

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «УРОВЕНЬ ОЗЕРА БАЙКАЛ: ВЛИЯНИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ,
ЭКОНОМИКУ И ИНФРАСТРУКТУРУ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ»**



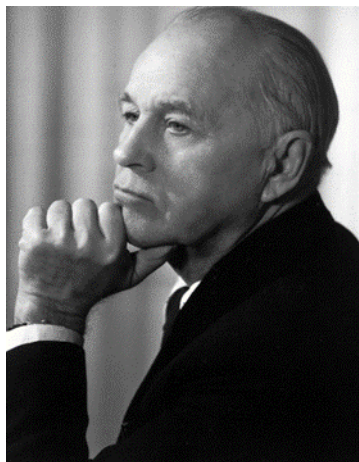
**Результаты ИЗК СО РАН по изучению уровня озера Байкал и
сопряженным геоэкологическим вопросам**

Д.П. Гладкочуб, А.А. Рыбченко, В.А. Саньков

Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск)

Историческая справка

Изучением береговой зоны оз. Байкал и прилегающих территорий занимались многие сотрудники института. Основной вклад в изучение береговой зоны озера Байкал внесли Б.П. Агафонов, Е.Г. Гречищев, Н.П. Ладохин, Е.А. Козырева, Г.И. Овчинников, А.В. Пинегин, А.А. Рогозин, Ю.Б. Тржцинский, А.А. Якимов.



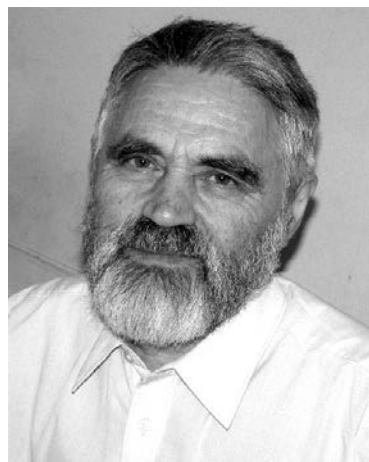
Гречищев Е.К. – разработал метод расчета переформирования берегов в связи с повышением уровня озера Байкал, предложил вариант берегозащиты, занимался разработкой мероприятий по восстановлению острова Ярки.



Тржцинский Ю.Б. – изучал вопросы техногенного воздействия на геологическую среду, в частности геоэкологические последствия создания каскада Ангара-Енисейских ГЭС. Защитил докторскую диссертацию на тему “Эволюция инженерно-геологических условий в зонах влияния водохранилищ Ангара-Енисейского каскада ГЭС”.



Ладохин Н.П. – занимался изучением геолого-геоморфологического развития Байкальской впадины, в том числе проблемами переформирования прибрежной зоны озера Байкал в связи с сооружением Иркутской ГЭС.



Агафонов Б.П. – изучал вопросы геоморфологии и морфолитодинамики Байкальского рифта. Создал на Байкале систему полигонов по наблюдению за изучением процессов морфогенеза.

Историческая справка



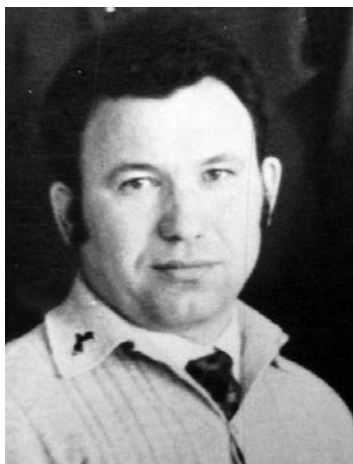
Овчинников Г.И. — занимался изучением динамики берегов искусственных и естественных водоемов, прогнозом развития абразионно-аккумулятивных процессов, разработкой методик по изучению и анализу берегоформирующих процессов, организовал сеть мониторинга береговых процессов.



Якимов А.А. — занимался изучением воздействия ветрового волнения на берега озера Байкал. Защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследования поля волновых скоростей в мелководной зоне Байкала».



Являлся инициатором организации работ по использованию аэро- и корабельной съемки при исследовании берегов Байкала.



Пинегин А.В. — занимался изучением закономерностей формирования и динамики береговой зоны озера Байкал

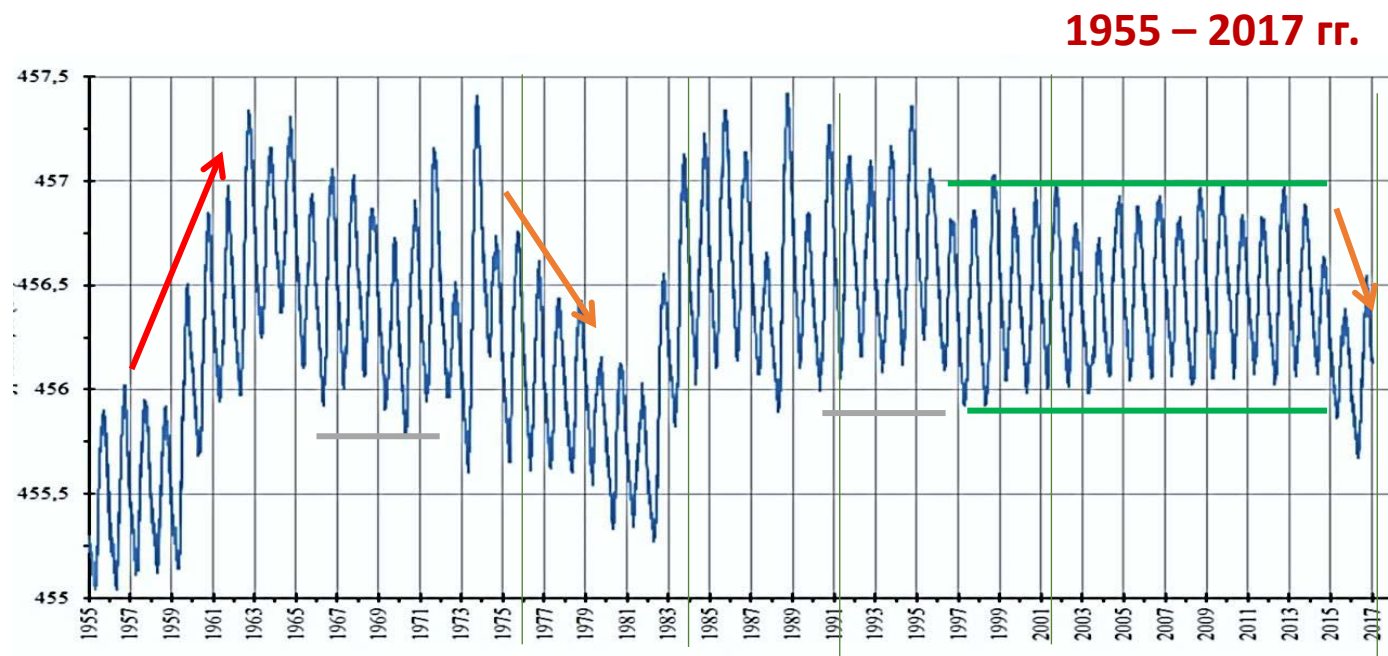
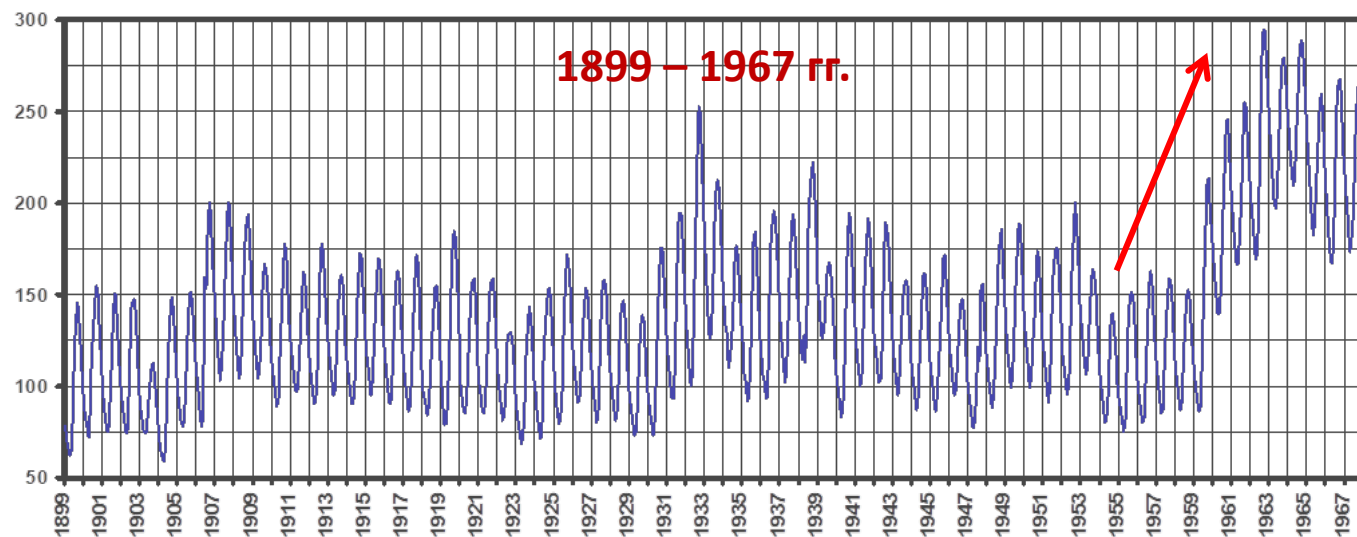


Козырева Е.А. — специалист в экзогенных-геологических процессах в береговой зоне озера Байкал. На основе анализа типизаций берегов озера Байкал выполненных предшественниками и

Рогозин А.А. — специалист в области прикладной фотограмметрии и геоморфологии.

