



CURRENT STATUS OF THE GLONASS TERRESTRIAL REFERENCE FRAME

Speaker: Igor Gusev, Ph.D

*Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, JSC TSNIIIMASH,
Roscosmos State Space Corporation*

SIXTEENTH MEETING OF THE INTERNATIONAL COMMITTEE
ON GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

ICG-16

9 – 14 October 2022
Abu Dhabi, the United Arab Emirates

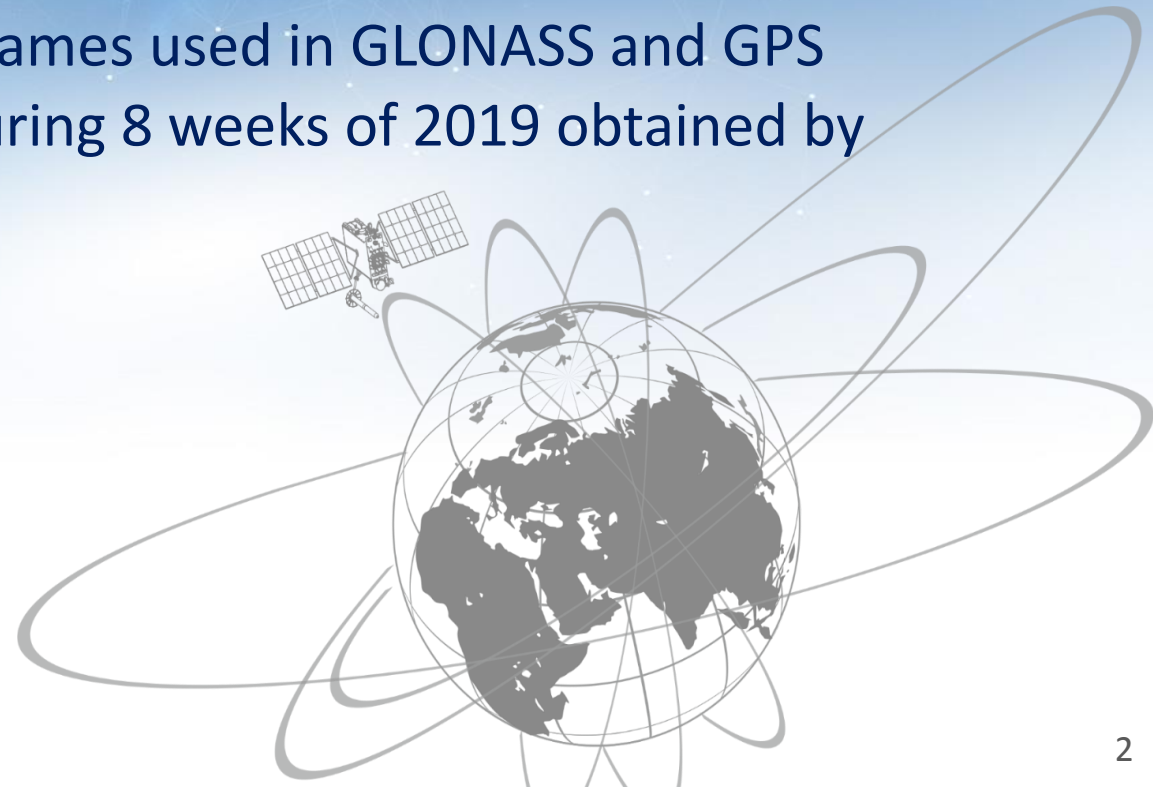
Agenda



- **Part I:** PZ-90.11 reference frame evolution on the territory of the Russian Federation
- **Part II:** Compatibility assessment of the GNSS-broadcast terrestrial reference frames (TRF) based on the orbital data processing
- **Part III:** Compatibility of terrestrial reference frames used in GLONASS and GPS broadcast messages compatibility estimates during 8 weeks of 2019 obtained by NGA (USA) and IAC PNT (Russia)

