

Комплексная модернизация геодезических систем отсчёта Российской Федерации

Ощепков Илья Алексеевич (ППК «Роскадастр»)

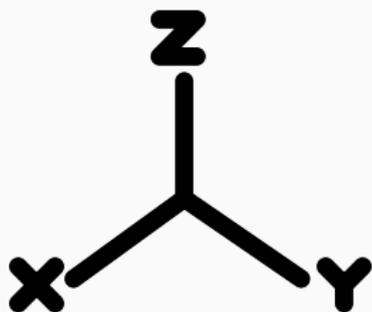
3-я Совместная Международная научно-техническая конференция
ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ:
космические и пространственные данные, технологии обработки,
16–18 октября 2023 года, г. Сочи

Три столпа геодезии и системы отсчёта



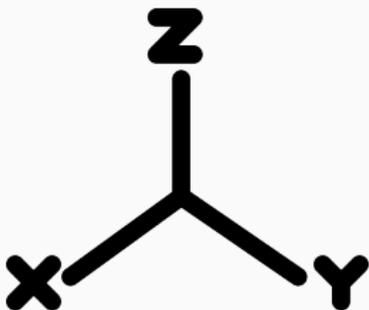
- Все «три столпа» непрерывно изменяются во времени,
- поэтому их изучение — непрерывный процесс.
- Системы отсчёта устанавливаются в условиях динамической Земли.

Геодезическая система
(reference system)



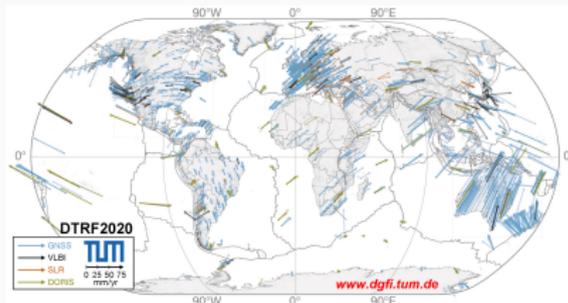
- теоретическое определение
- набором общих предписаний, конвенций и моделей,
- необходимых для задания «координатных осей».
- Одна система.

Геодезическая система (reference system)



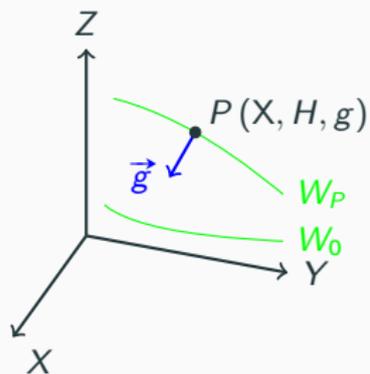
- теоретическое определение
- набором общих предписаний, конвенций и моделей,
- необходимых для задания «координатных осей».
- Одна система.

Геодезическая система отсчёта (отсчётная основа, reference frame)



- практическая реализация
- совокупностью координат (высот, ускорения силы тяжести)
- для реальных точек — геодезических пунктов.
- Множество систем отсчёта.

Виды геодезических систем и систем отсчёта



$X(t)$

Координаты

в принятой земной системе координат

$H(t)$

Физическая высота

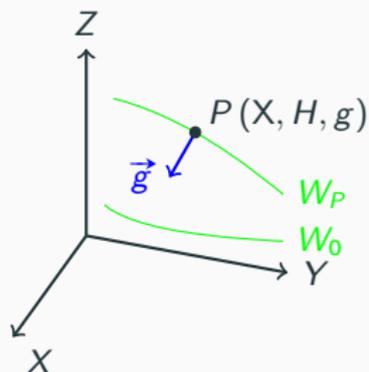
в принятой системе высот

$g(t)$

Сила тяжести

в принятой гравиметрической системе

Виды геодезических систем и систем отсчёта



$X(t)$

Координаты

в принятой земной системе координат

$H(t)$

Физическая высота

в принятой системе высот

$g(t)$

Сила тяжести

в принятой гравиметрической системе

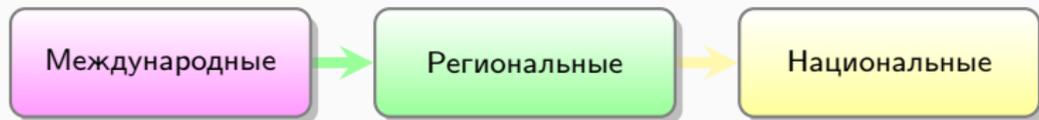
1. **Согласованность** между собой: одна планета, единые модели.
2. **Глобальное покрытие**: однородное по точности и плотности
3. **Максимальные точность и временное разрешение.**
4. **Постоянно действующие инфраструктура и сервисы.**
5. **Пункты колокации**, где всё собрано в одном месте.

