

Крупный научный проект
«Фундаментальные основы, методы и
технологии цифрового мониторинга и
прогнозирования экологической обстановки
Байкальской природной территории»
2020-2022 гг

Руководитель проекта: Академик РАН, Бычков И.В.

Докладчик: Хмельнов Алексей Евгеньевич

<https://baikal-project.icc.ru/>

Участники проекта

1. **Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН)**
2. Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ЛИН СО РАН)
3. Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН)
4. Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук (ИЗК СО РАН)
5. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)
6. Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН)
7. Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН)
8. «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» (ФГБНУ ВСИМЭИ)
9. Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН)
10. Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН)
11. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)
12. Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)
13. Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН)



Цель проекта

Создание фундаментальных основ, методов и технологий комплексного экологического мониторинга и прогнозирования на основе цифровых платформ, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, анализ больших массивов разнородных пространственно-временных данных, а также комплекса математических и информационных моделей, сервисов и методов машинного обучения и их апробация для Байкальской природной территории.



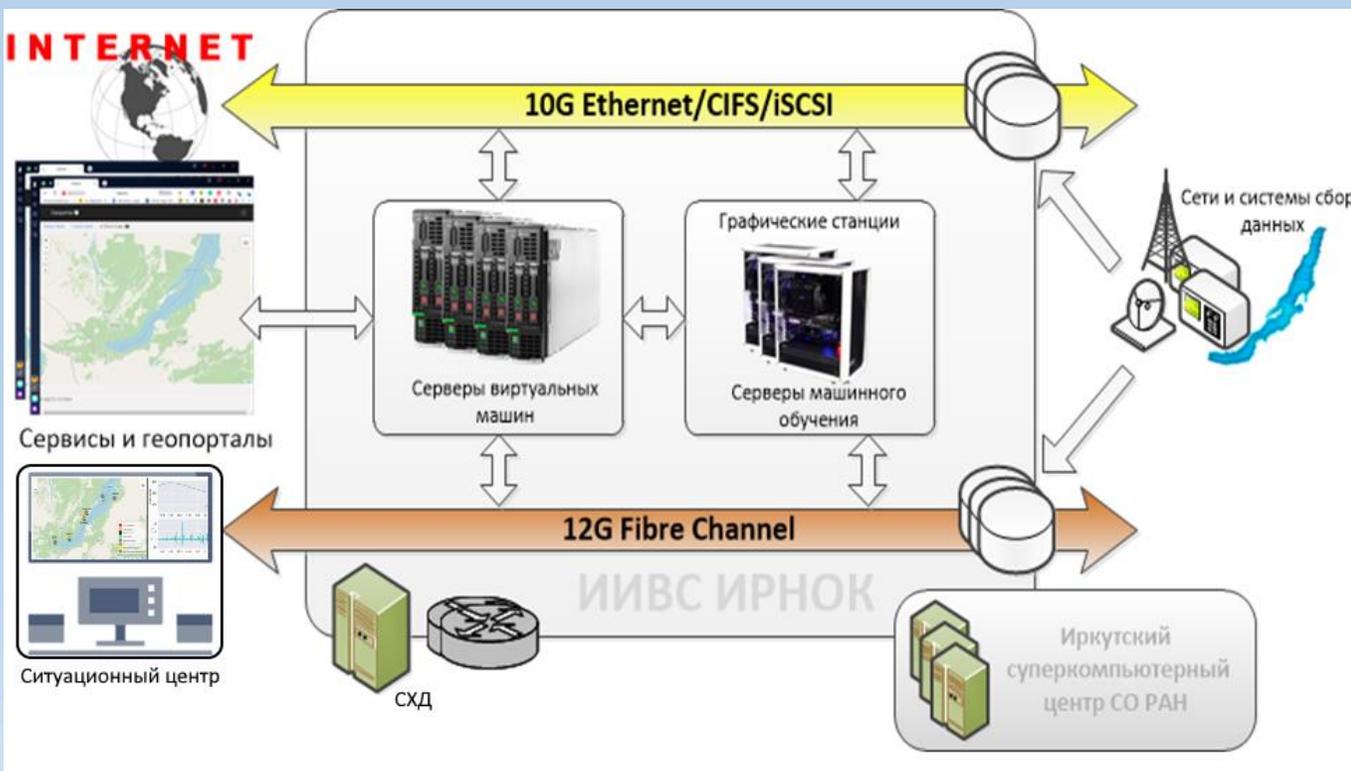
Направления проекта

1. Формирование концептуальных основ инструментальной, инфраструктурной и прикладных цифровых платформ экологического мониторинга
2. Формирование концептуальных основ мониторинга экстремальных природных явлений и антропогенных выбросов в атмосфере
3. Формирование концептуальных основ мониторинга гидрологических режимов водоемов
4. Формирование концептуальных основ оценки экологических рисков состояния растительного покрова
5. Формирование концептуальных основ мониторинга экстремальных геологических и эколого-геохимических процессов
6. Формирование концептуальных основ медико-экологического и эпидемиологического мониторинга

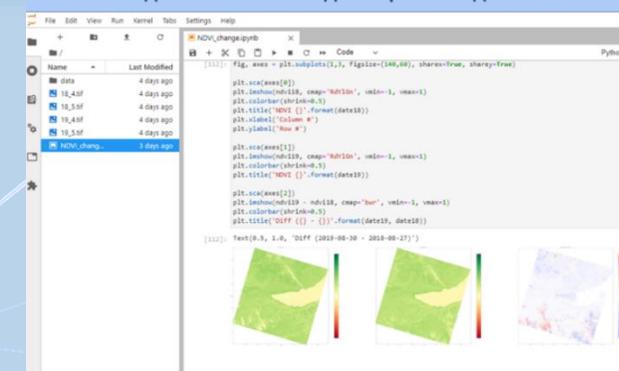
Цифровой трансформации научных исследований экологических проблем БПТ



Цифровая платформа



Создание новых методов обработки данных



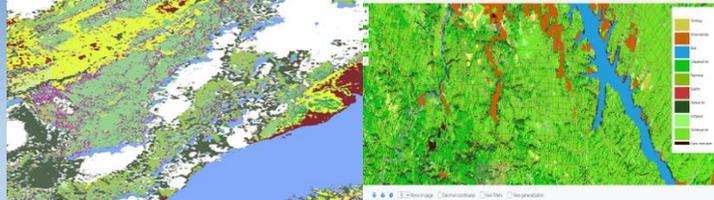
Жизненный цикл методов обработки данных



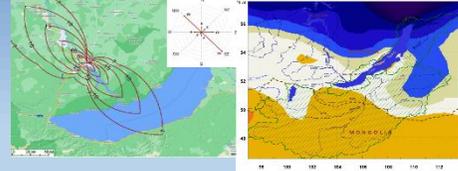
Цифровая платформа комплексного экологического мониторинга



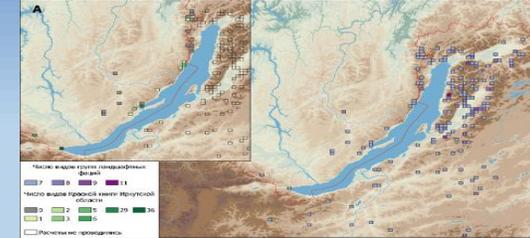
Сервисы обработки данных ДЗЗ



Комплекс математических моделей



Сеть мониторинга биоразнообразия

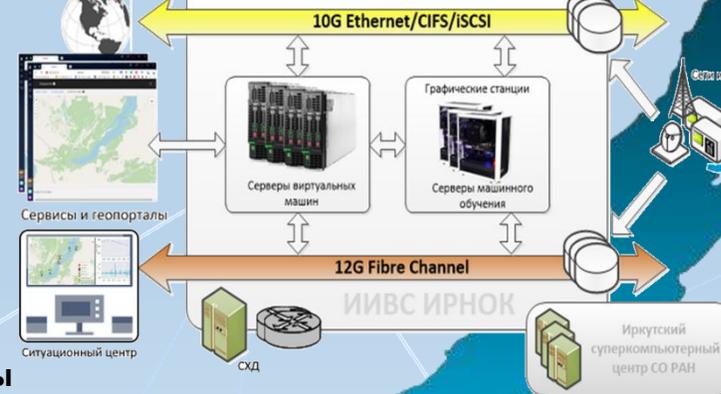


Цифровая платформа

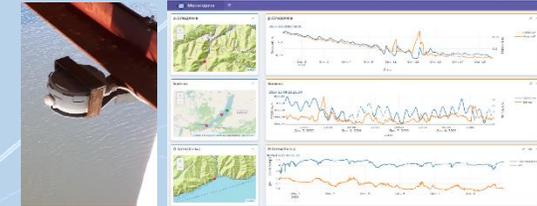
Мобильные системы мониторинга



INTERNET



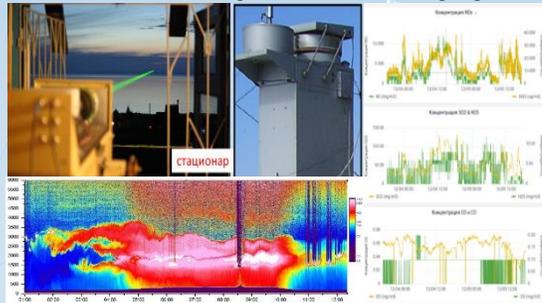
Сеть мониторинга гидрологических режимов



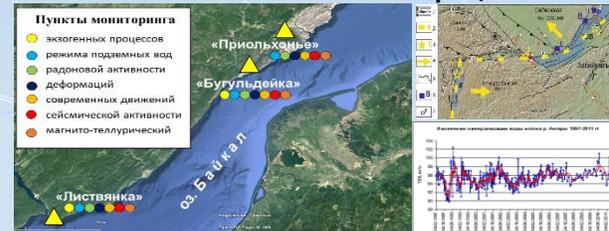
Сервисы медико-экологического мониторинга



Сеть мониторинга атмосферы



Сеть мониторинга опасных геологических и эколого-геохимических процессов





Вычислительная инфраструктура

Серверы 4x HPE ProLiant BL460c



Вычислительный кластер 14 узлов с NVIDIA 3090



**Система хранения данных
HP MSA 2062**



**Система хранения данных
Infotrend EonStor GS 1000 Gen2**





Пространственные данные. Сервисы.

Geoportal
Лесные ресурсы

Фильтр
LANDSAT_8
Метод

ID: 37431
Дата съемки: 2020-11-06 00:00:00
Облачность: 75.8

LANDSAT_8
Метод

ID: 37430
Дата съемки: 2020-11-06 00:00:00
Облачность: 75.8

LANDSAT_8
Метод

ID: 37429
Дата съемки: 2020-11-09 00:00:00
Облачность: 25.76

Контур:
1: 108.396172776846,53.4759609484986
2: 08.7422272969,53.9441172148786
3: 09.143213001025,53.9198631383912
4: 09.115749251684,53.663523991797
5: 08.723003636173,53.4775959036512

Имя:
1: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-073.SXF
2: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-074.SXF
3: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-075.SXF
4: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-085.SXF
5: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-086.SXF
6: DATA Топооснова(Росреестр)100_000-N-087.SXF

Результат: [Получить](#)

Planet GIS
Проект без названия — QGIS

Инструменты анализа

- Недавно использованные
- Mesh
- Plots
- Raster creation
- Vector tiles
- База данных
- Вектор - Анализ
- Вектор - Выбор
- Вектор - Геометрия
- Вектор - Оверлей
- Вектор - Создание объектов

