



Состояние и перспективы использования международной земной системы отсчёта ITRS и её отсчётной основы ITRF и на их основе технологии PPP в российской маркшейдерии

Вдовин В.С.

Главный специалист ИТПЗ РАН

Член Центрального совета Союза маркшейдеров России

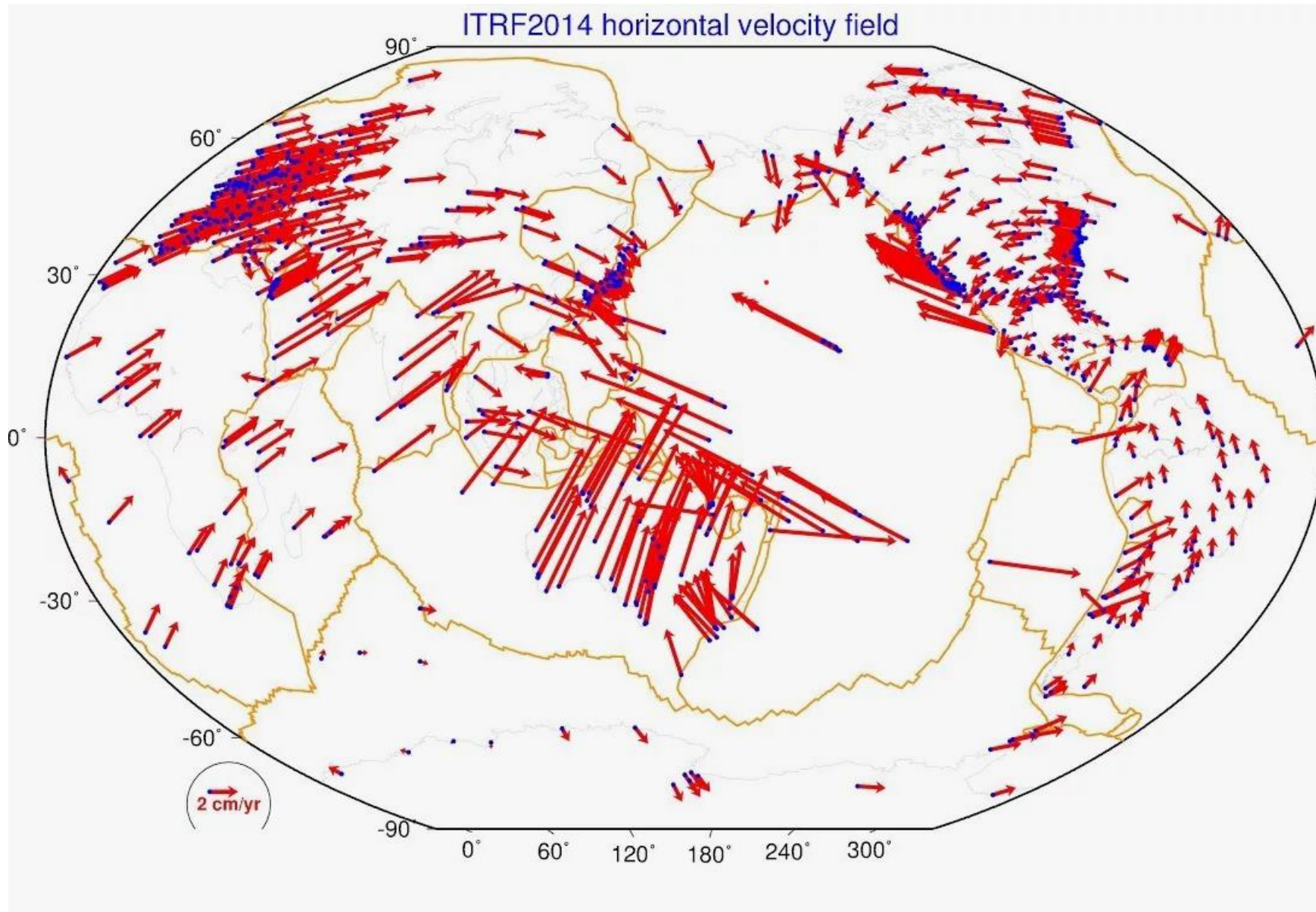
vdo-vladimir@yandex.ru

t.me/VVS19582025

Содержание

1. Общее описание ITRS/ITRF.
2. Современное место ITRS/ITRF в российской геодезии и не только в ней (от ФЗ 431-ФЗ и ниже).
3. Стандарт ISO 19111:2019 - революция в теории мировой геодезии и не только в ней.
4. ГОСТ 70846.16-2024 – первый шаг по внедрению стандарта ISO 19111:2019 в России.
5. Стандарт ISO 19161-1:2020 - практическое руководство для перехода от теории динамической геодезии к практике.
6. Связь ITRS/ITRF с PPP.
7. Место ITRS/ITRF и PPP в российской маркшейдерии.
8. Первые шаги Союза маркшейдеров России по реализации ITRS/ITRF и PPP в российской маркшейдерии.
9. Дискуссия об измеримости геодезических координат.

