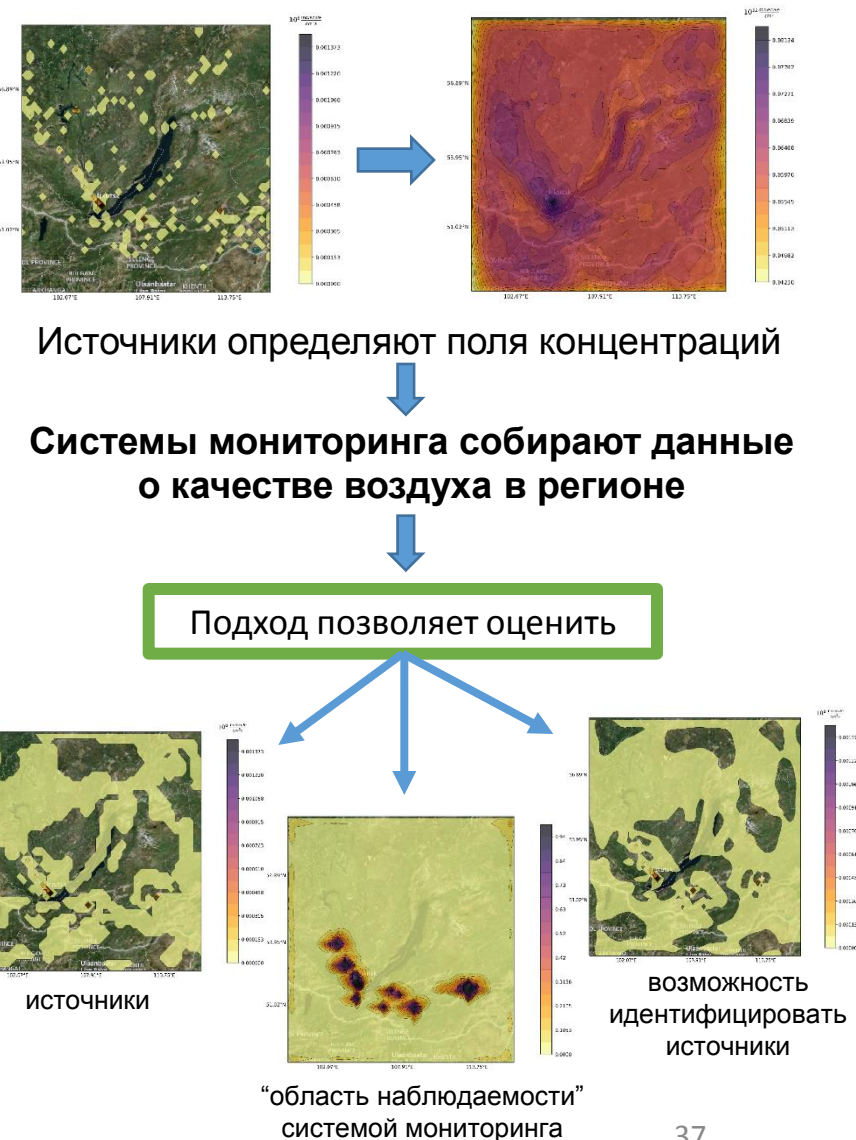
Предложена Концепция цифровой трансформации научных исследований экологических проблем Байкальской природной территории (БПТ) с использованием цифровой платформы (ЦП), как открытой системы алгоритмизированного сетевого взаимодействия, аккумулирующей в себе новейшие методы, технологии и предоставляющей доступ к большим объёмам пространственно-временных данных, сервисам их обработки, а также к цифровым инструментам и услугам:

- технологии комплексного экологического мониторинга и прогнозирования Байкальской природной территории на основе сервис-ориентированной парадигмы и цифровых платформ, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, анализ больших объёмов разнородных тематических пространственно-временных данных, а также комплекса математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения;
- организация непрерывного анализ данных БПТ, на основе цифрового двойника и постоянного обновления методов их анализа, а также реализация жизненного цикла методов, включающего разработку, обучение, конкурсное сравнение и применение.
- разработка методов анализа статистических данных, а также применение сервисов и онтологий для построения семантических сетей и композиций тематических сервисов

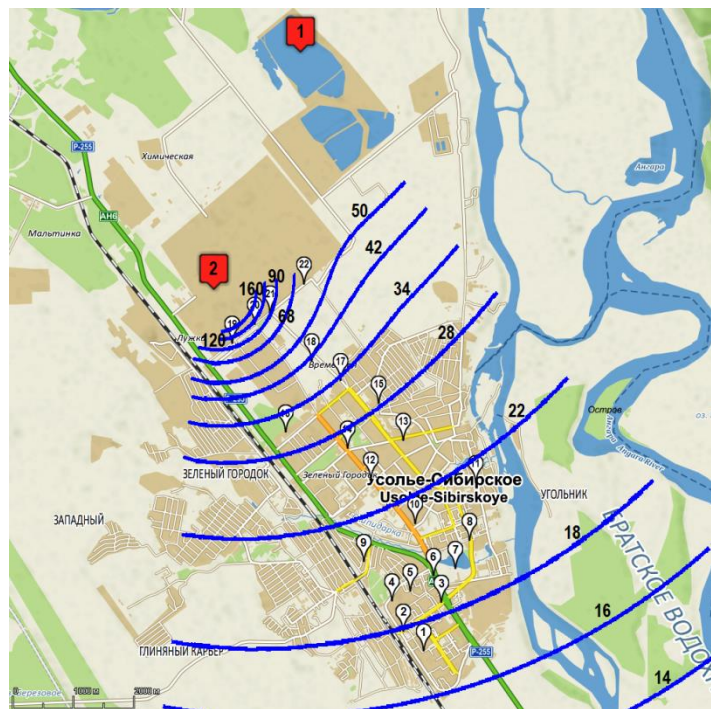
**Повышение открытости и доступности информационно-вычислительных ресурсов мониторинга БПТ** путём формирования цифровой экосистемы, как партнерства институтов, организаций, осуществляющих ее ведение для разработки и получения новых услуг.

# Интеграция данных гетерогенных систем мониторинга на основе математических моделей

- *В регионе собираются данные мониторинга качества воздуха различного типа:*
  - *Данные контактных измерений*
  - *Данные типа изображений (спутниковые изображения)*
  - *Интегральные характеристики (мониторинг загрязнения снежного покрова и т.д.)*
- *Разработанный подход на основе операторов чувствительности позволяет*
  - *объединять разнородные данные с помощью математической модели переноса и трансформации примесей*
  - *интерпретировать данные в терминах источников примесей*
  - *оценивать «области наблюдаемости источников» системой мониторинга*

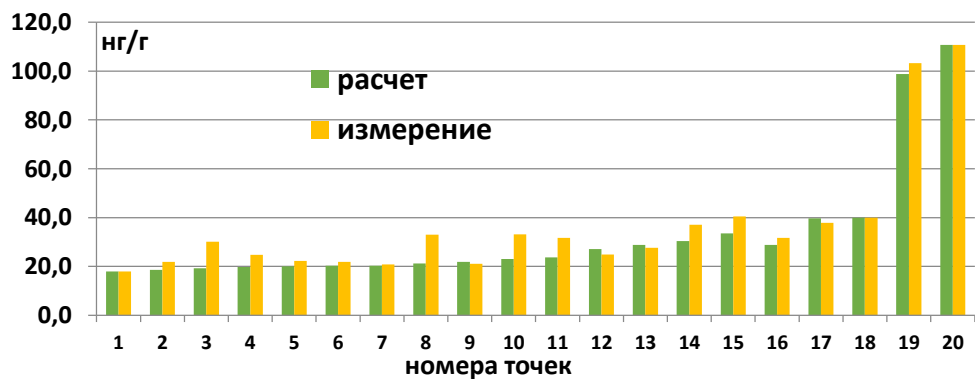


# Численный анализ данных биомониторинга ртути в окрестностях «Усольехимпром» и на территории г. Усолье-Сибирское



- Разработаны малопараметрические модели реконструкции и численно восстановлены поля загрязнения от основных очагов атмосферных поступлений ртути: шламохранилища и цеха ртутного электролиза «Усольехимпром»
- Полученные результаты могут быть использованы для оценок эффективности проводимых реабилитационных мероприятий и рисков здоровью населения.