собственных данных построила карту типов берегов озера Байкал на современном этапе развития.

Отдельные термины и дефиниции: изменение уровня воды в озере Байкал



Колебание уровня воды оз. Байкал (в Тихоокеанской системе высот (м), по данным Гидрометеорологической службы).

Отдельные термины и дефиниции: изменение уровня воды в озере Байкал

За период эксплуатации выделено несколько периодов с характерным положением уровня воды в озере:

1959–1964 гг. – период наполнения и повышения уровня относительно его естественного положения в озере;

1964–1974 гг. – первый период эксплуатации с нестабильным положением уровня воды;

1974–1982 гг. – период с многолетним снижением уровня в озере;

1982–1995 гг. – период эксплуатации со значительной амплитудой (2,9 м) колебания уровня воды в озере;

1995–2014 гг. – период стабильной эксплуатации с амплитудой колебания 1м (456 - 457);
Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.03.2001 № 234 были определены предельные значения уровня воды в Байкала в пределах отметок 456 м и 457 м;

С 2014 года – низкие положения уровня воды в водоеме.

В декабре 2017 года было принято постановление правительства РФ о максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018-2020 годах (до 1.01.2021), которое расширило диапазон возможного регулирования уровня до 455,54 метра в период малой водности и 457,85 метра в период большой водности.

Отдельные термины и дефиниции

Экзогенные геологические процессы

-  Сели
-  Обвалы
-  Заболачивание
-  Оползни
-  Эоловые

Типы байкальских берегов

-  Техногенный
-  Аккумулятивный
-  Структурно-абразионный
-  Абразионный

Группа магматических пород

-  Палеопротерозойские граниты
-  Палеопротерозойские вулканиты (Северо-Байкальский вулканоплутонический пояс)
-  Раннепалеозойские габбро (крупные массивы)
-  Раннепалеозойские гранитоиды
-  Позднепалеозойские гранитоиды

Группа метаморфических пород высокометаморфизованные образования

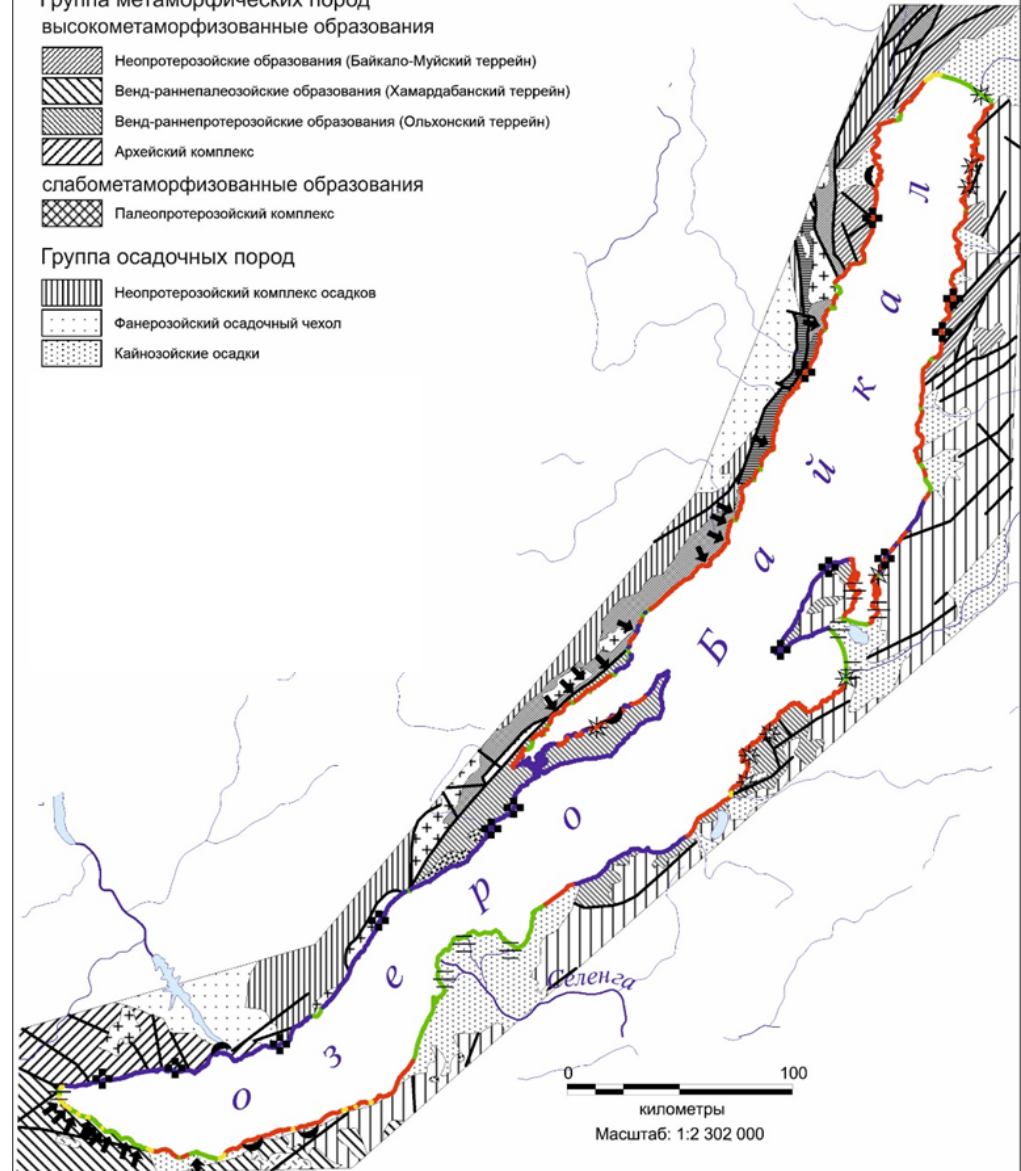
-  Неопротерозойские образования (Байкало-Муйский террейн)
-  Венд-раннепалеозойские образования (Хамардабанский террейн)
-  Венд-раннепротерозойские образования (Ольхонский террейн)
-  Архейский комплекс

слабометаморфизованные образования

-  Палеопротерозойский комплекс

Группа осадочных пород

-  Неопротерозойский комплекс осадков
-  Фанерозойский осадочный чехол
-  Кайнозойские осадки



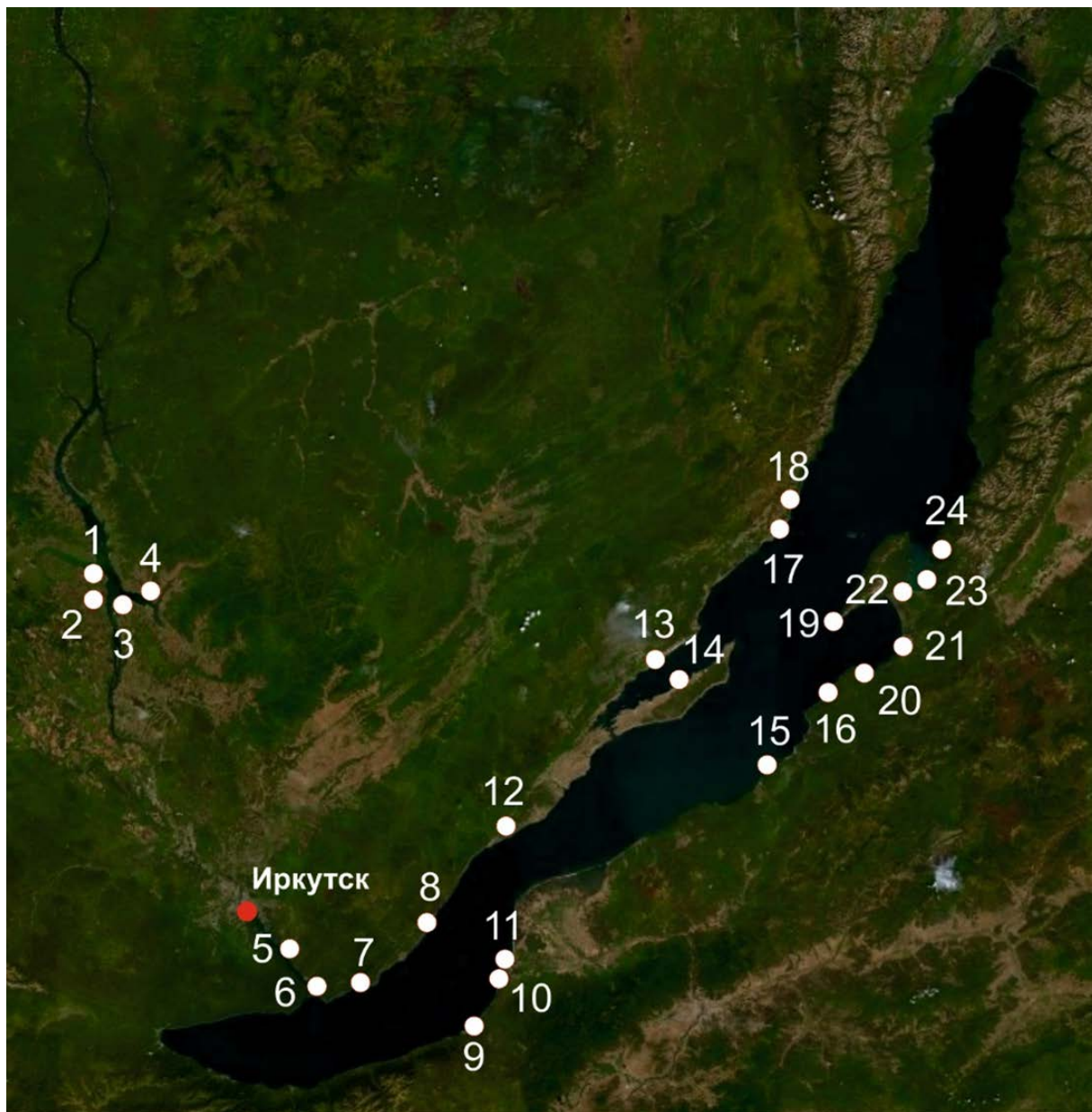
Отдельные термины и дефиниции

Карта типов берегов озера Байкал
(по Е.А. Козыревой и А.А. Рыбченко)



А – структурно-абразионный;
Б – абразионный;
В – аккумулятивный; Г – техногенный.