Геодезические свойства, параметры и цифровой двойник Земли



Сегодня в 16:20, Зал «Босфор»,
«Геодезический цифровой двойник Земли»
(И. Х. Невретдинов, ППК «Роскадастр»)

Международные системы и системы отсчёта



Международная земная система отсчёта координат (ITRF)



VLBI



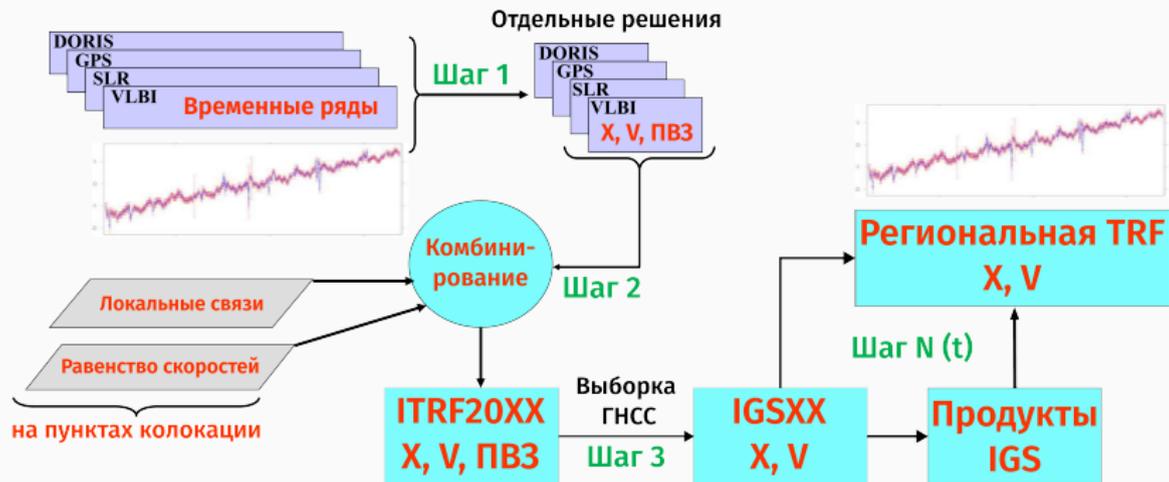
SLR и LLR



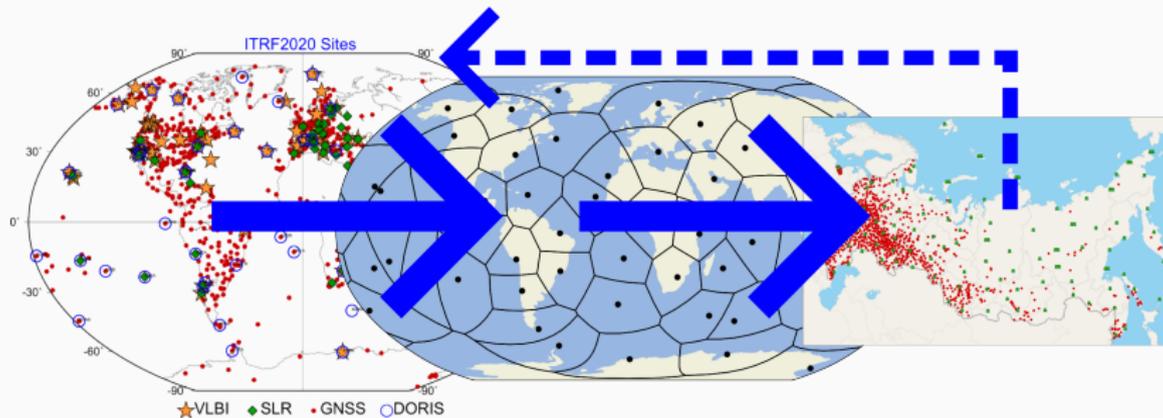
DORIS



GNSS

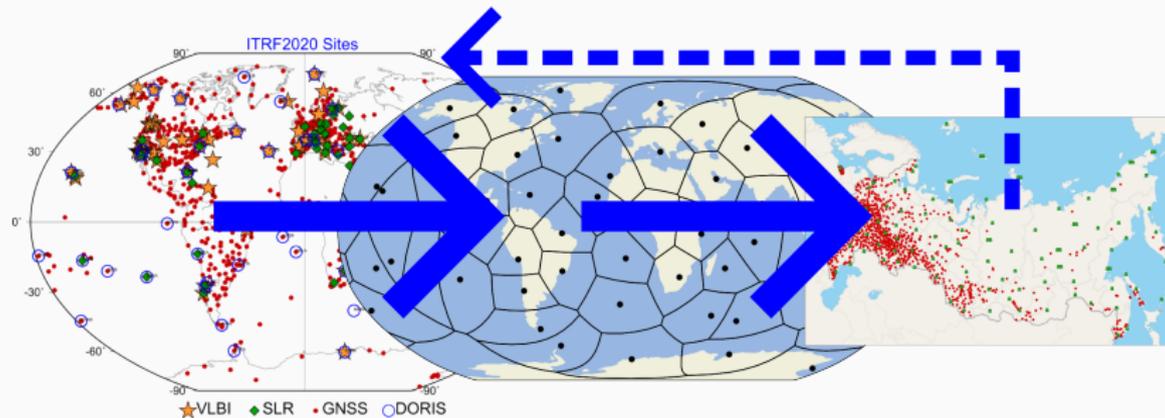


Региональные и национальные системы отсчёта координат