1. Общее описание ITRS/ITRF



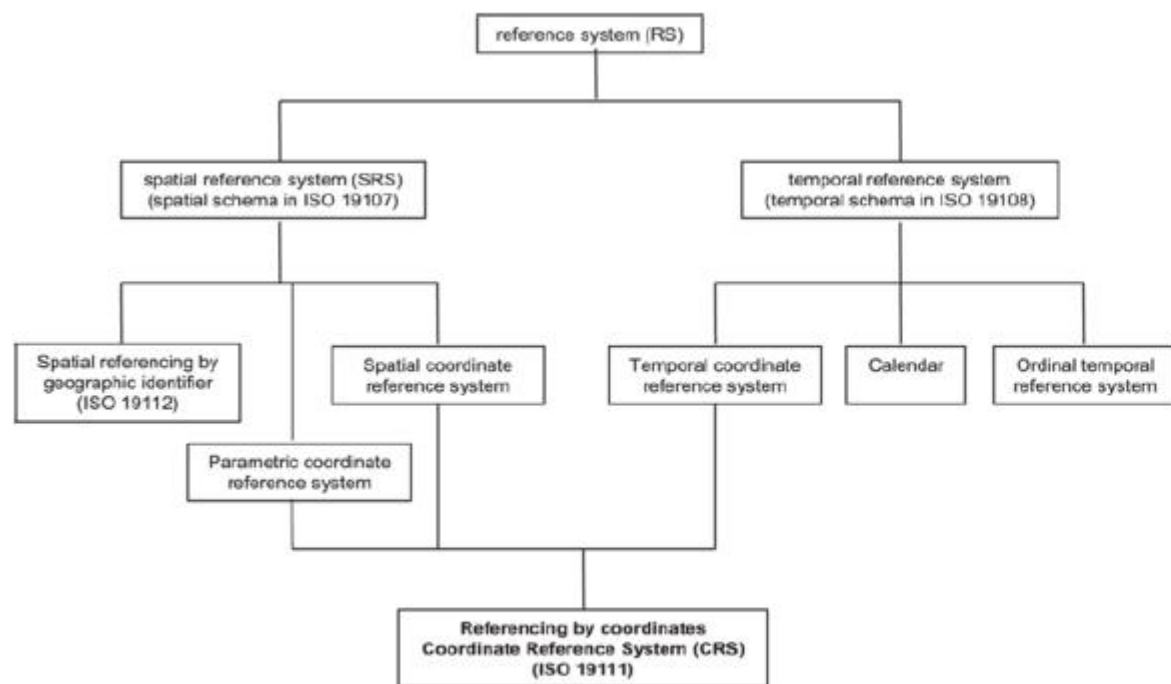
2. Современное место ITRS/ITRF в российской геодезии и не только в ней (от ФЗ 431-ФЗ и ниже)

1. В Федеральном законе от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных» закреплено понятие ***международной <геодезической> системы координат***.
2. К международным системам координат отнесены системы координат, использование которых предусмотрено международными договорами Российской Федерации, и системы координат зарубежных спутниковых навигационных систем.
3. Это даёт путь для использования ITRS/ITRF, однако наличие международного договора Российской Федерации по использованию ITRS/ITRF остаётся под вопросом.
4. По линии подзаконных нормативных актов Российской Федерации, и в частности в области государственной стандартизации, использование ITRS/ITRF установлено действующим в международным стандартом ***ISO 19161-1:2020*** «Географическая информация. Геодезические отсчёты. Часть 1: Международная земная система отсчёта (ITRS)» (Geographic information — Geodetic references — Part 1: International terrestrial reference system (ITRS)), зарегистрированном в Федеральном информационном фонде стандартов.

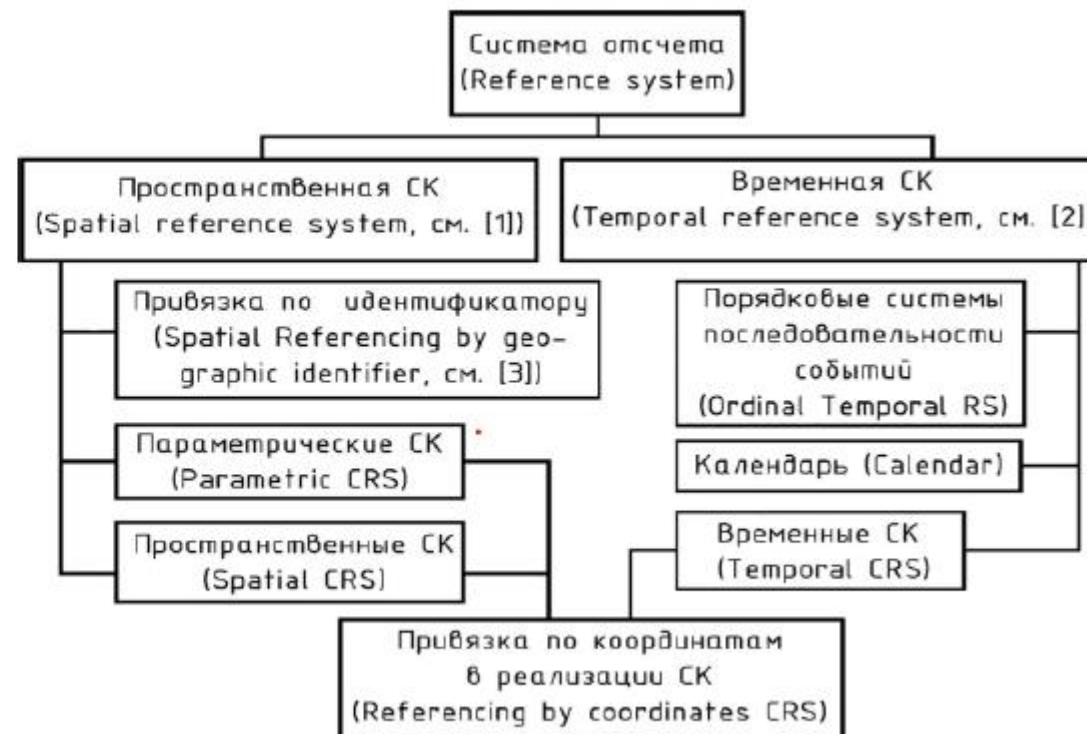
3. Стандарт ISO 19111:2019 - революция в теории мировой геодезии и не только в ней

1. В Российской Федерации действует также международный стандарт **ISO 19111:2019** «Географическая информация. Пространственная привязка по координатам» (Geographic information — Referencing by coordinates), который стал концептуальной революцией в мировой геодезии и связанных с ней научных и практических дисциплинах.
2. Главное нововведение стандарта ISO 19111:2019 — официальное признание и всестороннее описание понятия «**динамическая система координат**».
3. Стандарт определяет единую концептуальную схему для описания систем отсчёта координат (Coordinate Reference Systems, CRS), которая впервые позволила корректно работать с изменяющимися во времени координатами.
4. Стандарт ISO 19111:2019 разграничивает:
 - **Статические CRS**, где координаты опорных точек на поверхности Земли не меняются со временем.
 - **Динамические CRS**, где координаты опорных точек на поверхности Земли изменяются из-за тектоники геодинамических плит или других деформаций. Такие системы включают эволюцию во времени, оставаясь при этом пространственными по своей сути.
5. Стандарт ISO 19111:2019 заложил теоретический фундамент для перехода от статической трёхмерной модели Земли к четырёхмерной (пространство + время), что является критически важным в эпоху высокоточных спутниковых наблюдений.