Участки мониторинга береговых зон ИЗК СО РАН



Братское вдх.:

- 1 - Унга;
- 2 - Быково;
- 3 - Рассвет;
- 4 - Улей.

Иркутское вдх.:

- 5 - Патроны (Патроны - 1, 2, 3);
- 6 - Тальцы.

Озеро Байкал:

- 7 - мыс Толстый;
- 8 - Песчанка;
- 9 - Гремячий;
- 10 - Боярский (Абразия - 1, 2);
- 11 - Боярский (Абразия - 3);
- 12 - Куяда;
- 13 - Отто-Хушун;
- 14 - Харанцы;
- 15 - Гремячинск;
- 16 - Катково;
- 17 - Хейрем;
- 18 - Рытый;
- 19 - Святой Нос;
- 20 - Максимиха;
- 21 - Усть-Баргузин;
- 22 - Мягкая Карга;
- 23 - Торфяник;
- 24 - Мохайка.

Оборудование, используемое для мониторинга береговой зоны

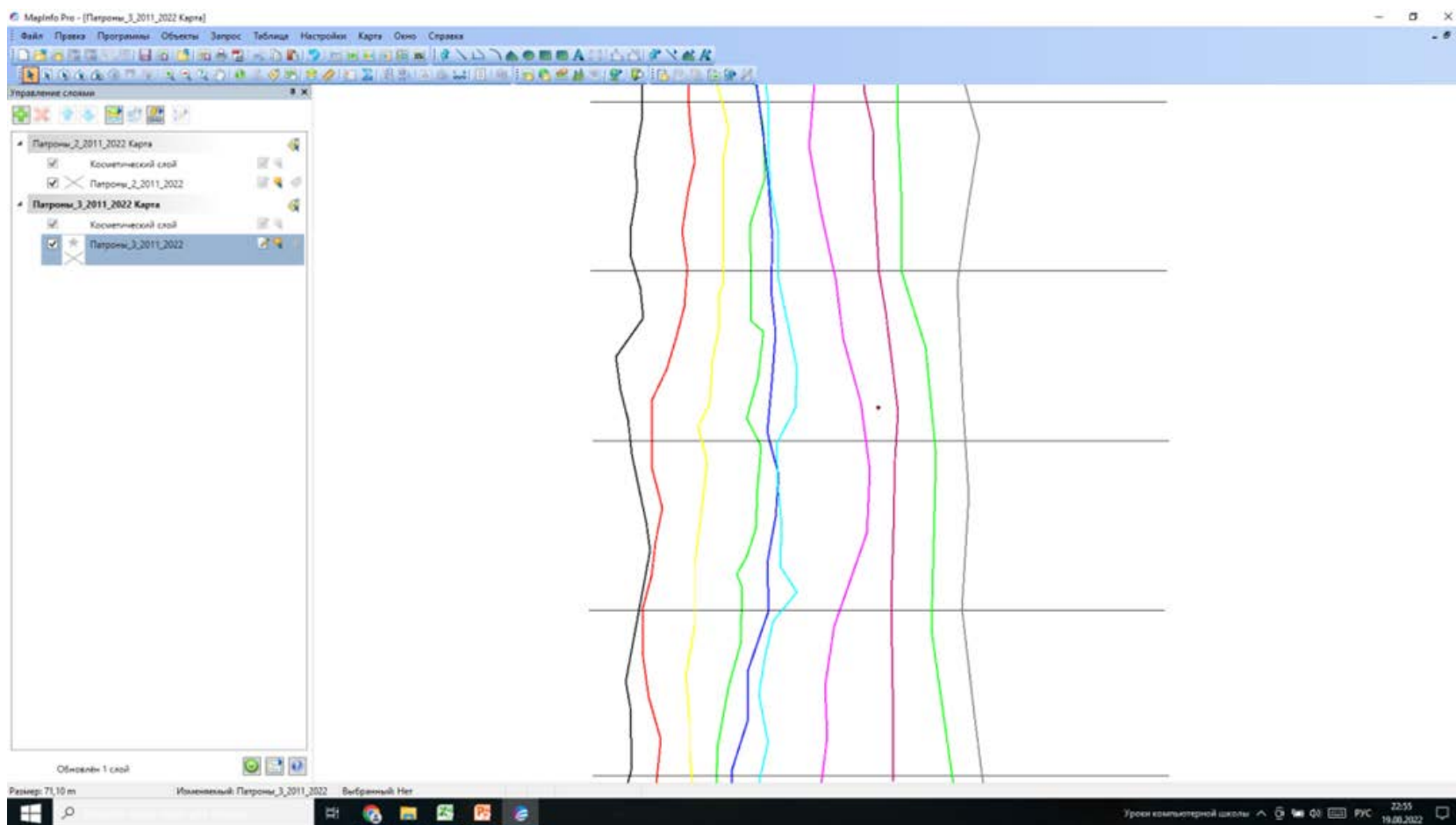


Нивелир



Современный тахеометр (Trimble TS-650)
(на заднем плане НИС «Геолог» ИЗК СО РАН)

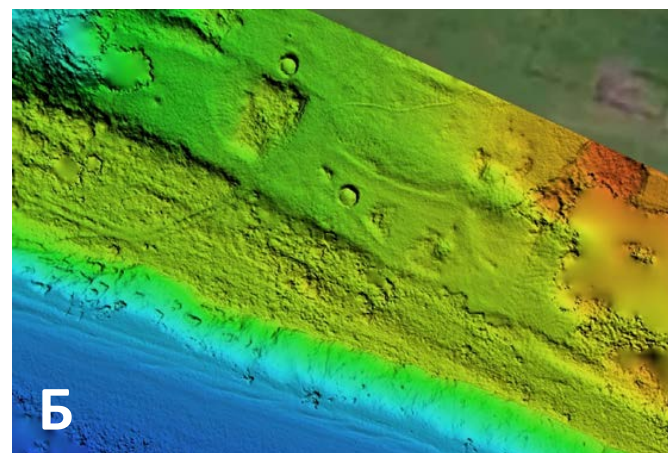
Оборудование, используемое для мониторинга береговой зоны



Результат обработки тахеометрической съемки – плановое положение бровки абразионного уступа (фрагмент участка «Патроны – 3» Иркутское вдх.)

Оборудование, используемое для мониторинга береговой зоны

БПЛА квадрокоптер (DJI Phantom RTK)



Результаты обработки аэрофотосъемки:

А – ортофотоплан участка;

Б – цифровая модель рельефа участка;

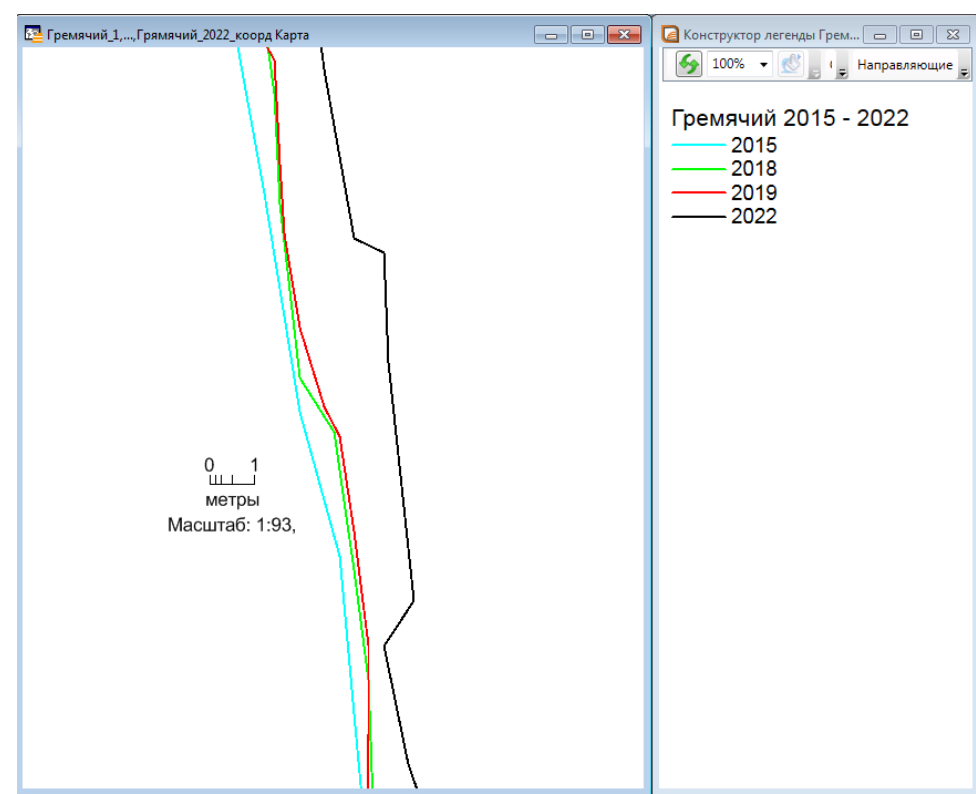
В – трехмерная модель участка.