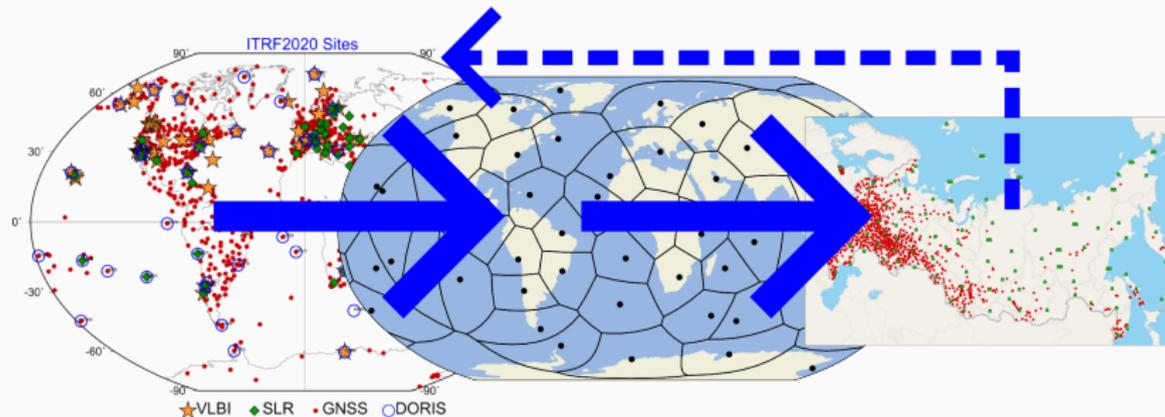
- Строятся на основе сетей постоянно действующих станций GNSS
- путём их совместной обработки с глобальными станциями.

Региональные и национальные системы отсчёта координат



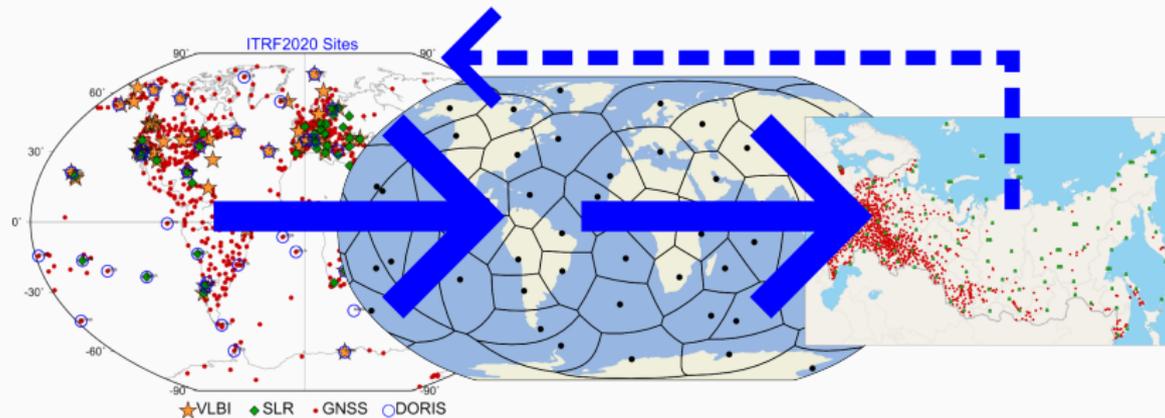
- Строятся на основе сетей постоянно действующих станций GNSS
- путём их совместной **обработки** с глобальными станциями.
- **Каждый день**: новое решение, «новые» координаты.

