

1934 – 2011

Достижения научной школы чл.-корр. РАН Феликса Николаевича Юдахина в исследованиях Арктики

Антоновская Галина Николаевна

**Заместитель директора по научной
работе, зав. лаб. сейсмологии, д.т.н.**



ИНСТИТУТ ГЕОДИНАМИКИ И ГЕОЛОГИИ ИМЕНИ ЧЛ.-КОРР. РАН Ф.Н. ЮДАХИНА



Директор института
д.г.-м.н.
А.И. Малов

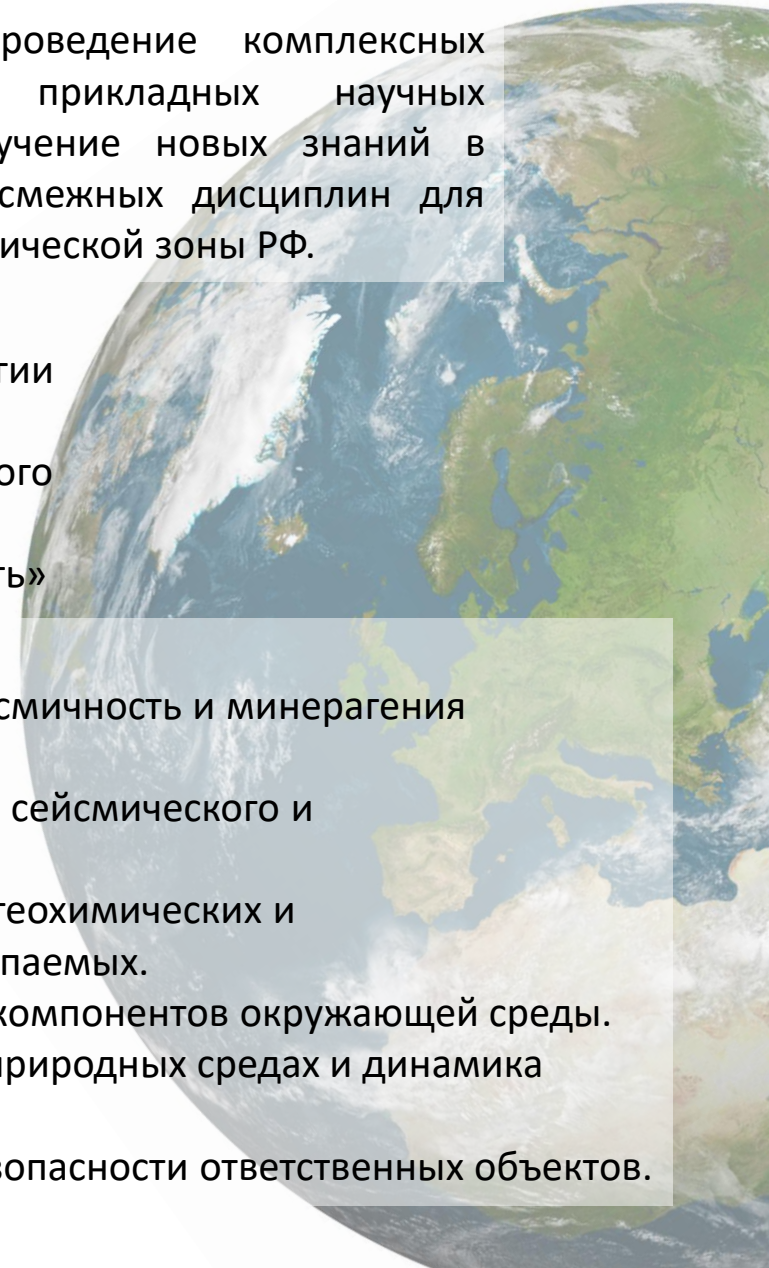
ЦЕЛЬ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: Проведение комплексных фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, направленных на получение новых знаний в области геофизики и геоэкологии и смежных дисциплин для территории севера Русской плиты и Арктической зоны РФ.

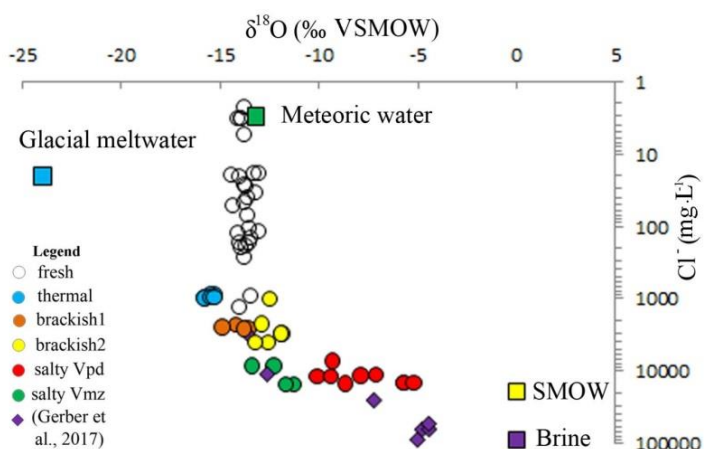
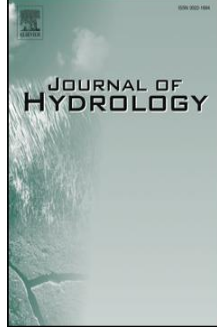
СТРУКТУРА

- Лаборатория экологической радиологии
- Лаборатория сейсмологии
- Лаборатория глубинного геологического строения и динамики литосферы
- УНУ «Архангельская сейсмическая сеть»

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Современная геодинамика, строение земной коры, сейсмичность и минерагения арктических и приарктических территорий РФ.
- Разработка фундаментальных основ геодинамического, сейсмического и геоэкологического районирования.
- Комплексное использование геофизических, изотопно-геохимических и геохронологических методов для поиска полезных ископаемых.
- Изучение процессов межгеосферного взаимодействия компонентов окружающей среды.
- Процессы формирования радиационной обстановки в природных средах и динамика подземных вод.
- Разработка сейсмических методик для обеспечения безопасности ответственных объектов.

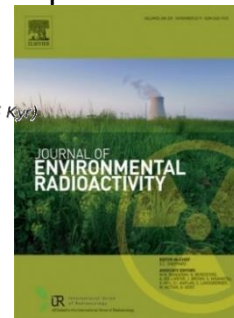
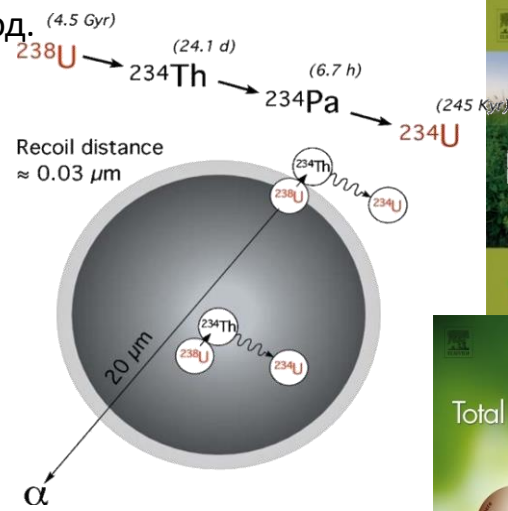




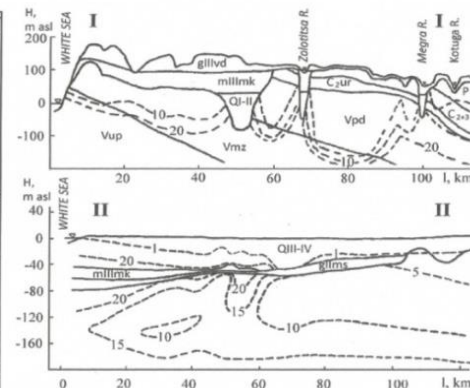
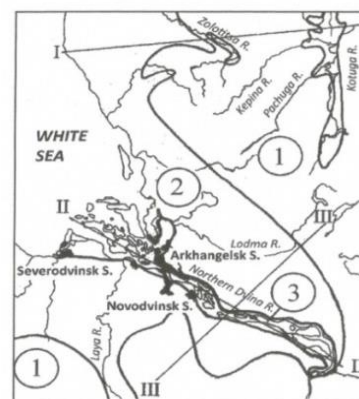
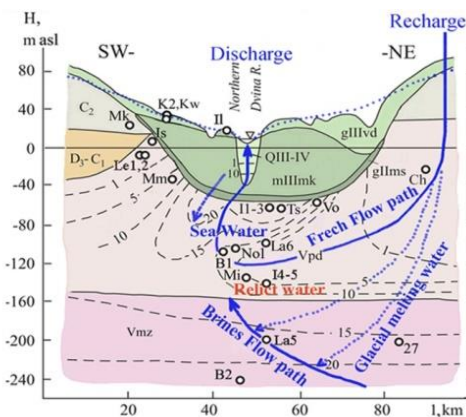
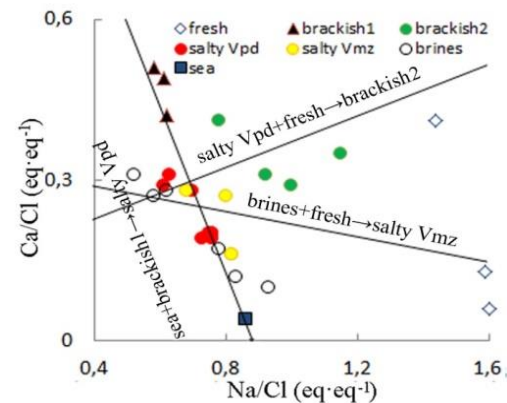
Лаборатория экологической радиологии

Выполнена реконструкция геохимических процессов и климатических изменений в плейстоцен-голоцене по изменениям изотопно-химического состава подземных вод на восточном склоне Балтийского щита за последние 400 тысяч лет. Дана оценка степени участия талых ледниковых, морских и метеорных вод и рассолов в формировании подземных вод.

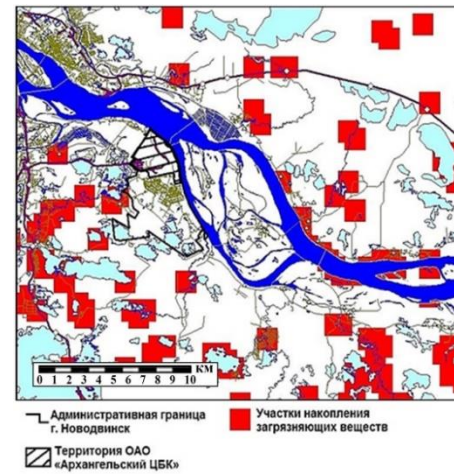
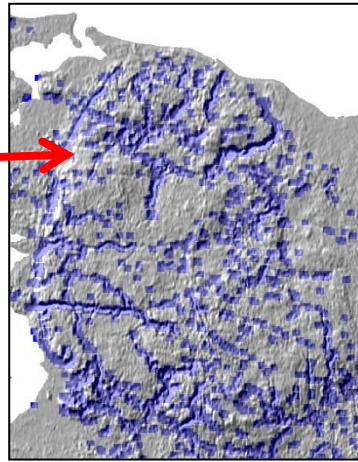
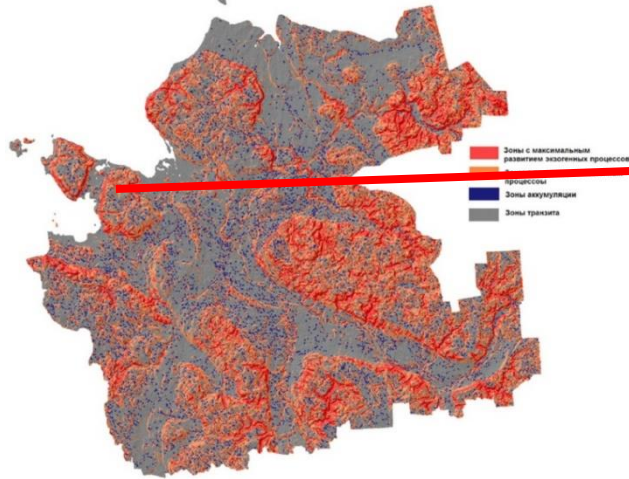
Разработан метод оценки параметров миграции урана в подземных водах по соотношениям: скорость растворения пород (dissolution rate) / фактор отдачи (recoil loss factor) и фактор замедления (retardation factor) / фактор отдачи. Метод имеет значение для поисков гидрогенных месторождений урана и оценки радиологической опасности питьевых и минеральных вод.