4. ГОСТ 70846.16-2024 – первый шаг по внедрению стандарта ISO 19111:2019 в России



а) Context of referencing by coordinates



б) Элементы привязки по координатам

Схемы из ISO 19111-2019-01 (а) и ГОСТ Р 70846.16-2024 (б) с элементами привязки по координатам

5. Стандарт ISO 19161-1:2020 - практическое руководство для перехода от теории динамической геодезии к практике

1. Если стандарт ISO 19111:2019 даёт общую концепцию CRS, то стандарт ISO 19161-1:2020 является практическим руководством по внедрению ITRS/ITRF.
2. Этот стандарт детально описывает:
 - **Определение ITRS** в терминах, принятых международным научным сообществом.
 - **Категории реализаций ITRS**: первичная реализация (отсчётная основа ITRF), а также вторичные реализации, а именно, реализации, привязанные к ITRF (например, отсчётные основы конкретных ГНСС) .
 - **Процедуры доступа** к реализациям ITRS и их использования.
3. ISO 19161-1:2020 называют «краеугольным камнем» для специалистов в области геоинформационных систем и геодезии. Его внедрение обеспечивает:
 - **Глобальную согласованность** данных.
 - **Совместимость** различных систем и технологий.
 - **Высокую точность** позиционирования.
 - **Перспективность** — данные соответствуют последним мировым достижениям .
4. В ИТПЗ РАН стандарт ISO 19111:2019 в 2025 г. переведён на русский язык и ведётся работа по созданию стандарта организации (СТО) на базе стандарта ISO 19161-1:2019.
5. В 2026 г. ИТПЗ РАН включён в состав ТК 394 «Географическая информация/геоматика» Росстандарта, в котором работа с участием ИТПЗ РАН по дальнейшей стандартизации CRS, и в частности ITRS/ITRF, продолжится и активизируется. В частности, планируется войти во взаимодействие с другими ТК Росстандарта (ТК 363 «Радионавигация» и др.).

6. Связь ITRS/ITRF с PPP

1. PPP (Precise Point Positioning) - метод (и технология) обработки ГНСС-наблюдений (GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BDS) с одного приёмника, который позволяет определять координаты потребителя с сантиметровой точностью без использования базовых станций (БС).
2. Метод PPP в России принято называть методом высокоточных абсолютных местоопределений (ВАМО), однако термин PPP является международным и используется чаще.
3. Технология PPP неразрывно связана с ITRS/ITRF.
4. Принцип работы PPP заключается в использовании не стандартного широковеЩательного альманаха, а **точных эфемерид и поправок часов спутников**, которые поставляются Международной службой ГНСС IGS. Эти и другие исходные продукты, изначально привязаны к актуальной реализации ITRF.
5. Таким образом, результат обработки PPP (координаты потребителя) автоматически получается в актуальной реализации ITRF (например, ITRF2020) на эпоху наблюдений. Это даёт потребителю доступ к глобальной геодезической основе высшего качества непосредственно в поле или камерально, без необходимости создавать собственную развитую сеть референчных станций.

7. Место ITRS/ITRF и PPP в российской маркшейдерии

1. Внедрение ITRS/ITRF и технологии PPP в российскую маркшейдерию находится на начальном, но перспективном этапе. Это обусловлено как развитием нормативной базы, так и техническими потребностями отрасли.

2. Текущее состояние: В настоящий момент маркшейдерские работы в России выполняются преимущественно в местных системах координат (МСК) или в государственной системе координат ГСК-2011. Использование ITRS/ITRF напрямую нормативно не закреплено для рутинных задач, таких как подсчёт запасов или ведение горной графической документации.

3. Перспективы использования: Международные стандарты ISO 19111:2019, ISO 19161-1:2020, ГОСТ Р 70846.16-2024 создают предпосылки для легитимного использования динамических систем отсчёта. Применение связки ITRF + PPP открывает для маркшейдерии следующие возможности:

- Создание высокоточной опорной маркшейдерской сети на горизонте работ:

Маркшейдеры на удалённых и труднодоступных месторождениях (например, в Сибири или на Крайнем Севере) смогут с помощью PPP-наблюдений (статика длительностью от нескольких часов до суток) определить координаты пунктов с сантиметровой точностью непосредственно в ITRF. Это позволит создать локальную опорную сеть, жёстко привязанную к глобальному геодезическому каркасу, минуя затратную процедуру построения сети от удалённых пунктов государственной геодезической сети (ГГС).

- Контроль деформаций и сдвижений горных пород:

Геодинимический мониторинг на крупных месторождениях полезных ископаемых (особенно на нефтегазовых и рудных) требует знания не только координат, но и скоростей их изменения. Использование ITRF, как динамической основы, идеально подходит для этой задачи. Регулярные сессии PPP-наблюдений на одних и тех же реперах позволят вычислять их скорости и выявлять опасные деформации земной поверхности, вызванные отработкой месторождения, с высокой достоверностью. Это критически важно для безопасной отработки запасов под застроенными территориями и водными объектами.

- Интеграция с навигационными системами горной техники:

Современные системы позиционирования бульдозеров, экскаваторов и буровых станков используют ГНСС-приёмники. Переход на технологию PPP (особенно PPP-RTK) позволит обеспечить сантиметровую точность управления техникой в режиме реального времени без необходимости разворачивать и обслуживать собственную сеть базовых станций на карьере. Это особенно актуально для стадий разведки и добычи, где требуется точное выдерживание проектных контуров.

Трансформирование координат:

Наличие точных координат опорных пунктов в ITRF позволит с высокой достоверностью определять параметры связи (трансформирования) между ITRF и местными системами координат (МСК) или ГСК-2011. Это обеспечит надёжный пересчёт всех маркшейдерских данных (границ горных отводов, подсчётных блоков, отвалов) в единую современную систему.

4. Выводы:

1. Перспективы использования ITRS/ITRF и PPP в российской маркшейдерии напрямую связаны с внедрением современных стандартов ISO 19111:2019, ISO 19161-1:2020, ГОСТ Р 70846.16-2024 и развитием технологий.