Региональные и национальные системы отсчёта координат



- Строятся на основе сетей постоянно действующих станций **GNSS**
- путём их совместной **обработки** с глобальными станциями.
- **Каждый день**: новое решение, «новые» координаты.
- **Непрерывно работающая инфраструктура** — важнейший элемент.

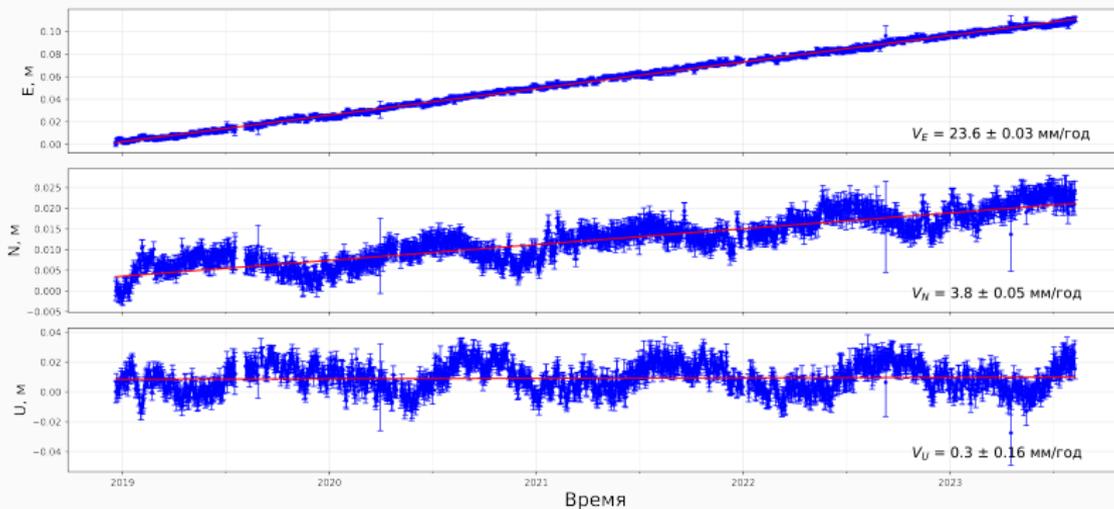
Региональные и национальные системы отсчёта координат



- Строятся на основе сетей **постоянно действующих станций GNSS**
- путём их совместной **обработки с глобальными станциями.**
- **Каждый день:** новое решение, «новые» координаты.
- **Непрерывно работающая инфраструктура** — важнейший элемент.
- **Степень иерархии** — **дисторсия и увеличение неопределённости.**

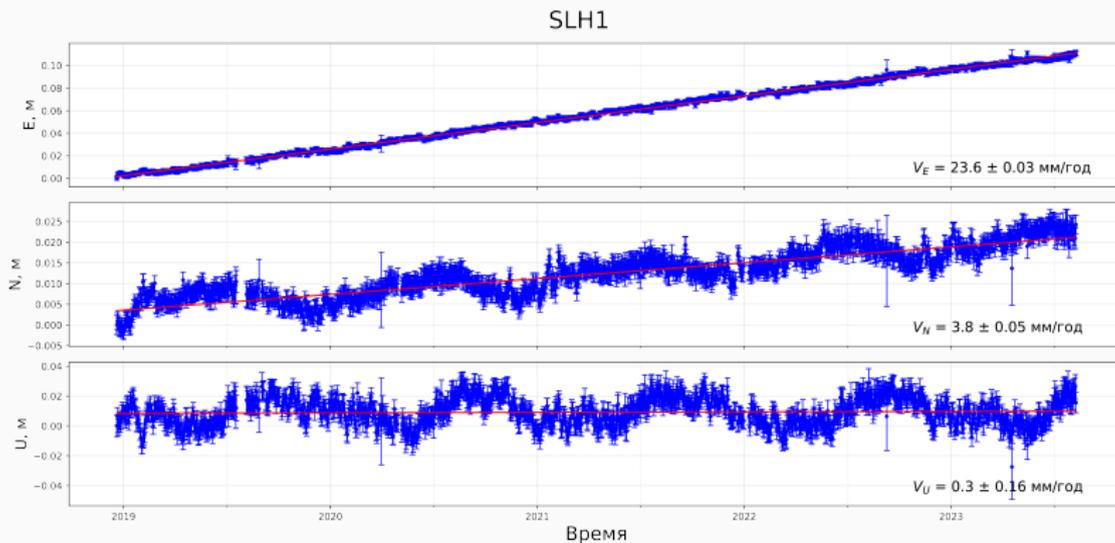
Основной результат — ежедневные решения

SLH1



- Временной ряд координат из ежедневного сетевого решения,
- практически инвариантного к составу пунктов.