Разработана концептуальная изотопно-гидрохимическая модель формирования подземных вод Юго-Восточного Беломорья и на этой основе проведено уран-изотопное датирование всех их типов по оригинальной авторской методике.

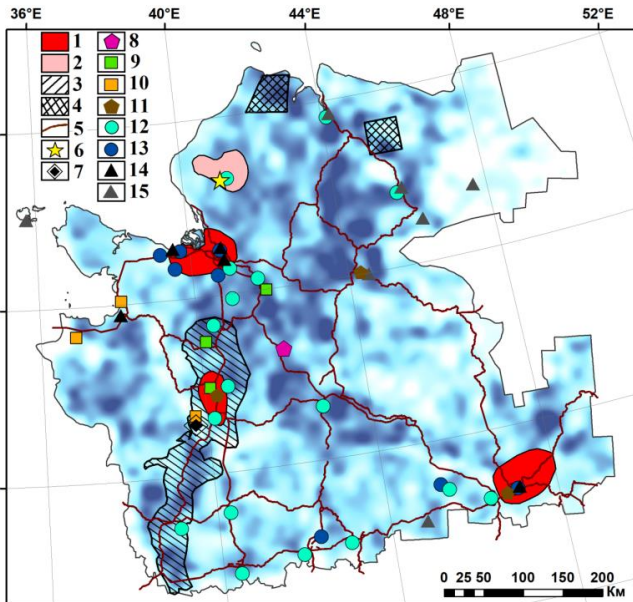


Лаборатория глубинного геологического строения и динамики литосферы

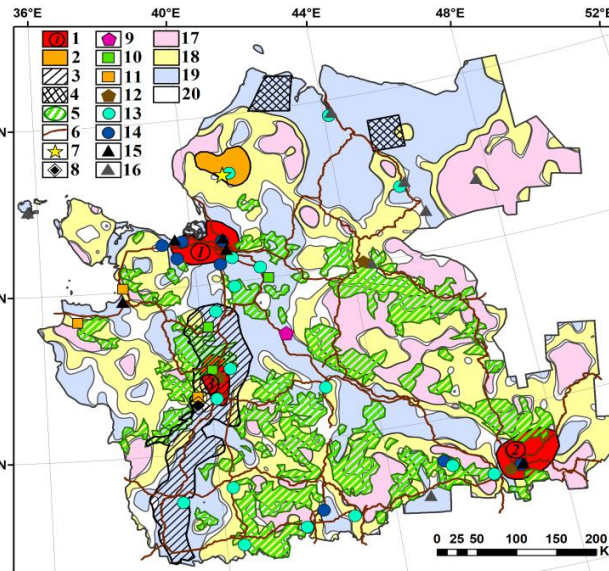


Пример практического применения (ЦБК, г.Новодвинск)

На основе созданной НАМИ (сотрудниками ФИЦКИА УрО РАН) цифровой модели рельефа (ЦМР) стало возможным выделение зон аккумуляции загрязняющих веществ и создана карта геоэкологического районирования территории Архангельской области



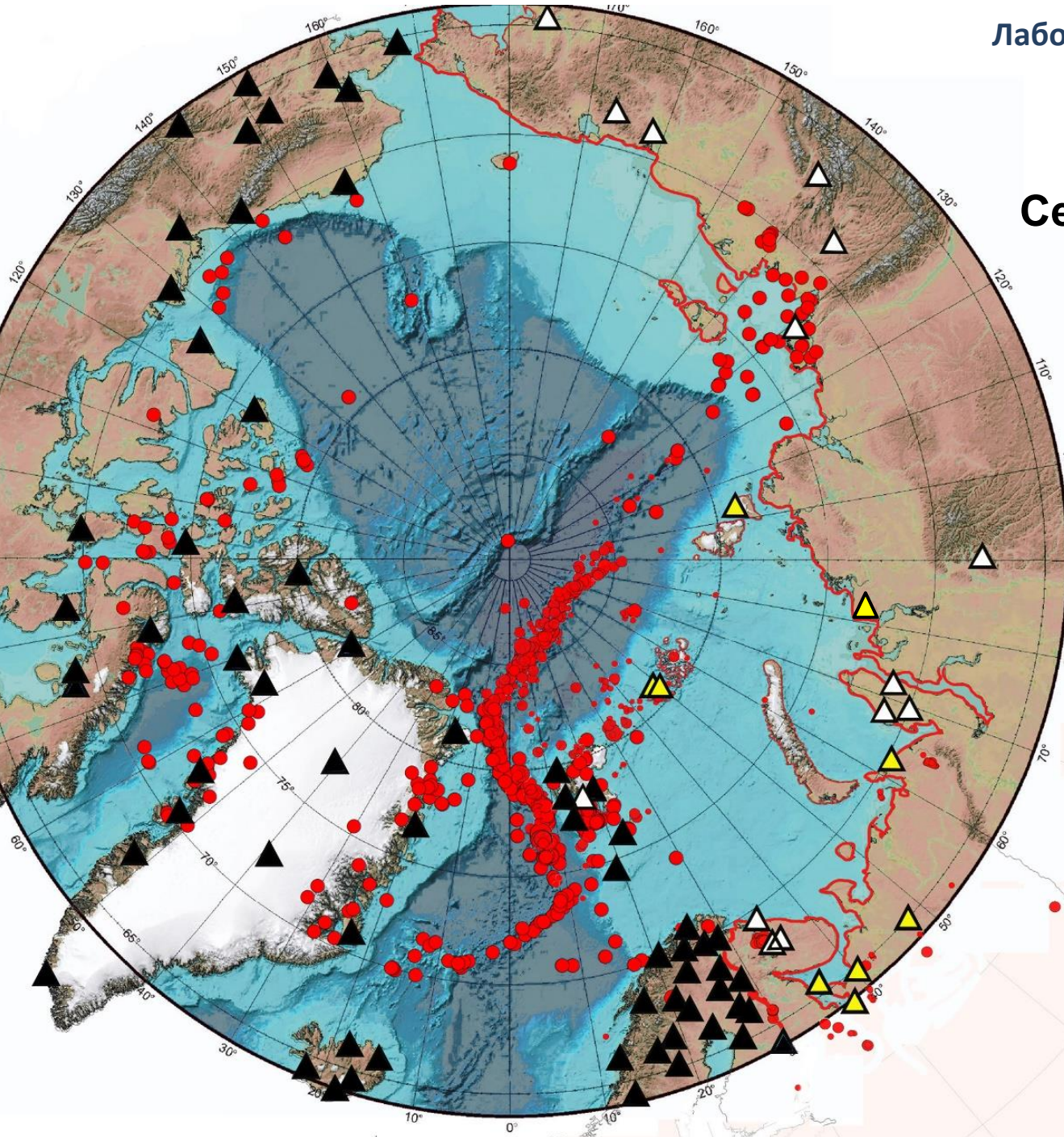
Взаимосвязь источников антропогенного воздействия с плотностью бессточных впадин



Взаимосвязь источников антропогенного воздействия на природную среду Архангельской области с зонами сноса, транзита и накопления материала

Для территории Архангельской области отмечается прямая корреляция источников антропогенного воздействия на природную среду с зоной аккумуляции и плотностью бессточных впадин, выделенных по созданной ЦМР.

Сейсмичность Арктики (2013 г.)



Треугольники - стационарные сейсмические станции:
черные – зарубежные,
белые – российские (ЕГС РАН),
желтые – входят в состав Архангельской сейсмической сети ФИЦКИА УрО РАН

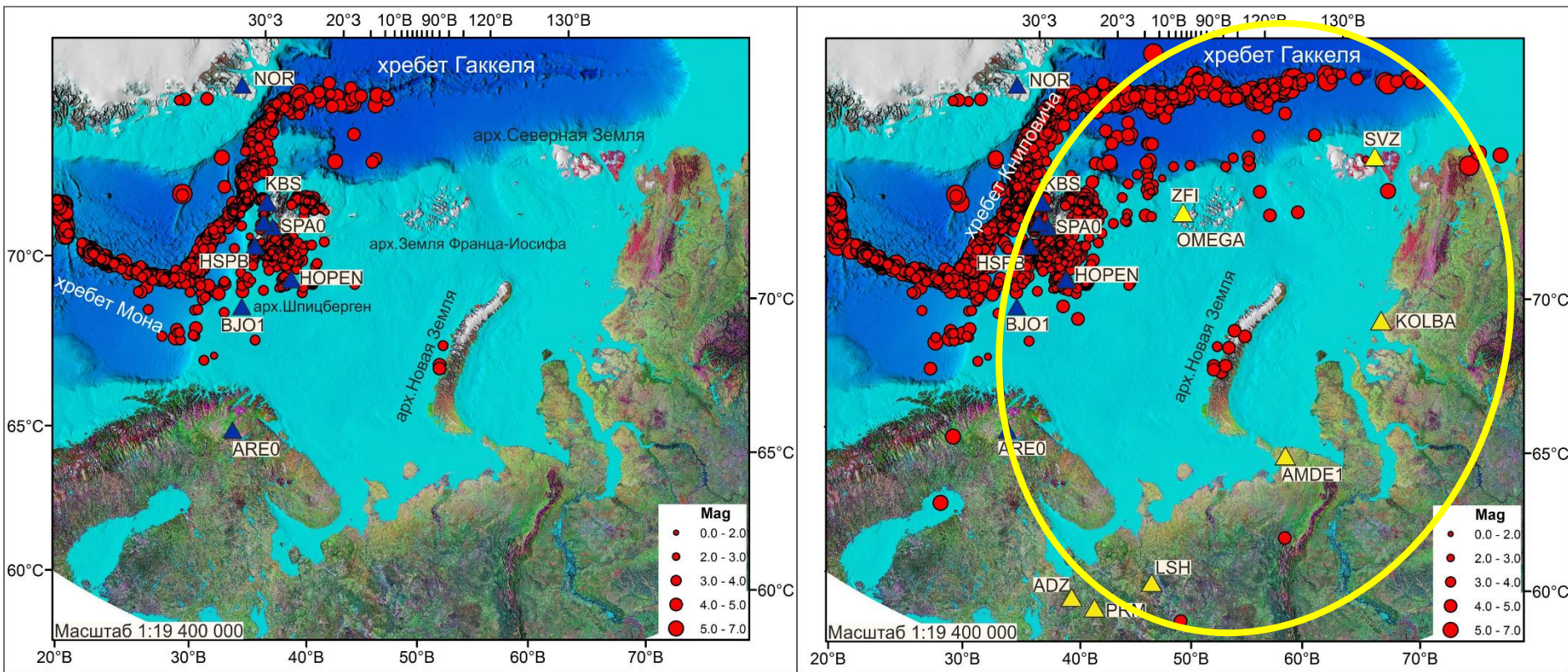
Роль станций Архангельской сети в сейсмическом мониторинге Европейского сектора Арктики

NORSAR, Норвегия

а

Кооперация NORSAR и ФИЦКИА УрО РАН

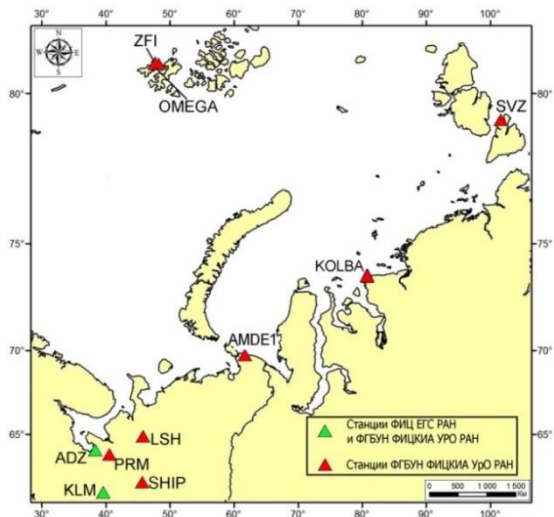
б



Землетрясения: а - зарегистрированные зарубежными станциями, б – зарегистрированные станциями Архангельской сейсмической сети совместно с зарубежными станциями

Карты пространственного распределения эпицентров землетрясений за 2016-2020 гг.