Debugging/Development Tools

Filter requests

Requests

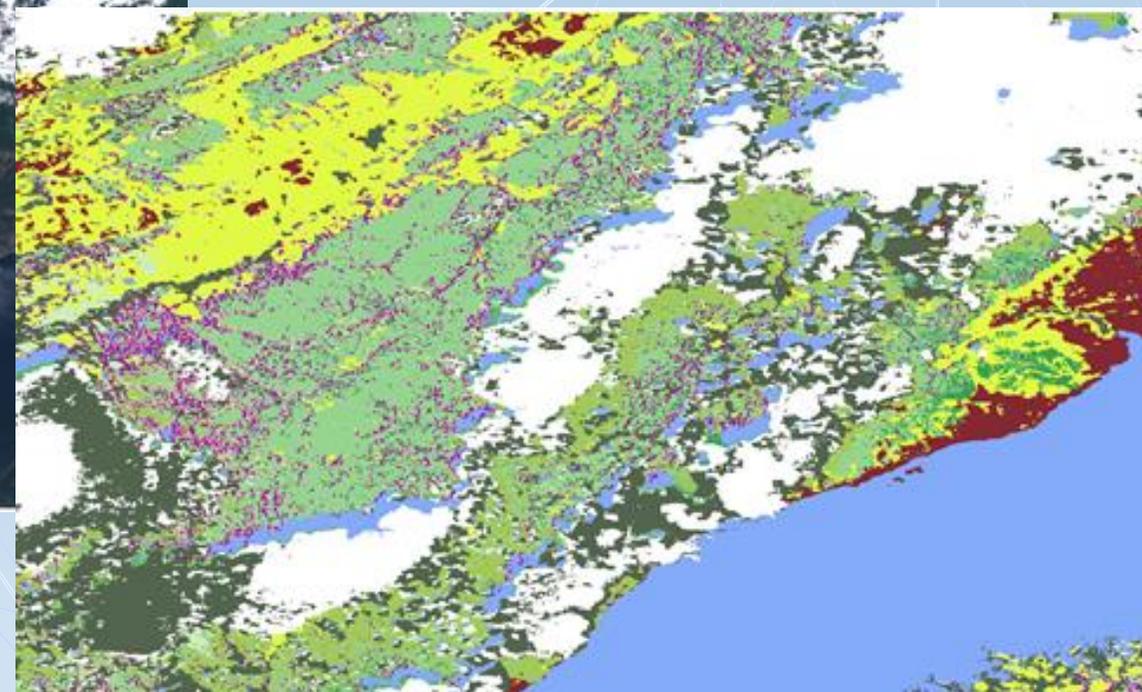
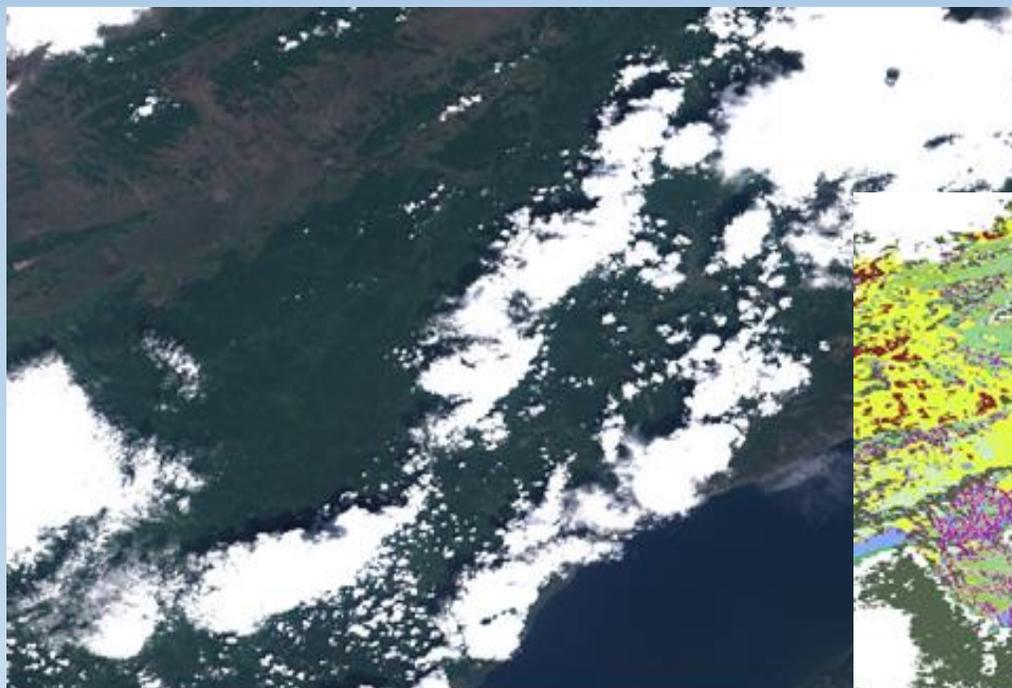
Coordinate: 18749558,5945213 Масштаб: 1:225103 Magnifier: 100% Вождение: 0,0 ° Отрисовка Unknown CRS

Технология и Web-сервис классификации космоснимков Sentinel-2 на основе нейронной сети ResNet50 для мониторинга БПТ

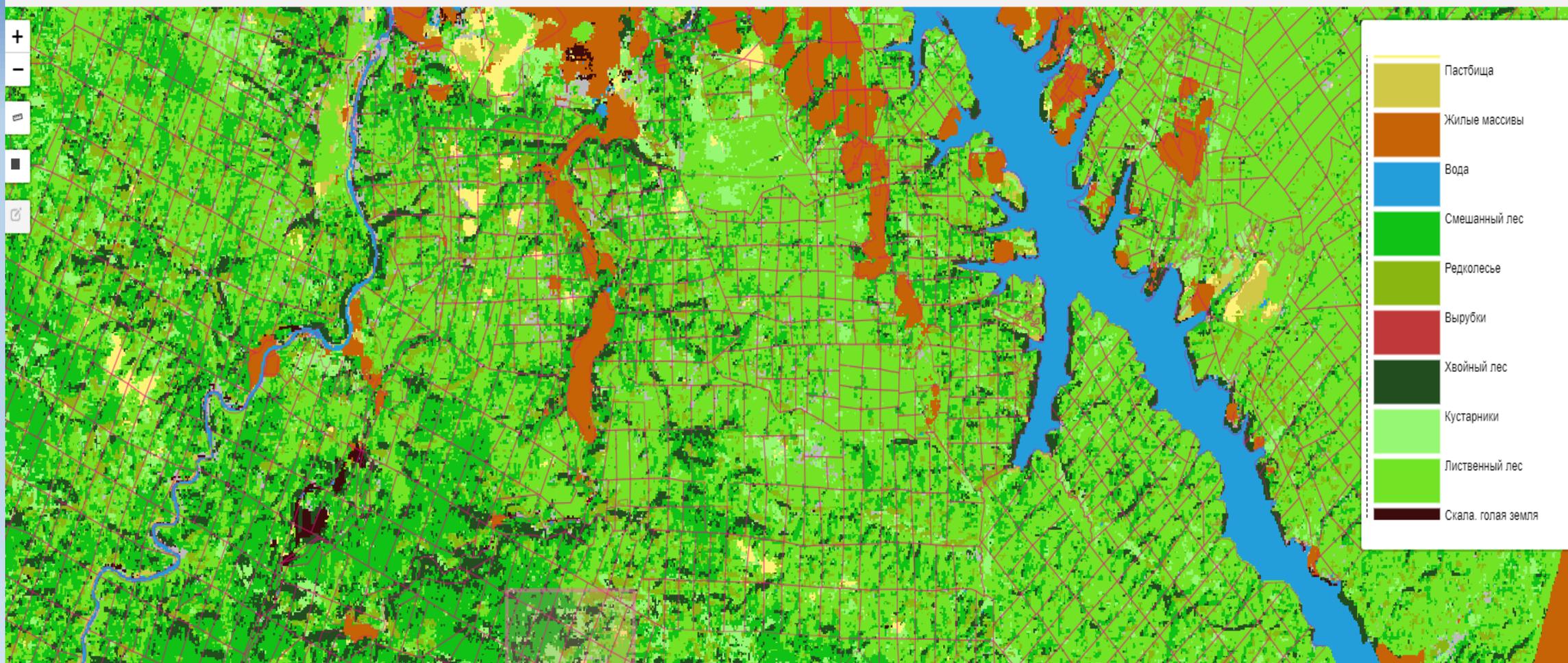


Результаты классификации космоснимка (слева),
нейронной сетью (снизу)

Класс	Точность
Пастбища	0,99976
Жилые массивы	0,999868537
Вода	0,99697472
Смешанный лес	0,77193426
Редколесье	0,687642153
Вырубки	0,993470135
Хвойный лес	0,989869998
Кустарники	0,99976
Лиственный лес	0,972972973
Скалы	0,94368231
Облака	0,999965272
В среднем по классу	0,946489124



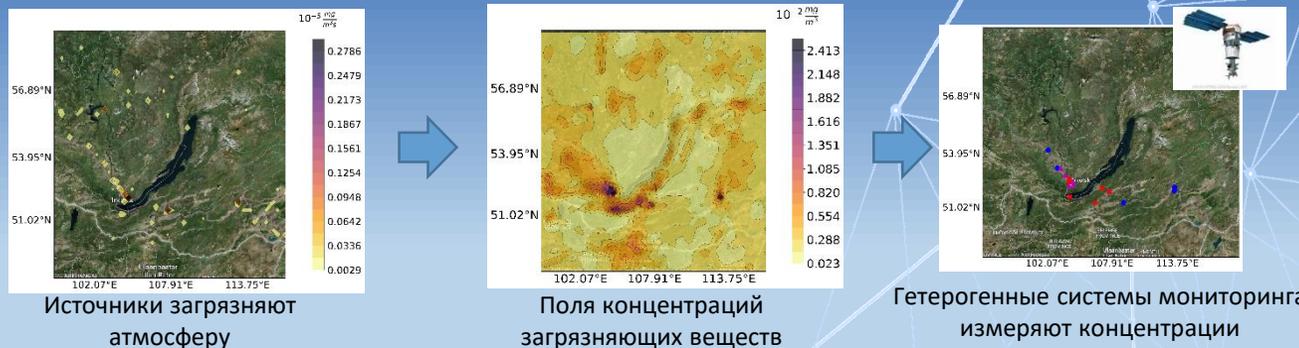
Результат классификации космоснимка нейронной сетью ResNet50



Алгоритмы идентификации источников и оценки информативности для гетерогенных данных мониторинга качества воздуха



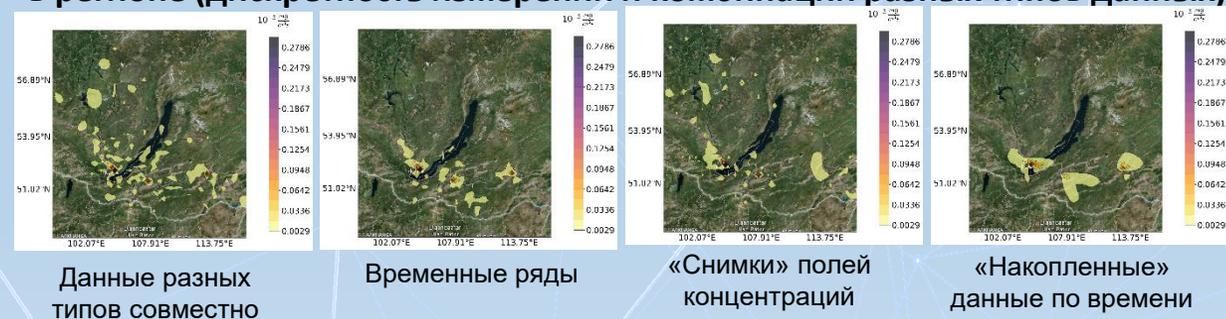
- На основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений разработан алгоритм идентификации источников выбросов по разнородным данным мониторинга качества воздуха.
 - Можно использовать в составе систем оценки и прогнозирования качества воздуха в регионе.



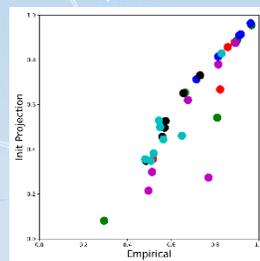
- По точности решения задачи идентификации источников с «известными» искомыми источниками можно оценить область наблюдаемости системы мониторинга и информативность собираемых данных.

Информативность оценена для различных компоновок системы мониторинга в регионе (дискретность измерений и комбинации разных типов данных).

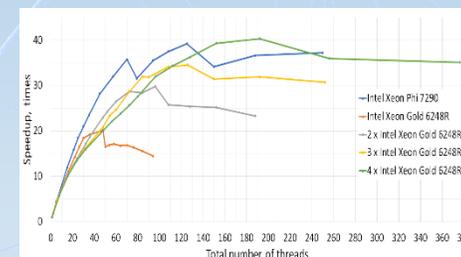
- Свойства операторов чувствительности позволяют оценить информативность данных без непосредственного решения обратной задачи (т.е. быстрее в 20-50 раз в зависимости от сценария).
 - Можно использовать для оптимизации и построения сетей мониторинга.



- Реализована кластерная версия алгоритма идентификации источников и оценки информативности: ускорение идентификации в 40 раз и оценки информативности в 95 раз для 4х узловой (4x48 потоков) версии относительно однопоточной.



Точность предсказания решения задачи идентификации источников

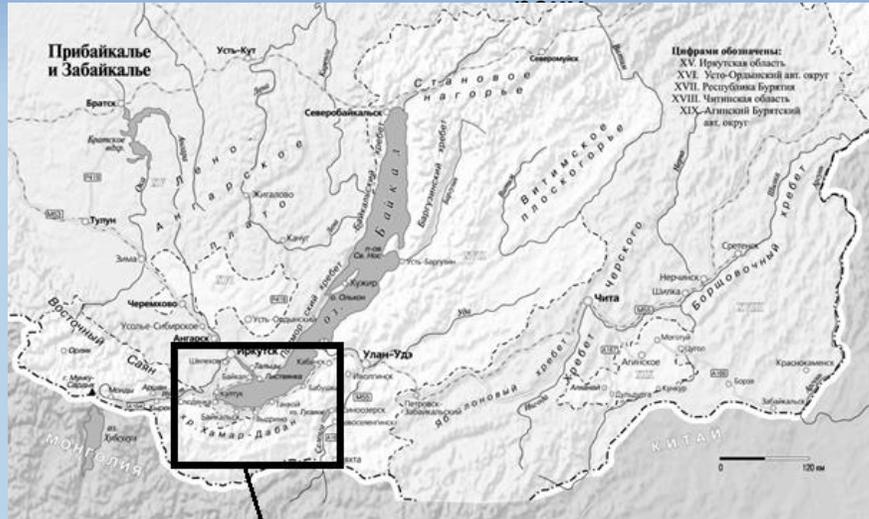


Ускорение кластерной версии алгоритма

Численные стохастические модели метеорологических и гидрологических процессов



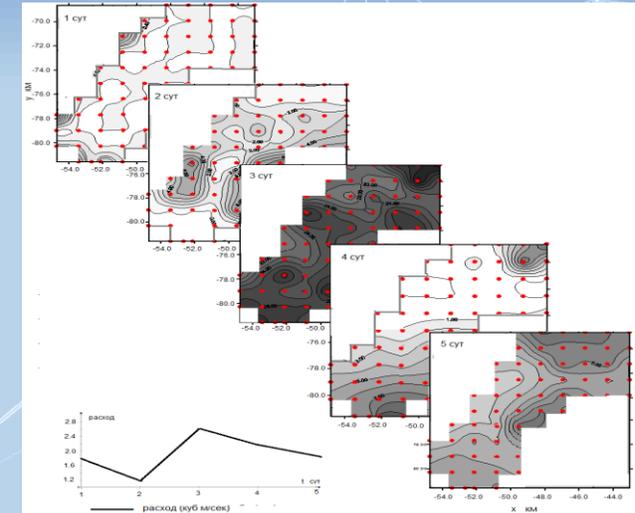
Численная стохастическая модель пространственно-временного поля суточных осадков в водосборе р. Слюдянка совместного с временным рядом расхода



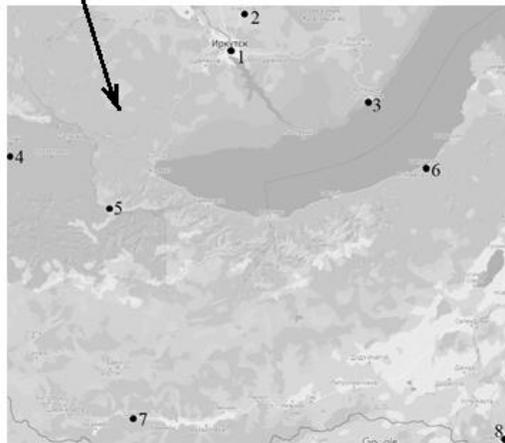
Моделирование совместных пространственно-временных полей метеорологических параметров на сети станций



Водосбор р. Слюдянка

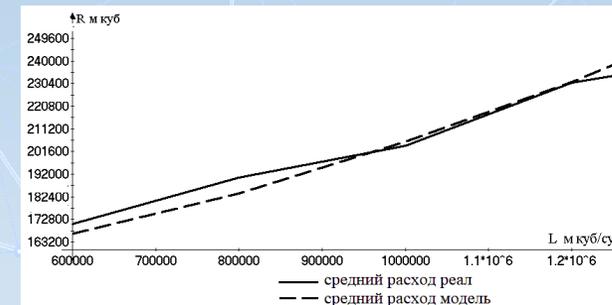


Пример реализации пространственно-временного поля осадков и временного ряда расхода р. Слюдянка. 6-10 июля



Расположение метеостанций в южной части БПТ.