Основной результат — ежедневные решения



- Временной ряд координат из ежедневного сетевого решения,
- практически инвариантного к составу пунктов.
- Реальное положение пунктов в любой момент времени.
- «Срок годности» координат: 1–14 дней.



- Статическая системы отсчёта — (X, Y, Z) на эпоху t_0
 - Двигается вместе с тектонической плитой (фиксирована на ней).
 - Задана фиксированная эпоха t_0 .
 - Координаты физических объектов **не изменяются** со временем.
 - Пример: Геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011).

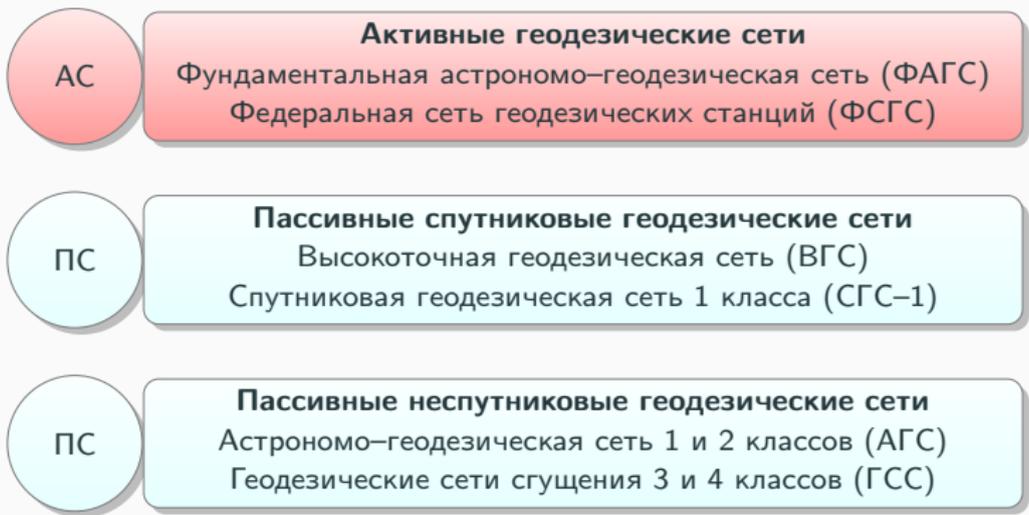


- Статическая системы отсчёта — (X, Y, Z) на эпоху t_0
 - Двигается вместе с тектонической плитой (фиксирована на ней).
 - Задана фиксированная эпоха t_0 .
 - Координаты физических объектов **не изменяются** со временем.
 - Пример: Геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011).
- Динамическая системы отсчёта — (X, Y, Z, t)
 - **НЕ** движется вместе с тектонической плитой, фиксирована в Земле.
 - **НЕ** задана фиксированная эпоха t_0 .
 - Координаты физических объектов **изменяются** со временем разные в разные эпохи, t — полноценная координата.



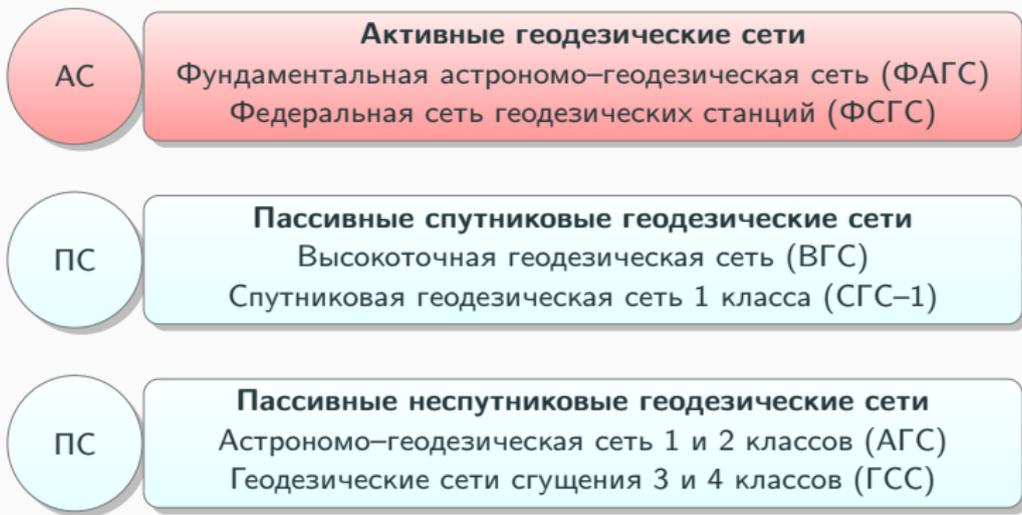
- Статическая системы отсчёта — (X, Y, Z) на эпоху t_0
 - Двигается вместе с тектонической плитой (фиксирована на ней).
 - Задана фиксированная эпоха t_0 .
 - Координаты физических объектов **не изменяются** со временем.
 - Пример: Геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011).
- Динамическая системы отсчёта — (X, Y, Z, t)
 - **НЕ** движется вместе с тектонической плитой, фиксирована в Земле.
 - **НЕ** задана фиксированная эпоха t_0 .
 - Координаты физических объектов **изменяются** со временем разные в разные эпохи, t — полноценная координата.
- Требуется построение модели деформаций.