**Рис. 1.** Реконструкция поля концентрации ртути (нг/г) в южной окрестности предприятия «Усольехимпром» и на территории г. Усолье-Сибирское



**Рис. 2.** Расчёт / измерение концентраций ртути

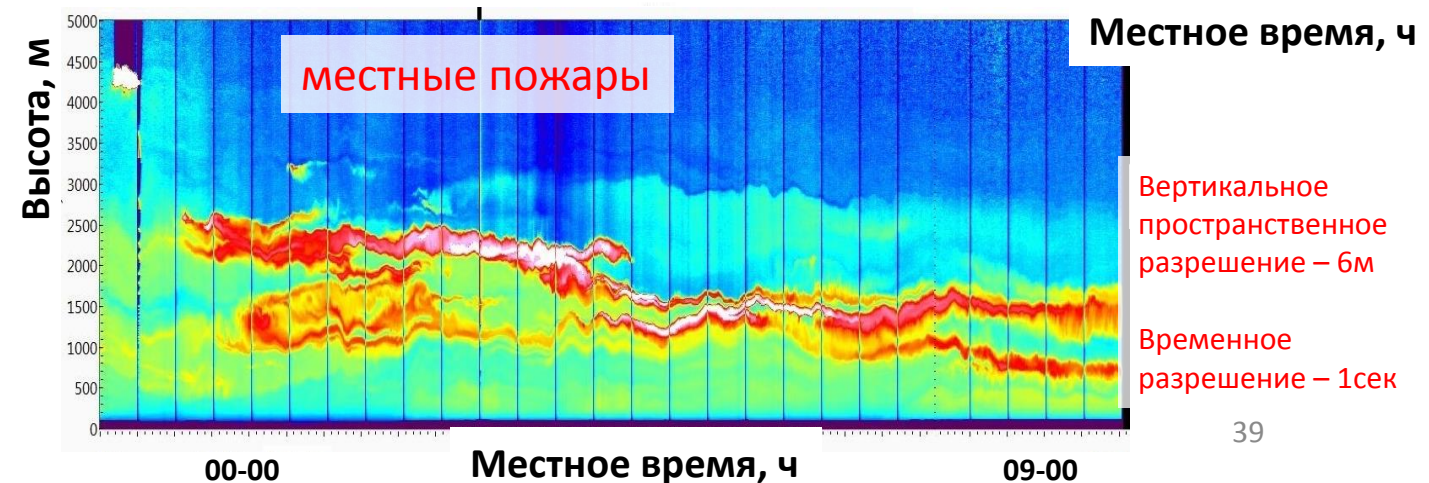
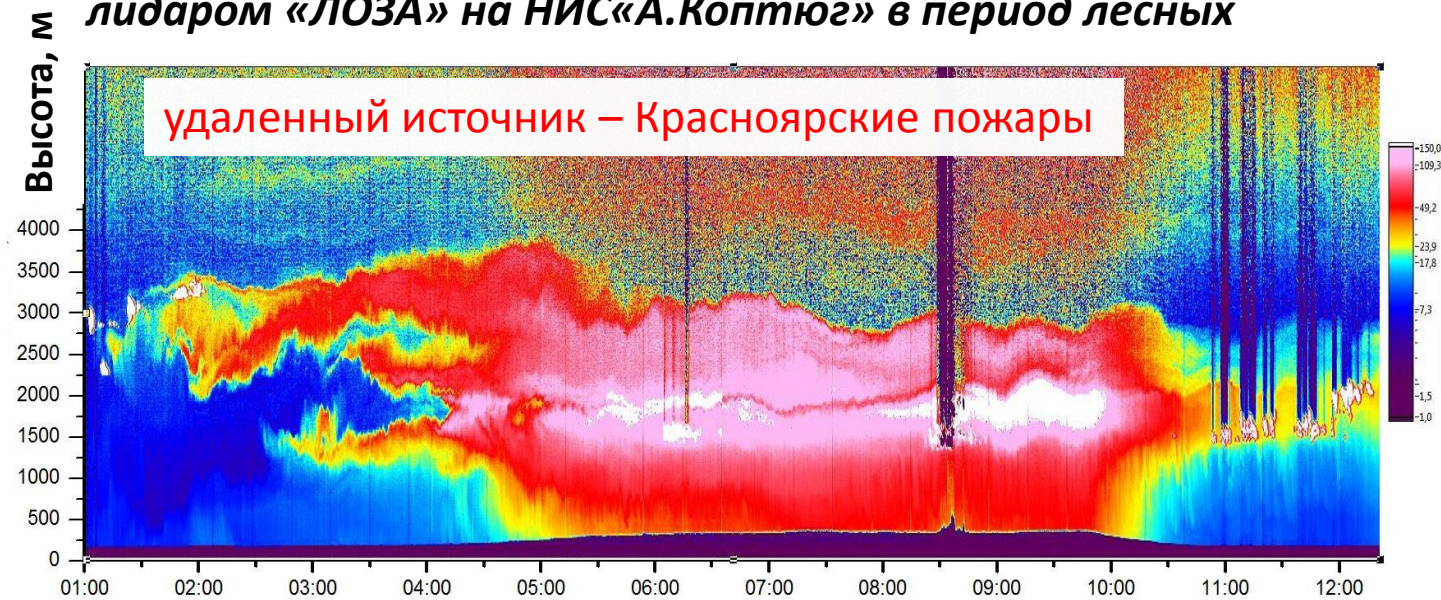


**Рис. 3.** Оценка вклада ртути от различных источников

# Дистанционный лидарный контроль аэрозольных примесей атмосферы в горной котловине оз.Байкал



*Примеры цифровых карт пространственно-временной структуры аэрозольного поля тропосферы полученных лидаром «ЛОЗА» на НИС«А.Коптюг» в период лесных*

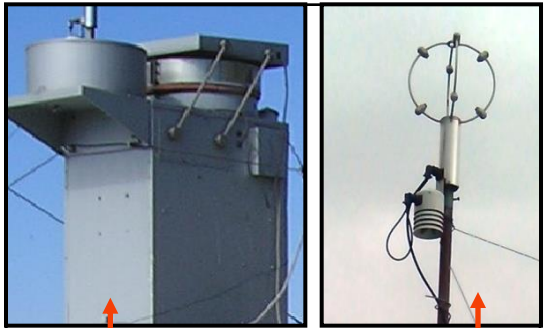




# Станция мониторинга «Листвянка» (Южный Байкал), дооснащение и подключение к ЦОД

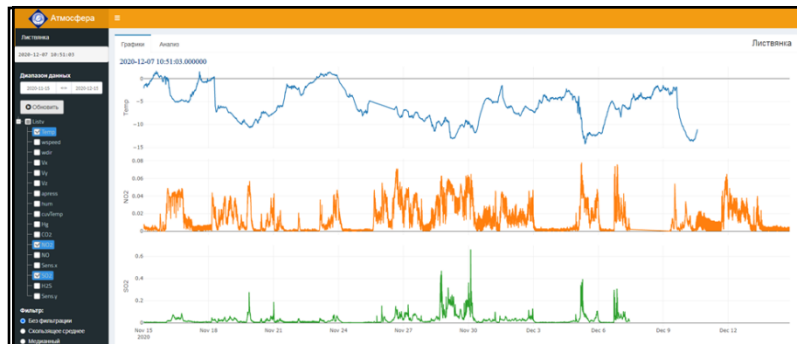


Павильон с оборудованием



Автоматический осадкосборник («Wet-only»).

Датчики метеостанции «Метео-2М»

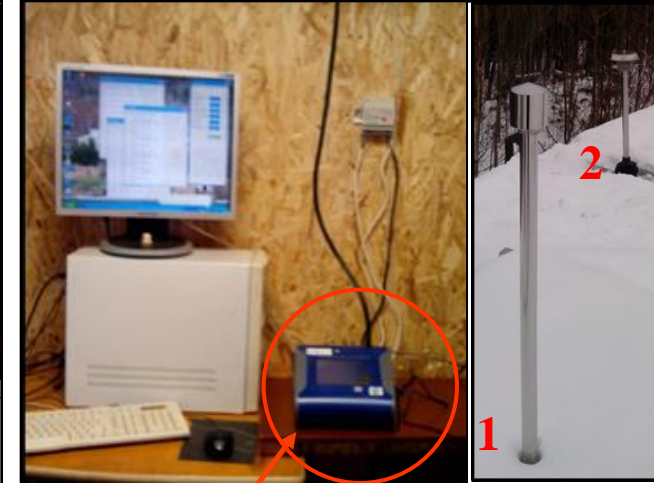


WEB-интерфейс ЦОД, отображение данных со станции «Листвянка»



Автоматическая непрерывная регистрация газовых примесей: (SO<sub>2</sub>, NO, /NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, Hg) (1);

Оптический газоанализатор озона «Ф-105», «ОПТЭК» (2);