Уникальная научная установка «Архангельская сейсмическая сеть»

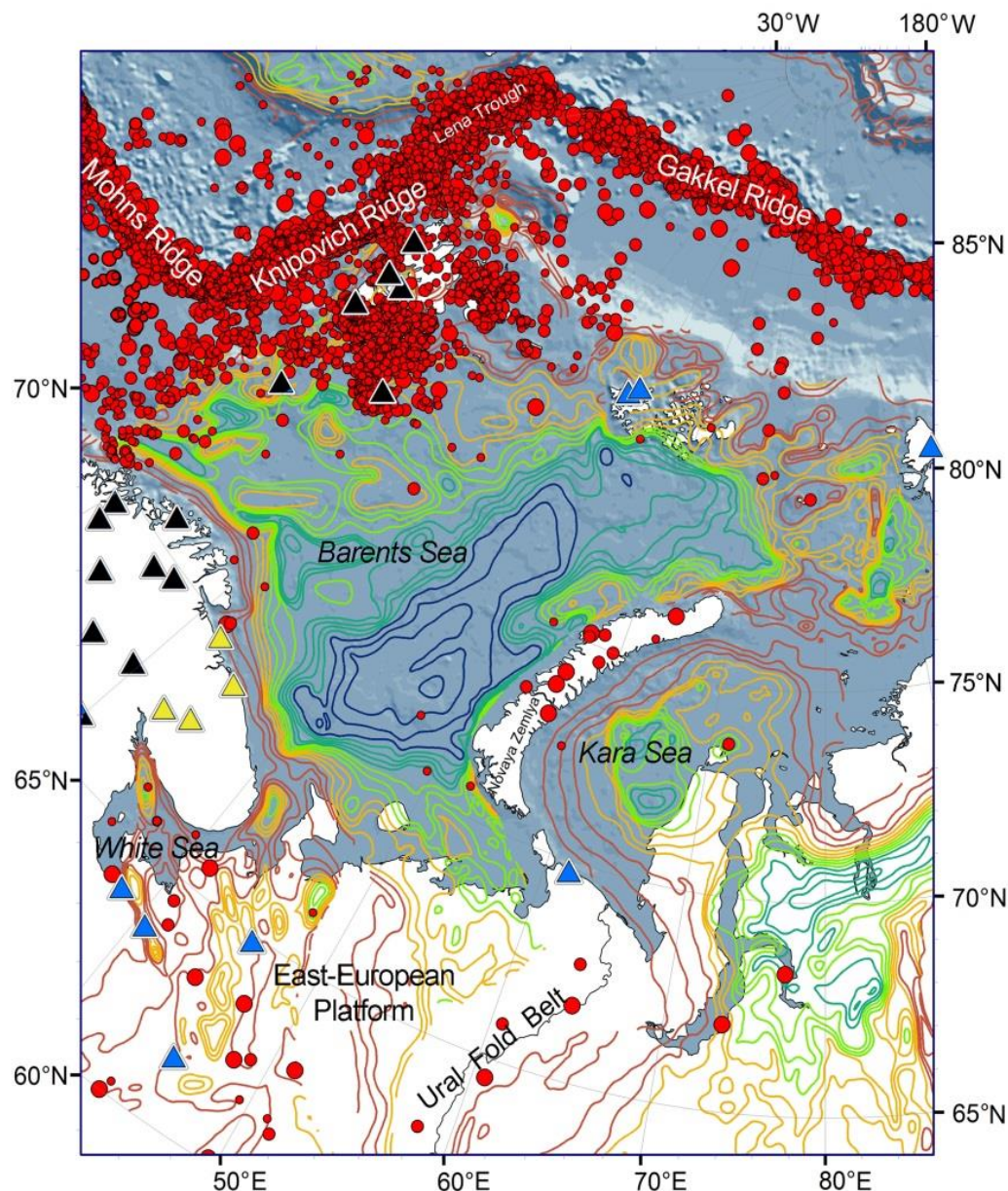


Конфигурация УНУ «Архангельская сейсмическая сеть» (ACC)

Выявлены новые механизмы геодинамических процессов в регионе.

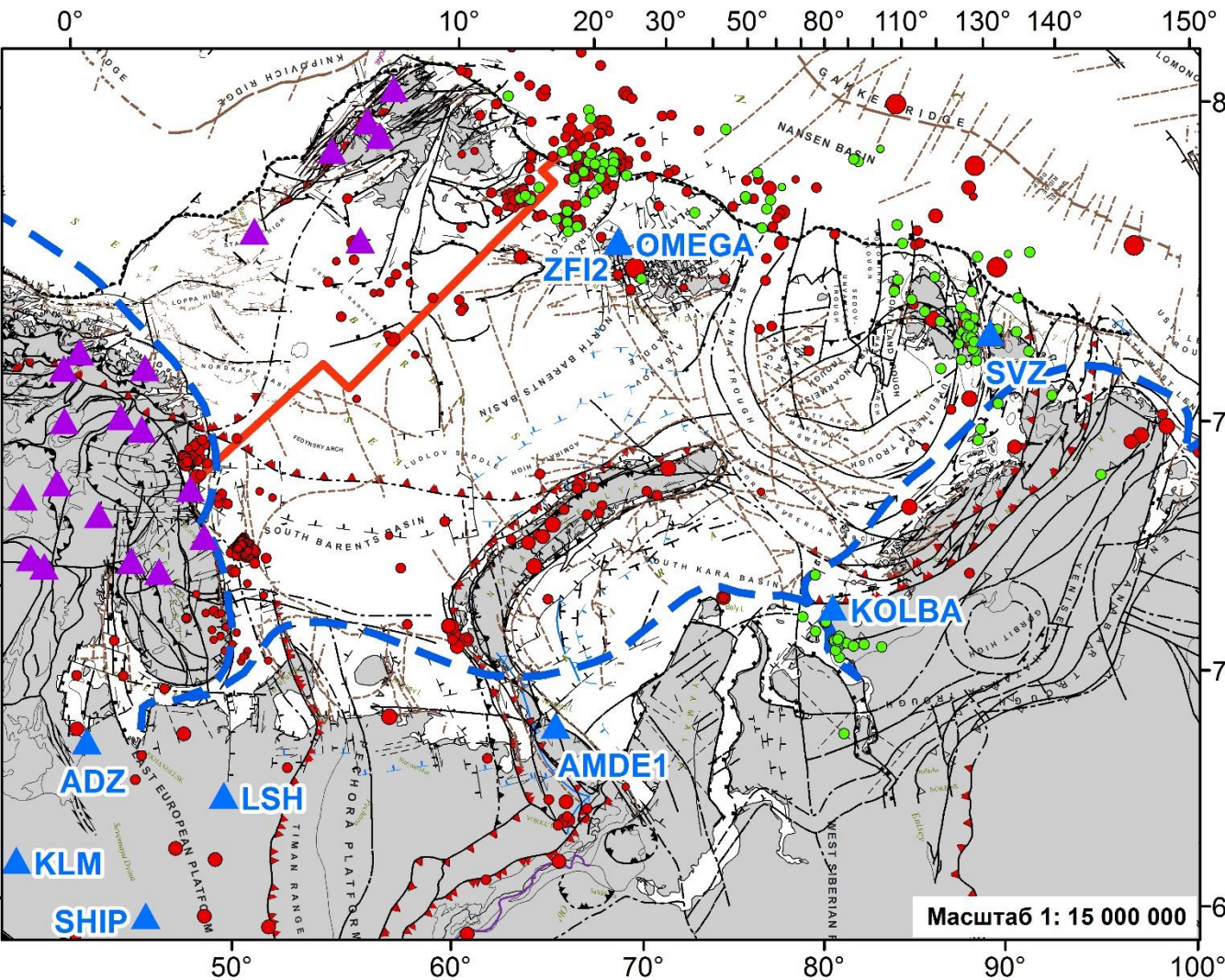
На основе анализа сейсмического каталога за 1980-2019 гг. с учетом данных УНУ «ACC» доказаны взаимосвязи землетрясений между срединно-океаническим хребтом (включающий хребты Мона, Книповича и Гаккеля) с платформенными (шельфовыми) территориями и сводовыми орогенами. На сейсмичность рассматриваемых территорий помимо таких факторов, как сброс частичных напряжений, создаваемых литосферными плитами, разгрузка от послеледникового оледенения, индуцированная сейсмичность и т.д. оказывает влияние совместная деятельность срединно-океанических хребтов (СОХ).

Выделены временные интервалы, через которые возмущения от СОХ, создаваемые силами отталкивания, могут достигать района архипелага Новая Земля и северной окраины ВЕП.

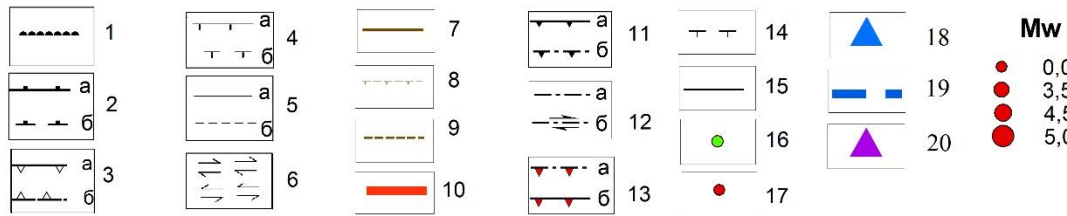


Сводная карта распределения сейсмических событий за 1980-2019 гг.