Фрагмент обработки аэрофотосъемки участка «Гремячий» озеро Байкал.

Оборудование, используемое для мониторинга береговой зоны

	Тахеометр (Trimble - TS635)	БПЛА квадрокоптер (DJI Phantom RTK)
Достоинства	- высокая точность; - быстрота обработки данных съемки и их небольшой объем (сотни Кб); - любые погодные условия; - возможность работы на залесенных участках.	- высокая точность; - визуализация данных и возможность построения 3-х мерных моделей; - время съемки участков и большая площадь съемки; - возможность проведения работ на труднодоступных участках.
Недостатки	- отсутствует визуализация данных и возможность построения 3-х мерных моделей; - невозможность проведения работ на труднодоступных участках.	- климатические ограничения работы оборудования; - невозможность/сложность анализа залесенных участков. - продолжительное время обработки данных и их большой объем (десятки Гб);

Пример получаемых результатов: участок «Гремячий»



Общий вид абразионного типа берега в период низкого уровня воды в Байкале.

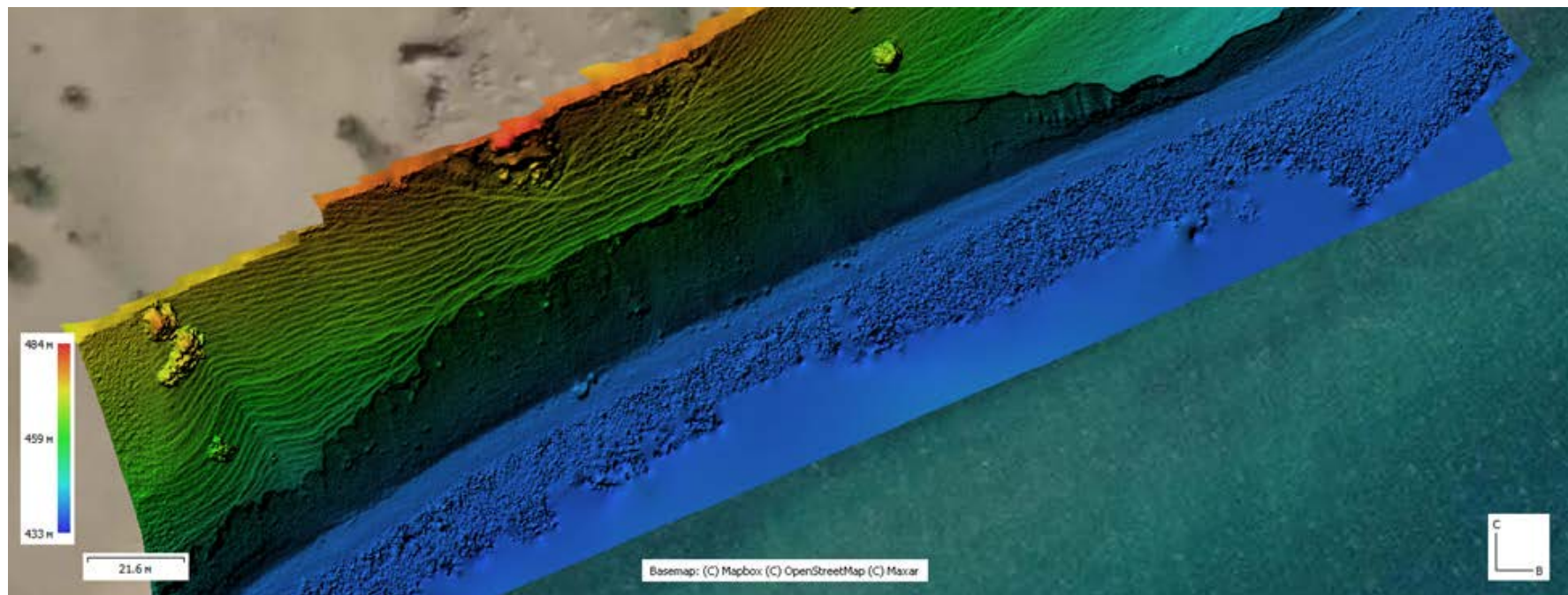


Общий вид абразионного типа берега в период высокого уровня воды в Байкале.

При низких уровнях за период с 2015 по 2019 год максимальное отступление составило 0,7 м. При высоких уровнях с 2019 по 2022 год максимальная скорость размыва составила 2 м.

Пример получаемых результатов: участок «Бугульдейка»

Полигон «Бугульдейка». Участок расположен на западном берегу озера Байкал. Участок представляет собой абразионный тип берега, процессу абразии подвержен береговой склон, сложенный рыхлыми делювиально-пролювиальными отложениями, представленными песком и щебнем. Высота абразионного уступа по протяженности участка наблюдений неравномерная, уступ выклинивается в восточном направлении, максимальная высота абразионного уступа составляет 20 метров



Цифровая модель местности участка «Бугульдейка»

Пример получаемых результатов: участок «Бугульдейка»



2019 год



2021 год

*Активное развитие линейной эрозии на береговом склоне
(фрагмент ортофотопланов участка «Бугульдейка»)*

Мониторинг абразионного процесса на участке осуществляется с 2019 года. На участке проводятся тахеометрическая и аэрофотосъемка.

За период наблюдений с 2019 по 2021 год отступление бровки берегового уступа, являющегося абразионным уступом, составило 5 – 10 сантиметров.

Зафиксированное отступление бровки не связано непосредственно с активизацией абразионного процесса за этот период.

На данном этапе развития абразионного склона, в сложившихся природно-климатических условиях отступление бровки происходит главным образом за счет процессов выветривания материала и эрозионного размыва верхней части берегового склона поверхностными водотоками

Пример получаемых результатов: участок «Бугульдейка»



Абразионный размыв подножия берегового склона

За счет высокого положения уровня воды в озере Байкал в 2020, 2021 годах зафиксировано увеличение ветроволновой нагрузки на береговой склон. В результате подножие берегового склона активно перерабатывалось за счет активизации абразионного процесса. По результатам дешифрирования ортофотопланов подножие берегового склона отступило на 0,5 метров за период 2019 – 2021 года. Размыв берегового уступа нарушает равновесное состояние берегового склона, что провоцирует активизацию гравитационных процессов на склоне и приводит к формированию осыпей. В процессе развития, осыпи постепенно смещаются вверх по береговому склону.

Пример получаемых результатов: участок «Бугульдейка»



Переход эрозионных форм в потоки разжиженного грунта

Развитие осыпей приводит к интересному развитию эрозионных процессов на береговом склоне.

На осыпях поверхностные водотоки формируют эрозионные формы в виде промоин, при выходе на участок склона подверженного осыпям поверхностный водоток насыщается незакрепленным песчаным материалом и формирует потоки разжиженного грунта, которые стекают вниз по склону

Проявление этого процесса показывает возможность развития текучих деформаций обводненного грунта.

При выпадении аномального количества атмосферных осадков или интенсивном таянии снега, обильное поступление влаги на поверхность уступа, вызывает формирование крупных пластичных деформаций, которые оказывают влияние на устойчивость берегового склона.

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи

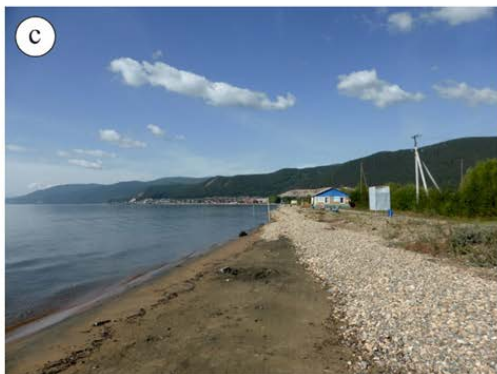
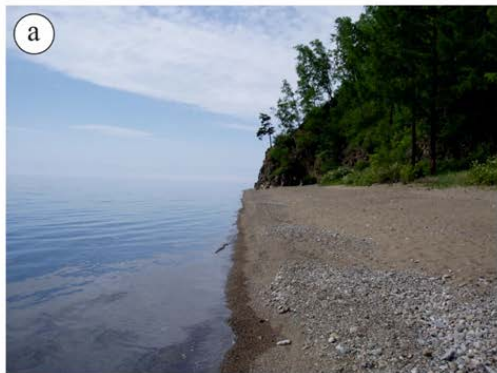
Озеро Байкал обладает уникальным комплексом природных данных, благодаря чему озеро притягивает к себе людей со всего света.



Одной из главных причин роста туристического потока на Байкал является как расширение туристической инфраструктуры, так и увеличение доступной информации о туризме на Байкале в Интернете. Наибольшей привлекательностью для туристов является естественная красота побережья Байкала, которая не претерпела существенных антропогенных изменений и находится практически в первозданном состоянии.

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи

Один из факторов «притяжения» – наличие пляжей различного уровня привлекательности.