2. Несмотря на текущее доминирование статических систем, потребности в точности, оперативности и безопасности горных работ будут стимулировать переход к использованию динамических глобальных систем отсчёта и методов точного позиционирования, таких как PPP.

3. Ключевой задачей остаётся разработка методических рекомендаций по применению этих технологий для решения конкретных маркшейдерских задач.

8. Первые шаги Союза маркшейдеров России по реализации ITRS/ITRF и PPP в российской маркшейдерии

8.1. Полигон геопространственных технологий «Быково»



1. *Полигон маркшейдерский пространственный высокоточный «ПМПВ-Быково».*
2. Полигон гидрографических технологий «Быково».
3. Полигон беспилотной авиации «Быково».
4. Полигон для геопозиционирования дорожной техники «Быково».
5. Полигон сканирующих систем «Быково».

8.2. Полигон маркшейдерский пространственный высокоточный «ПМПВ-Быково»

УТВЕРЖДАЮ

Вице-президент
Союза маркшейдеров России

В.В. Гришков

«23» сентября 2025 г.

ПАСПОРТ

ПОЛИГОН МАРКШЕЙДЕРСКИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ВЫСОКОТОЧНЫЙ
«ПМПВ-БЫКОВО»
СМР.1-2025 П

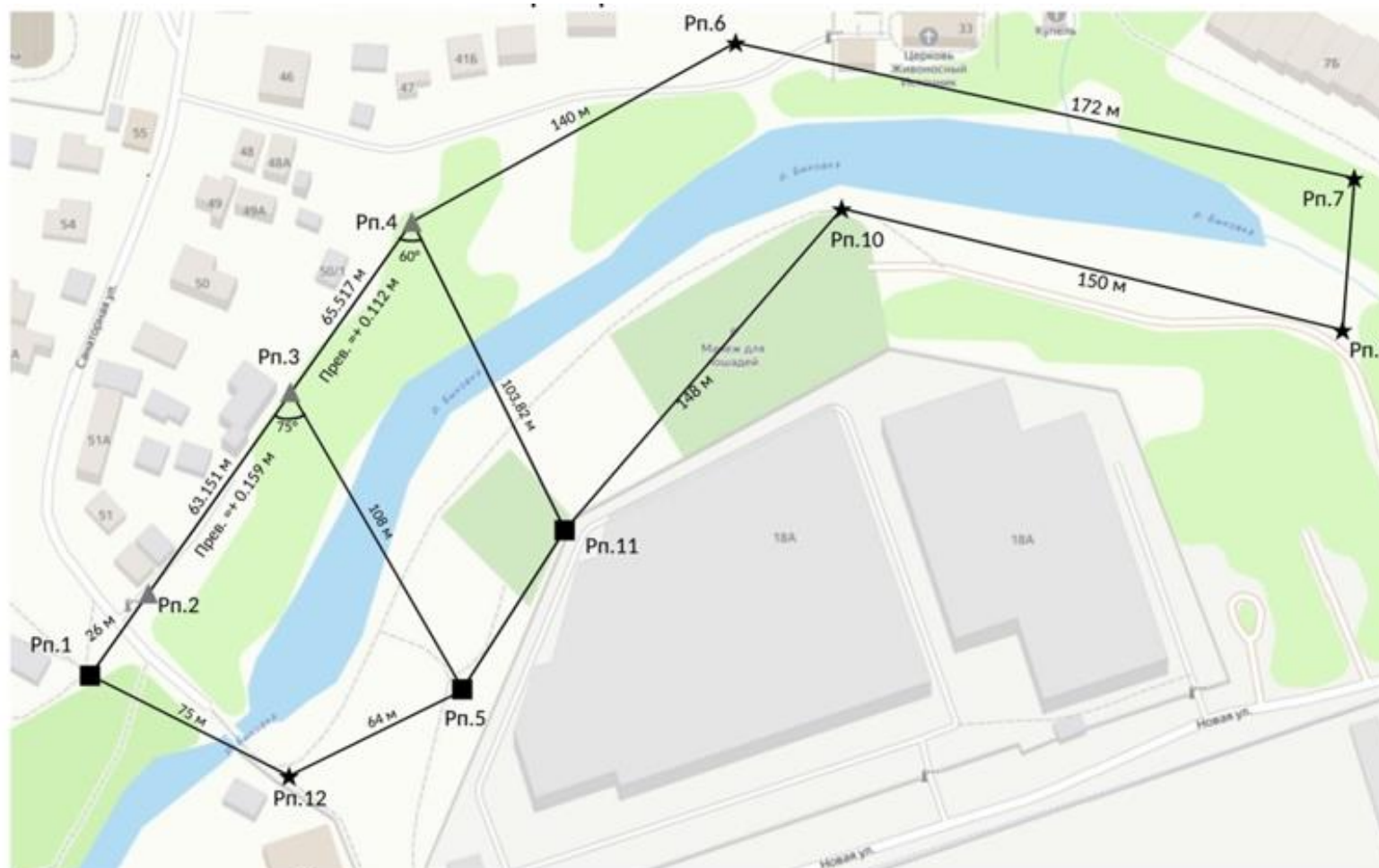
Часть 1

Инфраструктура для проверок точностных характеристик
навигационной аппаратуры потребителя
СМР.1-2025 П-1