- 1 – Иркутск,
- 2 – Хомутово,
- 3 – Большое Голоустное,
- 4 – Тунка,
- 5 – Хамар-Дабан,
- 6 – Бабушкин,
- 7 – Цакир,
- 8 – Кяхта



Средние значения суточного расхода реки при условии, что суммарное количество осадков за сутки в водосборе больше заданного уровня L

Реконструкция полей выпадений тяжёлых металлов и ПАУ в окрестностях площадных источников

1) Построены малопараметрические модели реконструкции и проведено численное восстановление полей загрязнения от основных очагов атмосферных поступлений **ртути: шламохранилища и цеха ртутного электролиза «Усольехимпрома»**. Полученные результаты могут быть использованы для оценок эффективности проводимых реабилитационных мероприятий и рисков здоровью населения.

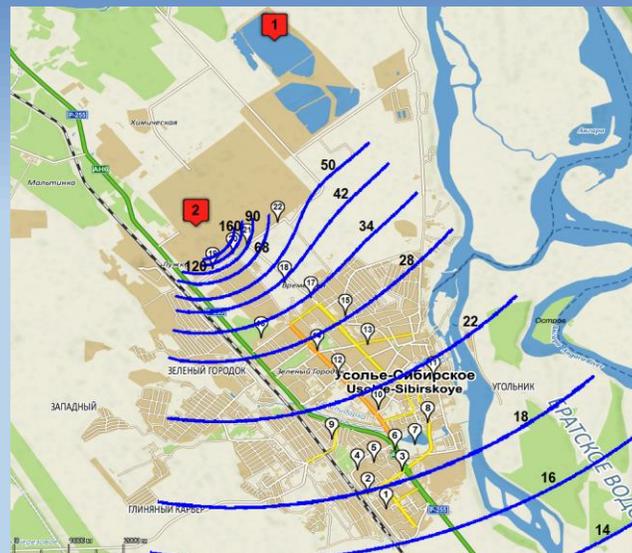
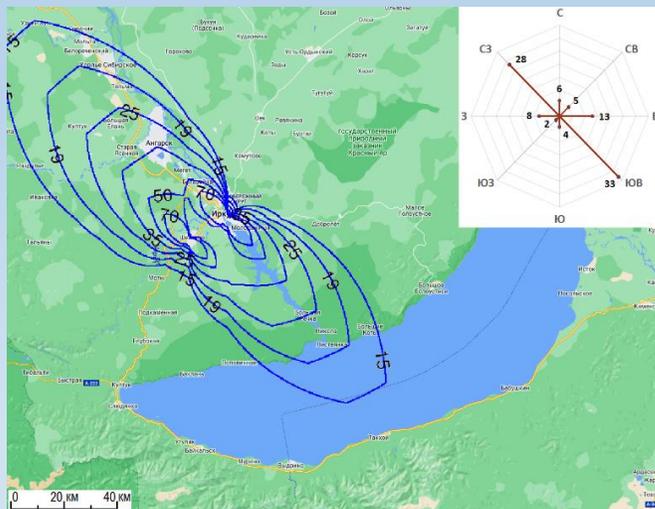


Рис. Реконструкция поля концентрации **ртути** (нг/г) в южной окрестности «Усольехимпром» и г. Усолье-Сибирское за летний сезон 2019 г.



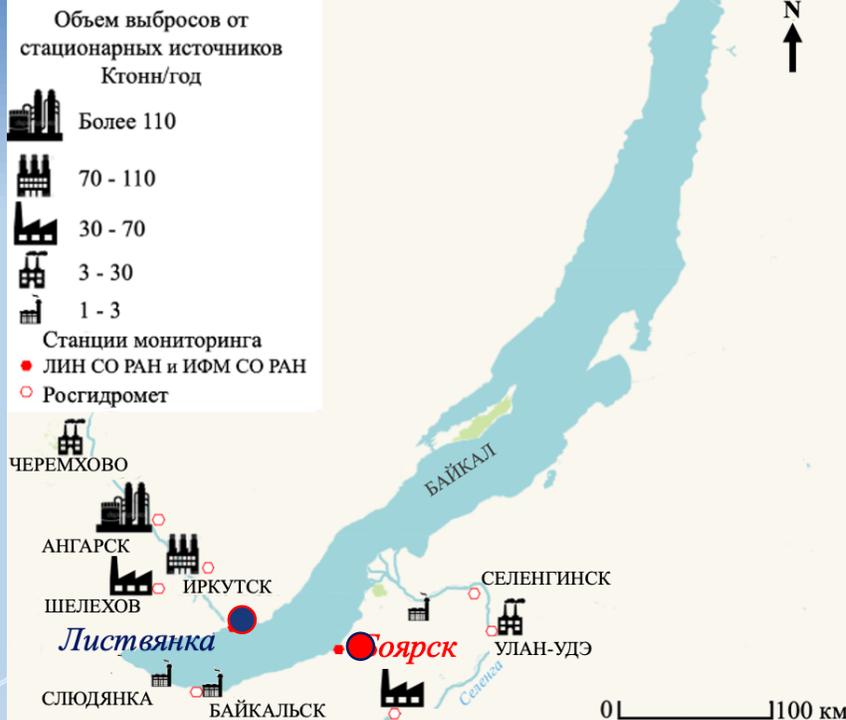
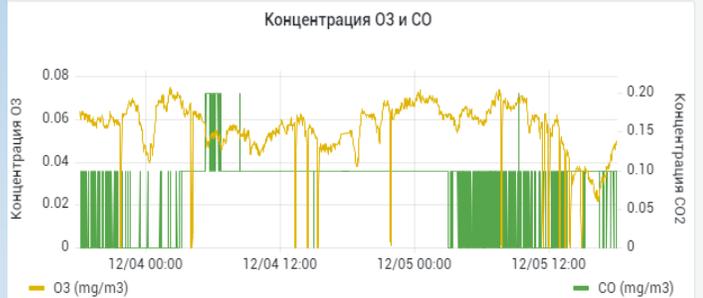
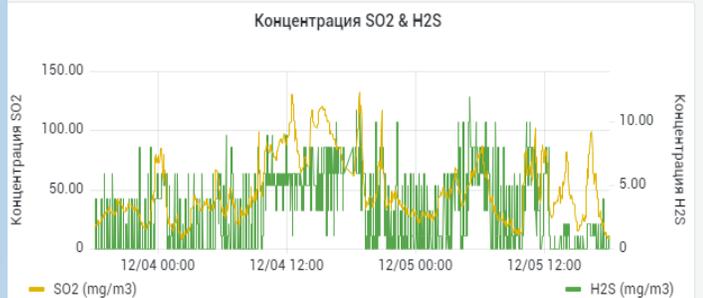
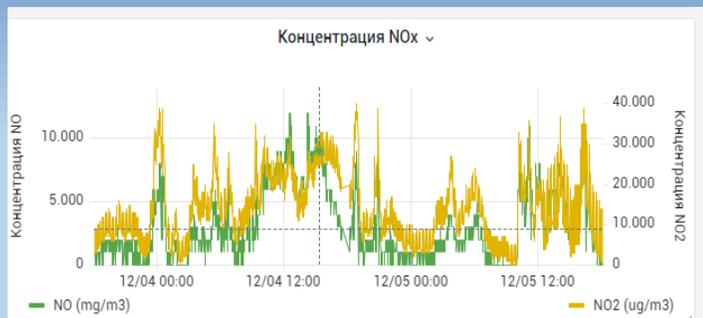
2) Разработаны модели и методы оценивания атмосферного загрязнения территорий от площадных источников по данным наблюдений. Для больших временных осреднений построены асимптотические представления полей концентраций примесей. По данным мониторинга загрязнения снежного покрова проведена реконструкция полей выпадений тяжёлых металлов и ПАУ в окрестностях г. **Иркутска** и на акваторию **Южного Байкала**.

Рис. Численно восстановленное поле выпадений **бериллия** (г/км²) в окрестностях гг. Иркутска и Шелехова в зимнем сезоне

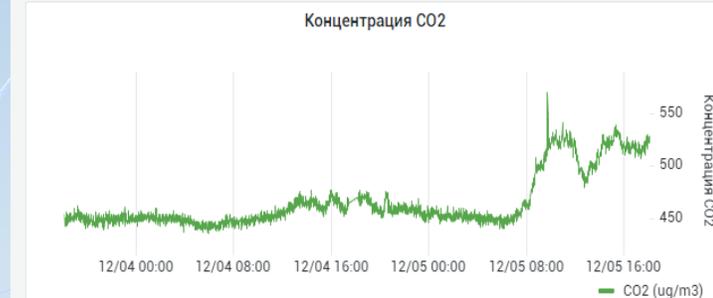
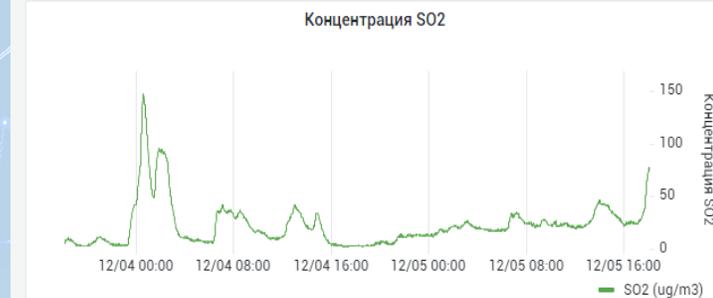
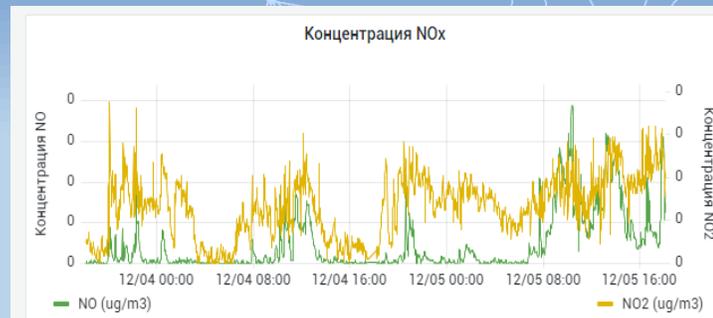
Мониторинг экстремальных природных явлений и антропогенных выбросов в атмосфере



Концентрация газов на ст. Листвянка

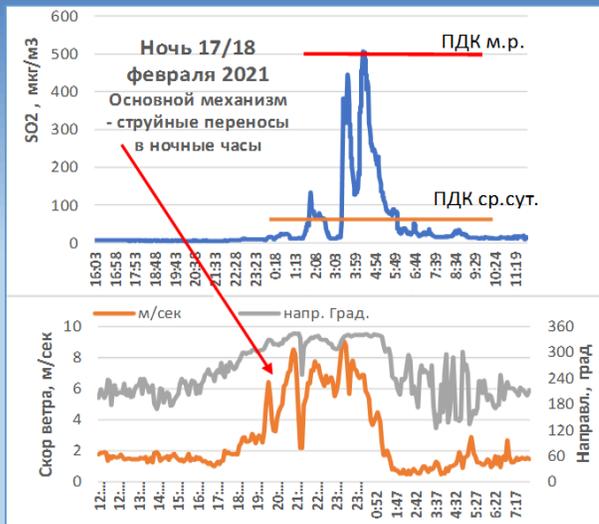


Концентрация газов на ст. Боярский



Дашборд обеспечивающий доступ к данным системы мониторинга состава атмосферы на БПТ (ст. «Боярский», «Листвянка»)

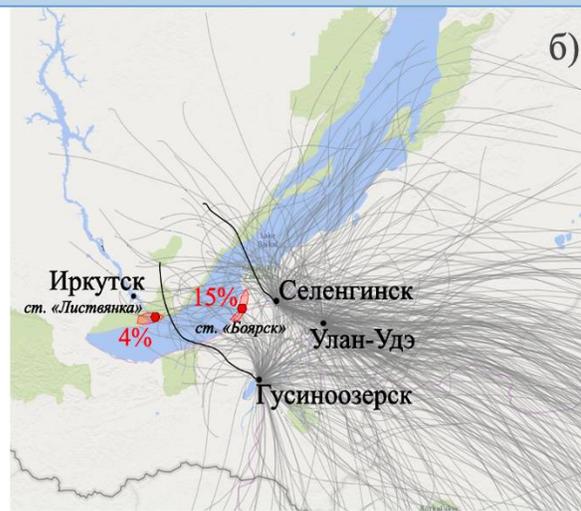
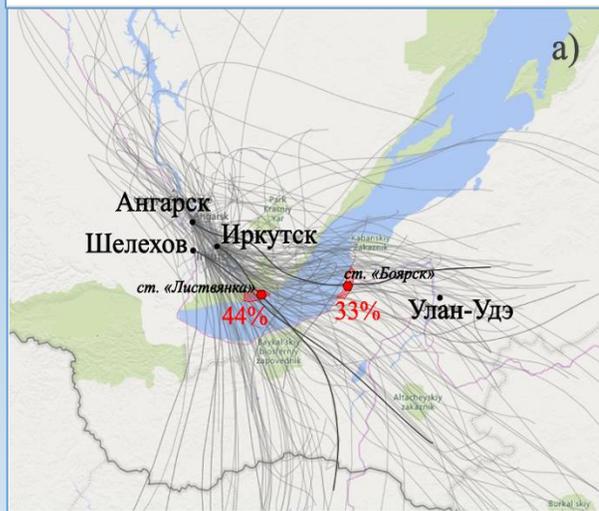
Примеры цифровой регистрации шлейфов загрязнений в ЦЭЗ Байкала на станции Листвянка



Положение шлейфа может меняться каждые 3 часа



Пример взаимодействия шлейфа ТЭЦ (NO, NO₂) с окружающим озоном в процессе переноса с Иркутска до Листвянки. Эти реакции приводит к образованию азотной кислоты на Байкале.