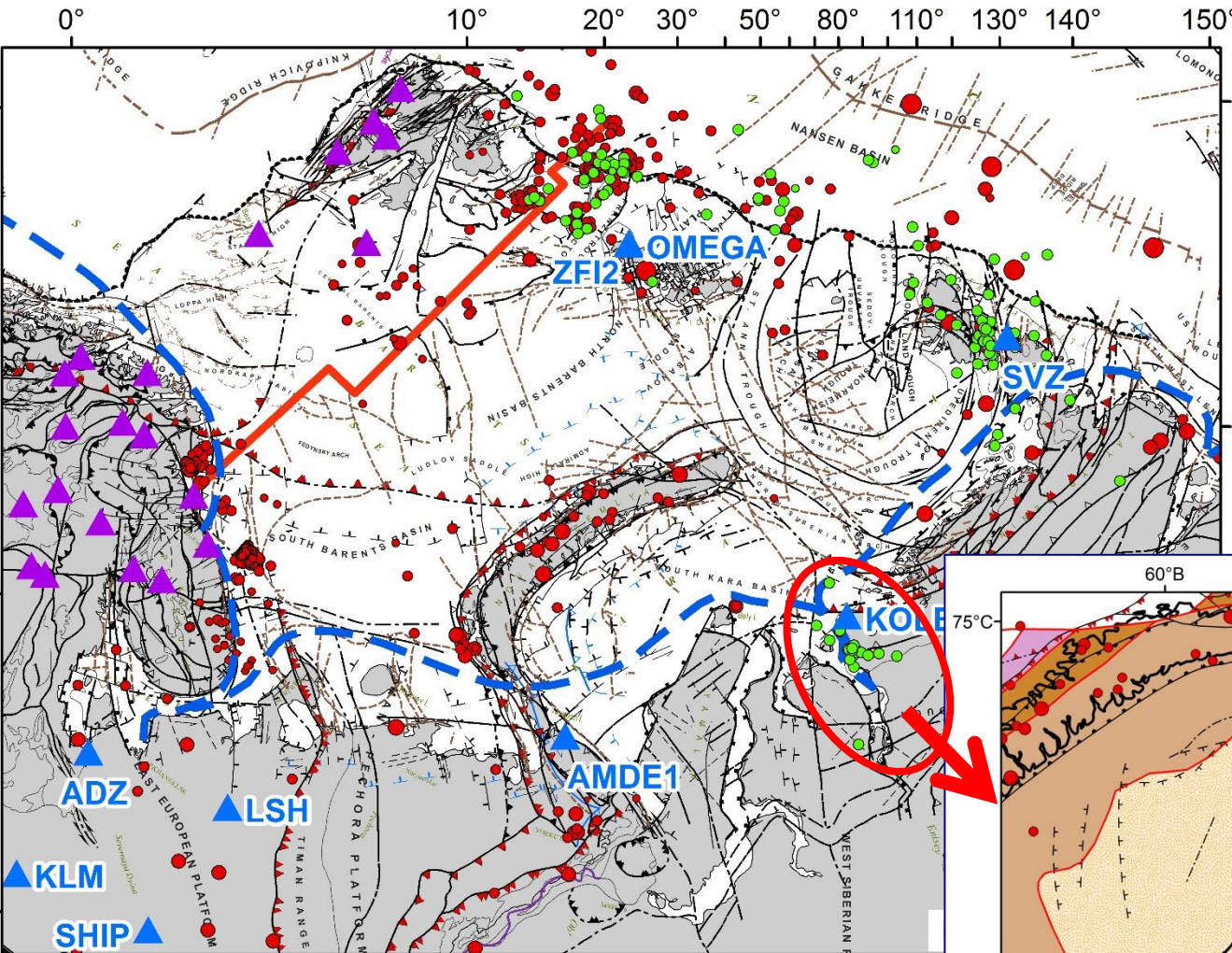
Сейсмичность Западного сектора Российской Арктики за 1980-2021 гг. с подключением данных Архангельской сейсмической сети



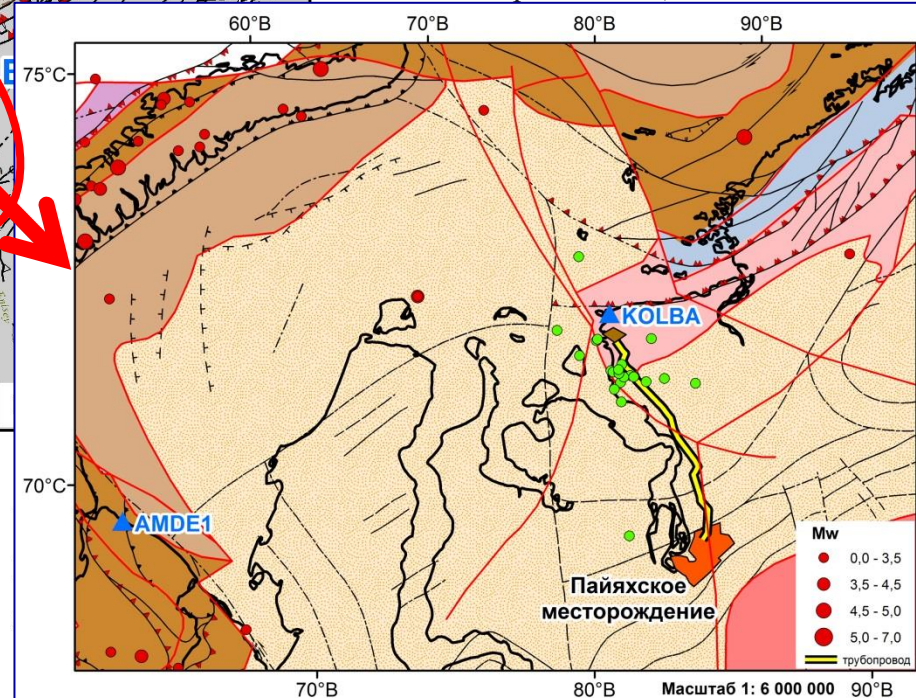
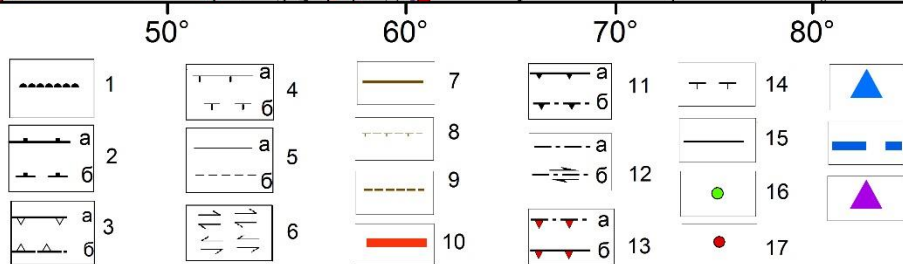
1 – кромка шельфа; новейшие разломы (2-5) с (Атлас..., 2004): черные – активные (поздний неоплейстоцен-голоцен); синие – (поздний плиоцен-средний неоплейстоцен): а – достоверные, б – предполагаемые; 2 – сбросы, штрихи на опущенном крыле; 3 – взбросы, треугольники на приподнятом крыле; 4 – разломы неустановленного типа, штрихи на опущенном крыле; 5 – разломы без установленного смещения; 6 – стрелками показано направление смещения при сдвигах; разломы с (Arctic Petroleum Geology, 2011). (7-9): 7 – активный спрединговый центр; 8 – нормальные разломы офшоры; 9 – неклассифицированные разломы; 10 – граница РФ; 11 – надвиг и взброс; 12 – сдвиговый сброс (стрелка-направление сброса); 13 – фронт деформаций для орогенов; 14 – нормальные листрические разломы; 15 – не классифицированные разломы; 16 – землетрясения, слоцированные одной станцией; 17 – землетрясения 3+; 18 – станции АСС; 19 – СМП; 20 – станции др. сейсмических сетей



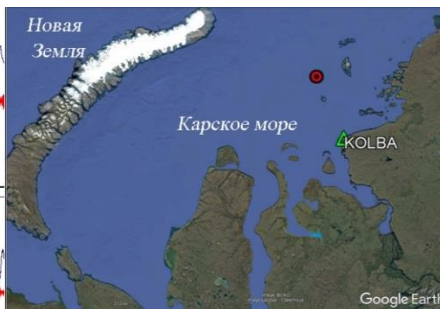
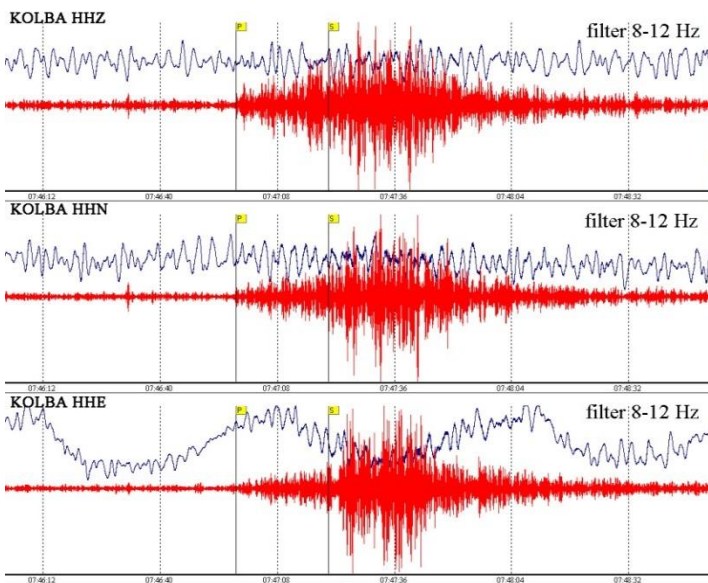
Сейсмичность Западного сектора Российской Арктики за 1980-2021 гг. с подключением данных Архангельской сейсмической сети



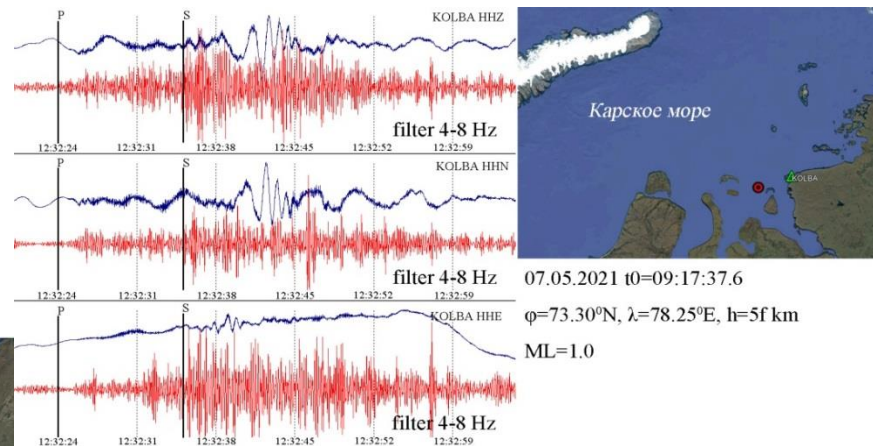
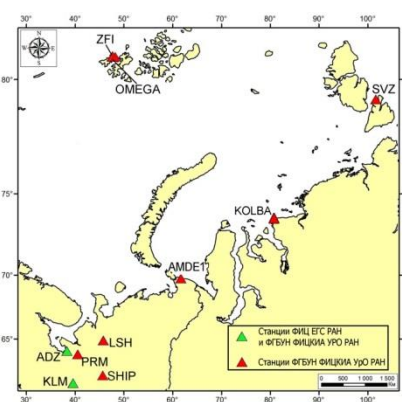
1 – кромка шельфа; новейшие разломы (2-5) с (Атлас..., 2004): черные – активные (поздний неоплейстоцен-голоцен); синие – (поздний плиоцен-средний неоплейстоцен): а – достоверные, б – предполагаемые; 2 – сбросы, штрихи на опущенном крыле; 3 – взбросы, треугольники на приподнятом крыле; 4 – разломы неустановленного типа, штрихи на опущенном крыле; 5 – разломы без установленного смещения; 6 – стрелками показано направление смещения при сдвигах; разломы с (Arctic



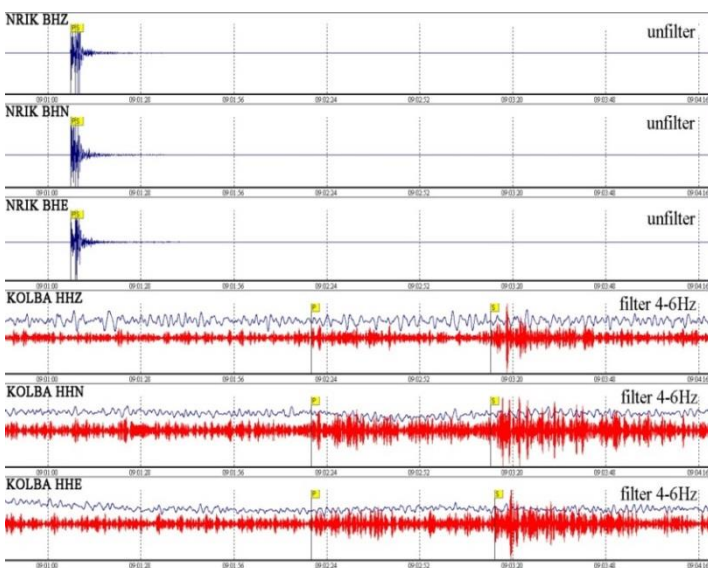
Примеры волновых форм событий, зарегистрированные сейсмической станцией «KOLBA»