Член Центрального совета
Союза маркшейдеров России

В.С. Вдовин

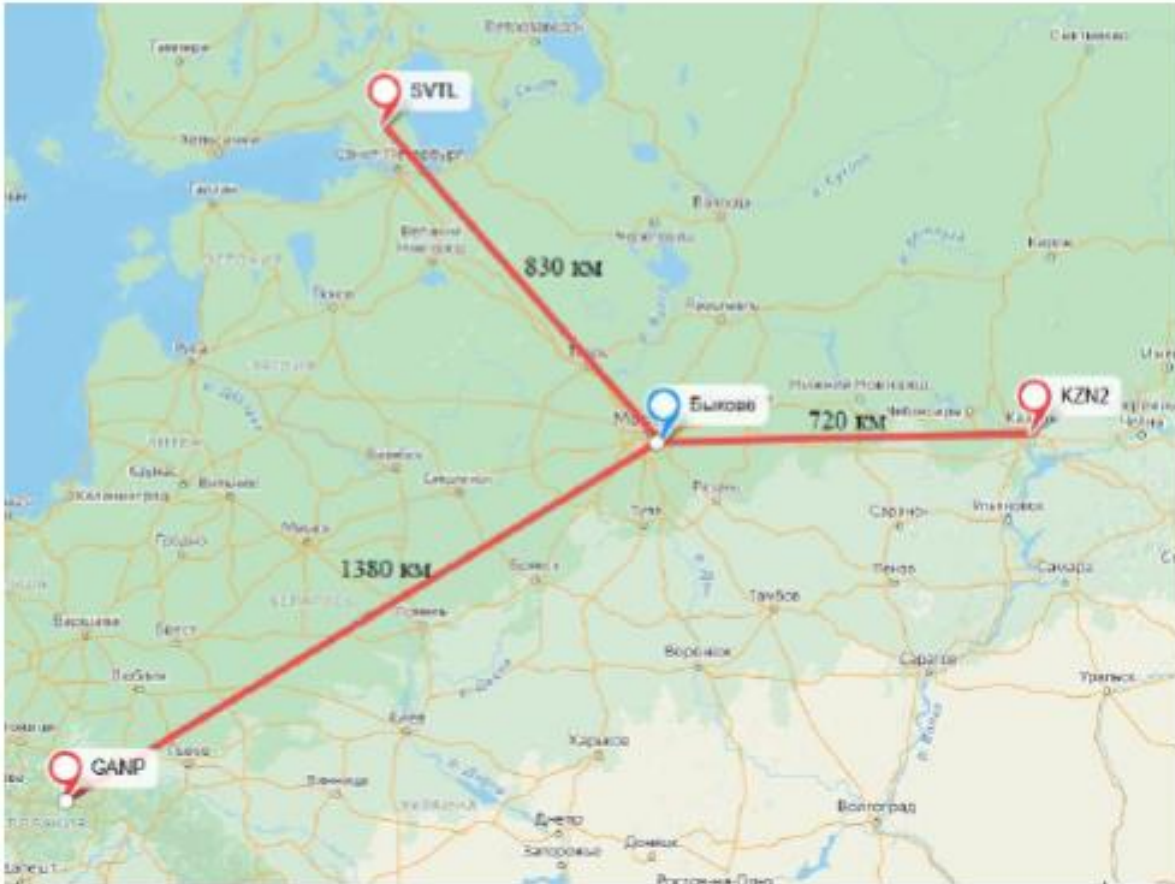
«23» сентября 2025 г.



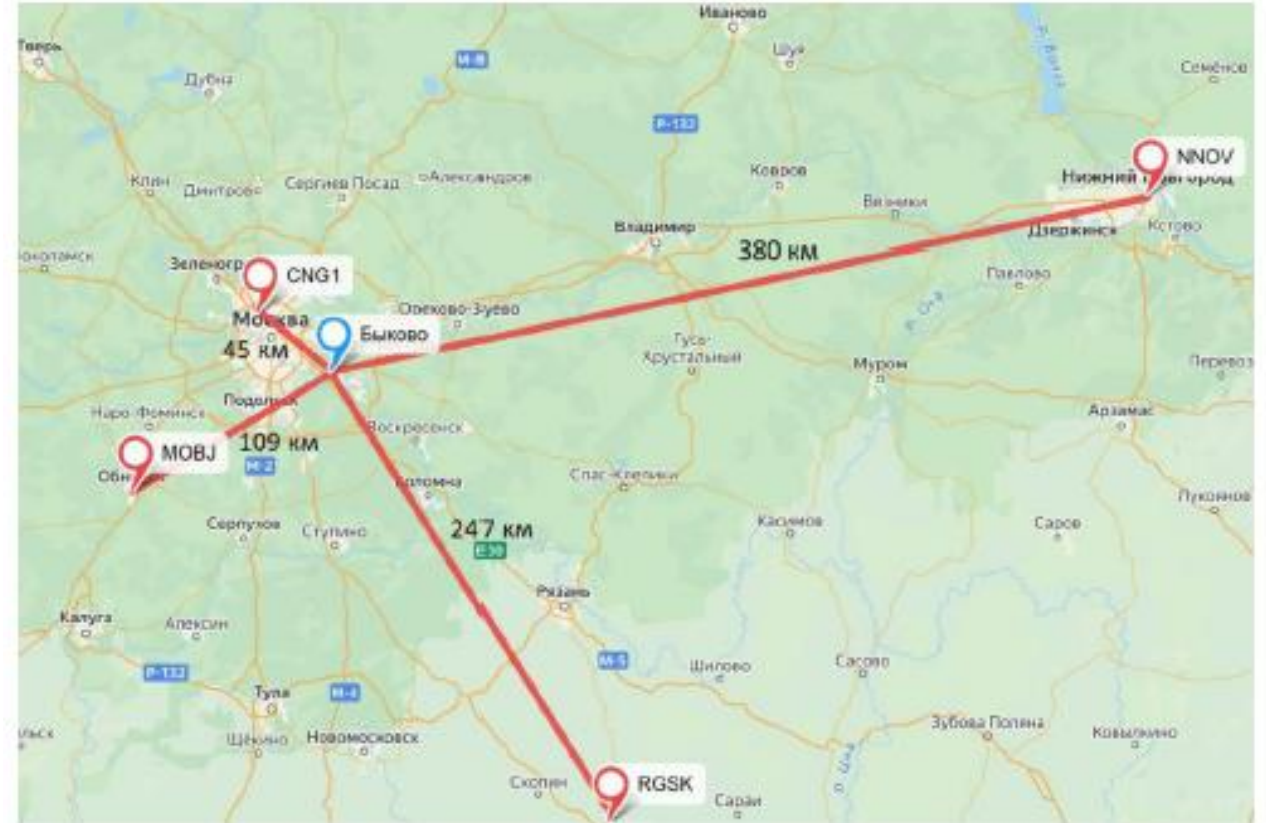
- - репер тип 150 с высотой 1,5 м над землей
- ▲ - репер с принудительным центрированием
- ★ - репер тип 150

8.2. Полигон маркшейдерский пространственный высокоточный «ПМПВ-Быково»