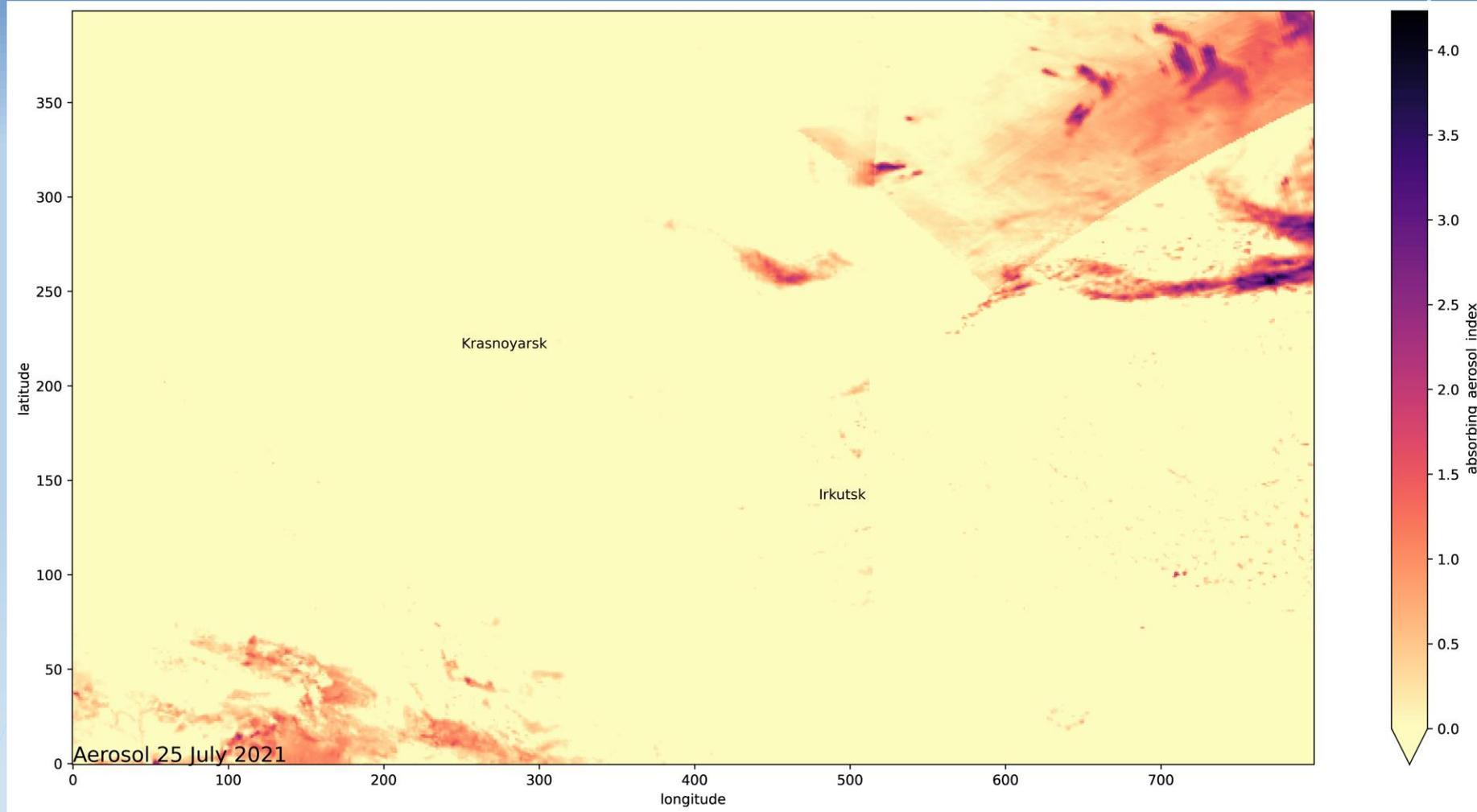


Процентное распределение прямых траектории движения воздушных масс (250 метров над уровнем земли (AGL)), рассчитанных от основных городов источников Байкальского региона

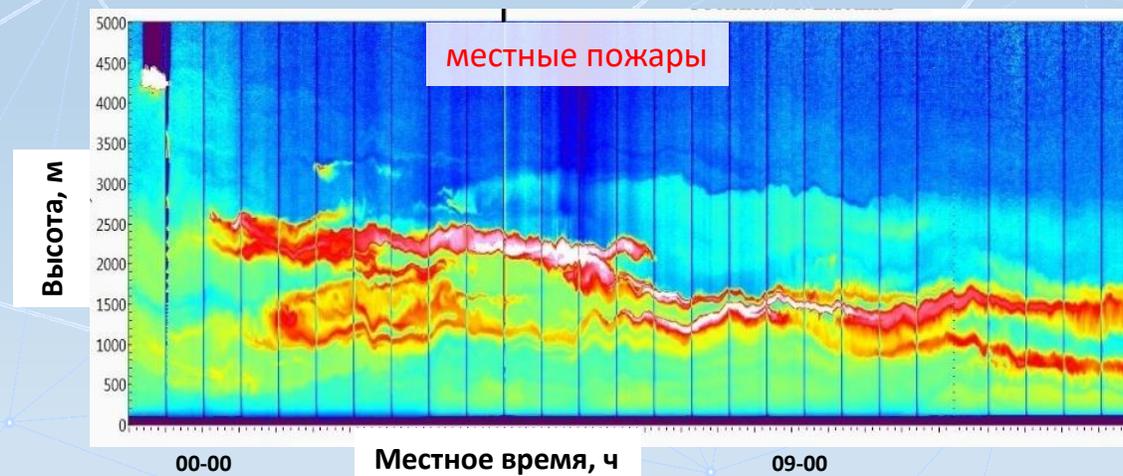
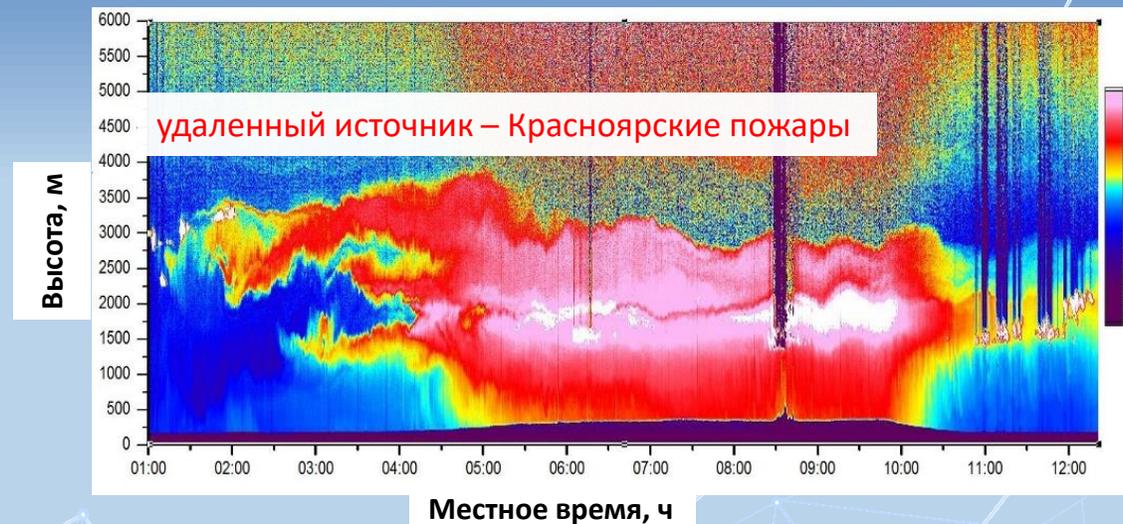
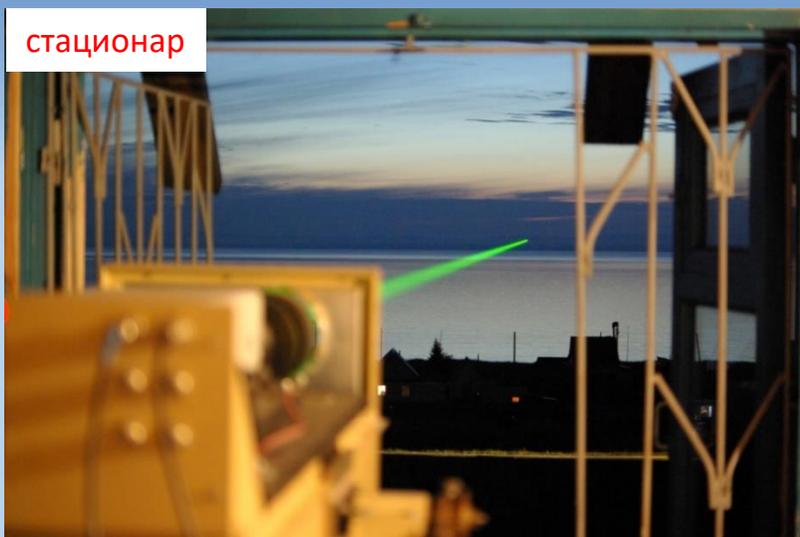


Средние суточные концентрации субмикронных частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}) аэрозолей и CO на станции Листвянка, 2021г.

Сервис обработки данных о загрязнении атмосферы со спутника Sentinel-5P



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

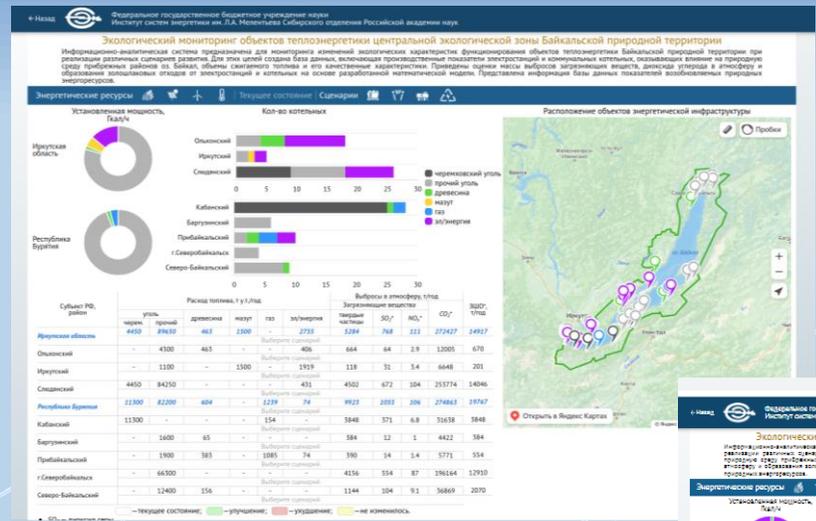


Примеры цифровых карт пространственно-временной структуры аэрозольного поля тропосферы полученных лидаром «ЛОЗА» на НИС «А.Коптюг» в период лесных пожаров

Вертикальное пространственное разрешение – 6м

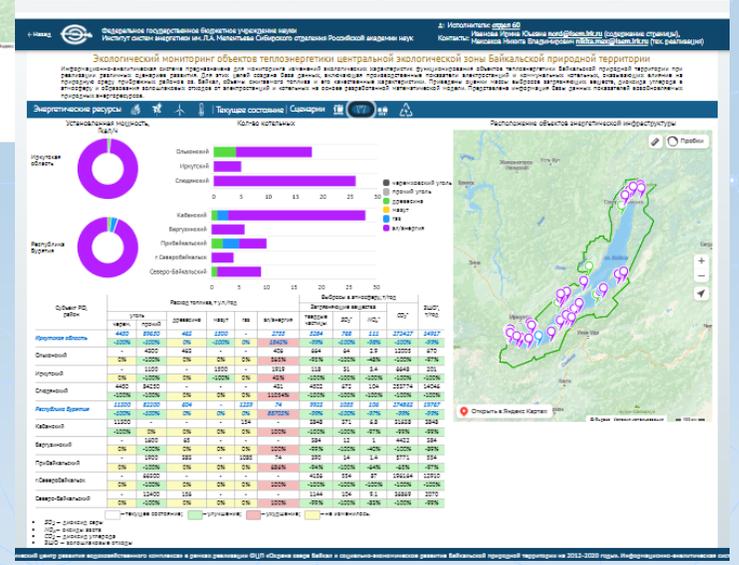
Временное разрешение – 1сек

Информационно-аналитическая система для формирования сценариев развития систем энергоснабжения центральной экологической зоны БПТ и визуализации экологических последствий их реализации



Страница Web-сервиса для визуализации изменения экологических показателей при реализации сценариев развития теплотенергетики доступна на сайте ИСЭМ СО РАН по ссылке : https://isem.irk.ru/monitoring_bnt

- ✓ разработаны базы данных объектов энергетики центральной экологической зоны и показателей потенциала ветро-, гелио-, био- и геотермальных ресурсов;
- ✓ сформированы сценарии развития систем энергоснабжения центральной экологической зоны;
- ✓ усовершенствованы технико-экономические, экологические и эколого-экономические модели;
- ✓ создан Web-сервис для визуализации экологических показателей текущего состояния и последствий от реализации сформированных сценариев развития.