Пляжи озера Байкал

разных классов привлекательности:

класс I:

a – пляж мыс Половинка;

b – Сарайский пляж;

класс III:

c – пляж города Нижнеангарск;

d – пляж поселка Выдрино;

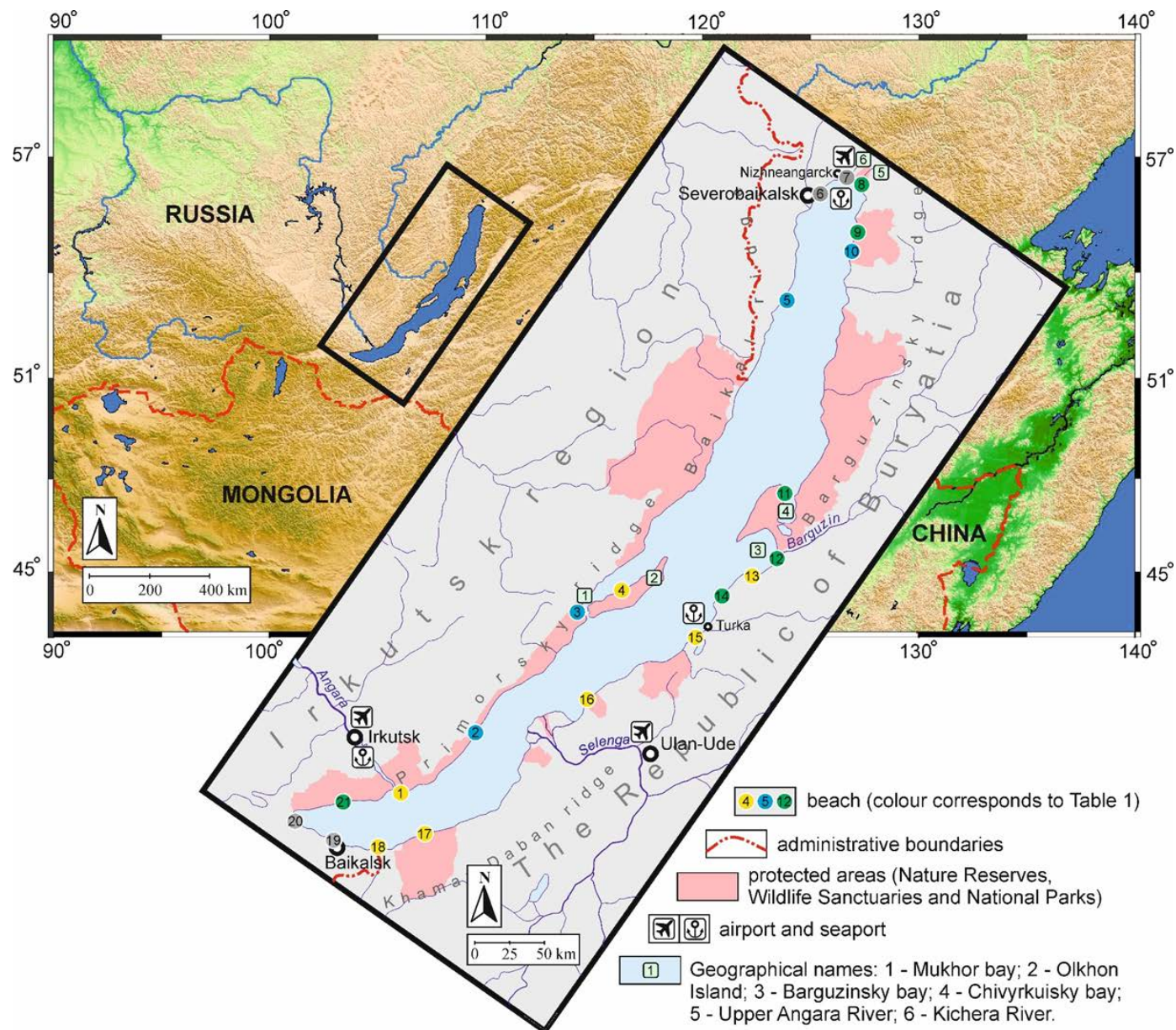
класс IV

e – пляж города Северобайкальск;

класс V

f – пляж поселка Листвянка

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи



Оценка привлекательности пляжей озера Байкал была проведена по международной методике оценки пляжей сотрудниками ИЗК СО РАН. В методике оценивается 26 параметров: 18 параметров оценивают естественную среду и 8 параметров оценивают антропогенное влияние

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи

Оцениваемые параметры антропогенной нагрузки

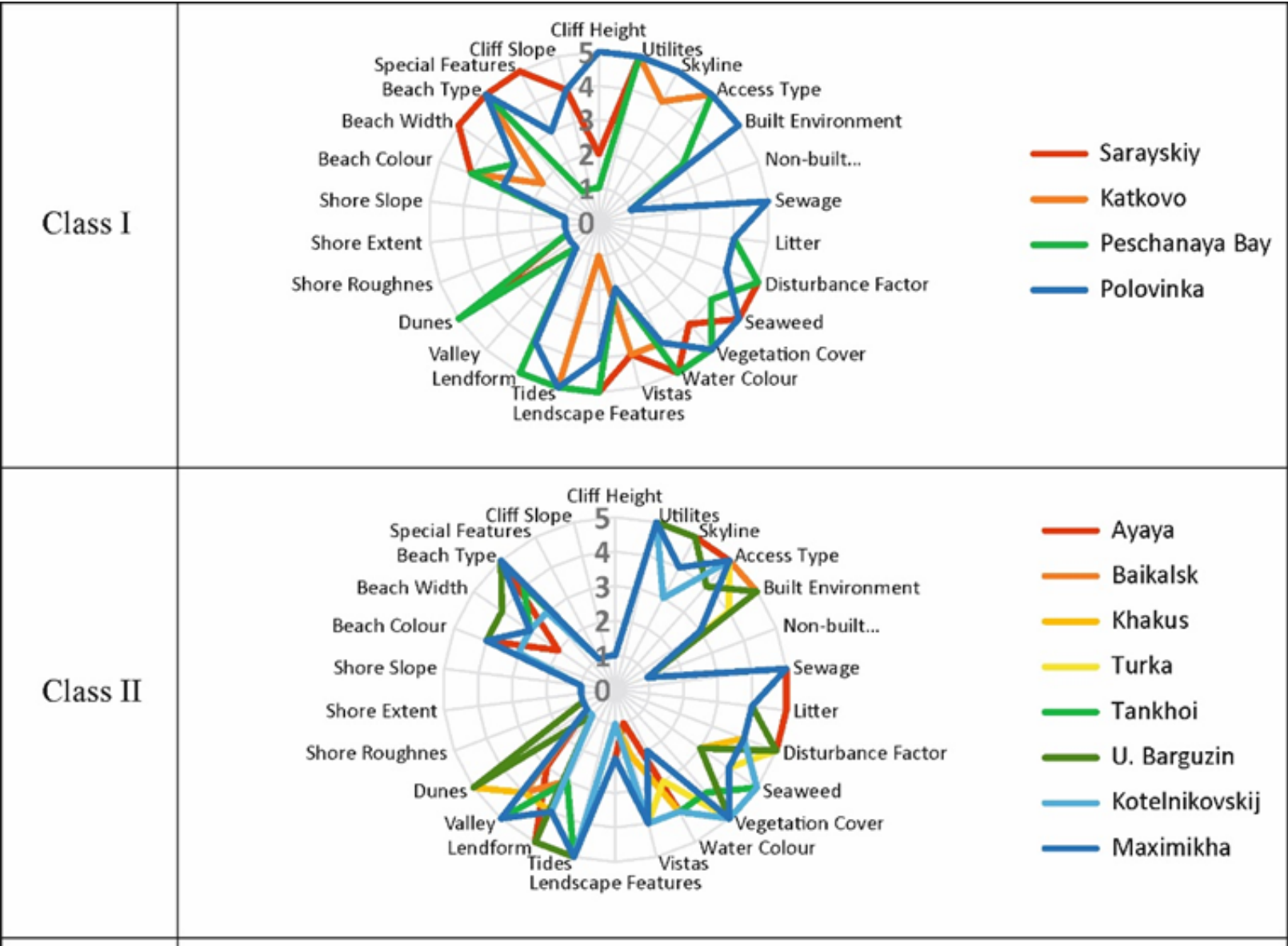
№	Параметры
Естественные параметры	
1	Высота клифа
2	Уклон клифа
3	Особенности клифа ^а
4	Тип пляжа
5	Ширина пляжа
6	Цвет пляжа
7	Уклон скалистого берега
8	Длинна скалистого берега
9	Поверхность скалистого берега

10	Дюны
11	Долина
12	Рельеф горизонта
13	Прилив
14	Особенности прибрежного ландшафта ^б
15	Открытость горизонта
16	Цвет воды
17	Естественный растительный покров
18	Растительный мусор