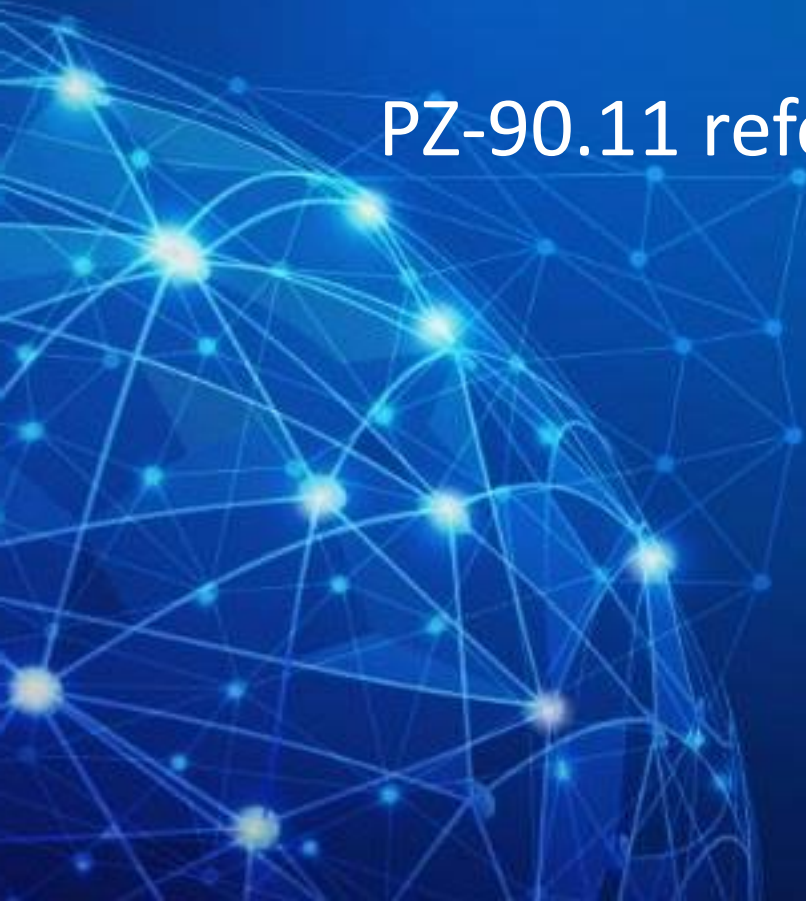


International Committee on
Global Navigation Satellite Systems



Part I

PZ-90.11 reference frame evolution on the territory
of the Russian Federation



State reference systems in the Russian Federation



Parameter	GSK-2011	PZ-90.11
Use	For geodetic survey and mapping	For geodetic support of orbital missions and navigation
Coverage of reference frame	Regional (National)	Global
Epoch	01.01.2011	01.01.2010
Geocentric gravitational constant (km^3/s^2) (Including the atmosphere)	398 600,4415	398 600,4418
Nominal mean Earth's angular velocity (rad/s)	$7,292\ 115 \times 10^{-5}$	$7,292\ 115 \times 10^{-5}$
Equatorial radius of the Earth's ellipsoid (m)	6 378 136,5	6 378 136,0
Flattening factor of the Earth's ellipsoid	1/298,2564151	1/298,25784
Reference station network	State Geodetic Network (BAGN)	Space Geodetic Network (SGN)
The number of Reference Stations	47	9

Progress of the PZ-90.11 terrestrial reference frame in the Russian Federation



- ✓ 47 reference stations (BAGN - basic astronomical geodetic network) were included in PZ-90.11.
- ✓ BAGN stations are used in both reference systems.
- ✓ Now PZ-90.11 reference frame is based on 56 ground stations in the Russian Federation.
- ✓ The construction of new BAGN reference stations is carried out in accordance with IGS technical requirements.