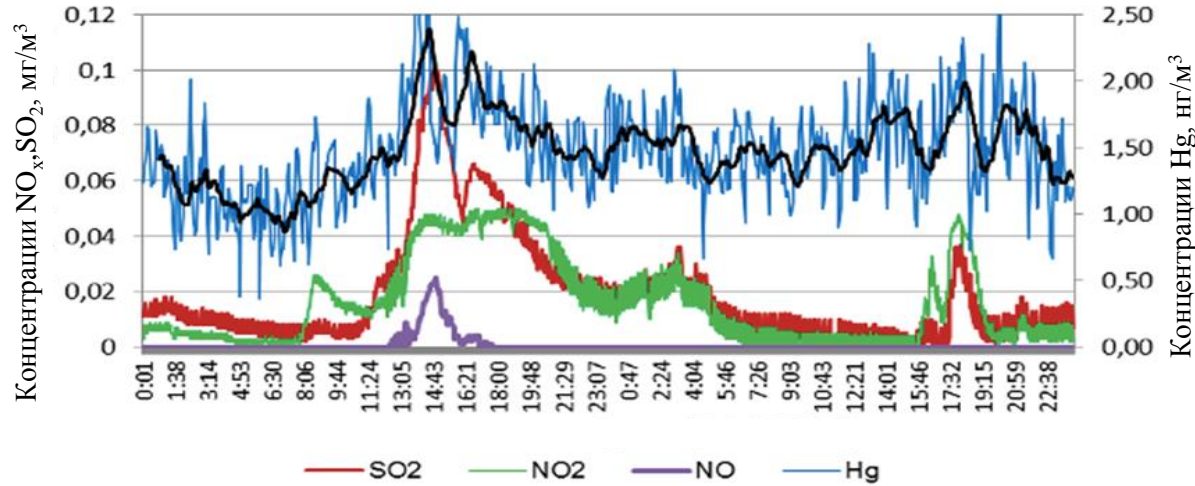
Регистратор аэрозолей «Dustrack», TSI Inc. USA

Заборники проб воздуха с подогревом :

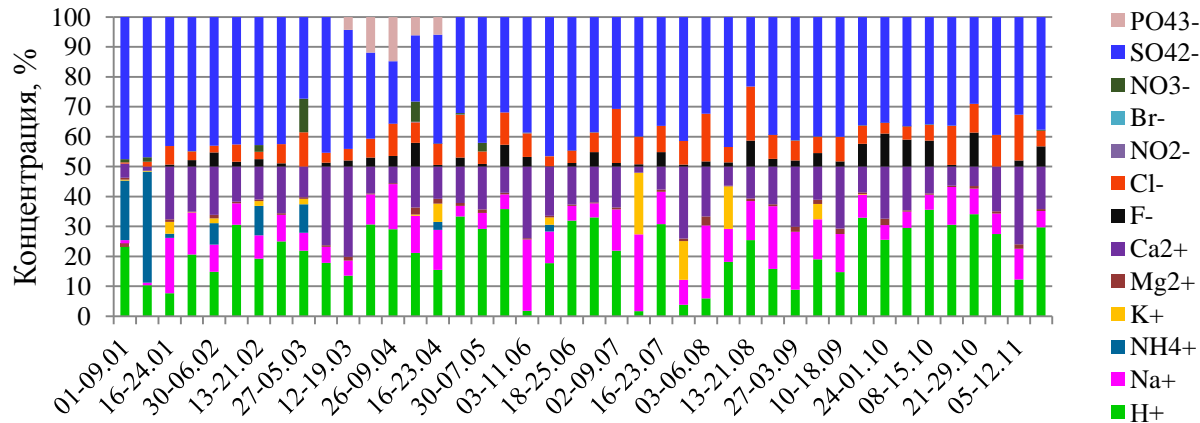
- для аэрозоля («коническая щель») (1);
- для газовых примесей (шесть каналов) (2);



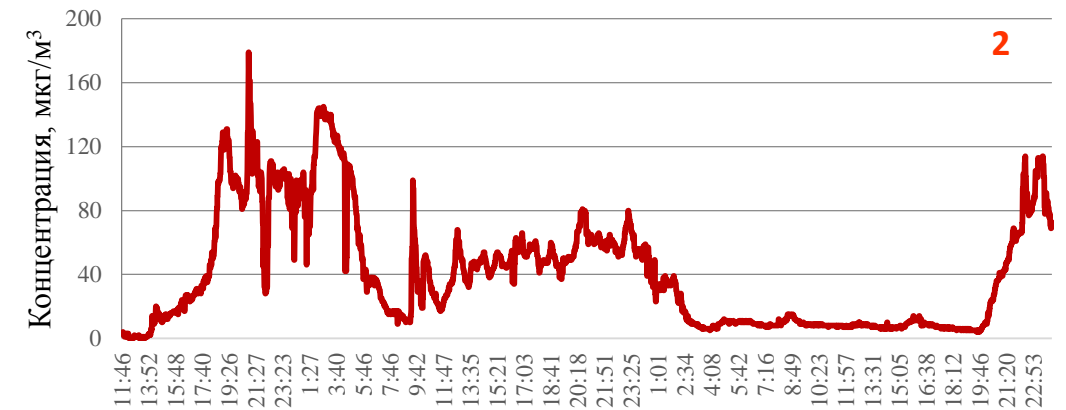
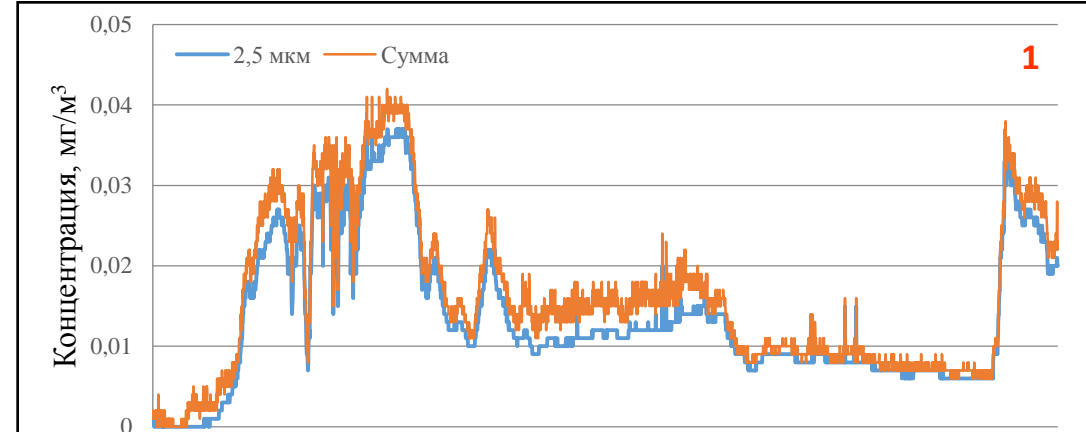
# Результаты мониторинга малых газовых примесей, химического состава аэрозолей, атмосферных осадков на станции «Листвянка»



Пример цифровой регистрации антропогенных примесей над станцией «Листвянка» 08-09.10.2020 (газоанализаторы «ОПТЭК», С-Петербург, Россия)



Относительный состав концентраций ионов в аэрозоле на станции «Листвянка» в 2020 г., %



Пример цифровой регистрации антропогенных примесей над станцией «Листвянка» 11-13.01.2021:

- Регистратор аэрозолей «Dusttrack», TSI Inc. USA (1);
- Газоанализатор  $\text{SO}_2$  «СВ-320» («ОПТЭК») (2);



# Аппаратные комплексы мониторинга гидрологических режимов Байкальской природной территории



## Мониторинговая станция

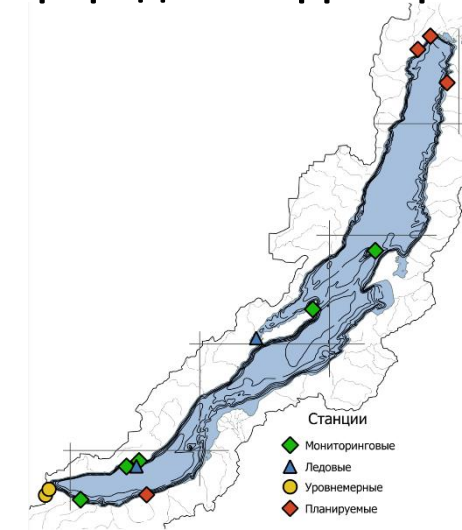
JFE AAQ177 (электропроводность, взвешенные частицы, хлорофилл, растворенный кислород, освещенность, pH, Окисл.восст. потенциал)  
 Метеостанция Davis Vantage Pro2 (температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, солнечная и УФ радиация) Уровень и температура воды