ПУНКТЫ IGS



ПУНКТЫ ФАГС



8.2. Полигон маркшейдерский пространственный высокоточный «ПМПВ-Быково»

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПМПВ-БЫКОВО

Таблица 1 - Координаты ОП в ITRF-2020 на эпоху 01.09.2025(2025.668)

№	Геоцентрические координаты ¹ (X,Y,Z), м			Геодезические координаты ² (B,L,H) (B,L), град; H ³ , м			Прямоугольные координаты на плоскости ⁴ (x,y), м		СКЗ ⁵ , м
	X	Y	Z	B	L	H	x (northing)	y (easting)	
Рп.1	2843146.6467	2226140.4221	5240040.0182	55°36'30.07267"	38°03'37.44648"	127.1016	6162892.3048	37440809.0471	0.0018
Рп.2	2843190.4062	2226047.7476	5240057.4041	55°36'30.99528"	38°03'31.73739"	128.6394	6162922.1780	37440709.5342	0.0010
Рп.3	2843134.4044	2226050.6271	5240086.4298	55°36'32.65457"	38°03'33.83897"	128.6878	6162972.9723	37440747.0030	0.0011
Рп.4 ⁶	2843076.3950	2226053.7108	5240116.7028	55°36'34.37545"	38°03'36.02048"	128.9444	6163025.6519	37440785.8953	0.0003
Рп.5	2843211.6638	2226046.6157	5240046.3366	55°36'30.36516"	38°03'30.93792"	128.5666	6162902.8891	37440695.2807	0.0020
Рп.6	2842972.7141	2226103.6404	5240151.8395	55°36'36.37403"	38°03'41.91744"	129.2168	6163086.0371	37440889.9142	0.0018
Рп.7	2842871.7828	2226294.1881	5240125.1429	55°36'34.87219"	38°03'54.04203"	128.6569	6163036.7492	37441101.4396	0.0023
Рп.9	2842914.0329	2226285.4073	5240101.8243	55°36'33.70320"	38°03'52.15910"	125.1449	6163001.0567	37441068.0057	0.0018
Рп.10	2843014.3734	2226138.8612	5240110.6733	55°36'34.16762"	38°03'42.03441"	126.0371	6163017.8039	37440891.0390	0.0023
Рп.11	2843112.4287	2226138.8692	5240059.2863	55°36'31.16899"	38°03'38.58163"	127.2429	6162925.9259	37440829.3688	0.0017
Рп.12	2843205.4707	2226111.1704	5240018.9672	55°36'28.93355"	38°03'34.05942"	125.7060	6162857.8943	37440749.3021	0.0019

Таблица 2 – Разности координат (векторы) ОП и базисы Рп.4-(Рп.1... Рп.12) в ITRF-2020 на эпоху 01.09.2025(2025.668)

Линия	В геоцентрических координатах (X,Y,Z), м				В геодезических координатах (B,L,H) (B,L)"; H, м			В прямоугольных координатах на плоскости (x,y), м	
	ΔX	ΔY	ΔZ	D^7	$\Delta B''$	$\Delta L''$	ΔH	$\Delta x (\Delta northing)$	$\Delta y (\Delta easting)$
Рп.4-Рп.1	-70.2517	-86.7113	76.6846	135.4056	4.30278	-1.42600	1.8428	133.3471	-23.1518
Рп.4-Рп.2	-114.0112	5.9632	59.2987	128.6485	3.38017	4.28309	0.3050	103.4739	76.3611
Рп.4-Рп.3	-58.0094	3.0837	30.2730	65.50614	1.72088	2.18151	0.2566	52.6796	38.8923
Рп.4-Рп.4	0	0	0	0	0.00000	0.00000	0	0	0
Рп.4-Рп.5	-135.2688	7.0951	70.3662	152.6414	4.01029	5.08256	0.3778	122.7628	90.6146
Рп.4-Рп.6	103.6809	-49.9296	-35.1367	120.3216	-1.99858	-5.89696	-0.2724	-60.3852	-104.0189
Рп.4-Рп.7	204.6122	-240.4773	-8.4401	315.8587	-0.49674	-18.02155	0.2875	-11.0973	-315.5443
Рп.4-Рп.9	162.3621	-231.6965	14.8785	283.3127	0.67225	-16.13862	3.7995	24.5952	-282.1104
Рп.4-Рп.10	62.0216	-85.1504	6.0295	105.5160	0.20783	-6.01393	2.9073	7.8480	-105.1437
Рп.4-Рп.11	-36.0337	-85.1584	57.4165	108.8441	3.20646	-2.56115	1.7015	99.7260	-43.4735
Рп.4-Рп.12	-129.0757	-57.4596	97.7356	171.7975	5.44190	1.96106	3.2384	167.7576	36.5932

9. Дискуссия об измеримости геодезических координат

9.1. Исходные предпосылки

9.2. Физическая сущность геоцентрических координат в системе Земля.

9.3. Роль фундаментальной геодинамики в создании динамических земных систем отсчёта и их отсчётных основ и их использовании в метрологическом обеспечении деятельности в области координатно-временных и навигационных определений.

9.3.1. Фундаментальная геодинамика и системы координат.

9.3.2. Понятийная связь геодинамики с метрологией.

9.4. Краткое описание космических миссий GRACE, GRACE-FO, GENESIS и их роли в геодинاميке и метрологии системы Земля.

9.1. Исходные предпосылки

К дискутируемым вопросам относятся в т.ч. два главных вопроса:

- Геоцентрические координаты (X,Y,Z) , определяемые в НАП, – это измеряемая физическая величина (далее - ФВ) или нет?
- НАП – это средство измерения (СИ) или нет?

Напрашиваются ответы:

- (X,Y,Z) – это математический параметр (вектор), а не ФВ, только потому, что все известные международной системе единиц SI ([фр.](#) *Système international d'unités*) ФВ выражаются одним числом, являющимся единицей ФВ, а (X,Y,Z) – это трёхмерный вектор в декартовом пространстве, характеризующий положение точки в этом пространстве относительно начала $\emptyset$ выбранной системы координат;
- НАП - это не СИ, т.к., во-первых, НАП не измеряет, а определяет (вычисляет) по первичным измерениям времени и/или частоты координаты (X,Y,Z) (см. [1,2]), а во-вторых, НАП определяет не ФВ, а математические векторы (X,Y,Z) .