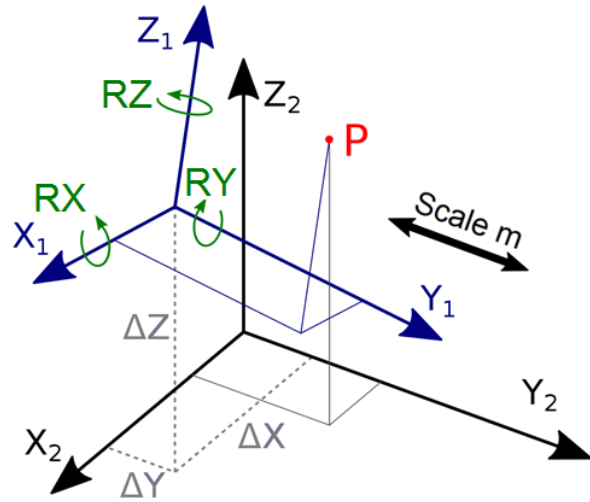
Part II

Compatibility assessment of the GNSS-broadcast terrestrial reference frames based on the orbital data processing

Data series used for transformation parameters determination



TRFs' transformation parameters determination. Mathematical formalism



$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ are 3 translation parameters specified the TRF-origin
 RX, RY, RZ are 3 rotation angles specified the TRF-orientation
 m is a scale parameter

Units for all 7 parameters are **cm**.

Rotation angles and scale were converted at the Mean Earth Radius

$R_e = 6\,371\,000.0$ m

1 milli arc second (mas) = 10^{-3} arc second

1 mas = 3.09 cm at R_e

1 part per billion (ppb) = 10^{-9}

1 ppb = 0.64 cm at R_e

Daily Solution $x_i = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, RX, RY, RZ \text{ or } m)_i$.

Mean value was averaged over year $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$,

n – the number of used daily solutions.

The Root of the Sum of Squares is

$$RSS_7 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2 + \omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2 + m^2}$$

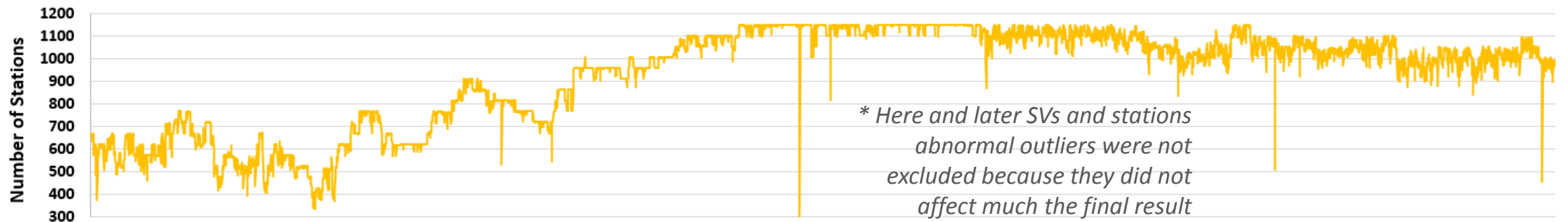
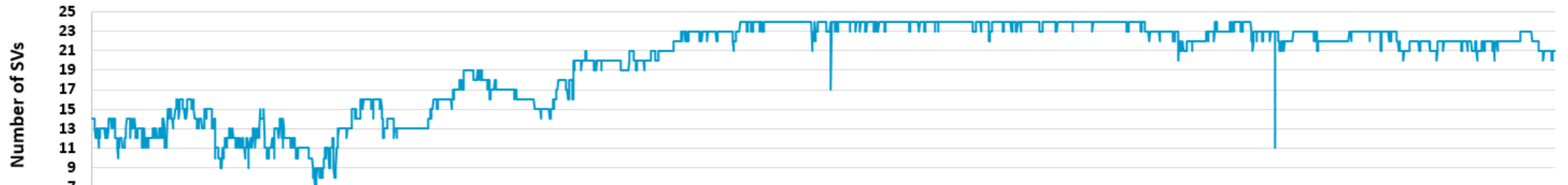
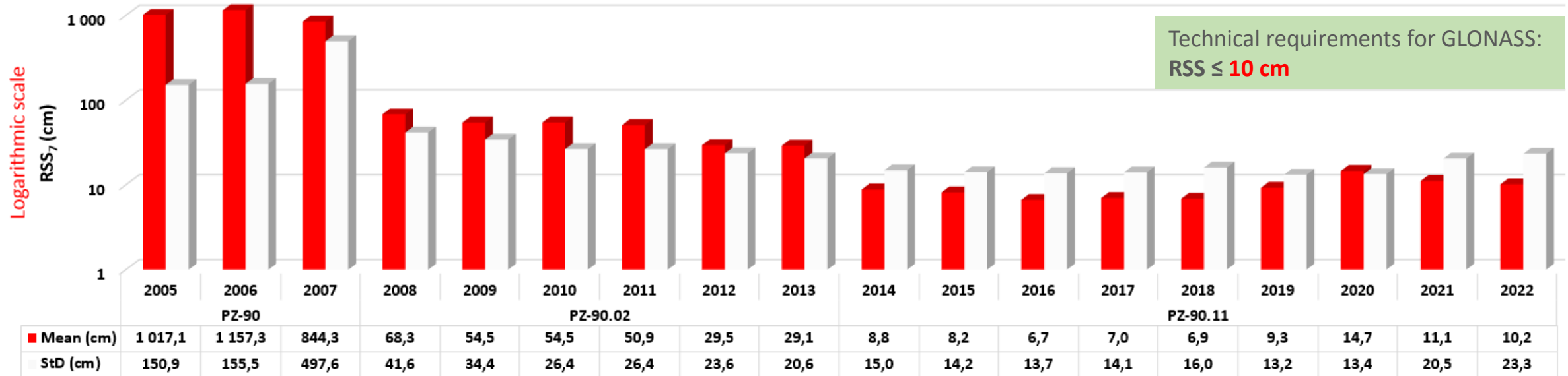
Standard Deviation is $StD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