## Ледовая станция

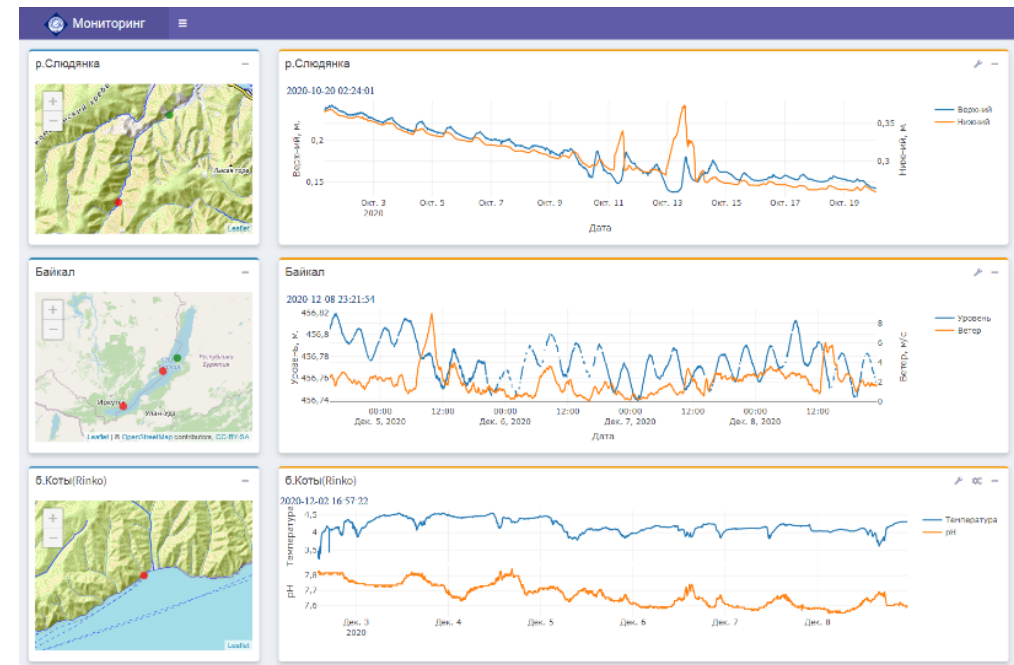
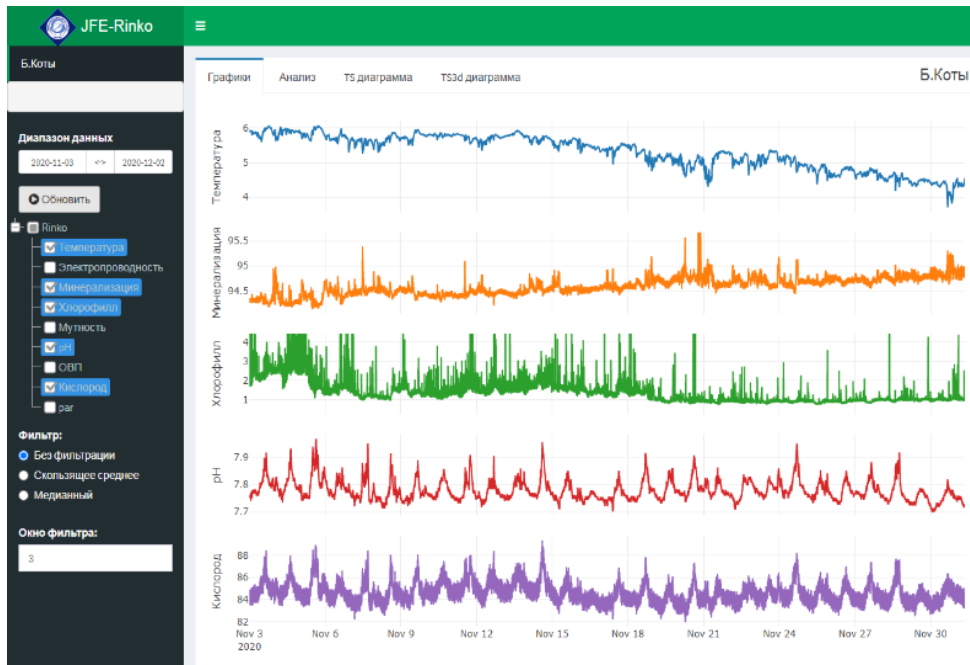
Температура воздуха, температура льда, температур воды, солнечная радиация, толщина льда, толщина снега

## Уровнемерная станция

Радарный датчик уровня УЛМ-31А1-НФ (Россия), точность +5мм  
 Измерение основных метеопараметров (температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, солнечная и УФ радиация)



## Программные комплексы центра сбора, обработки и визуализации данных



# Технология георадарного исследование ледяного покрова

Георадарное исследование ледяного покрова озера Байкал в районе дельты реки Селенги выполнено с борта катера на воздушной подушке «Хивус». Антенный блок АБ-1700 закреплен на носу катера на высоте 0,6 м (рисунок 1). На рисунке 2 приведен фрагмент георадарного профиля, выполненного по северному участку периметра авандельты р. Селенги. Толщина льда на данном участке составляет 0,6 – 1,1 м. В центральной части радарограммы видны участки промерзания воды до донного грунта. Граница между льдом и промерзшим грунтом становится менее контрастной в поле георадара. Средняя скорость движения катера «Хивус» во время съемки составляла 30-55 км/час.