Однако, учитывая, что современная российская метрология на оба вопроса ответила противоположно нашим ответам, и широкая практика присвоения НАП, и даже локальным геодезическим спутниковым сетям, типа СИ и их поверок существует, СМР открыты дискуссия по поставленным вопросам.

9.2. Физическая сущность геоцентрических координат в системе Земля

Планету Земля в фундаментальных науках о Земле всё чаще называют «система Земля», т.к. Земля действительно является сложной физической системой, развитие которой происходит по многим, но строгим, законам.

Геоцентрические координаты (X,Y,Z) точки (объекта) в системе Земля - суть земные координаты, к которым относятся также геодезические координаты (B,L,H) и плоские прямоугольные координаты (x,y) .

В ГНСС-навигации непосредственно определяемыми являются координаты (X,Y,Z) . Эквивалентные координатам (X,Y,Z) координаты (B,L,H) и (x,y) затем вычисляются по (X,Y,Z) методом преобразования координат (об этом будет сказано ниже).

Координаты (X,Y,Z) являются трёхмерным вектором в декартовом пространстве, но в настоящее время не только теория, но и практика использует расширенное понятие (X,Y,Z) , а именно, когда положение точки фиксируется не в евклидовом пространстве, а в физическом континууме «Пространство-Время» (далее - КПВ), поэтому даже неподвижные точки местности на Земле характеризуются четвёртой координатой – моментом времени T определения координат (X,Y,Z) , и координаты в КПВ записываются в виде (X,Y,Z,T) .

Введению понятия КПВ и началу его продолжающегося научного анализа уже более 100 лет (теория относительности Эйнштейна), но его практической реализацией, имеющей прямое отношение к российской навигации, геодезии и метрологии, стало принятие следующих нормативно-технических документов:

1. ГОСТ Р 8.699-2010, в котором в качестве опорного (исходного) эталона, воспроизводящего шкалу ITRS, определена «совокупность пространственных реперов (мер) местоположения на Земле – опорных станций, представленных в ITRF <в ГОСТ опечатка - ICRF> с приписанными декартовыми координатами». ГОСТ Р 8.699-2010 принципиально важен как системообразующий документ, но не решает проблему метрологического обеспечения координатных определений, в том числе с использованием НАП, ни на фундаментальном, ни на прикладном уровнях, по причинам, указанным выше и ниже.

2. Международного стандарта ISO 19111:2019 и ГОСТ Р 70846.16-2024.

ГОСТ Р 8.699-2010 и ГОСТ Р 70846.16-2024 только частично решают проблему как использования «эталонных» земных и небесных систем координат, земных и небесных систем отсчёта координат, земных и небесных отсчётных основ, так и метрологического обеспечения координатных определений в РФ. Однако их нормы имеют ключевое значение для решения проблемы как метрологического обеспечения деятельности в области координатно-временных и навигационных определений в целом, так и в роли фундаментальной геодинамики в создании динамических и статических земных систем отсчёта и их отсчётных основ (датумов) и их использовании в метрологическом обеспечении деятельности в области координатно-временных и навигационных определений.

Ключевыми нормами стандарта ISO 19111:2019 и ГОСТ Р 70846.16-2024 являются введённые в них понятия пространственных систем отсчёта координат, англ., spatial coordinate reference systems (SCRS) двух видов, а именно, в которых значения координат точек на поверхности Земли или вблизи неё меняются со временем из-за движения тектонических плит или других деформаций (движений) земной коры (ДЗК), и в которых значения координат точек не меняются со временем. SCRS первого вида дано название «динамические системы отсчёта координат», англ. dynamic coordinate reference system (DCRS), а SCRS второго вида – «статические системы отсчёта координат» англ. static coordinate reference system (SCRS).

Таким образом, геодинамика не только на теоретическом уровне, но и на практике, через ГОСТы и стандарты ИСО, становится ключевым звеном в создании, поддержании и развитии динамических и статических земных систем отсчёта и их отсчётных основ и их использовании в метрологическом обеспечении деятельности в области координатно-временных и навигационных определений, в т.ч. при оценке точности НАП.

9.3. Роль фундаментальной геодинамики в создании динамических земных систем отсчёта и их отсчётных основ и их использовании в метрологическом обеспечении деятельности в области координатно-временных и навигационных определений

А) ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ГЕОДИНАМИКА И СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Исследования движений земной коры, являющихся ключевым элементом DCRS, являются одной из важнейших исследовательских задач фундаментальных наук о Земле. Таким образом современная геодезия и метрология в области земных координат напрямую связаны с фундаментальными исследованиями в области геодинамики. Геодезия в силу указанных причин стала динамической.

Б) ПОНЯТИЙНАЯ СВЯЗЬ ГЕОДИНАМИКИ С МЕТРОЛОГИЕЙ

Метрология - это наука об измерениях. В контексте современных координатных определений её задача - обеспечить единство не измерений, а определений (вычислений) изменяющихся во времени земных координат, то есть обеспечить, чтобы земные координаты, определённые (вычисленные) в разных точках Земли, в разное время и разными методами, были сопоставимы и имели нормированную точность.