Мониторинг гидрологических режимов

Сеть гидрометеорологических станций с датчиками уровня воды



Радарный датчик уровня воды

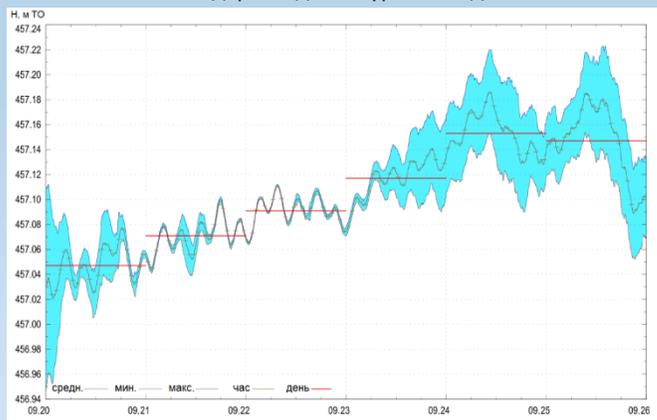


График обработанных показателей уровня оз.Байкал (минутного, часового и суточного разрешения) за период 20-25 сентября 2020 г. по станции Листвянка

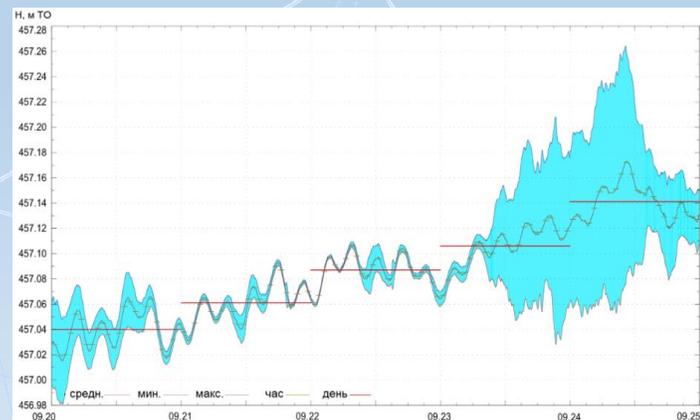
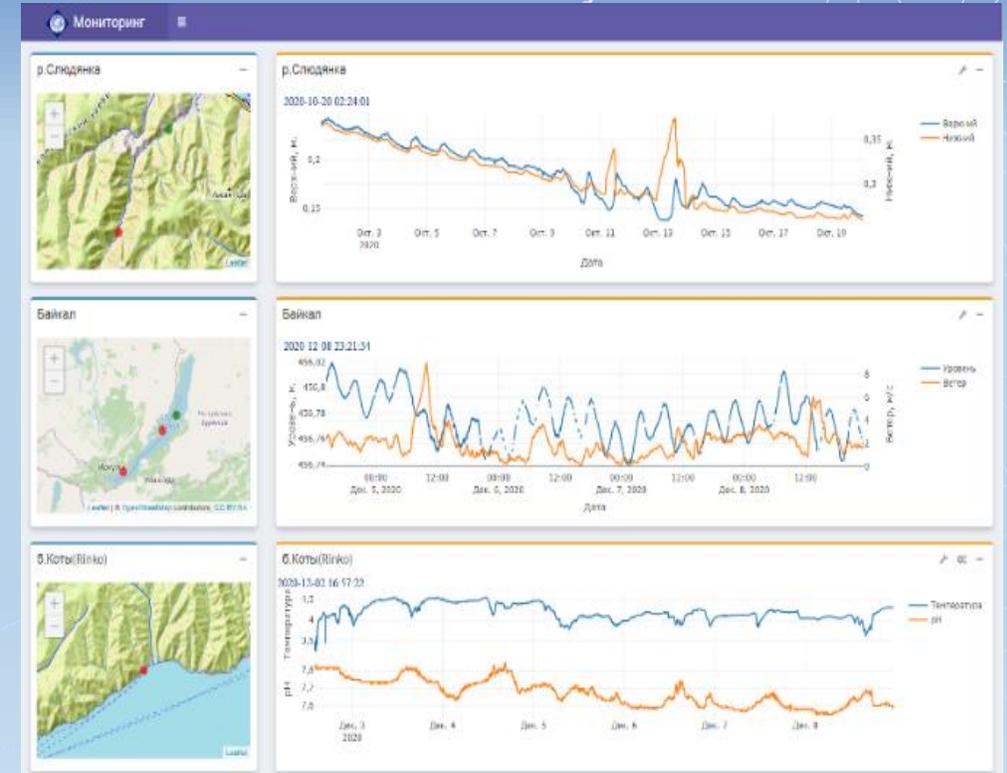


График обработанных показателей уровня оз.Байкал за период 20-24 сентября 2020 г. по станции Большие Коты



Интерфейс мониторинга гидрологических режимов



Методика формирования долгосрочных прогностических сценариев полезного притока в оз. Байкал



Разработана методика формирования долгосрочных прогностических сценариев полезного притока в оз. Байкал (до 1 года) на основе синтеза 3-х подходов:

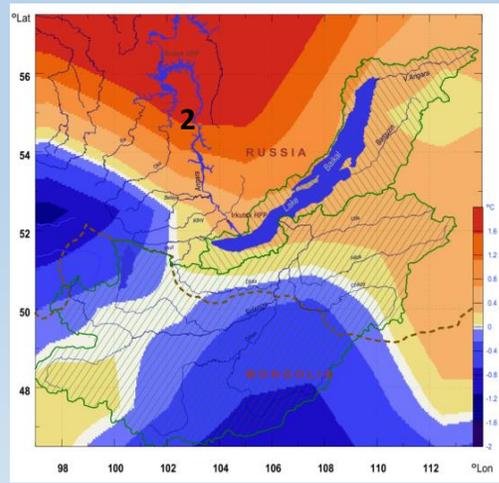
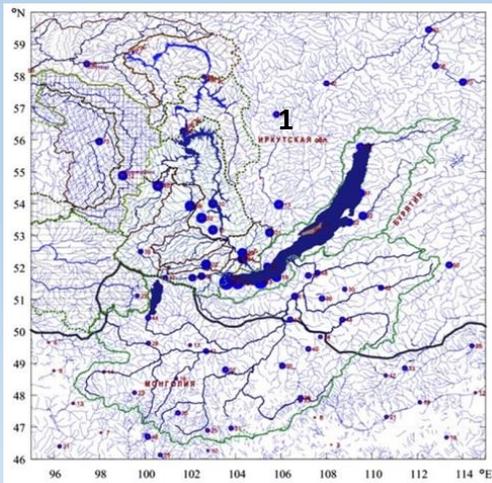
- формирования наиболее вероятных прогностических распределений метео-показателей (температурного режима, интенсивностей осадков, аномалий давления) в бассейне водосбора озера с помощью обработки прогностических ансамблей **глобальной климатической модели (CFSv2)**;
- формирования и уточнения показателей полезного притока с помощью **многопараметрической нейронной сети** с поиском предикторов по всему земному шару;
- статистической **обработки гидрографов полезного притока** в оз. Байкал на основе накопленной 120-летней статистики.

Разработаны предложения по совершенствованию гидрологического мониторинга и расчета среднего уровня озера оз.Байкал. Для более точного определения среднесуточного уровня озера предлагается **увеличение количества автоматических станций ЛИН СО РАН**, с помощью которых будет вестись мониторинг не только среднесуточного уровня озера (с учетом весовых коэффициентов), но и **уровней по отдельным прибрежным территориям**.

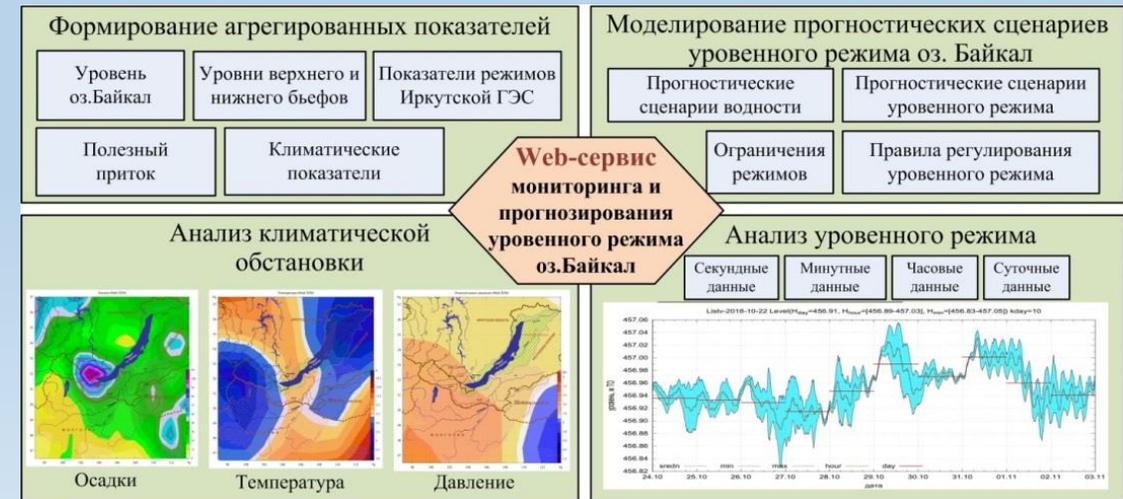
Современный мониторинг должен включать процедуры контроля данных, формирования среднeminутных, среднечасовых и среднесуточных показателей по каждой станции, а также границ волнения воды в озере.

Разработано программное обеспечение в виде компонентов **web-сервиса**, включающих:

- формирование и визуализацию **климатических карт** в бассейне оз. Байкал различного масштаба, вида и периода агрегирования;
- моделирование динамики изменения **уровенного режима оз. Байкал** по синтезированным сценариям полезного притока и задаваемым ограничениям на **расходы Иркутской ГЭС**;
- мониторинг **уровенного режима** с анализом накопленных данных **автоматическими станциями ЛИН СО РАН** различного разрешения (секундного, минутного, часового, суточного).



Пример визуализации: 1) распределения количества осадков по основным метеостанциям (сентябрь 2020 г.); 2) аномалий температурного режима в бассейне оз. Байкал (летний период 2021 г.)



Основные функции разработанного программного обеспечения

Технологии исследования ледяного покрова



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

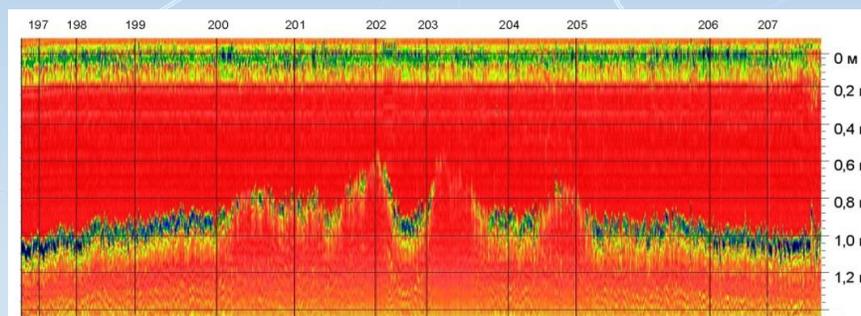
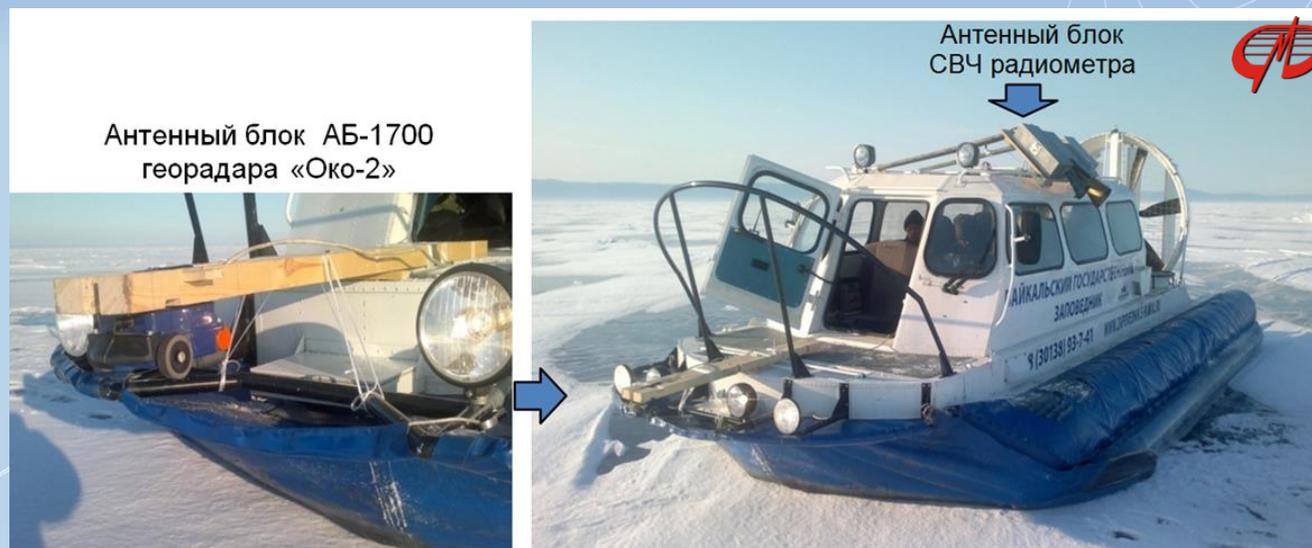


Рисунок – Георадарный профиль на авандельте р. Селенга.