Изменяющаяся роль геодезических сетей



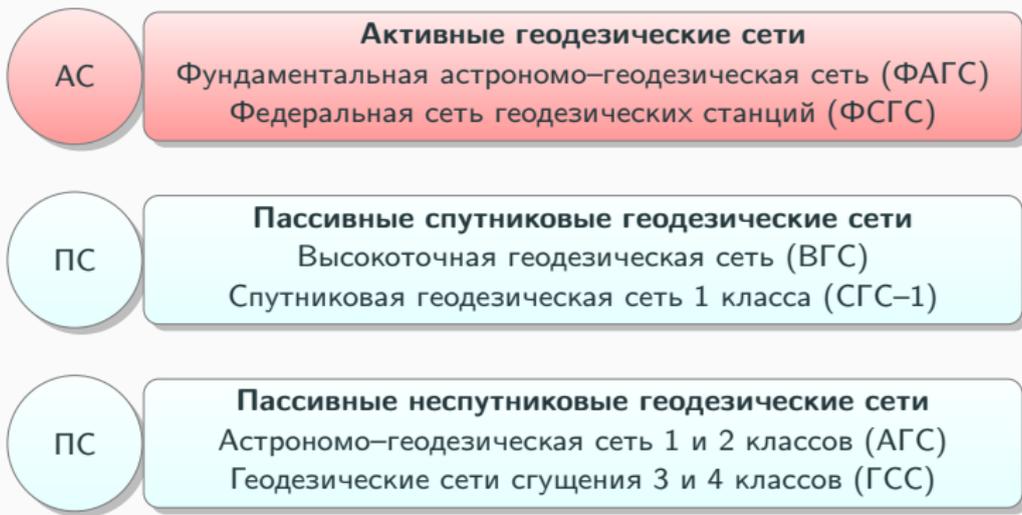
- **Активные** — **основные**, независимо от их принадлежности.
- Ежедневное / 1–2 недельное **решение формирует «сеть»**.

Изменяющаяся роль геодезических сетей



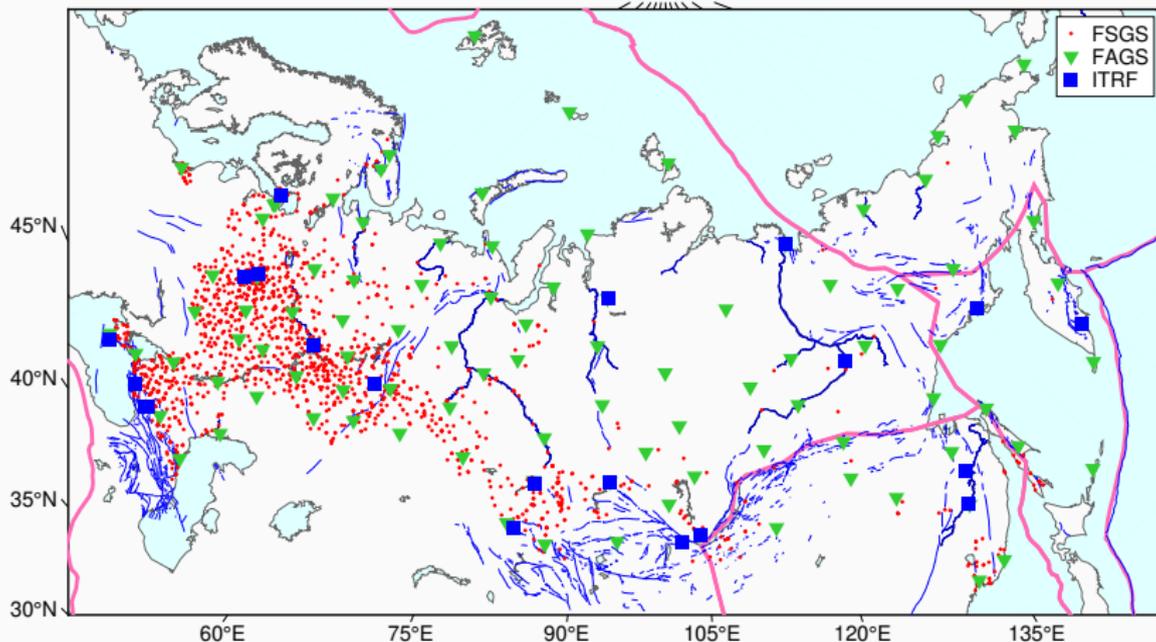
- **Активные** — **основные**, независимо от их принадлежности.
- Ежедневное / 1–2 недельное **решение формирует «сеть»**.
- **Пассивные пункты не играют важной роли** — нужно ли развивать?