22.10.2020 t0=07:46:27.9
 lat=75.17, lon=79.11, h=5f км
 ML=1.7
 Карское море

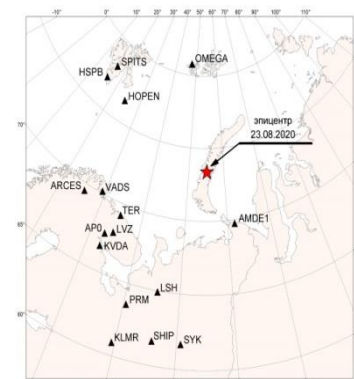


07.05.2021 t0=09:17:37.6
 $\varphi=73.30^{\circ}\text{N}$, $\lambda=78.25^{\circ}\text{E}$, h=5f км
 ML=1.0



16.10.2020 t0=09:01:06.0
 lat=69.33, lon=87.54, h=0f км
 ML=3.0

События на арх. Новая Земля 17 февраля 2020 г. (h=26 км, ML=3.4) и 23 августа 2020 г. (h=32 км, ML=3.6)



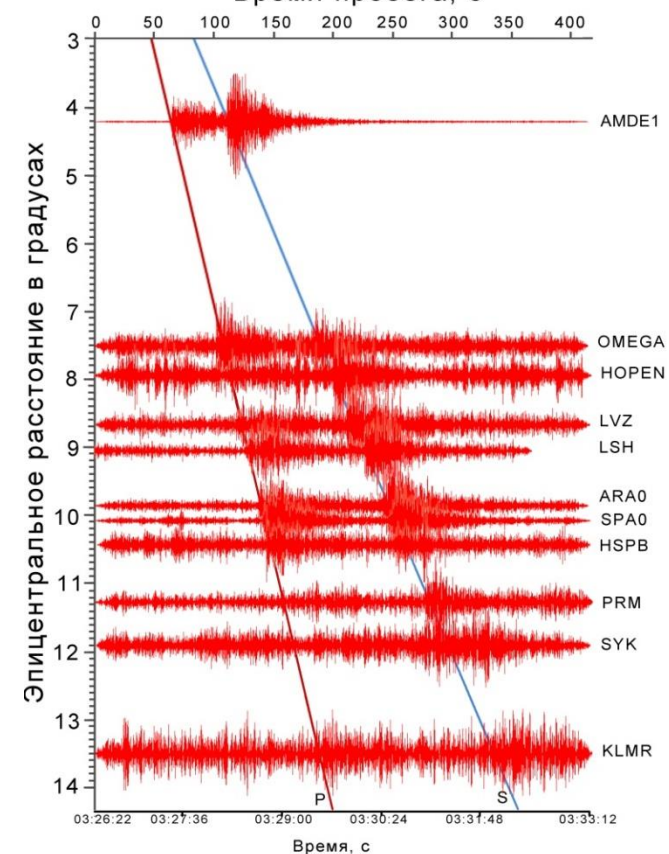
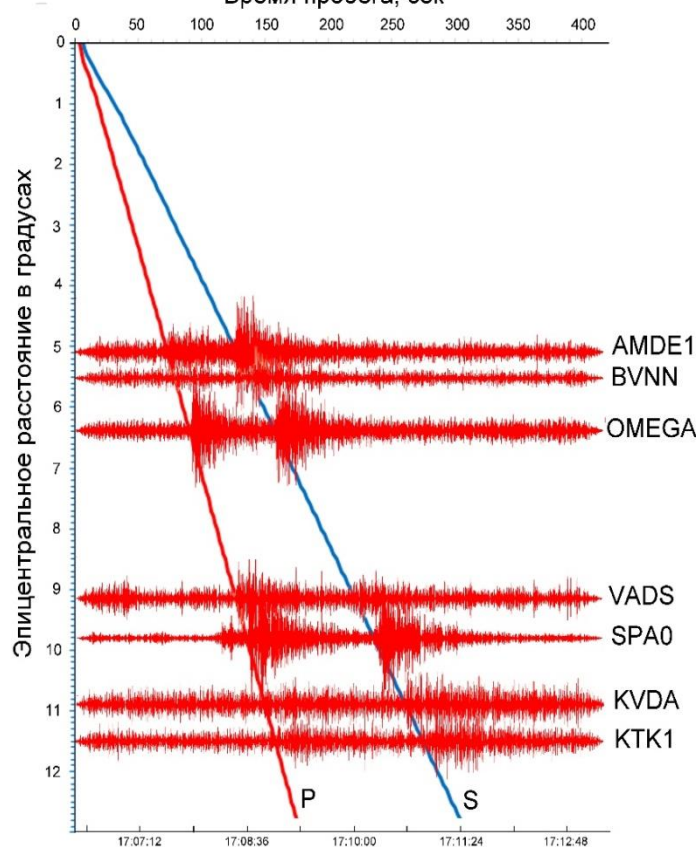
Время в очаге, чч:мм:сс.0	Параметры гипоцентра			Az _{major} , °	S _{minor} , км	S _{major} , км	Магнитуда ML
	lat	lon	h, км				
17.02.2020 17:06:23.1	74.56	56.39	26	50	11.05	15.39	3.4
23.08.2020 03:26:22.2	73.50	54.76	32	80	11.28	14.92	3.6

17.02.2020 to=17:06:23

23.08.2020 to=03:26:22

Время пробега, сек

Время пробега, с



17.02.2020

23.08.2020

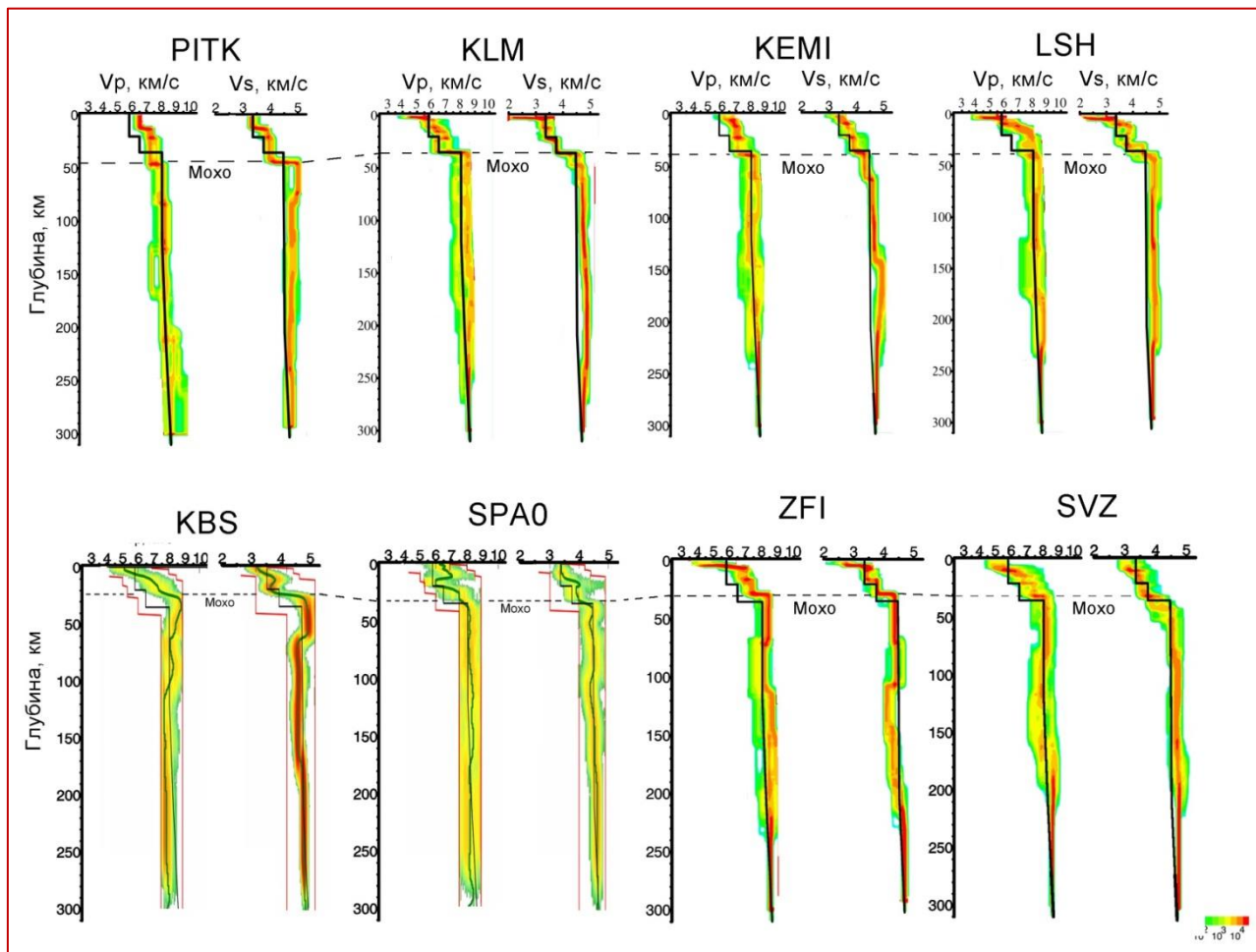
Пролив Маточкин Шар

17.02.2020

23.08.2020

AMDE

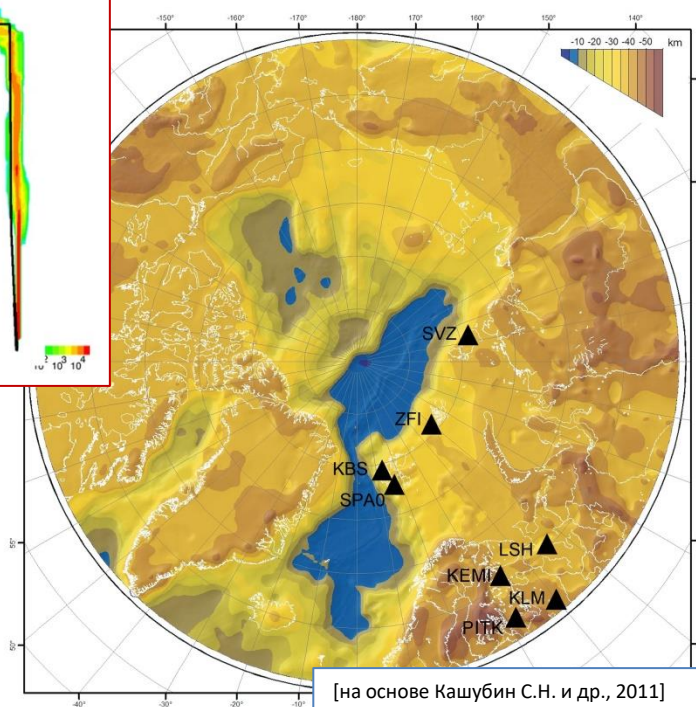
Исследования глубинной структуры земной коры и верхней мантии по данным обменных волн



Метод P-S-приемных функций – один из самых современных и эффективных способов определения границ в коре и мантии и изучения переходных зон мантии по объемным волнам.

Самая мощная земная кора (42-44 км) наблюдается под Балтийским щитом в районе станций PITK и KEMI. Утонение земной коры наблюдается под архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа (до 25 км).

По мере утонения континентальной коры и приближения к океанической коре глобальные границы прослеживаются менее уверенно либо отсутствуют в поле обменных волн.