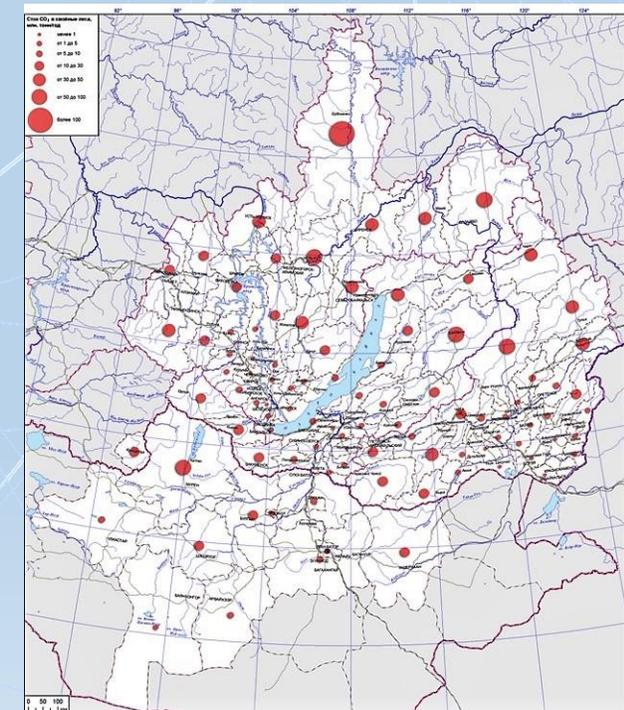
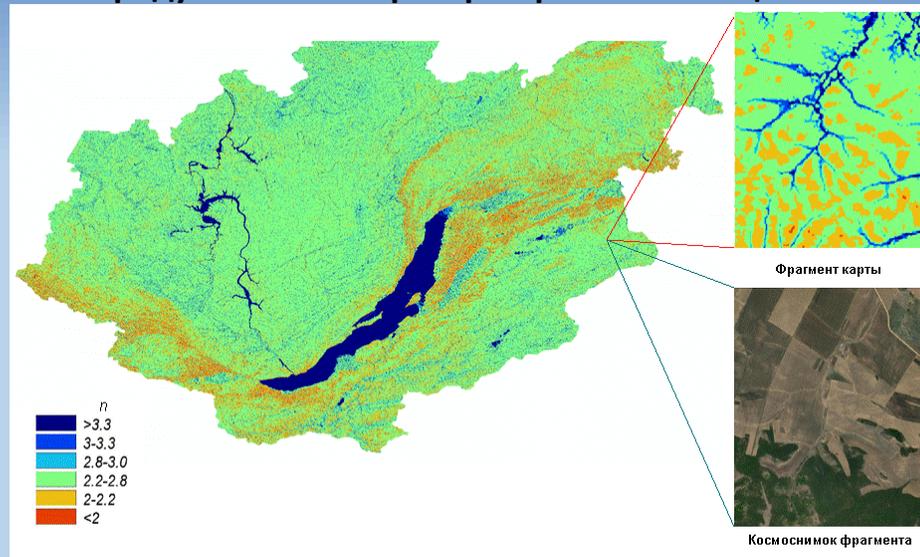
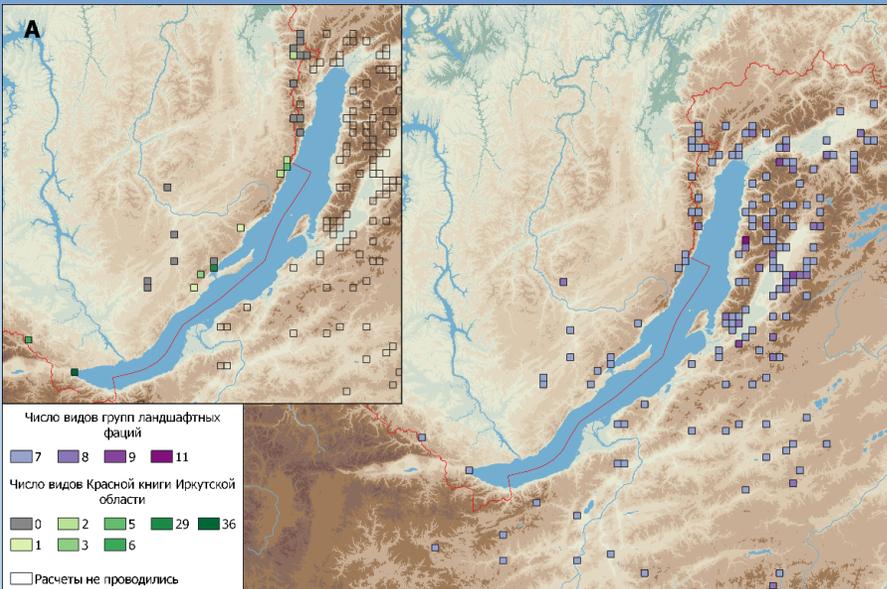


Мониторинг состояния растительного покрова

Сеть мониторинга биоразнообразия БПТ

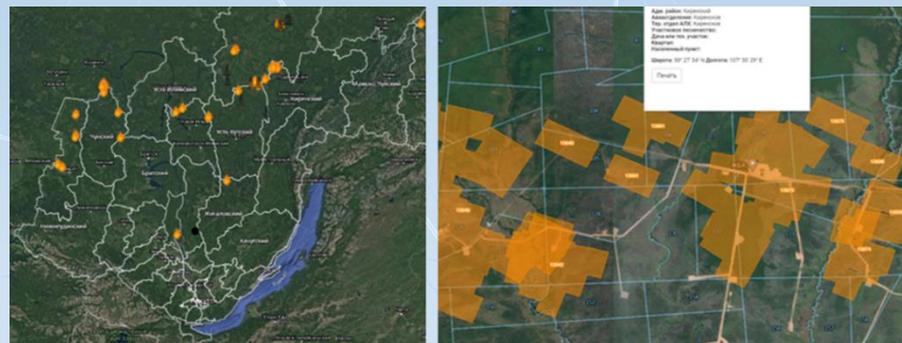
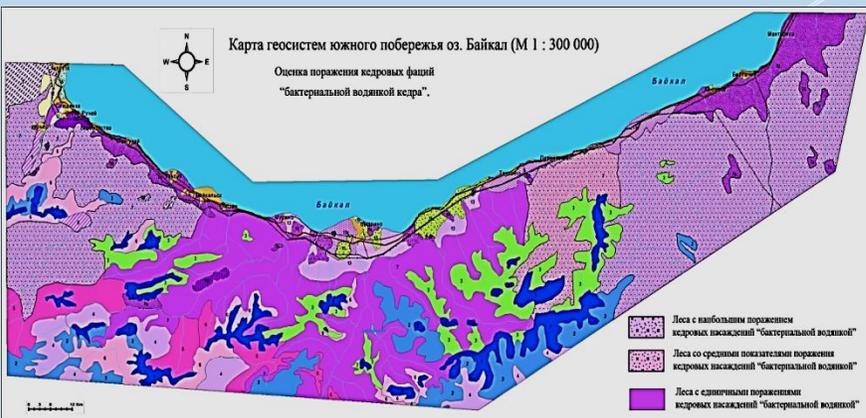
Модель гидролого-климатической оценки продуктивности и распространения биоценозов

Секвестрация атмосферного углерода хвойными лесами БПТ



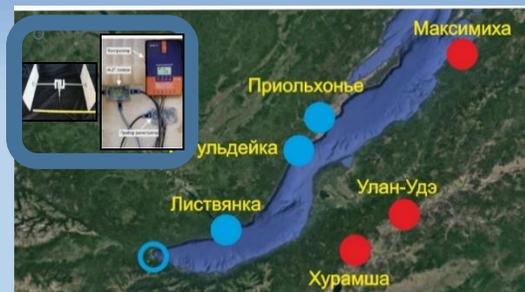
Лесопатологический мониторинг

Система мониторинга лесных пожаров по данным ДЗЗ

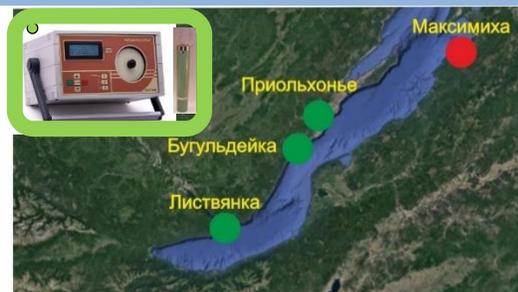


Создание сети станций комплексного мониторинга опасных геологических процессов

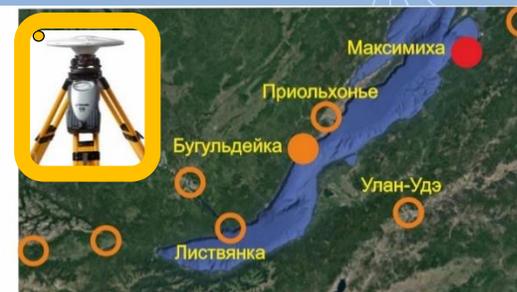
Деформационный мониторинг



Эманиционный мониторинг



GPS-мониторинг



○ ○ - пункты, созданные до 2020 г. ● ● ● - пункты, созданные в 2020 г. ● - пункты, созданные в 2021 г.

Оборудование пункта мониторинга «Максимиха»



Подземная часть



GPS-антенна



радонометрия

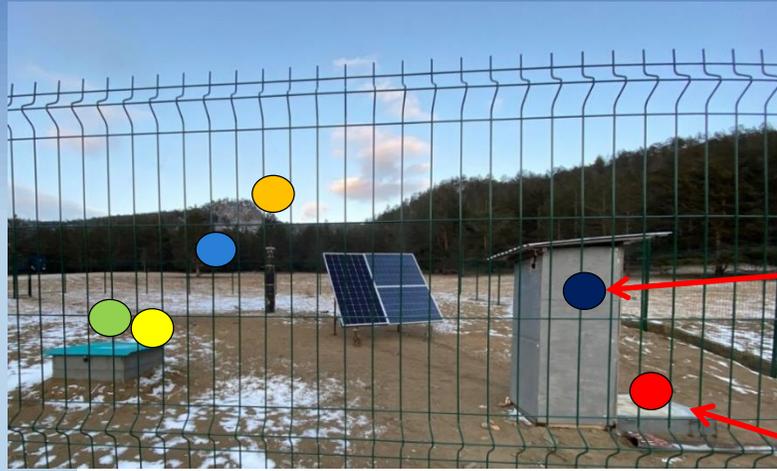


деформометрия



Схема оборудования

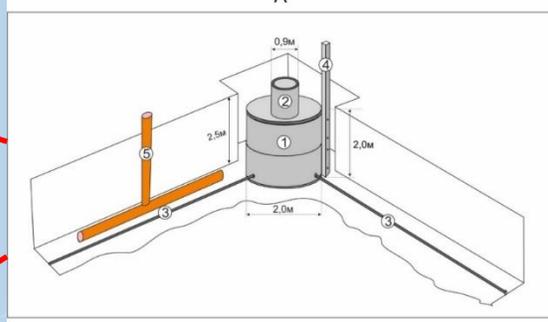
Оборудование станций мониторинга деформаций, современных движений, сейсмической и радоновой активности на полигоне «Бугульдейка»



- Общий вид станции геодинамического мониторинга:
- пункт деформометрического мониторинга
 - пункт мониторинга современных движений
 - пункт мониторинга сейсмической активности
 - пункт мониторинга радоновой активности
 - пункт магнитотеллурического мониторинга
 - пункт мониторинга температурного режима грунтов

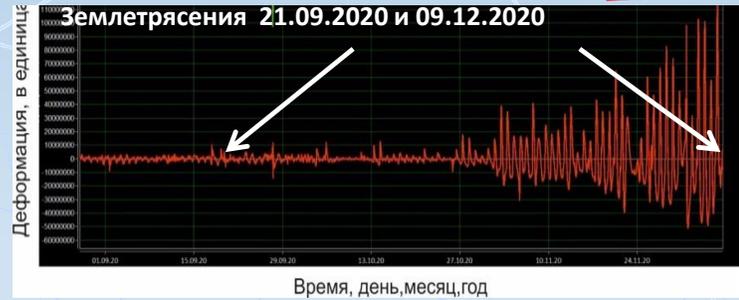


Наземная часть деформометрической станции

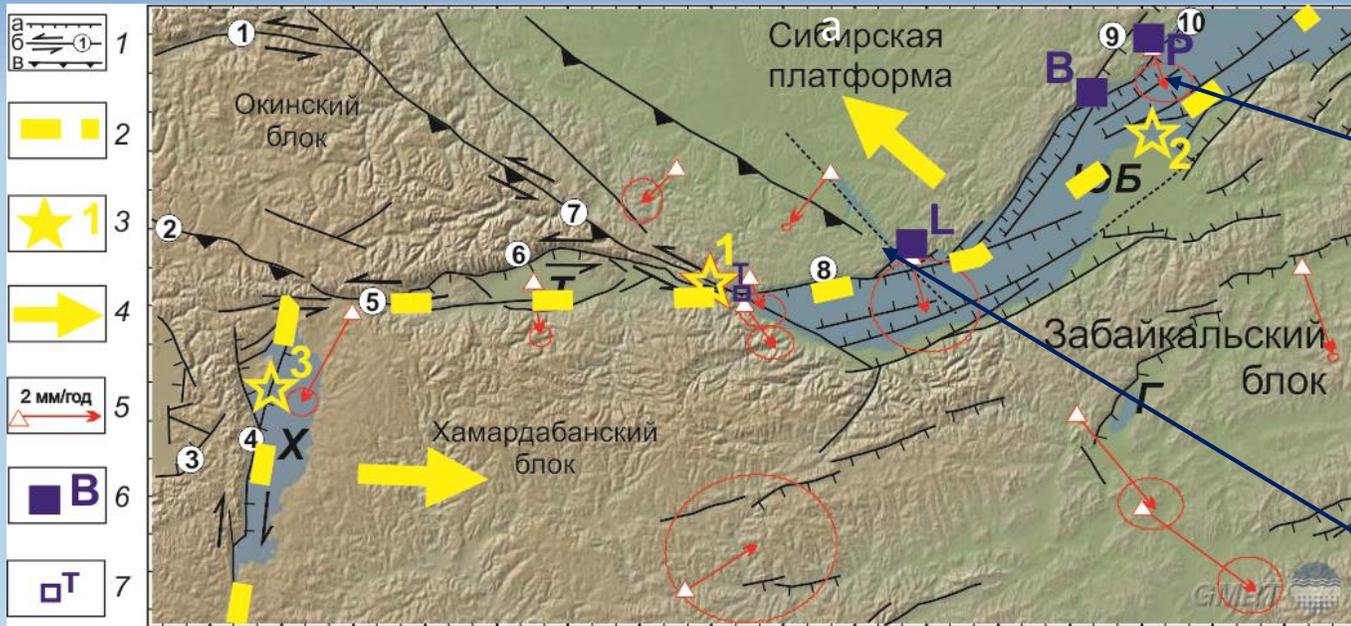


Подземная часть: схема датчиков деформации (А) и фото строительства бункера (Б-В)