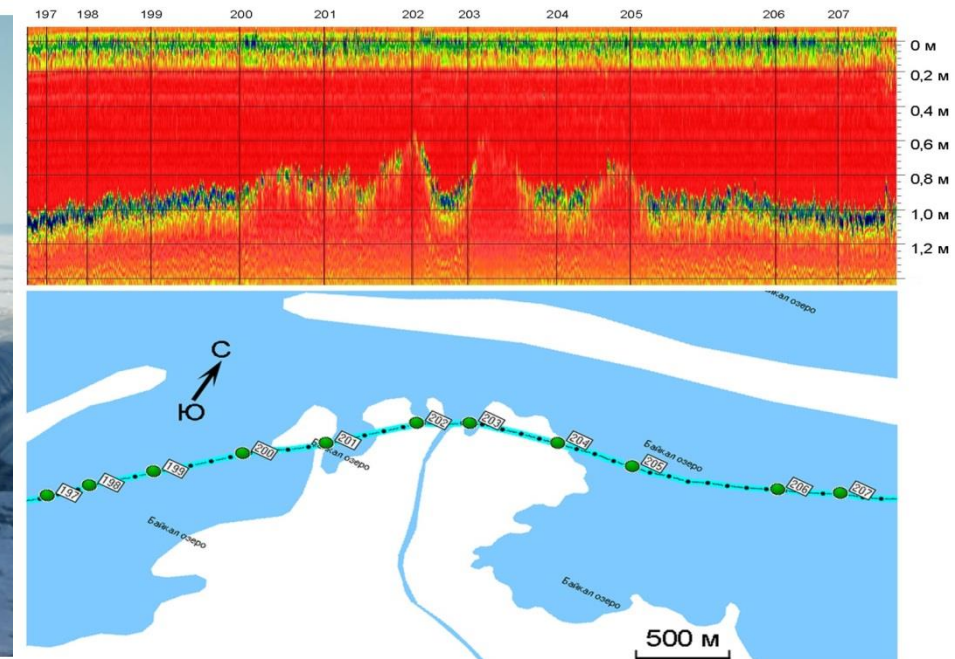
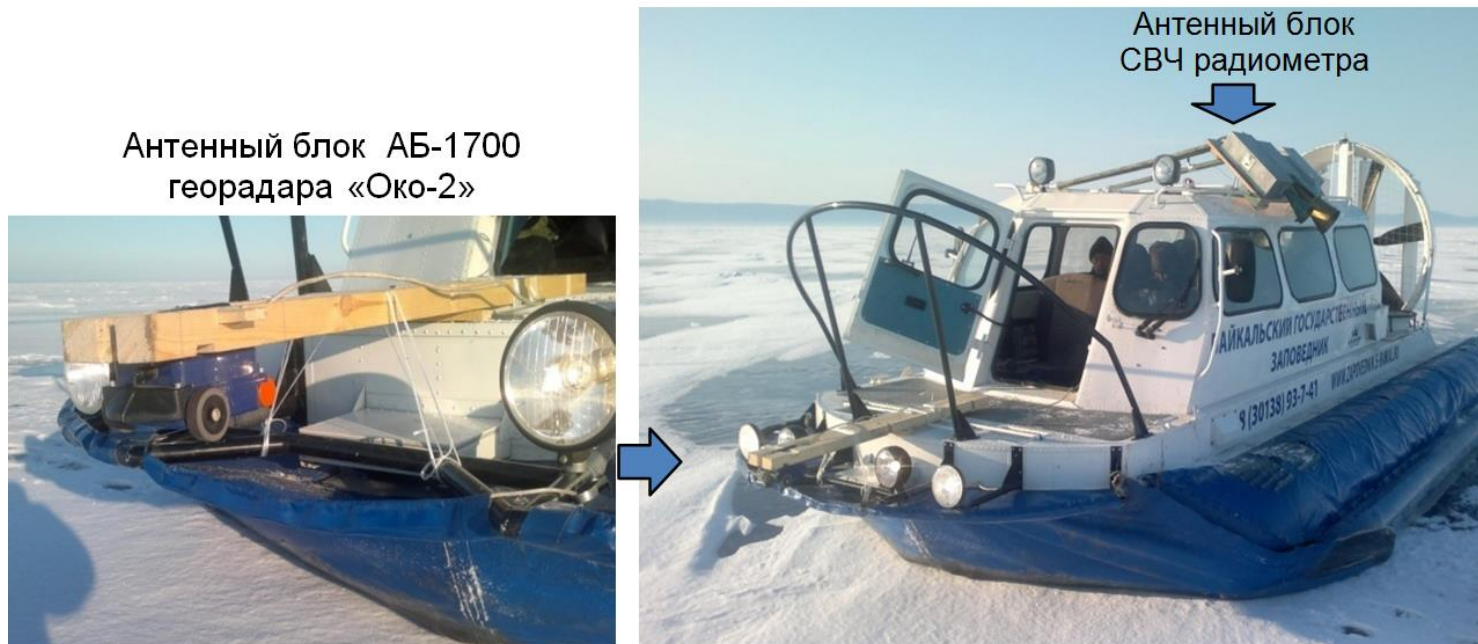
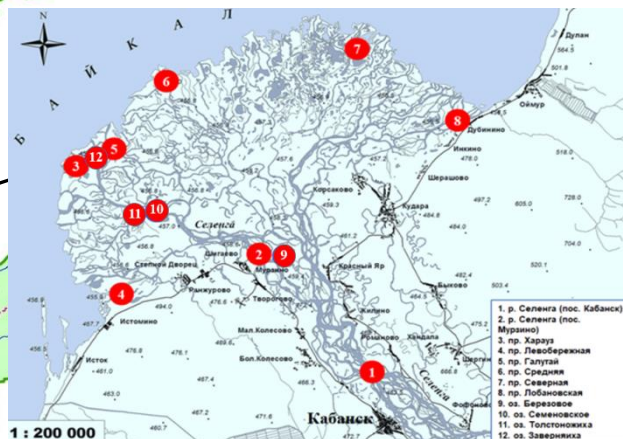
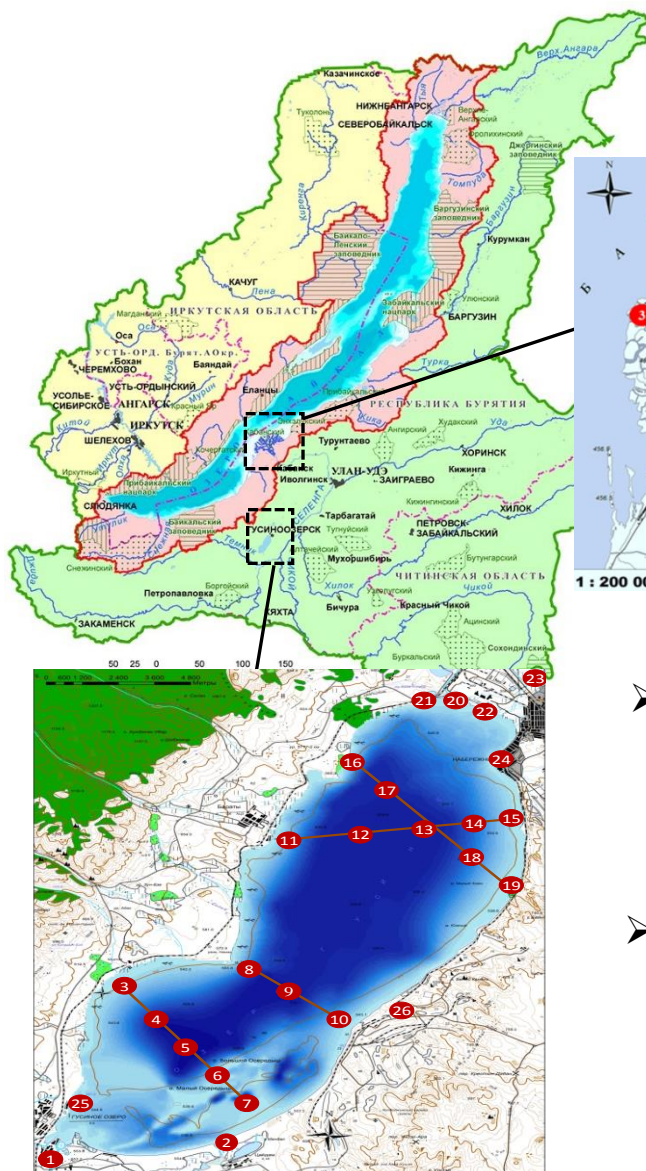


Рисунок 1 – Георадар Око-2 с антенным блоком АБ-1700 с центральной частотой 1700 МГц установлен на катере на воздушной подушке «Хивус»

Рисунок 2 – Георадарный профиль на авандельте р. Селенга.

# Технология комплексного анализа экологического состояния водных объектов БПТ



## Объекты БПТ

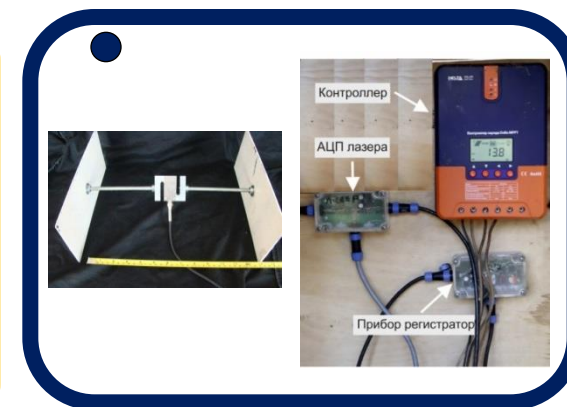
**Дельта р. Селенги** - естественный биофильтр и индикатор экологического состояния р. Селенги и оз. Байкал. Процессы и явления происходящие в дельте определяют качество 50% вод, поступающих в озеро.

**Оз. Гусиное** – крупнейшее пресное озеро водосборного бассейна оз. Байкал (связано с р. Селенгой), одно из важнейших по интенсивности водо- и рыбохозяйственного использования, является водоёмом-охладителем Гусиноозерской ГРЭС. Рядом расположены карты золоотвалов и угольные разрезы.

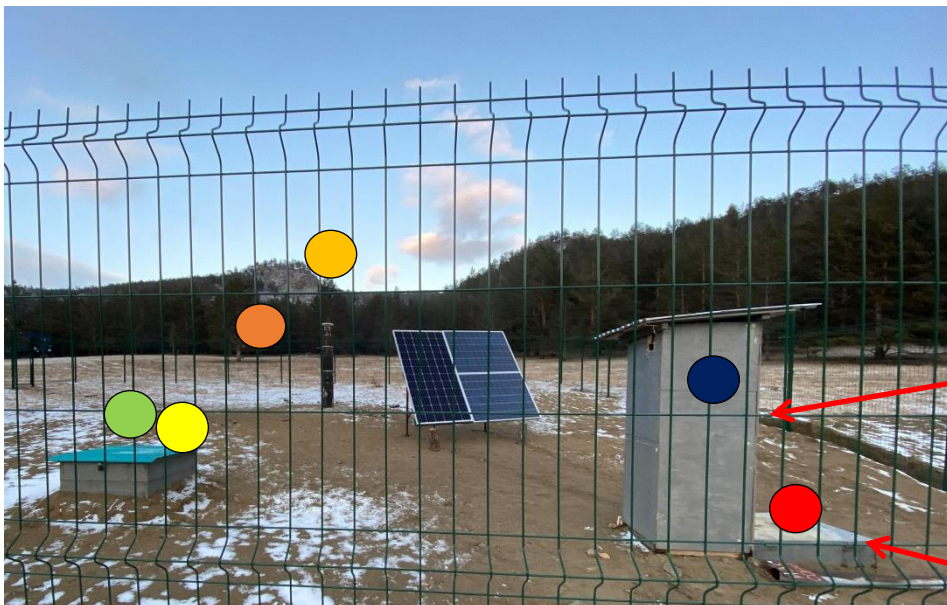
## Результаты

- Проведен выбор модельных объектов и точек отбора на основе анализа данных предыдущих лет для мониторинга в 2020-2022 гг. Определен макросостав воды, установлено содержание, распределение и накопление экотоксикантов (тяжелые металлы, СО<sub>2</sub>, фталаты) и индикаторных веществ (липидные маркеры) в воде, донных отложениях, гидробионтах, водной растительности.
- Предложена технология комплексного анализа экологического состояния водных объектов БПТ на территории Республики Бурятия, создана архитектура базы данных и проведено её наполнение по показателям экологического состояния в т.ч. экотоксикантов и индикаторных веществ водных объектов БПТ (оз. Гусиное, дельта р. Селенги). Создана ГИС водных объектов бассейна оз. Байкал на базе программной среды Arc GIS. Для визуализации геохимических данных составлены серии карт: «Водная среда»; «Донные отложения»; «Физико-химические условия»