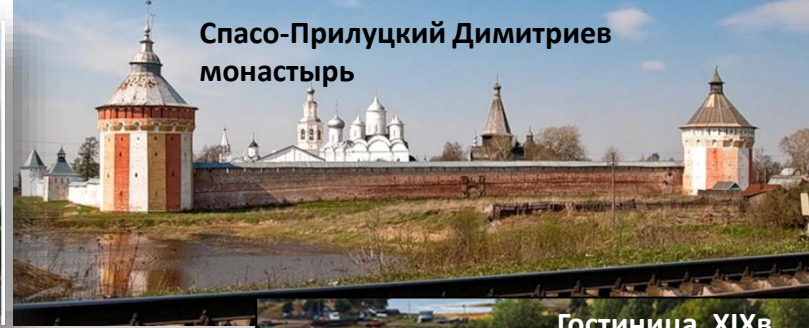
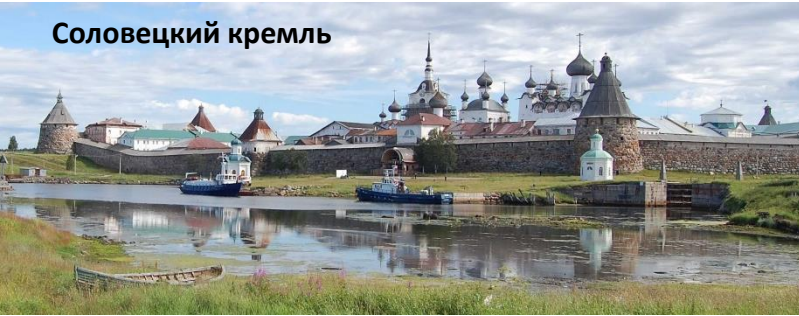


[на основе Кашубин С.Н. и др., 2011]

Объекты, обследованные для разработки методик:

Исторические и природные памятники

Соловецкий кремль



Спасо-Прилуцкий Димитриев
монастырь

Морская дамба



Гостиница, XIXв.

Плотины ГЭС

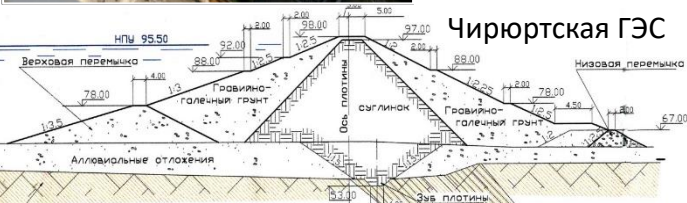
Гунибская ГЭС



Чиркейская ГЭС



Чирюртская ГЭС



Song Thang-2, Вьетнам



Гидроагрегаты ГЭС

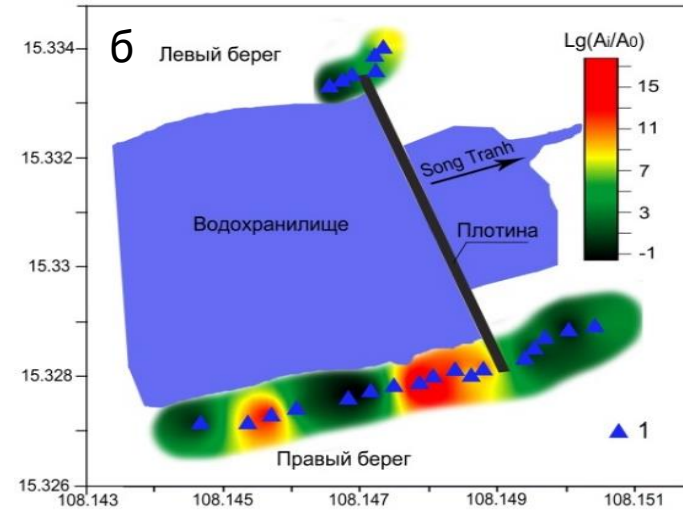


Газокомпрессорные установки

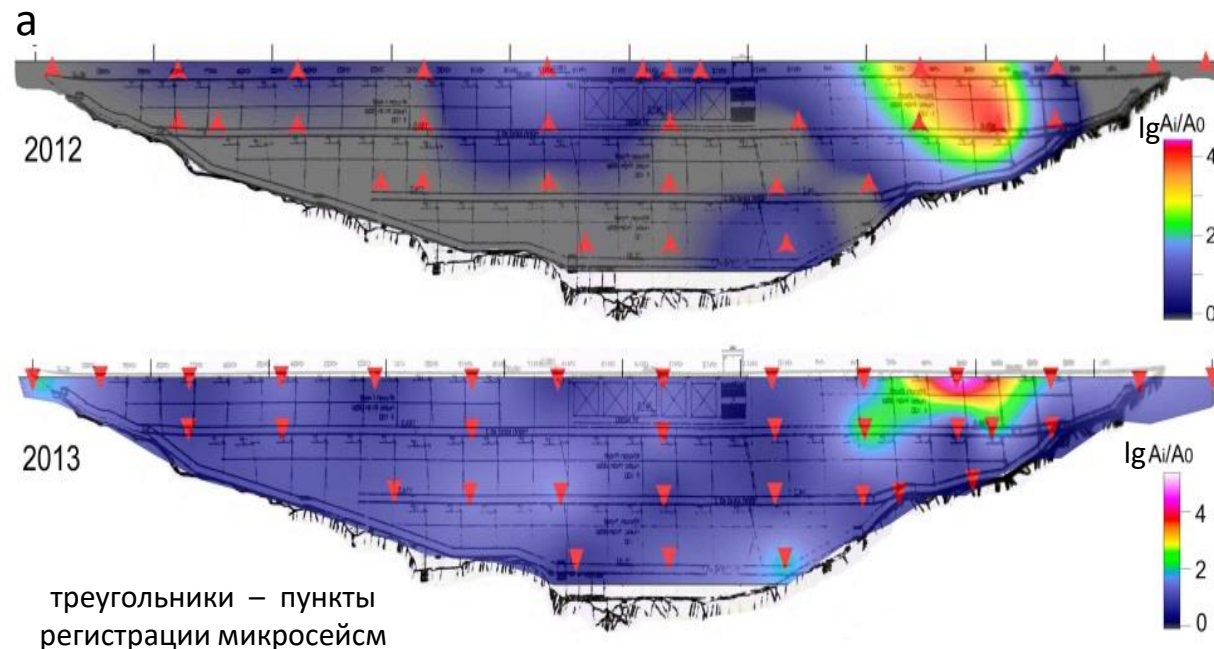


Жилые здания

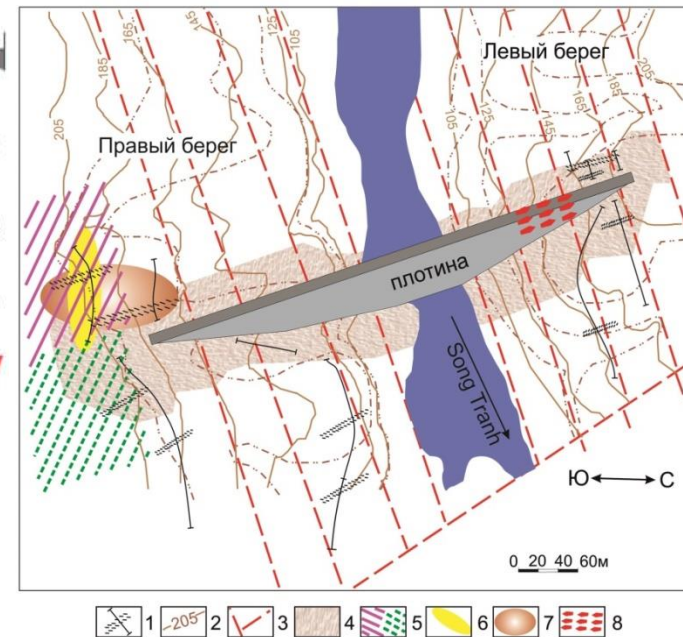




Результаты просвечивания плотины (а) и района ее размещения (б) на частоте 3.125 Гц, создаваемой при работе мощной помпы

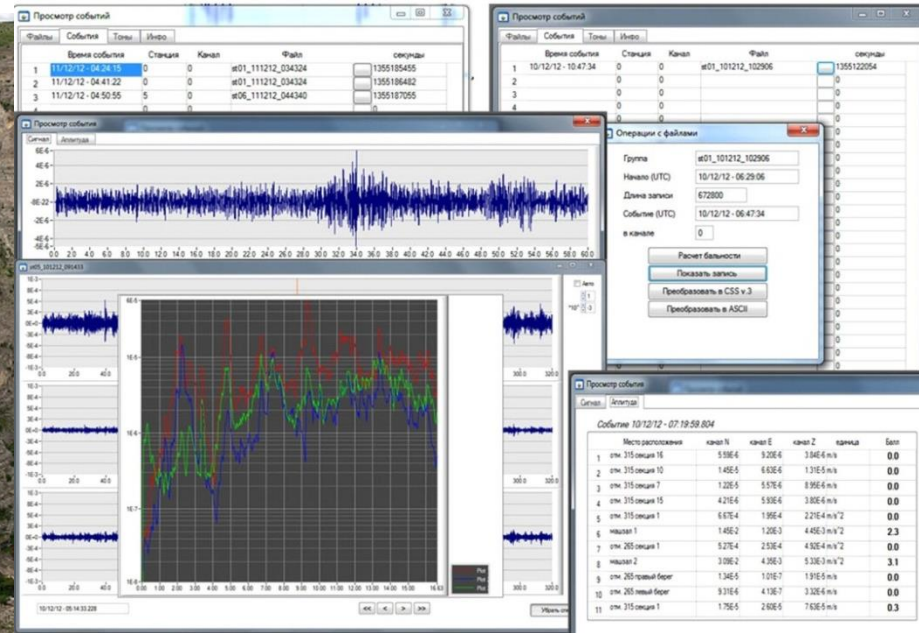
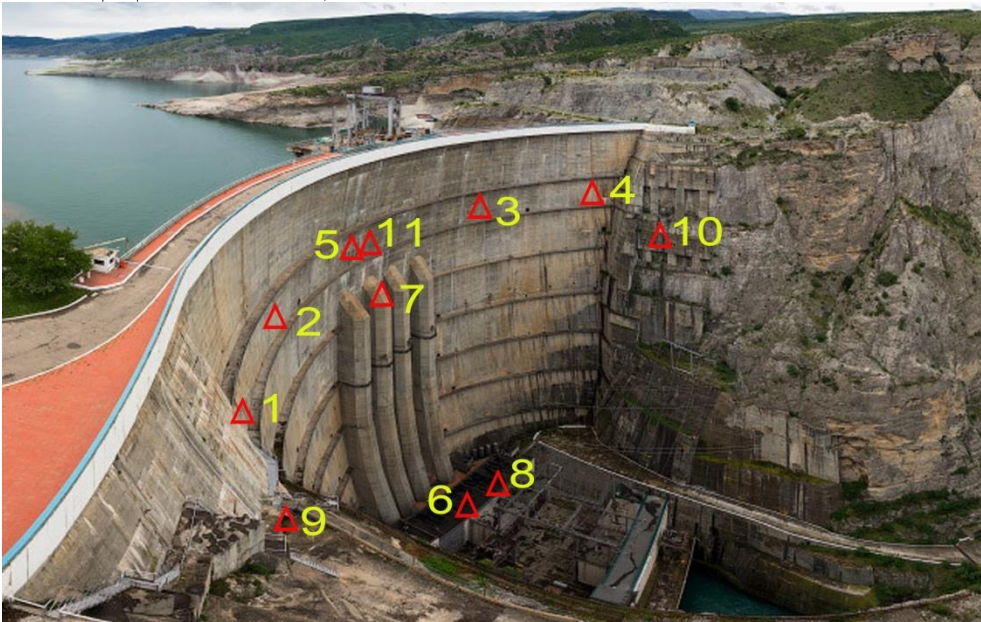


треугольники – пункты регистрации микросейсм



Вывод. Ослабленное основание плотины в районе правого борта вызывает изменение НДС конструкции плотины, что проявляется в виде системы трещин.

Система сейсмического мониторинга Чиркейской ГЭС, Республика Дагестан, Россия



Система позволяет объединить:

- 1 – сейсмологические наблюдения;
- 2 – инженерно-сейсмометрический мониторинг;
- 3 – регистрацию отдельных типов вибраций гидроагрегатов.