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

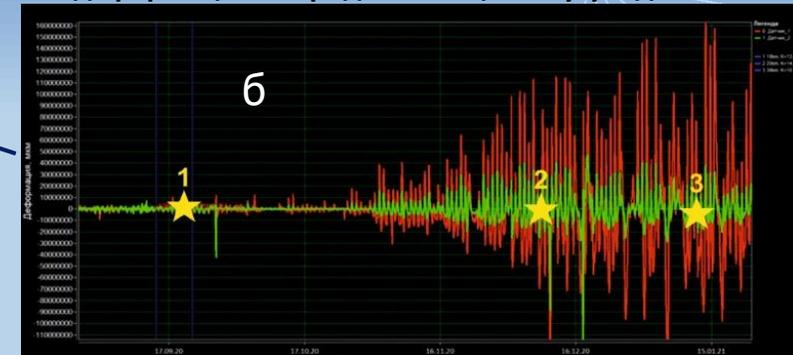


Результаты изучения трех сильных землетрясений

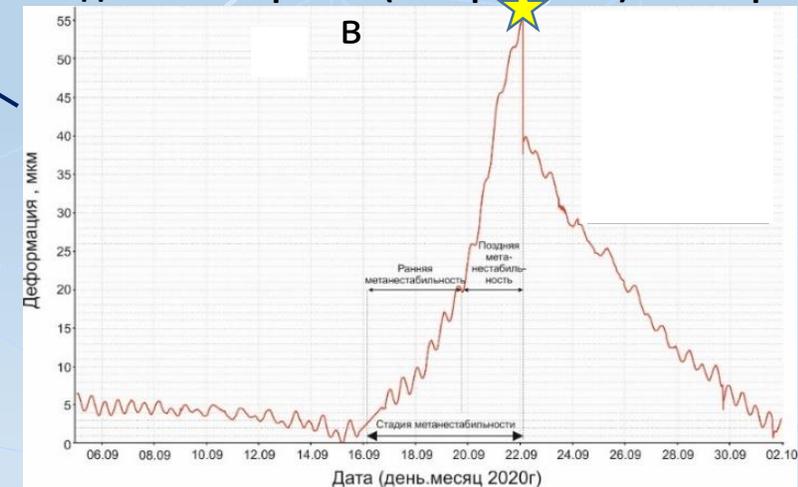


Геодинамическая позиция трех опасных землетрясений в БРЗ: 1 – сбросы (а), сдвиги (б) и взбросы (в); 2 – ось БРЗ; 3 – эпицентры землетрясений: 1 - 21.09.20г.; 2 - 09.12.20г.; 3 - 11.01.21г.; 4 – направления движения блоков; 5 – векторы смещений по GPS-данным [Deverchere et al., 2018]; 6 – станции комплексного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

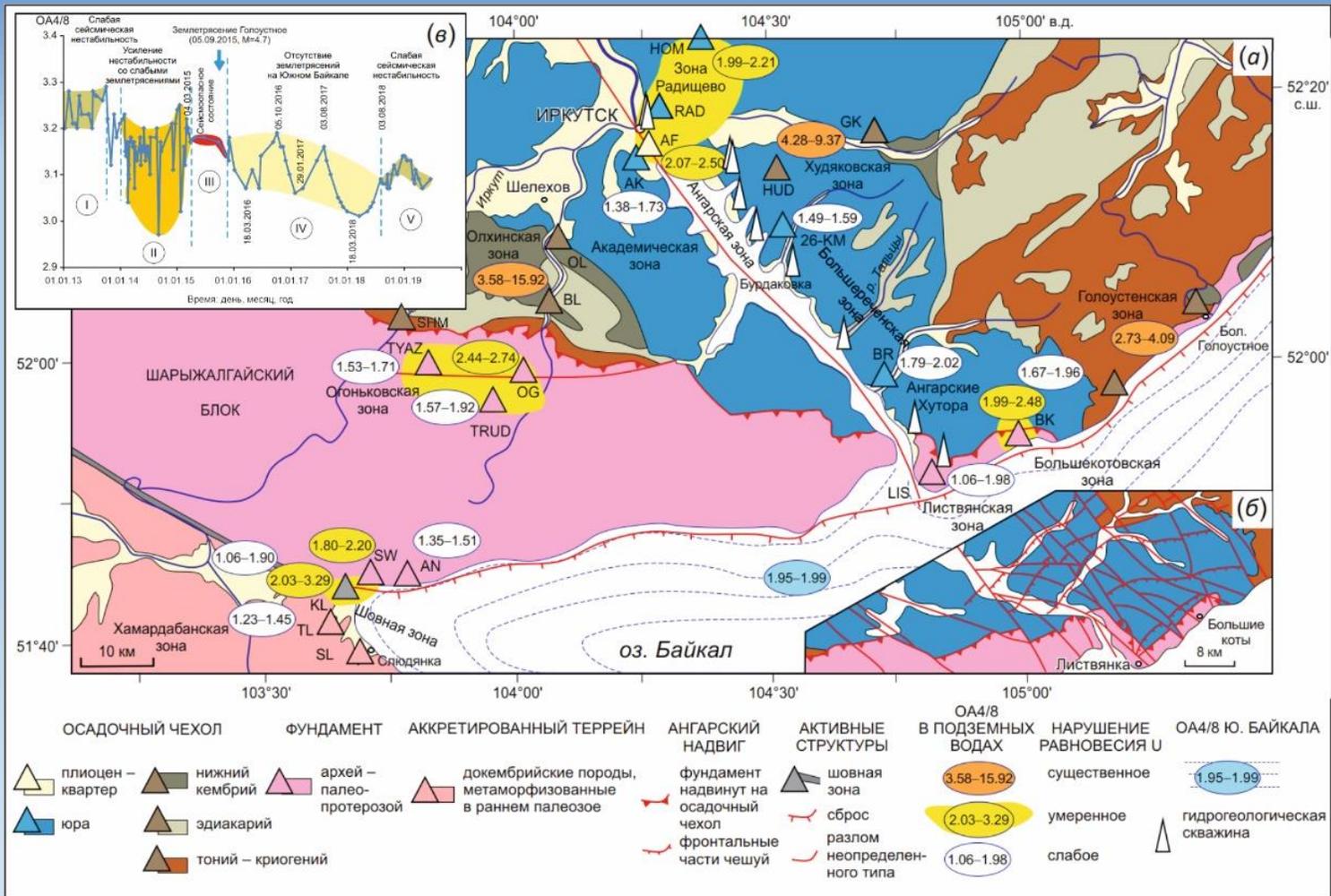
Проявление трех землетрясений (звездочки) в деформациях пород на станции «Бугульдейка»



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



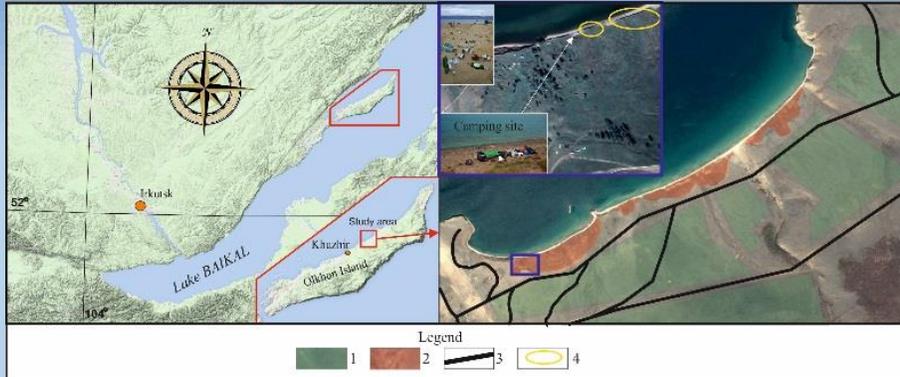
Феномен распространения глубинной воды Южно-Байкальского резервуара



Результаты обработки данных гидрогеохимического мониторинга подземных вод в районе южной оконечности оз. Байкал: (а) - схема зональности ОА4/8 подземных вод в Иркутском Предбайкалье (а); (б) - разломы в районе пос. Листвянка [Zamaraev et al., 1983]; (в) – временные вариации ОА4/8 в воде ст. 27 с оценкой интервала сейсмоопасного состояния в Южно-Байкальской впадине.

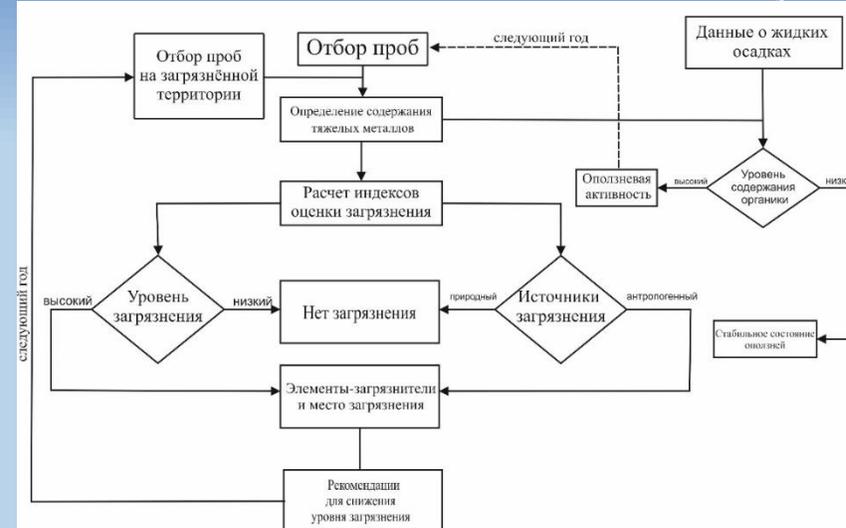
Методология экзогеодинамического мониторинга оползневых масс береговой зоны

Район исследований



1-поле; 2-оползень; 3-дорога; 4-оползни в зоне пляжа.

Блок-схема мониторинга

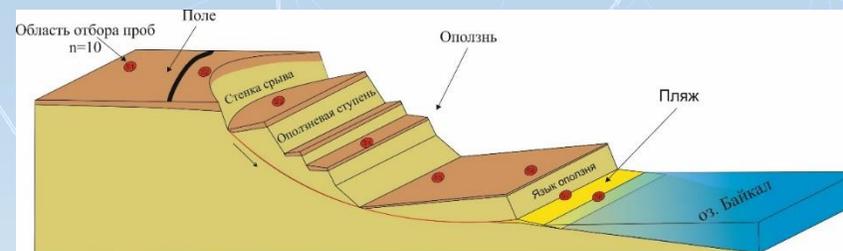


Зависимость годового количества дождевых осадков от концентрации органического вещества в образцах