# Организованы пункты комплексного мониторинга опасных геологических процессов на трех полигонах «Приольхонье», «Бугульдейка» и «Листвянка» в ЦЭЗ БПТ



# Оборудование станций мониторинга деформаций, современных движений, сейсмической и радоновой активности на полигоне «Бугульдейка»



Общий вид станции геодинимического мониторинга:

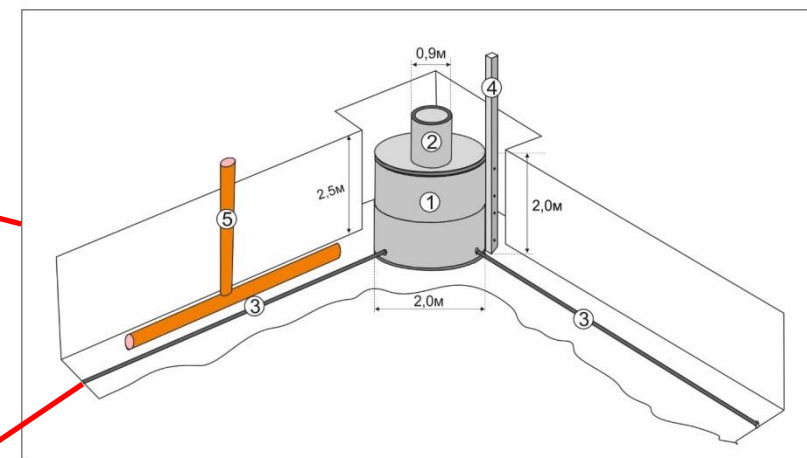
- пункт деформометрического мониторинга
- пункт мониторинга современных движений
- пункт мониторинга сейсмической активности
- пункт мониторинга радоновой активности
- пункт магнитотеллурического мониторинга
- пункт мониторинга температурного режима грунтов

Вариации деформаций  
на полигоне  
«Бугульдейка»:  
подготовка  
землетрясения  
09.12.2020 г.



**Наземная часть** деформометрической станции

А



Б

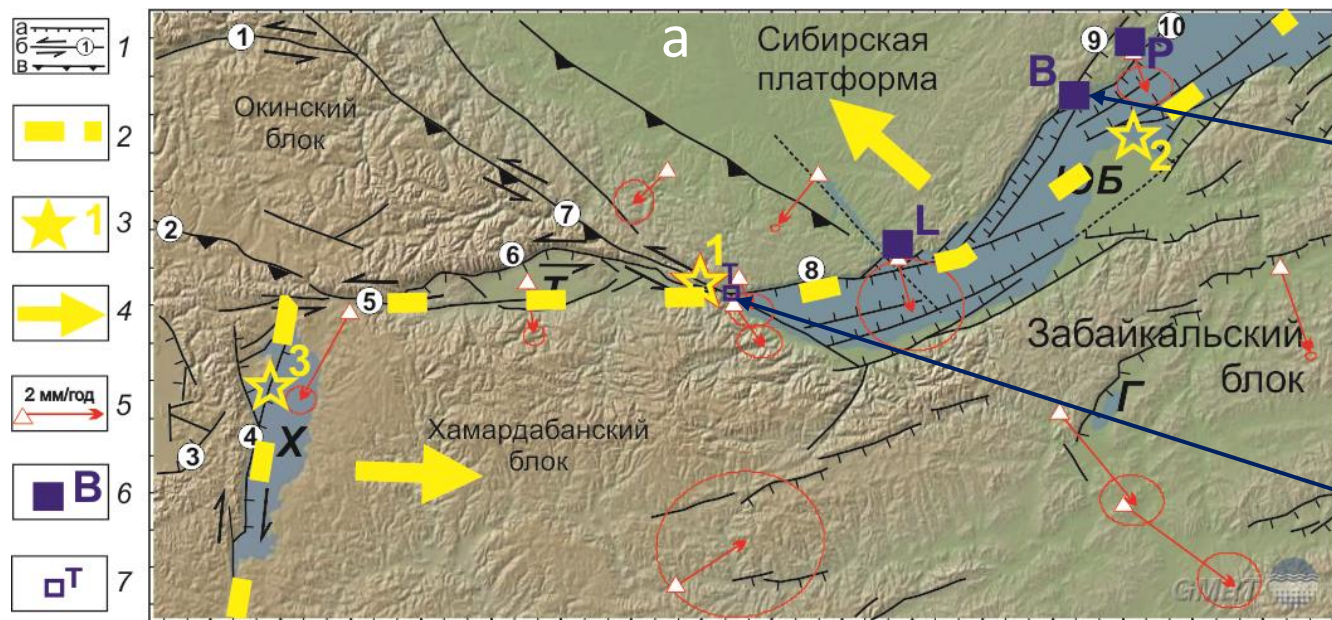


В

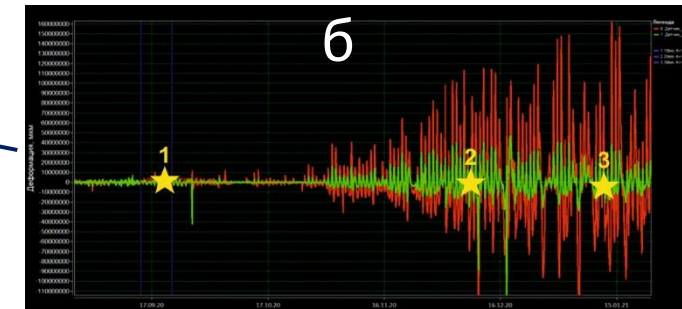


**Подземная часть:** схема датчиков деформации (А) и фото строительства бункера (Б-В)

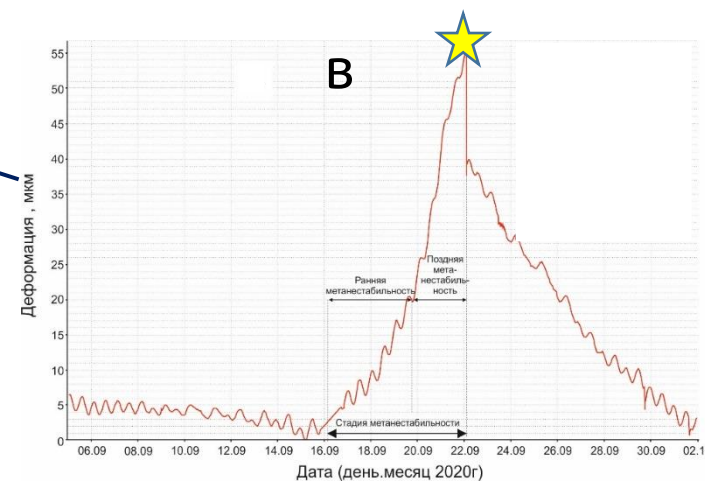
Получены первые результаты изучения трех сильных землетрясений (рис. а), произошедших в Прибайкалье в сентябре 2020 – январе 2021 г. (интенсивность в крупных городах региона ~ 5 баллов). Впервые их характеристика дана с использованием данных комплексного мониторинга, показавшего свою эффективность для решения ключевых проблем сейсмобезопасности БПТ. Установлены предвестниковые явления в поле деформаций породного массива (рис. в), в эманациях радона и в режиме подземных вод. Деформометрические данные указывают на то, что первое – Быстринское – землетрясение послужило триггером для второго (рис. б) и, возможно, третьего событий, что в совокупности с характером подвижек в очагах (1- сдвиг, 2 и 3 – растяжение) уникальным образом отражает современную кинематику крупных блоков литосферы (рис. а), проявившуюся за «мгновенный» для геологии интервал времени.