Программа просмотра и обработки данных



Сейсмический мониторинг состояния земляного полотна проходящими поездами

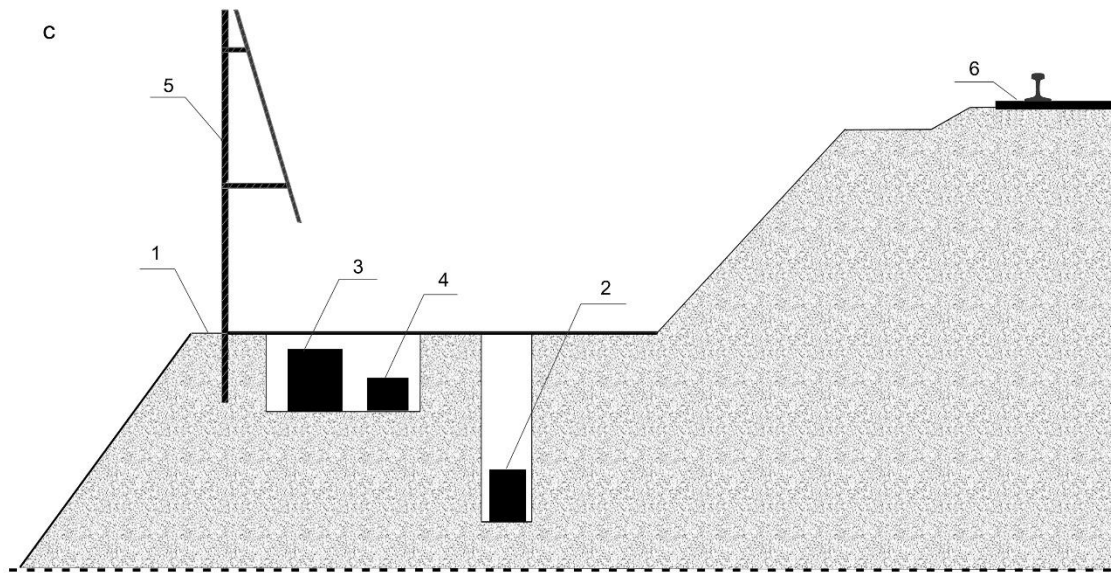


Район работ: Онежский р-н, Архангельская обл.

Объект: земляное полотно железнодорожной насыпи

Период непрерывных сейсмических наблюдений: с 23 апреля по 17 июня 2019

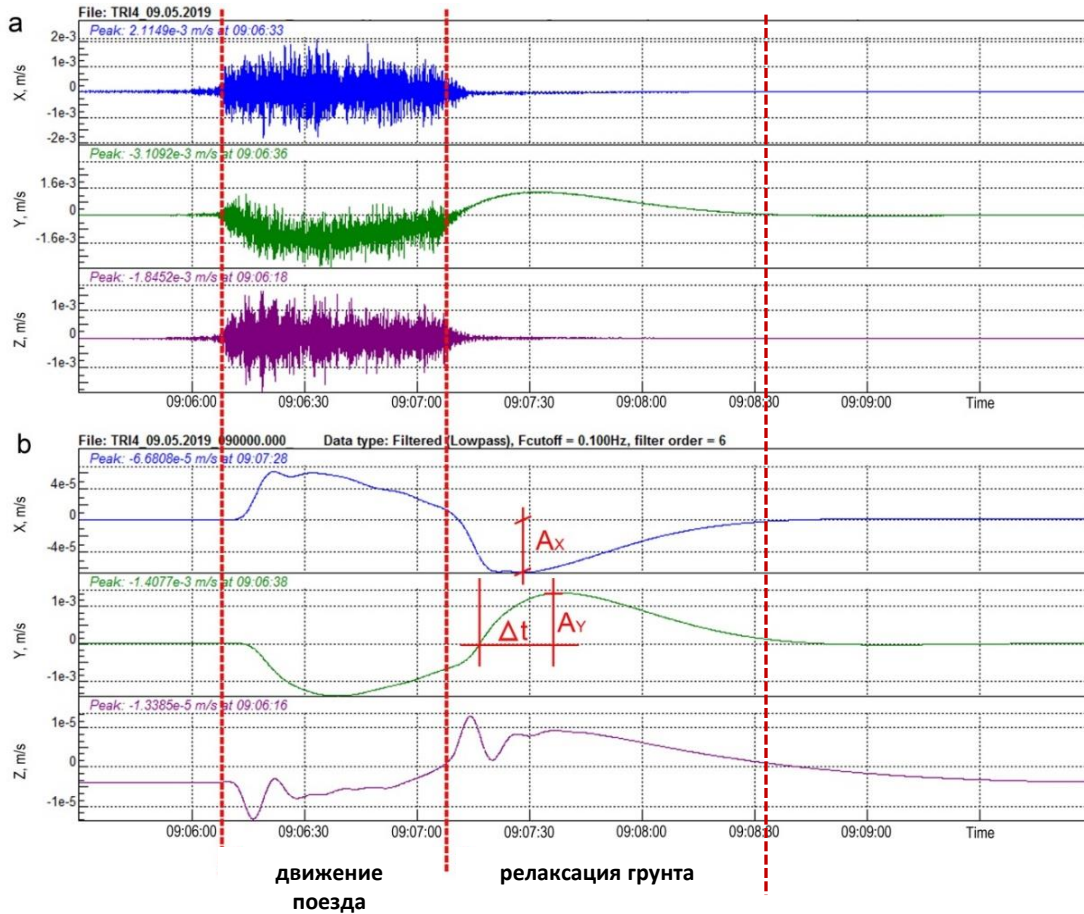
Записано 1937 поездов разного типа – локомотивов, товарных составов, пассажирских поездов.



Установка сейсмической станции для мониторинга земляного полотна железной дороги: а – карта района исследований, звездочка – место проведения работ, б – внешний вид системы, с – схема установки оборудования: 1 – берма, 2 – велосиметр ТС-120s, 3 – регистратор данных, 4 – аккумуляторная батарея, 5 – солнечная панель, 6 – железнодорожный путь



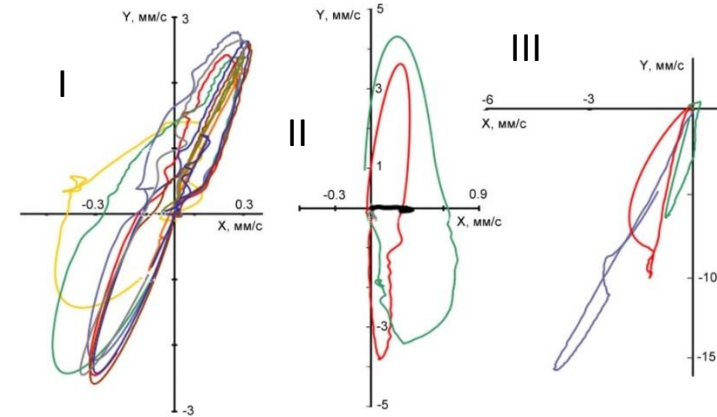
ВПЕРВЫЕ выявлено, что низкочастотные колебания чувствительны к состоянию земляного полотна



Trillium Compact 120s



Регистратор Centaur



- I – насыпь в естественном состоянии (неблагоприятные грунты),
- II - выполнены укрепления насыпи,
- III – устойчивый грунт

Характерный вид сейсмических записей, создаваемых подвижными составами. Регистрация произведена широкополосным сейсмометром; а – исходная запись, б – после применения низкочастотного фильтра 0.1 Гц, 1 – «голова» поезда, 2 – «хвост» поезда, Δt – временной промежуток релаксации земляного полотна в поперечном направлении после прохождения поезда, A_y – максимума амплитуды релаксации в поперечном направлении, A_x – минимума амплитуды в продольном.

$$\Delta t, R = A_y / A_x$$

Кривые, соответствующие траекториям движения точки насыпи при движении поездов в полосе частот 120 с – 0.5 Гц в горизонтальной плоскости, датчики установлены на берме.

Цветные линии – поезда в разные дни эксперимента.

Моделирование

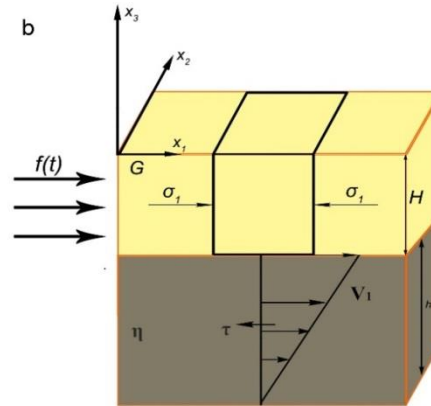
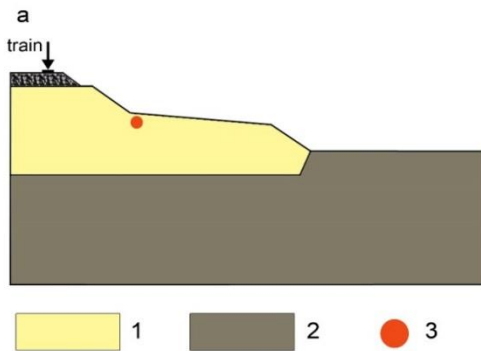
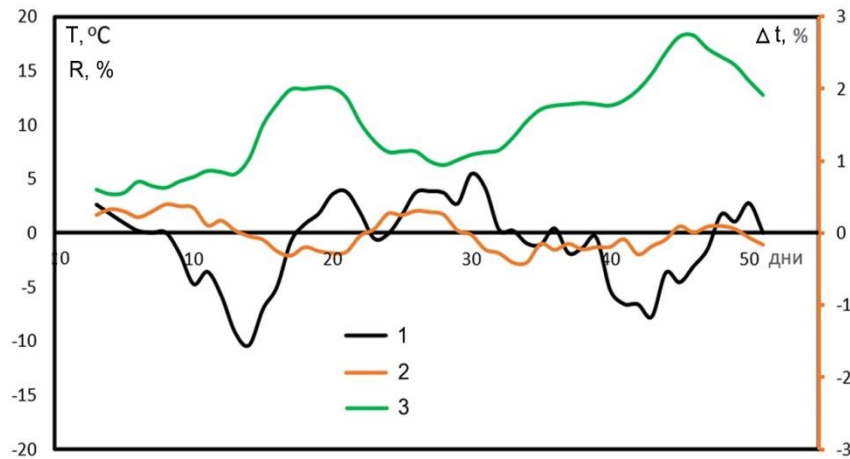


Фото с <https://rzd-puteetz.ru/deformatsiya-osnovnoj-ploshhadki/>

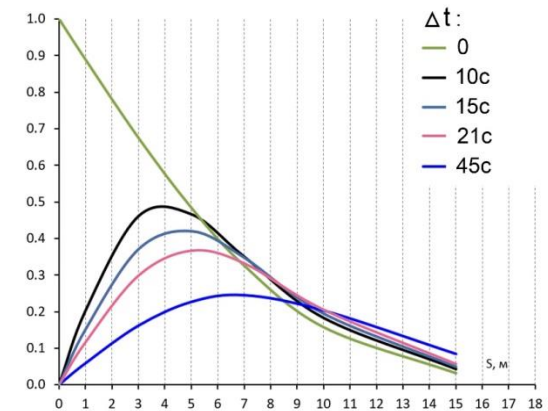
Модель Эльзассера передачи возмущений, создаваемых поездом в земляном полотне в горизонтальном направлении: а - схематический разрез, b - геометрия системы земляное полотно и возмущение его напряженно-деформированного состояния, 1 - земляное полотно, 2 - грунт (валунный суглинок), 3 – место расположения широкополосного сейсмического датчика

$H=2.5\text{ м}$, $h=4.5\text{ м}$, $G=4.5 \cdot 10^7\text{ Па}$, $\nu=0.34$

Длительность воздействий $T=80\text{ с}$.