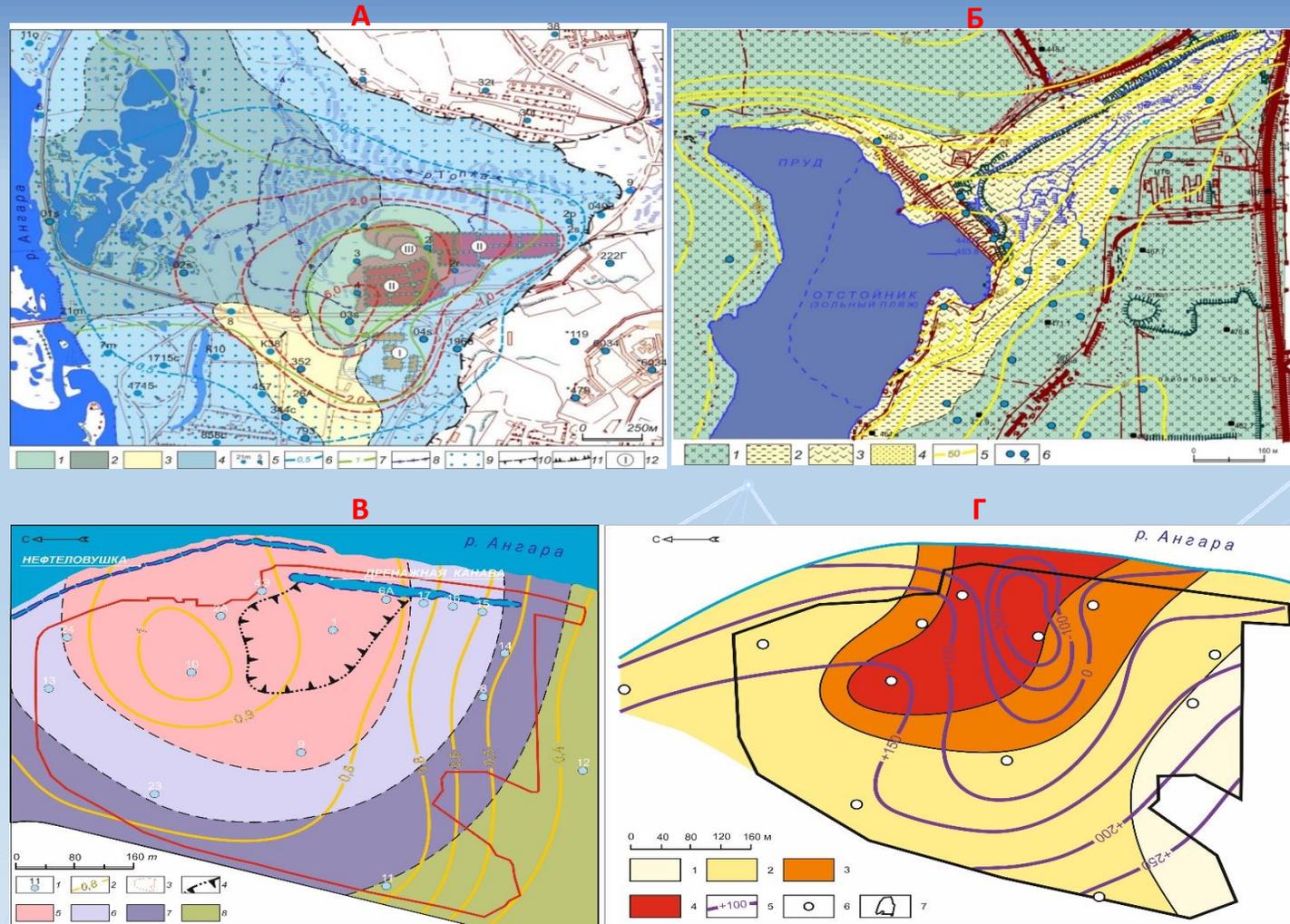


1 - зона оползневой устойчивости (предел менее 0,5);
2 - дождевые осадки;
3 - концентрация органического вещества;
4 - граничное значение среднегодового количества осадков.

Модель оползневой системы



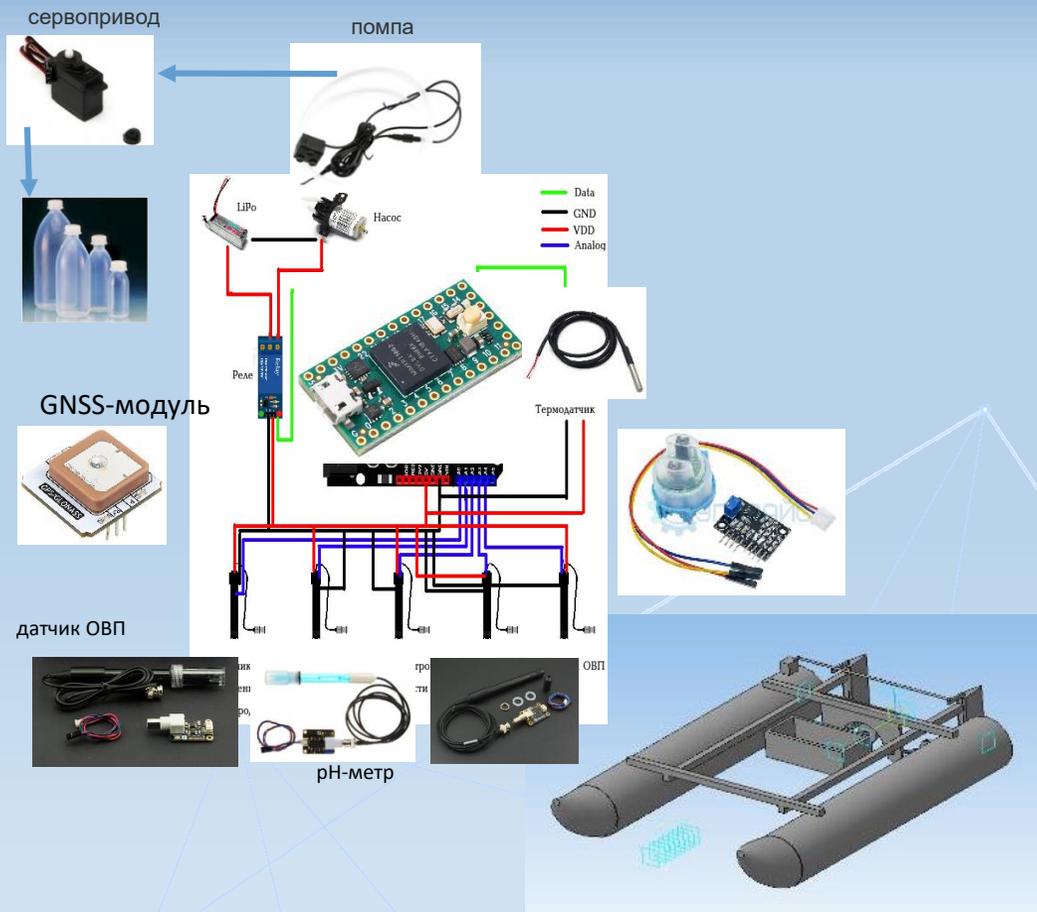
Графические модели изменения гидрогеохимических условий БПТ



Графические модели гидрогеохимических условий, составленные для техногенных объектов полигона «Листвянка»:
А - правобережные очистные сооружения,
Б - золоотвал Ново-Иркутской ТЭЦ;
В-Г - Жилкинская нефтебаза
(В – минерализация вод;
Г – содержание Fe и Mn).

Новые средства эколого-геохимического мониторинга

Роботизированная система для гидрофизического и гидрохимического мониторинга водных объектов

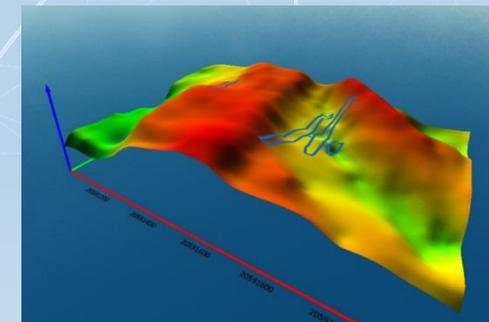
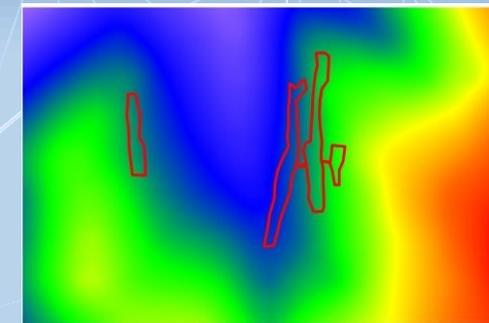


Новый БПЛА-носитель и лидарный сканер для крупномасштабного изучения рельефа значительных по площади территорий

Носитель типа летающее крыло с вертикальным взлетом и посадкой (VTOL)



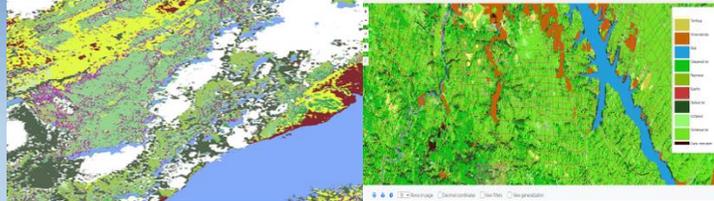
Легкий твердотельный лидарный сканер, созданный на основе сенсоров для контроля доступа (слева) и детальность получаемой ЦМР (справа)



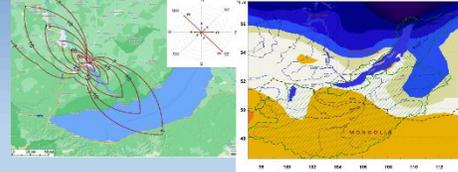
Сопоставление информативности цифровых моделей рельефа, полученных созданным сканером (б) и традиционным наземным способом (а) в задаче внесения поправок в высокоточную гравиметрию (в, г):

ИТОГИ

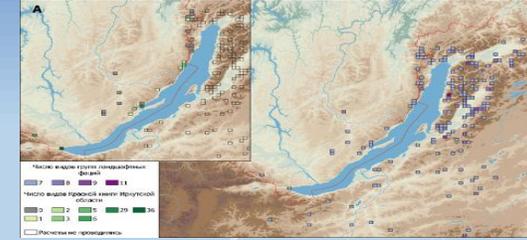
Сервисы обработки данных ДЗЗ



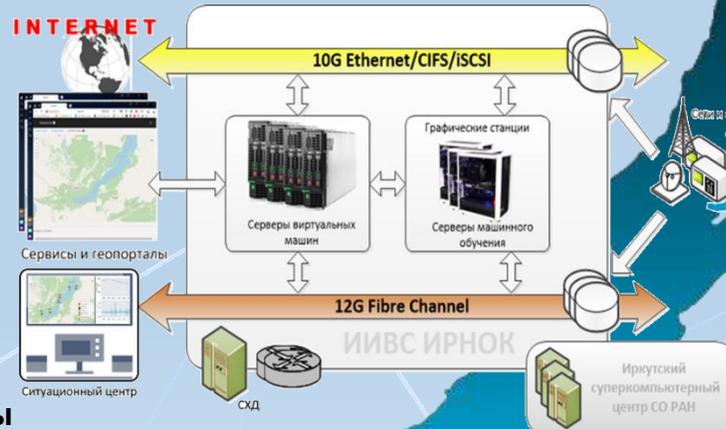
Комплекс математических моделей



Сеть мониторинга биоразнообразия



Цифровая платформа



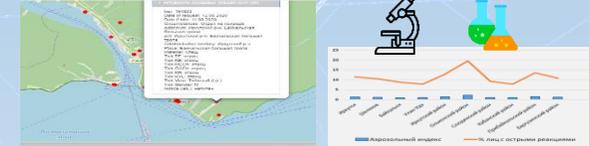
Мобильные системы мониторинга



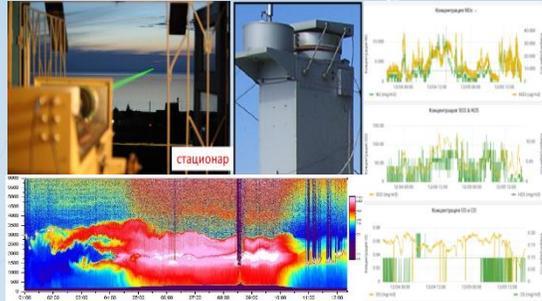
Сеть мониторинга гидрологических режимов



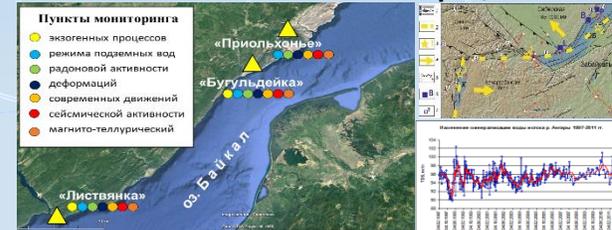
Сервисы медико-экологического мониторинга



Сеть мониторинга атмосферы



Сеть мониторинга опасных геологических и эколого-геохимических процессов



Целевые показатели проекта

- Опубликовано 109 публикаций, из которых 60 - статьи в журналах Q1-Q2.
- По результатам проекта издана коллективная монография.
- Участниками проекта представлено и защищено 19 диссертаций, из которых 6 докторских и 13 кандидатских.



Использование результатов проекта

- Байкальский и Бурятский филиалы Федерального исследовательского центра «Геофизическая служба РАН» - данные непрерывного мониторинга сейсмического режима используются для уточнения параметров эпицентров землетрясений в ЦЭЗ БПТ.
- ОАО «Российские железные дороги» - оперативный мониторинг уровня воды и метеобстановки в районе ЖД моста через реку Иркут, мониторинг ОГП (землетрясения, сели, оползни) в районе КБЖД.
- ИЯИ РАН, НИИПФ при ИГУ и в целом коллаборация “Baikal-GVD” (использование онлайн данных о распределении температуры в озере Байкал для расчета скорости звука в воде и корректировки положения детекторов)
- Росавтодор, МЧС (онлайн мониторинг толщины льда на ледовых переправах: МРС-остров Ольхон, через реку Селенга (Татаурово-Турунтаево))
- Администрация правительства Республики Бурятия (оперативный мониторинг уровня воды и метеобстановки на реке Селенга в г. Улан-Удэ)
- ПАО "РусГидро", Енисейское бассейновое водное управление (мониторинг уровня воды на нижнем бьефе Иркутской ГЭС и озере Байкал)
- Результаты лесопатологического мониторинга в Южном Прибайкалье использованы в пояснительной записке по вопросу 2 к проекту Федерального закона №161119-8 «О внесении изменений в статьи 11 и 251 Федерального закона «Об охране озера Байкал»; в аналитической записке «Состояние темнохвойных лесов Южного Прибайкалья», направленных по запросу в Байкал.Центр группы ВЭБ и Республиканское агентство лесного хозяйства республики Бурятия.
- Данные по редким видам живых организмов были использованы при выполнении договоров с ООО «РЖД» по мониторингу биоразнообразия объектов реконструкции и строительства Байкало-Амурской и Транссибирской магистрали»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

<https://baikal-project.icc.ru/>