Изменяющаяся роль геодезических сетей



- **Активные — основные**, независимо от их принадлежности.
- Ежедневное / 1–2 недельное **решение формирует «сеть»**.
- **Пассивные пункты не играют важной роли** — нужно ли развивать?
- Использование неспутниковых сетей в век GNSS — порочная практика.

Интеграция постоянно действующих спутниковых пунктов



- Недостаточное количество / плотность пунктов **ФАГС** для:
- построения моделей деформаций и распространения системы отсчёта,
- научных задач, исследований климата и катастрофических явлений.

Недостатки геометрического нивелирования

- Геометрическое нивелирование: долго, дорого, трудозатратно.
- Существенные систематические ошибки на больших расстояниях.
- Деградация и деактуализация измерений.

Недостатки геометрического нивелирования

- Геометрическое нивелирование: долго, дорого, трудозатратно.
- Существенные систематические ошибки на больших расстояниях.
- Деградация и деактуализация измерений.

Объединение систем высот на континентах, морях и островах.

Континент
(БСВ77)



Моря
(chart datum)



Острова
(изолированы)



Страны
(не связаны)



Недостатки геометрического нивелирования

- Геометрическое нивелирование: долго, дорого, трудозатратно.
- Существенные систематические ошибки на больших расстояниях.
- Деградация и деактуализация измерений.

Объединение систем высот на континентах, морях и островах.

Континент
(БСВ77)



Моря
(chart datum)



Острова
(изолированы)



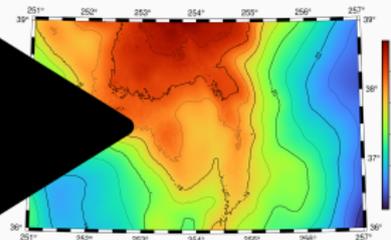
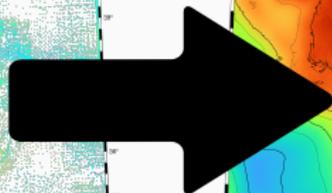
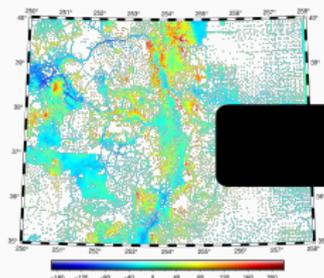
Страны
(не связаны)



Тенденции

- Доминирование ГНСС в производстве и научных исследованиях.
- Спутниковые гравиметрические миссии: GRACE / GRACE-FO, GOCE.

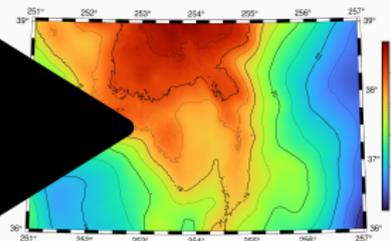
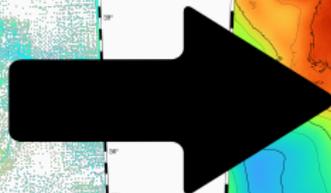
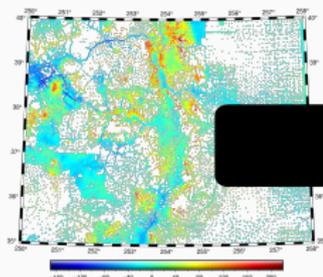
Гравиметрический метод и развитие уровневых постов



Гравиметрический метод

- Система отсчёта высот — цифровая модель аномалии высоты.
- Исходные данные — сплошная гравиметрическая съёмка.