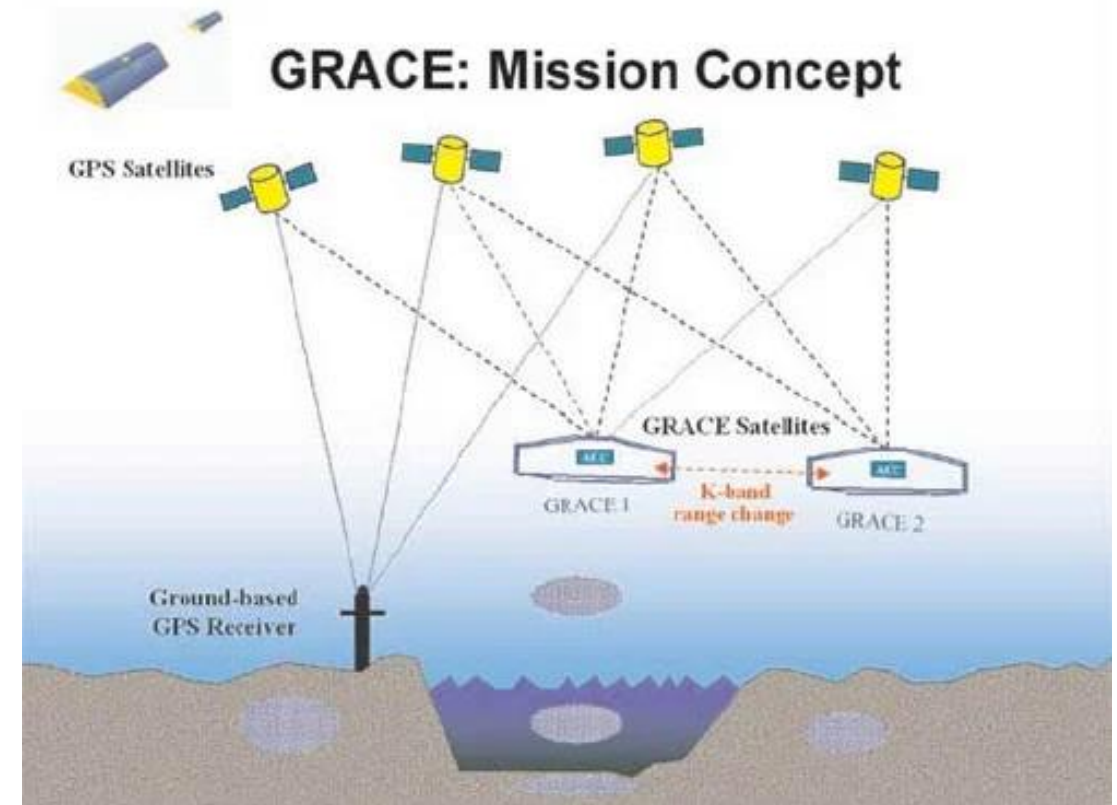
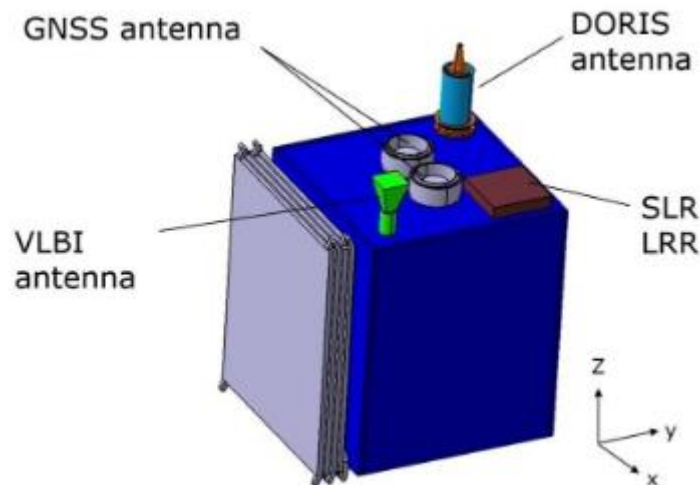
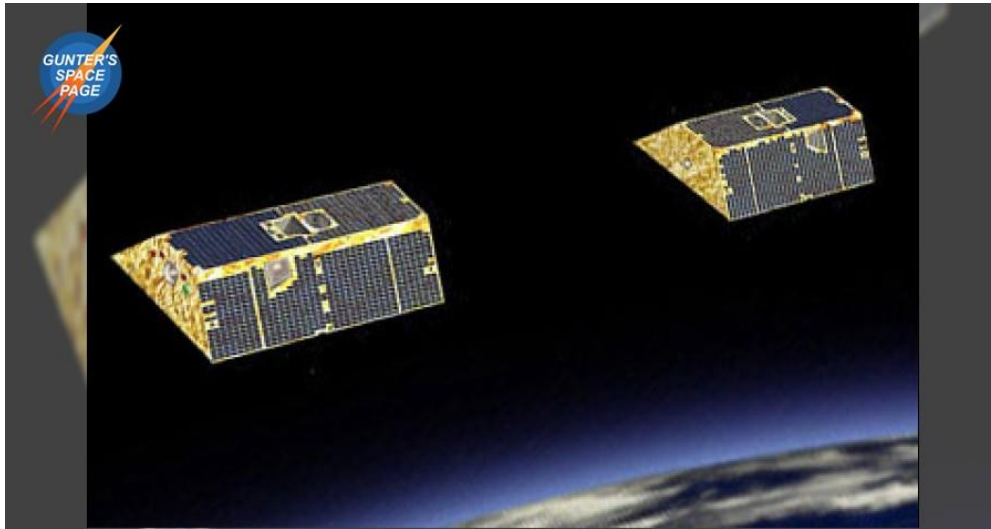
Здесь связь геодинамики и метрологии может быть только понятийной, но эта связь прямая, заключается в следующем и имеет следующие ограничения:

- Фактически ITRF является современным международным эталоном земных координат (что и отмечено в ГОСТ ГОСТ Р 8.699-2010). Однако применять к такому эталону стандартные правила оформления его как классического метрологического эталона с разработкой поверочных схем и введением межповерочных интервалов не только юридически неправомерно, но и ненаучно, что было показано выше.

- Данные фундаментальных геодинимических исследований (включая данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса) используются для регулярной верификации и уточнения самой ITRF и моделей, которые в неё заложены.

В) ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ГЕОДИНАМИКИ И ГЕОДЕЗИИ НА ПОНЯТИЙНОМ УРОВНЕ НАПРЯМУЮ СВЯЗАНЫ С СОВРЕМЕННОЙ МЕТРОЛОГИЕЙ В ОБЛАСТИ ЗЕМНЫХ КООРДИНАТ. Подтверждением этому являются такие международные проекты как космические миссии GRACE, GRACE-FO, GENESIS и некоторые другие. Эти проекты - наглядное подтверждение симбиоза фундаментальной науки и прикладной метрологии.

9.4. Краткое описание космических миссий GRACE, GRACE-FO, GENESIS и их роли в геодинاميке и метрологии системы Земля.



СПАСИБО!

vdo-vladimir@yandex.ru

t.me/VVS19582025