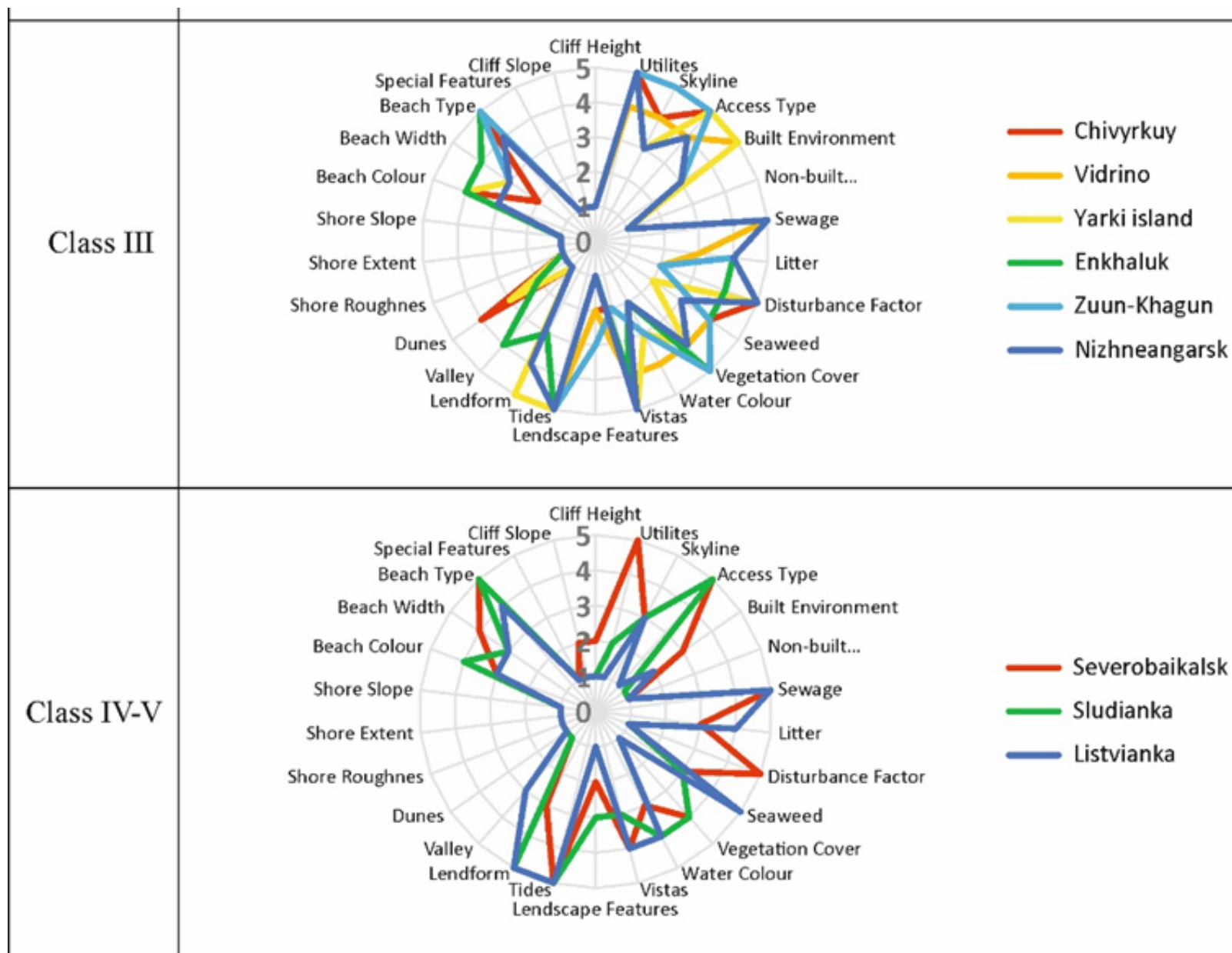
Антропогенные параметры	
19	Шум
20	Мусор
21	Сточные воды
22	Не застроенная среда
23	Застроенная среда
24	Транспорт
25	Горизонт
26	Сооружения на пляже ^в

Оцениваемые параметры естественной среды

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи



Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи



Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи

Оценка привлекательности пляжей озера Байкал

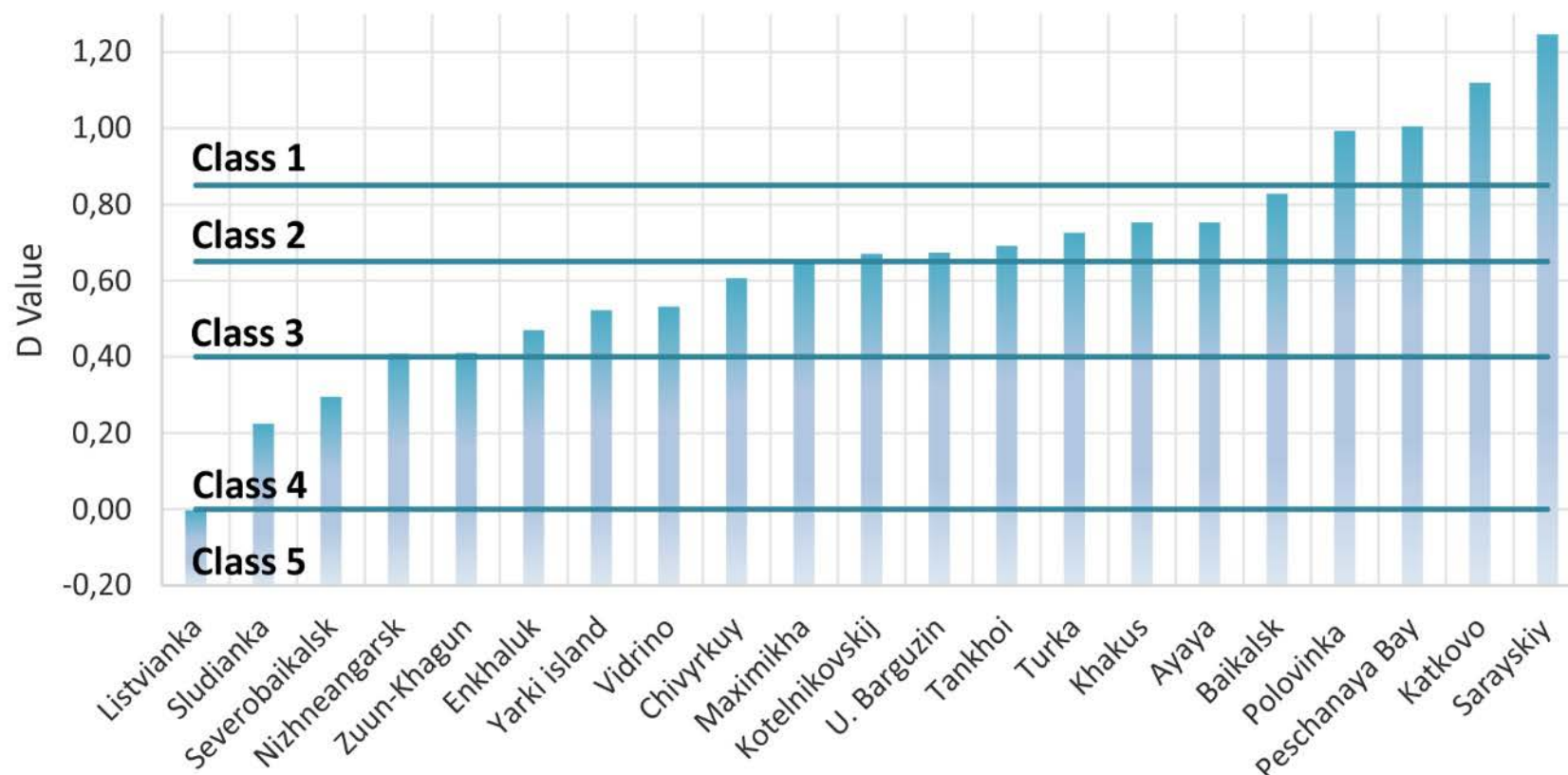
Тип использования
территории:

городская 
сельская 
рекреационная 
естественная 

4	Сарайский
14	Котково
2	Бухта Песчаная
21	Половинка
9	Аяя
19	Байкальск
10	Хакусы
15	Турка
17	Танхой
12	Усть-Баргузин
5	Котельниковский
13	Максимиха
11	Чивыркуй
18	Выдрино
8	Ярки
16	Энхалук
3	Зуун-Хагун
7	Нижнеангарск
6	Северобайкальск
20	Слюдянка
1	Листвянка

Работа выполнена на основе методики оценки привлекательности пляжей, которая прошла опробование на пляжах Испании, Турции, Кубы, Португалии и более чем в 30 странах мира (Ergin et al., 2004).

Полученные результаты по тематике: уровень Байкала - пляжи



Гистограмма распределения пляжей привлекательности по оценочному индексу (максимально возможное значение 1,8).

I класс: – мыс Половинка; Песчанка, Катково, Сарайский пляж;

II класс: - пляж г Байкальск;

III класс: - пляж г. Нижнеангарск; пляж пос. Выдрино;

IV класс: – пляж г. Северобайкальск;

V класс: – пляж пос. Листвянка.

Основные выводы кратко

На основе систематизации накопленного фондового и опубликованного материала о состоянии берегов оз. Байкал на разных этапах исследований выполнен анализ изменений состояния береговой зоны. В результате экспедиционных работ последних лет, выполненных на ключевых участках береговой зоны озера, получены новые данные о современном состоянии берегов, проведена их типизация и, на основе цифровой модели рельефа оз. Байкал составлена карта типов берегов оз. Байкал.

Проведена актуализация данных о протяженности береговой линии оз. Байкала. Установлено, что общая протяженность береговой линии составляет 2074.17 км, из них (по типам):

- структурно-абразионный - 717.95 км;
- абразионный - 906.28 км;
- аккумулятивный - 421.78 км;
- техногенный 28.16 км.

Основные выводы кратко

- Анализ результатов мониторинга береговой зоны озера Байкал показывают, что повышение уровня воды, является ключевым фактором в активизации экзогенных геологических процессов в береговой зоне и приводят к скачкообразному отступанию береговой линии. Наиболее уязвимыми при повышении уровня участки относятся к аккумулятивному и абразионному типам;
- Пляжи озера Байкал имеют высокие оценки привлекательности, что связано прежде всего с естественными параметрами окружающей среды обусловленными геолого-геоморфологическими особенностями территории и низкой техногенной нагрузкой;
- Прибрежные ландшафты озера Байкал являются ценным природным и экономическим ресурсом, управление которым требует продуманных решений. Высокие показатели привлекательности прибрежных ландшафтов представляет собой обязательное условие, поскольку они обеспечивает практическую основу для принятия управляющих решений при разработке рациональных стратегий использования прибрежных территорий.