**Геодинамическая позиция трех опасных землетрясений в БРЗ:** 1 – сбросы (а), сдвиги (б) и взбросы (в); 2 – ось БРЗ; 3 – эпицентры землетрясений: 1 - 21.09.20г.; 2 - 09.12.20г.; 3 - 11.01.21г.; 4 – направления движения блоков; 5 – векторы смещений по GPS-данным [Deverchere et al., 2018]; 6 – станции комплексного мониторинга: L – «Листвянка», В – «Бугульдейка», Р – «Приольхонье»; 7 – участок локального мониторинга деформаций. Цифрами обозначены главные разломы, буквами – впадины.



**Проявление трех землетрясений (звездочки) в деформациях пород на станции «Бугульдейка»**



**Динамика деформаций пород на станции «Т» при подготовке первого (Быстринского) землетрясения**



# Разработка модели гидролого-климатической оценки продуктивности и распространения биоценозов

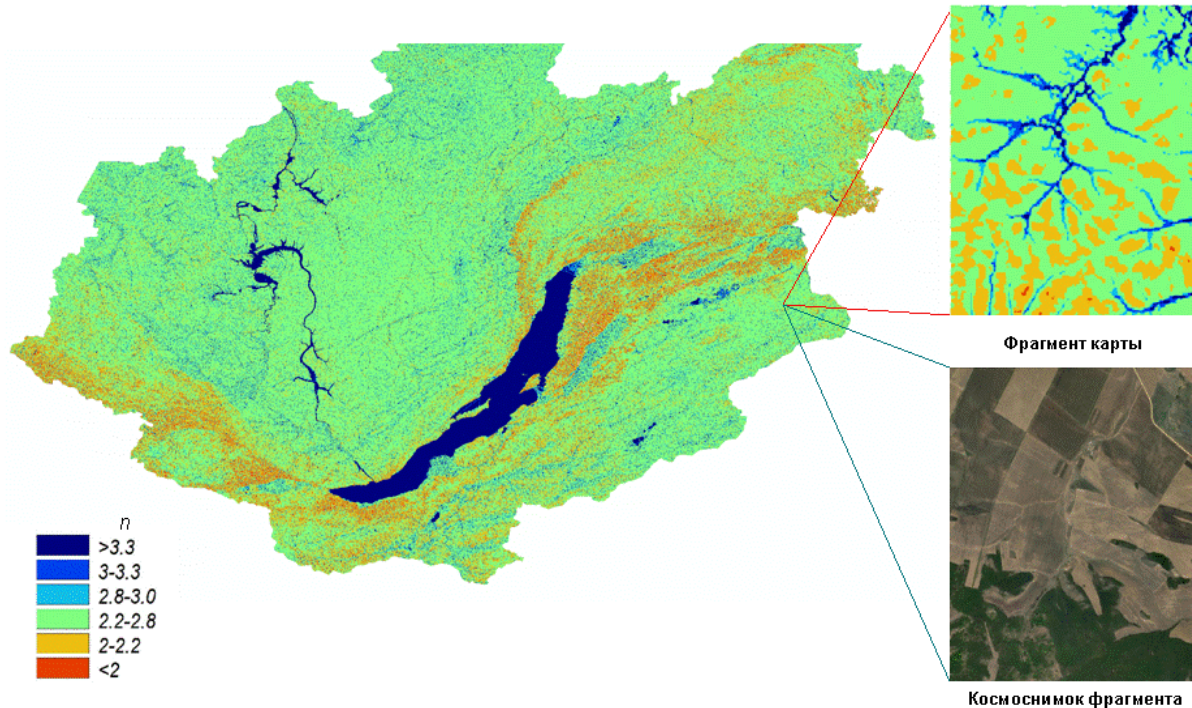


Рис. Карта параметра ландшафтных условий стока воды

**На следующих этапах будут подготовлены оригинальные цифровые карты: Потенциальной биопродуктивности БПТ; Потенциального распространения биоценозов на БПТ**

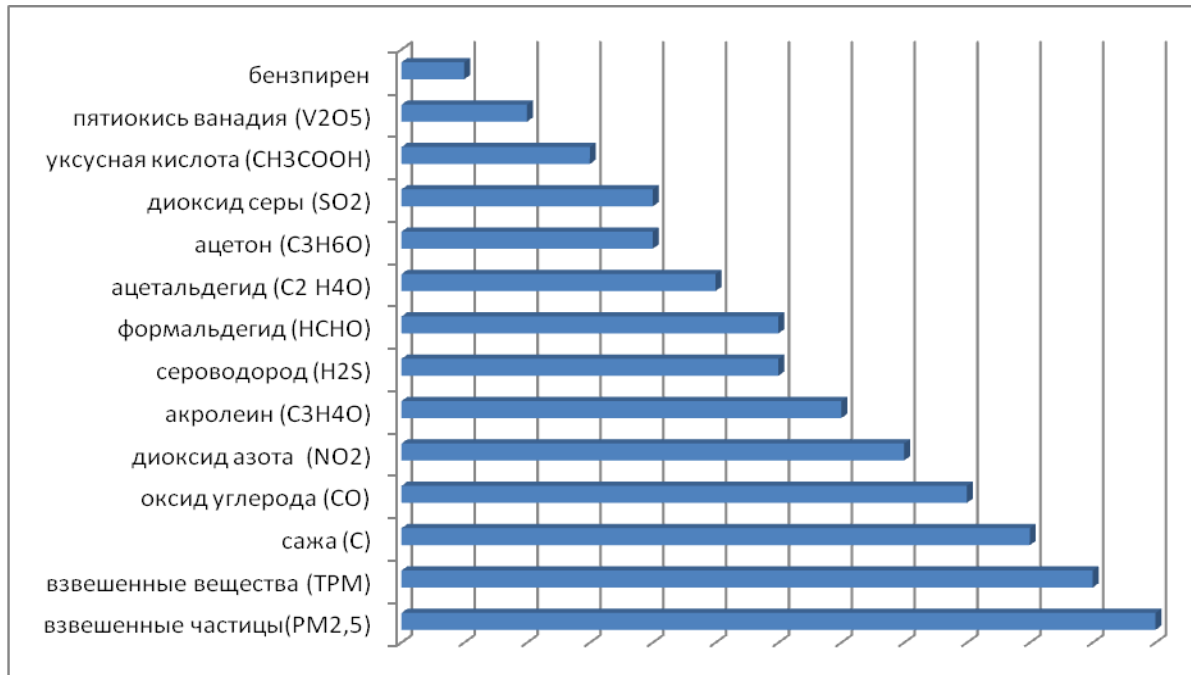
Впервые для БПТ разработана растровая карта безразмерного параметра ландшафтных условий стока ( $n$ ), отражающего интегральное влияние рельефа на формирование водного баланса наземных экосистем исследуемой территории. В результате выявлено, что 66,9% территории имеют формы рельефа благоприятные для ведения хозяйственной деятельности ( $2,2 \leq n \leq 2,8$ ). Остальная территория малопригодна для хозяйственного использования: так 3,3% приходится на очень крутые склоны ( $n < 2$ ), 3,2% на избыточно увлажненные гидроморфные земли ( $3 < n \leq 3,3$ ), 10,1% на обводненные поверхности с болотами ( $n > 3,3$ ), на остальных землях возможны отдельные виды хозяйственной деятельности не допускающие разрушение почвенного покрова.

Детальность карты позволяет планировать мероприятия способствующие переходу к адаптивному землепользованию. Например, на увеличенном фрагменте карты видно, что распашка земель ведётся сплошными массивами, включающими в себя элементы временной гидрографической сети, что порождает целый ряд негативных экологических процессов.