Гравиметрический метод и развитие уровневых постов



Гравиметрический метод

- Система отсчёта высот — цифровая модель аномалии высоты.
- Исходные данные — сплошная гравиметрическая съёмка.

Уровневые посты

- Изучение уровня морей — приложение единой высотной основы.
- Колокация с постоянно действующими спутниковыми пунктами.
- Для уравнивания нивелирной сети и привязки островов.

Трек № 1
(основной)

Модель аномалии высоты
(геоида, квазигеоида)

Практические приложения
Абсолютное спутниковое нивелирование

Структура современной системы отсчёта высот

Трек № 1
(основной)

Модель аномалии высоты
(геоида, квазигеоида)

Практические приложения
Абсолютное спутниковое нивелирование

Трек № 2
(специальный)

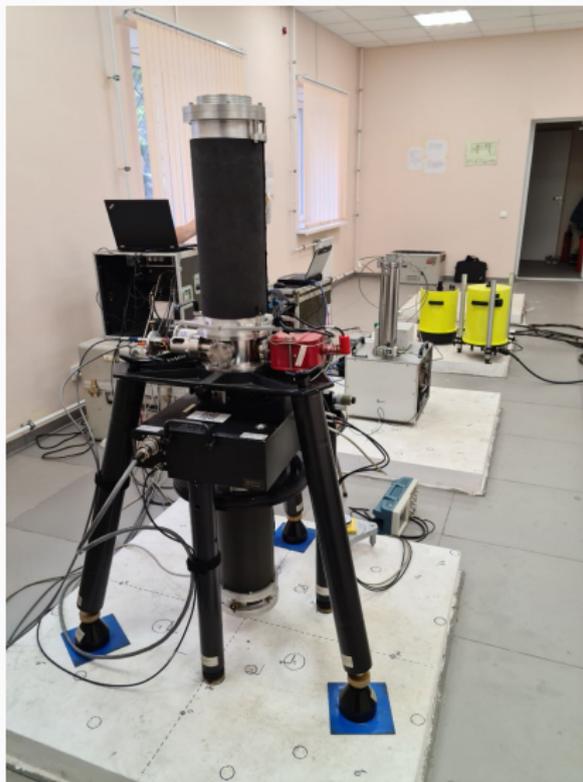
Модель аномалии высоты
(геоида, квазигеоида)

Исходные пункты нивелирной сети
Колокация со спутниковыми сетями

Государственная нивелирная сеть

Локальные высокоточные приложения
геометрического нивелирования

Структура современной гравиметрической системы отсчёта



Сравнения абсолютных гравиметров



Абсолютные гравиметры

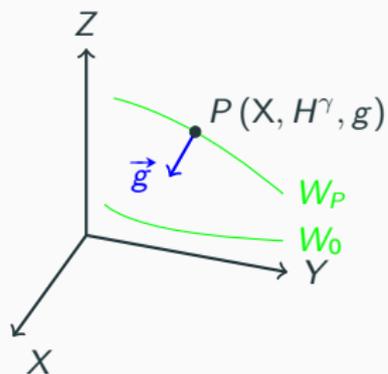


Непрерывно действующие
гравиметрические пункты



Абсолютные измерения
на гравиметрических пунктах

Государственные геодезические системы отсчёта



X

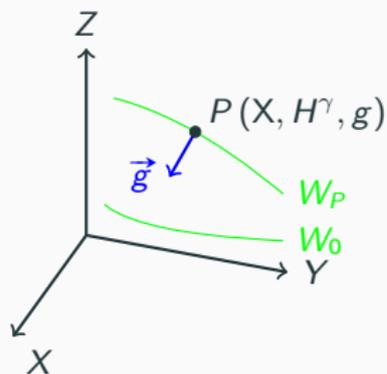
Координаты в геодезической системе
координат 2011 года (ГСК–2011)

H^γ

Физическая высота в Балтийской
системе высот 1977 года (БСВ–77)

g

Сила тяжести в гравиметрической
системе 1971 года (IGSN 71)



X

Координаты в геодезической системе координат 2011 года (ГСК–2011)

H^γ

Физическая высота в Балтийской системе высот 1977 года (БСВ–77)

g

Сила тяжести в гравиметрической системе 1971 года (IGSN 71)

- **Устаревшие** — имеют критические систематические ошибки и/или расхождения между определением и реализацией.
- **Статические** — не подходят для точных приложений.
- Накопились неучтённые **новые измерения**.
- **Не согласованы** между собой и глобально, нет прослеживаемой связи.