Результаты проведенных исследований (выполненных после 2014 г.) с использованием широкого комплекса методов и современных технологий представляют собой новый этап изучения побережья озера Байкал, особенностей проявления в его береговой зоне экзогенных геологических процессов и эволюционных преобразований геологической среды этого уникального природного объекта.

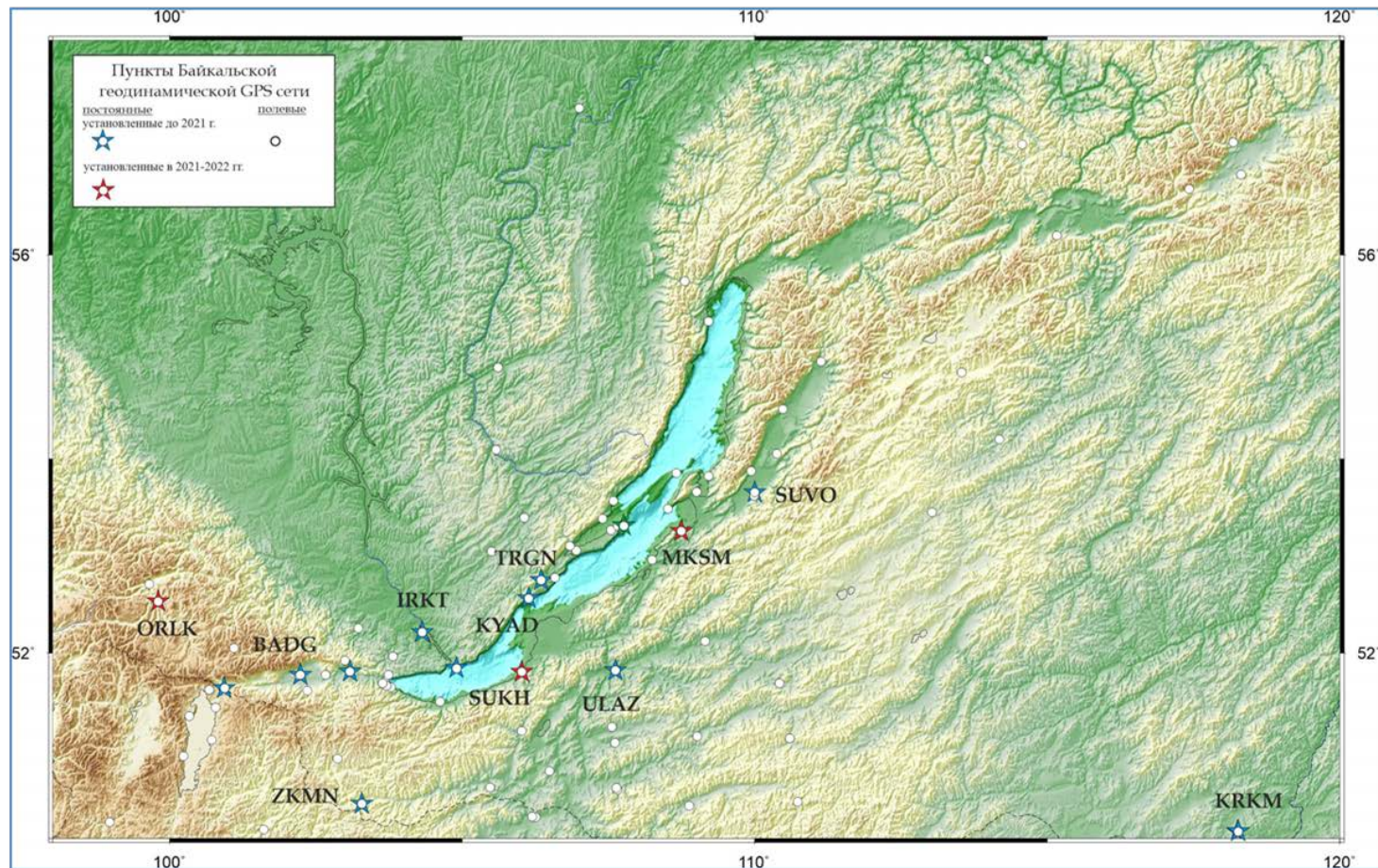
То, что никто никогда не изучал на Байкале

A topographic map of Lake Baikal and its surrounding mountainous terrain. The lake is shown in a dark green color, while the surrounding land is depicted with various shades of green and yellow to represent different elevations. The map is overlaid with a grid of latitude and longitude lines.

Спутниковые технологии в изучении уровня озера Байкал

Байкальский геодинамический полигон развивается с 1994 г. Сеть насчитывает более 60 пунктов полевых измерений и 15 пунктов постоянных измерений. Главная задача – измерение движений и деформаций земной коры.

Геодезическая сеть Байкальского геодинамического полигона на эпоху 2022 г.



Новое применение спутниковой технологии и данных геодезической сети - измерения рельефа поверхности озера Байкал. Измерения проводились на научно-исследовательских судах в летний период и на «Хиусе» – в зимний. Расчеты проводились с использованием дополнительно выставленных GPS приемников (ошибки минимизированы), а также с использованием данных постоянной сети станций. Заявленная точность измерений составляет первые сантиметры.

Измерения рельефа поверхности озера Байкал методами GPS геодезии

Измерения рельефа водной поверхности



Измерения рельефа поверхности льда

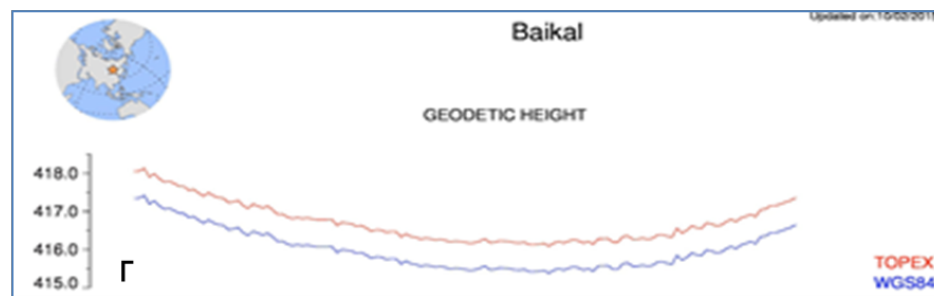
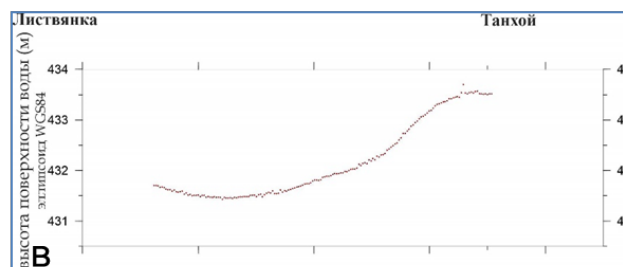
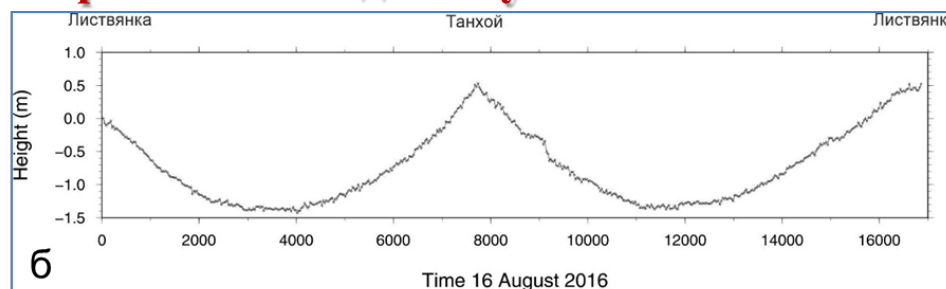
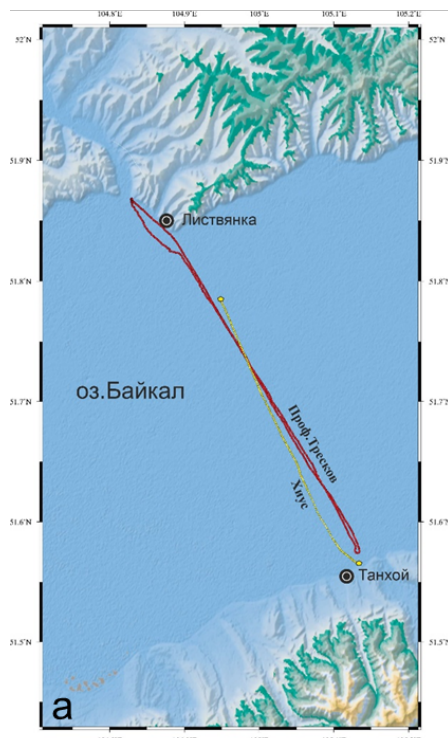


Комплект оборудования:
двухчастотные GPS приемники
Trimble R7, антенна Zephyr Geodetic