Сравнение временного хода средне недельных значений параметров: 1 – R, 2 – Δt (в процентах от среднего значения за период мониторинга) с вариациями температуры (3)



Распределение амплитуды возмущения в земляном полотне после прохождения поезда (после 80 с) от расстояния до шпал при разных Δt

$\Delta t, \text{ с}$	$G, 10^7 \text{ Па}$	$\eta, 10^9 \text{ Па}\cdot\text{с}$
21	4.5	2
21.3	4.0	2

ЛОКОМОТИВ

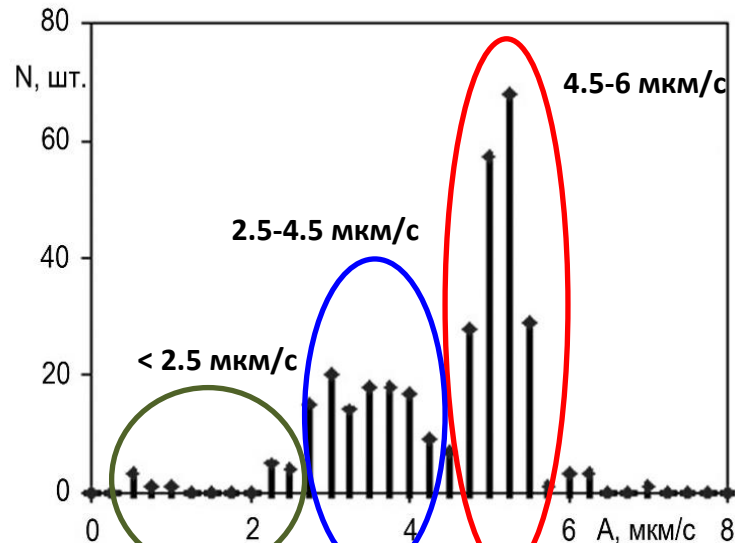
"хвост" поезда

1.E-05
A, м/с
5.E-06
0.E+00

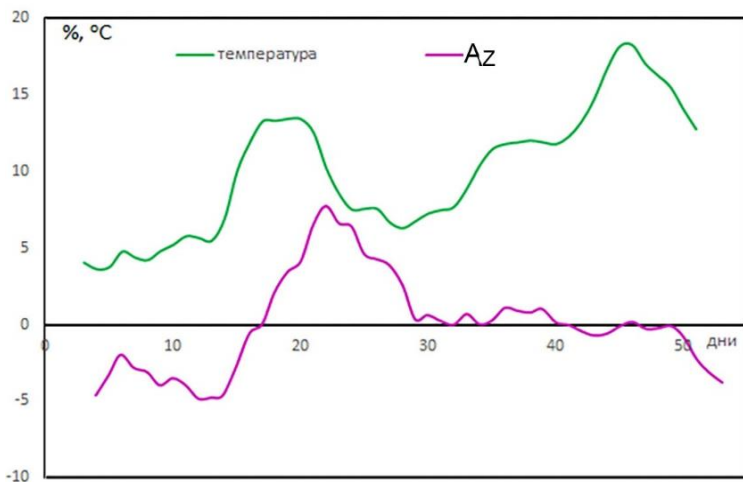
0 50 100 150 t, с

Анализ вертикальной компоненты (Z)

Волновые формы Z-компоненты записи велосиметра в полосе 0.01-0.1Гц при прохождении грузовых составов, записи совмещены по первым вступлениям



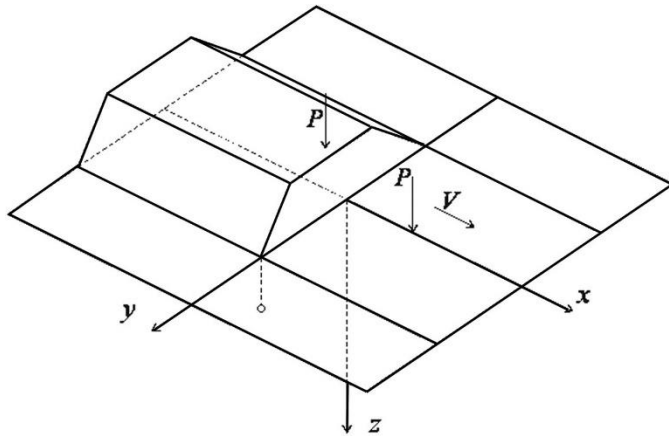
Распределение амплитуд первого минимума волновых форм при движении поездов различного типа



Изменение во времени температуры воздуха и флуктуаций амплитуды виброскорости на вертикальной компоненте (A_z) при длительных наблюдениях

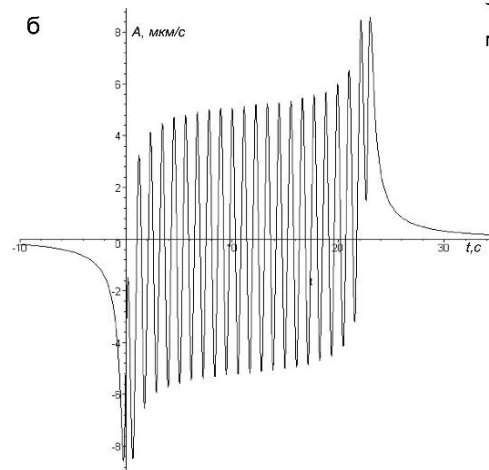
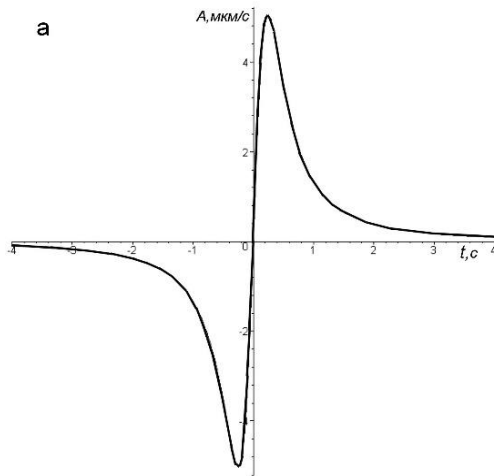
Величина A_z мало зависит от таких параметров, как тип вагонов и длина поезда.

Моделирование

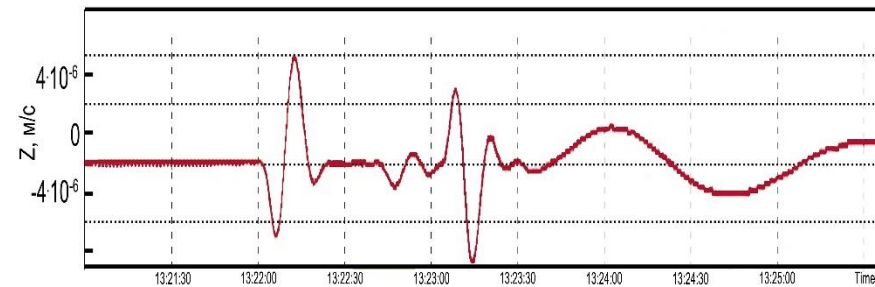


Задача Буссинеска – это статическая задача о вертикальной сосредоточенной силе, приложенной к поверхности линейно-упругого, однородного, изотропного полупространства.

Общая схема задачи. Светлый кружок – датчик



Расчетные кривые изменения во времени скоростей смещения, регистрируемых сейсмическим датчиком, при движении: а – для единичной колесной пары, б – поезда с локомотивом, направление оси z изменено на противоположное по сравнению со схемой



Модель достаточно неплохо описывает особенности волновых форм и количественные значения амплитуд виброскорости для вертикальной компоненты

Схема сейсмической технологии диагностики и экспресс-оценки негативных природно-техногенных изменений земляного полотна



- 1 – сейсмический датчик;
- 2 – система электропитания, передачи и хранения сейсмических данных;
- 3 – система сбора сейсмических данных (приема-передачи и хранения), установленная внутри поезда;
- 4 – мачта сотовой связи;
- 5 – Центр данных РЖД (РЖД ЦД);
- 6 – автоматическая обработка данных;
- 7 – Сейсмологический центр данных (СЦД);
- 8 – региональная сейсмическая сеть, действующая в регионе

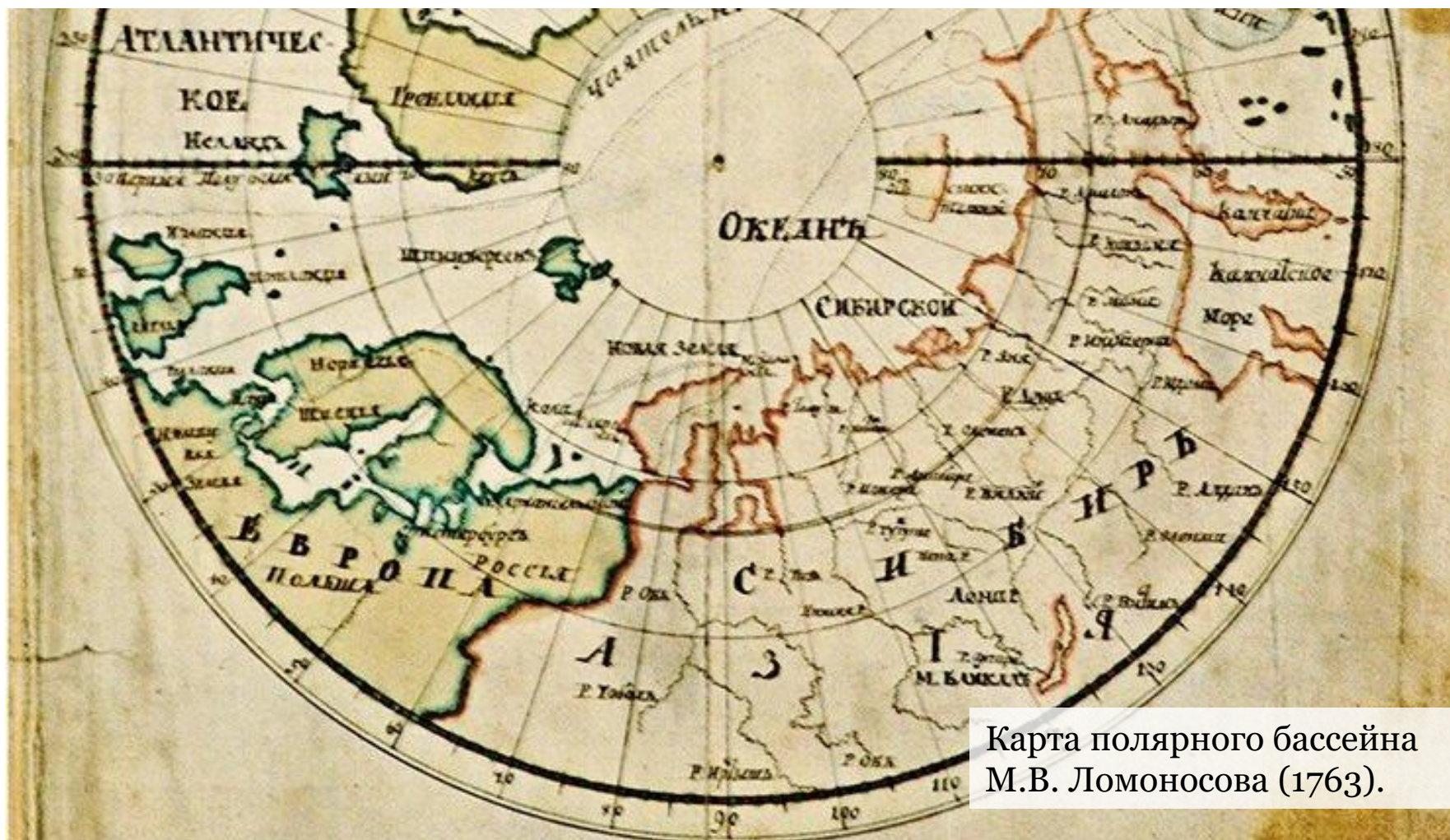
Проработана технология создания основного элемента системы - пункта наблюдения



Общий вид пункта наблюдения

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Михаил Васильевич Ломоносов: «Везде исследуйте всечасно, что есть велико и прекрасно»



Карта полярного бассейна
М.В. Ломоносова (1763).