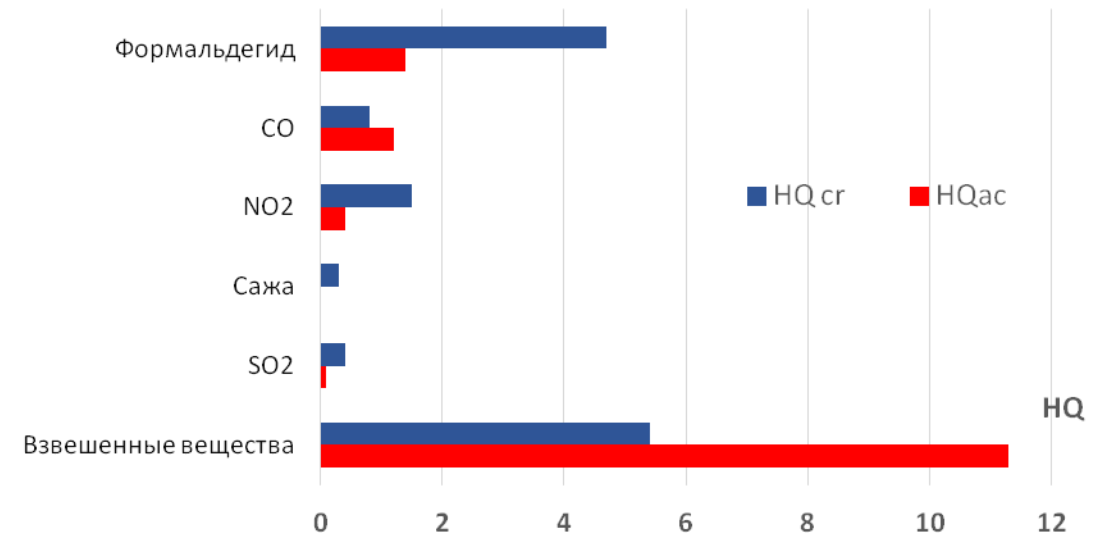


# УРОВНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОЧАГЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

## Ранжирование веществ по индексу ингаляционной опасности при горении



## Коэффициенты опасности при остром и хроническом воздействии (по замерам)



Наибольшая вероятность негативного раздражающего эффекта при остром воздействии характерна для CO (риск 0,999), диоксида серы (0,945), взвешенных веществ (0,919), сажи (0,864) Индексы опасности при воздействии примесей даже на уровне средних величин может привести к в длительном режиме составили: по патологии органов дыхания  $HQ_{cr}=12,7$ , сердечно-сосудистой системы  $HQ_{cr}=6,3$ , смертности  $HQ_{cr}=5,9$





# КРИТЕРИАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИНДИКАТОРЫ НАРУШЕНИЙ ПОПУЛЯЦИОННОГО ЗДОРОВЬЯ

На основе анализа ранговой значимости экологических факторов в формировании потерь популяционного здоровья установлены:

## Качественные маркеры эффекта:

- обращаемость за медицинской помощью по поводу болезней органов дыхания и кровообращения
- Смертность по причине патологии органов дыхания и кровообращения

## Группы риска

- возраст :
  - дети до года;
  - 1-5 лет;
  - взрослые старше 65
- больные с хронической патологией

## Количественные критерии

- реализованного риска: увеличение показателей нарушений здоровья в **1,5-2 раза**
- потенциального риска: суммарное содержание загрязнителей выше допустимого в **3-5 раз**  
продолжительность высокого воздействия **> 5 дней подряд**

# Направления работ и полученные результаты

- Создается Цифровая платформа экологического мониторинга как комплекс открытых систем алгоритмизированного сетевого взаимодействия независимых участников экологического мониторинга, объединенных единой информационной средой, и обеспечивающая, полный цикл работы с данными, в том числе пространственно-временными, и сервисами цифрового экологического мониторинга.
- Разрабатываются технологии и тематические WPS-сервисы выявления и оценки изменений состояния растительного покрова по временным сериям данных дистанционных наблюдений под воздействием деструктивных факторов (включая пожары, вырубки, вспышки массового размножения насекомых, техногенные загрязнения, аномальные метеорологические явления).
- Реализуются технологии Big Data для анализа мониторинговых данных по гидрогеологическим, инженерно-геологическим и геодинамическим параметрам опасных геологических процессов, протекающих в пределах территорий с техногенным воздействием.

# Направления работ и полученные результаты

- Создается новая технология мониторинга аэрозольных примесей в атмосфере до высот 4-6 км в период лесных пожаров и других природных и техногенных проявлений в горной котловине оз. Байкал.
- Предложены фундаментальные основы радиогеофизических методов цифрового мониторинга и диагностики литосферы и атмосферы с апробацией для Байкальской природной территории.
- Разрабатывается система моделей и методология для мониторинга и комплексного среднесрочного и долгосрочного прогнозирования и управления режимами регулирования уровня оз. Байкал и водохранилищ ГЭС Ангарского каскада с учетом экологических, водохозяйственных, социально-экономических и климатических факторов.
- Создана технология выявления по данным ДЗЗ и оценки изменений состояния растительного покрова и агроэкосистем под воздействием деструктивных факторов (включая пожары, вырубki, вспышки массового размножения насекомых) и способы биологической защиты сельскохозяйственных растений для исключения химического загрязнения наземных экосистем БПТ

# Направления работ и полученные результаты

- Создана базовая модель воздействия опасных геодинамических, гидрогеологических и инженерно-геологических процессов на геологическую среду ЦЭЗ БПТ и разработаны рекомендации по минимизации их влияния на экосистему оз. Байкал.
- Разработаны, апробированы и внедрены новые роботизированные комплексы для оптимизации процессов исследования компонентов водных и наземных геосистем, реализованные на базе воздушных и морских судов, позволяющие реализовать оперативные и низкочастотные исследования труднодоступных площадей методами гидро и геофизики, гидрохимии, лазерной и мультиспектральной съемки.
- Созданы численные экспериментальные модели для разработки индикаторов нарушения популяционного и индивидуального здоровья при воздействии экстремальных факторов (загрязнения приземных слоев атмосферного воздуха в период ландшафтных пожаров).

## Предложения в Постановление Президиума РАН

- Одобрить инициативу институтов СО РАН по цифровой трансформации распределённого экологического мониторинга Сибири, являющейся ведущим трендом современного технологического развития, что обусловлено совершенствованием цифровых «сквозных» информационных технологий, увеличением мощностей вычислительных кластеров, созданием сетей 4G и 5G, интернета вещей (IoT) и большими объёмом (Big data) пространственно-временных данных.
- Поддержать развитие и внедрение цифровых платформ - открытых систем алгоритмизированного сетевого взаимодействия участников мониторинга экологии Сибири, объединённых единой информационно-аналитической средой, что приводит к снижению транзакционных издержек и повышению эффективности услуг, за счёт применения цифровых технологий работы с данными (хранения, обработки, анализа и т.д.) и изменения системы организации труда.
- Одобрить разработку оригинальных математических, информационных моделей, «цифровых двойников - экземпляров» и их программного обеспечения поддержки мониторинга и прогнозирования экологии Сибири.
- Поддержать развитие в СО РАН современных ЦКП высокопроизводительных систем и центров распределённого сбора и интеграции больших объёмов разноформатных пространственно-временных данных (ЦОД) экологического мониторинга и их обработки, когнитивного анализа и хранения.
- Способствовать активному использованию институтами СО РАН данных ДЗЗ и модернизации аппаратно-измерительных систем (с использованием IoT-датчиков) для организации квазинепрерывного режима (24/365/12) ведения экологического мониторинга Сибири.

- Обратиться в Минобрнауки РФ с просьбой ускорить выделение финансирования на разработку технического проекта научно-исследовательского судна класс "МЗ.0(лед30)А" для проведения комплексных исследований экосистемы оз. Байкал
- Способствовать получению институтами СО РАН данных экологического мониторинга Сибири от Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и федеральных служб и федеральных агентств, находящихся в его ведении (Росприроднадзор, Росводресурсы, Росгидромет, Рослесхоз) и другими ведомствами в области изучения проблем экологии Сибири и её цифровой трансформации.
- Отметить необходимость активизации внедрения цифровой трансформации институтами СО РАН при проведении комплексных научно-прикладных исследований.

**Таким образом можно отметить, что важнейшими составляющими устойчивого развития Сибири должен стать, созданный на единой концептуальной основе, цифровой мониторинг с оценкой состояния её природной среды и объектов техносферы, организация региональных систем цифрового управления антропогенными, экологическими, природными, геодинамическими, радиационными и др., а в общей постановке, территориальными рисками.**

В подготовке доклада принимали участие:  
ак. Шокин Ю.И, д.т.н. Москвичев В.В, д.т.н. Ружников  
Г.М., д.т.н. Потапов В.П., к.ф.-м.н. Пестунов И.А.,  
к.ф.-м.н. Хмельнов А.Е., к.ф.-м.н. Якубайлик О.Э.

Использованы результаты совместных проектов  
ИДСТУ СО РАН, ФИЦ ИВТ, ФИЦ КНЦ СО РАН, ЛИИ СО  
РАН, ИВМиМГ СО РАН, ИОА СО РАН, БИП СО РАН, ИЗК  
СО РАН, ИГХ СО РАН, ИГ СО РАН, СИФИБР СО РАН,  
ВСИМЭИ, ИСЗФ СО РАН, ИМКЭС СО РАН





*Благодарю за  
внимание!*