* Стрелочкой показано положение GPS антенны

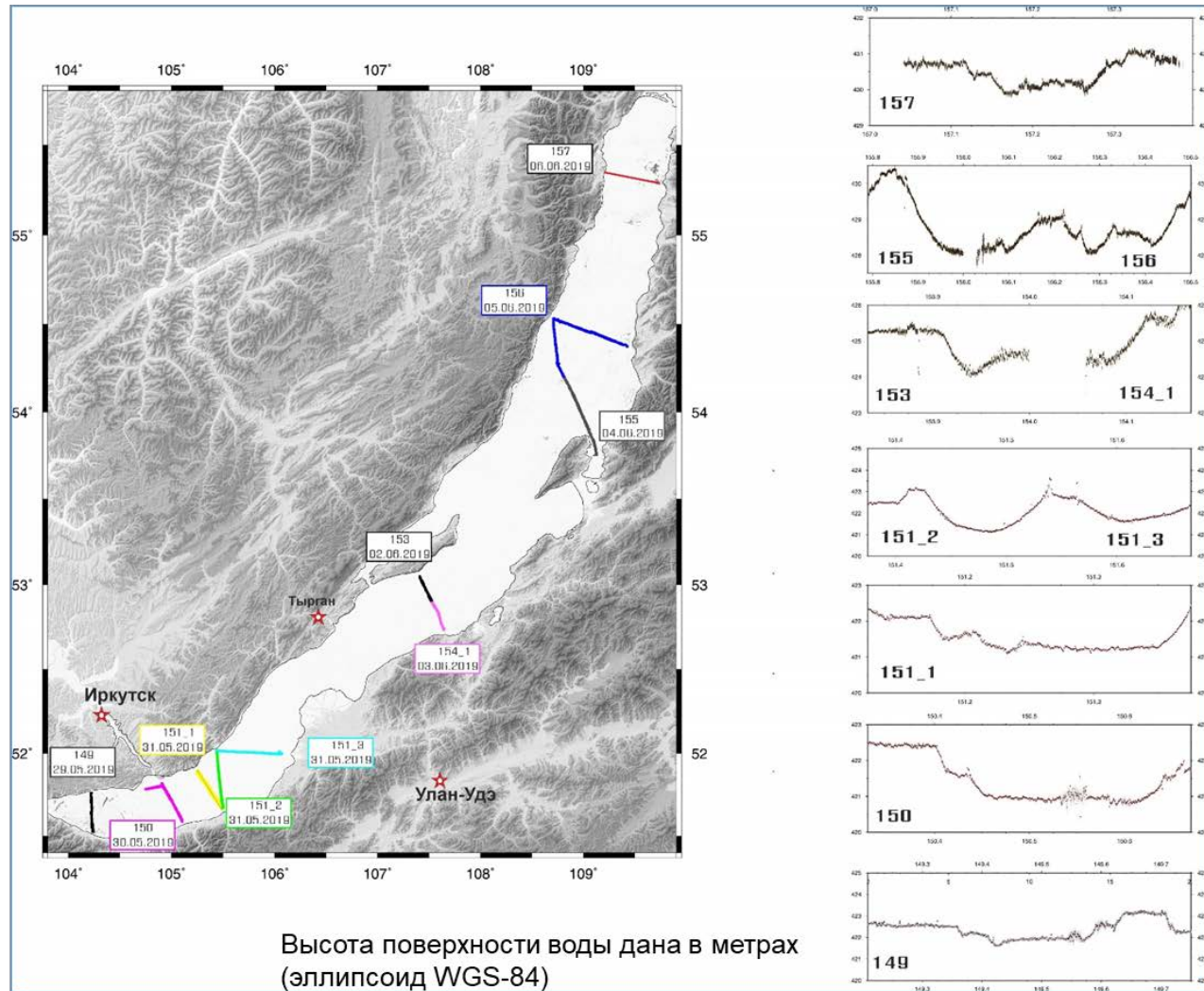
Результаты исследования поверхности водной линзы Южно-Байкальской впадины методом GPS измерений и методом спутниковой альтиметрии



а – маршрут НИС «Профессор Тресков» Листвянка-Танхой-Листвянка и «Хиус»; б – профиль Листвянка-Танхой-Листвянка по данным летних GPS измерений; в – профиль Листвянка-Танхой по данным зимних GPS измерений; г - профиль Бугульдейка-Бабушкин, полученный по данным альтиметрического спутника «Торекс» 10.02.2015г.

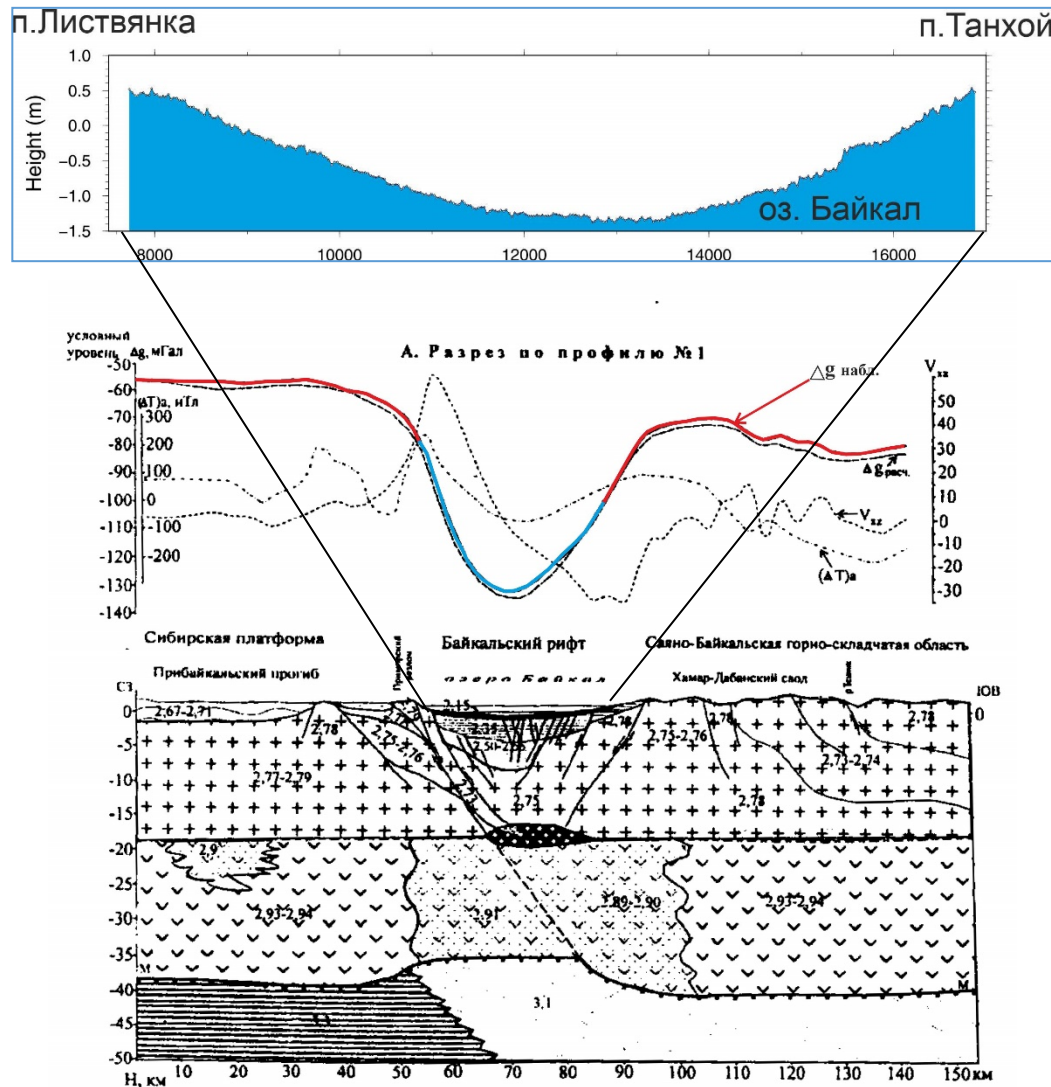
По данным измерений прогиб поверхности водной линзы озера в Южно-Байкальской впадине достигает 1.8 м. Воспроизводимость измерений при наличии штиля на озере Байкал высокая (см график в на рисунке). Измерения поверхности льда по тому же маршруту дают схожие данные. Также похожие результаты получены по данным альтиметрического спутника “Торекс” по трассе Малая Голоустная-Бабушкин.

Рельеф водной поверхности в трех котловинах оз. Байкал



Существование прогиба поверхности водной линзы озера Байкал доказана измерениями во всех котловинах озера. Здесь расчеты производились с использованием удаленных станций постоянной сети

Соотношение рельефа водной поверхности в Южно-Байкальской впадине и кривой силы тяжести



Геолого-геофизический плотностной разрез через Южно-Байкальскую впадину (Балуев и др., 2002)

Существование прогиба поверхности водной линзы связано с аномалией геоида, которая существует в Байкальской впадине.

На рисунке показан разрез земной коры и литосферы через Южно-Байкальскую впадину и кривая силы тяжести (подчеркнута цветом).

Синим цветом выделена часть кривой, соответствующая аномалии в Байкальской впадине и профилю Листвянка-Танхой.

Основные факторы, влияющие на рельеф водной поверхности озера Байкал

- Наличие аномалии геоида и локальных аномалий силы тяжести;
- Течения;
- Нагонные явления;
- Сейши;
- Ветровое волнение.

Сейши (фр. Seiche) — стоячие волны, возникающие в замкнутых или частично замкнутых водоёмах^[1]. Сейши являются результатом резонансных явлений в водоёме при интерференции волн, отражённых от границ водоёма. Причиной возникновения сейшей является воздействие внешних сил — изменение атмосферного давления, ветер, сейсмические явления.

СПАСИБО:

- организаторам совещания**
- участникам «круглого стола»**
- соавторам доклада**