Helmert transformation parameters between PZ-90 & ITRF obtained from the GLONASS orbital data processed by IAC PNT



TRF	Year	Number of solutions	Value	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	$RX \times 10^{-6}$ (rad)	$RY \times 10^{-6}$ (rad)	$RZ \times 10^{-6}$ (rad)	Scale (ppb)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	RX (cm)	RY (cm)	RZ (cm)	Scale (cm)	RSS ₇ (cm)
PZ-90	2005	171	Mean	-0,003	0,006	-0,683	0,146	0,055	-1,585	2,202	-0,3	0,6	-68,3	93,1	35,2	-1009,9	1,4	1017,1
			StD	0,095	0,093	0,708	0,077	0,122	0,150	2,065	9,5	9,3	70,8	49,2	77,5	95,6	1,3	150,9
	2006	365	Mean	0,000	-0,004	-0,754	-0,032	-0,023	-1,812	1,673	0,0	-0,4	-75,4	-20,3	-14,9	-1154,6	1,1	1157,3
			StD	0,088	0,095	0,736	0,105	0,133	0,131	2,827	8,8	9,5	73,6	66,9	84,6	83,3	1,8	155,5
	2007	365	Mean	-0,001	0,013	-0,398	-0,003	-0,001	-1,324	1,048	-0,1	1,3	-39,8	-1,8	-0,7	-843,3	0,7	844,3
			StD	0,113	0,117	0,472	0,029	0,038	0,776	3,100	11,3	11,7	47,2	18,3	24,2	494,1	2,0	497,6
PZ-90.02	2008	366	Mean	0,001	-0,006	0,252	0,000	0,001	-0,100	1,179	0,1	-0,6	25,2	0,2	0,9	-63,5	0,8	68,3
			StD	0,056	0,059	0,188	0,016	0,016	0,052	3,067	5,6	5,9	18,8	10,5	10,1	33,0	2,0	41,6
	2009	365	Mean	0,002	-0,009	0,197	-0,001	0,000	-0,079	-5,675	0,2	-0,9	19,7	-0,6	0,3	-50,6	-3,6	54,5
			StD	0,039	0,043	0,109	0,011	0,012	0,048	1,623	3,9	4,3	10,9	7,0	7,6	30,4	1,0	34,4
	2010	365	Mean	0,005	-0,010	0,182	0,000	-0,001	-0,080	-8,371	0,5	-1,0	18,2	0,2	-0,5	-51,1	-5,3	54,5
			StD	0,023	0,023	0,100	0,008	0,009	0,036	1,435	2,3	2,3	10,0	5,3	5,8	22,9	0,9	26,4
	2011	365	Mean	-0,003	-0,004	0,186	0,001	-0,001	-0,074	-8,533	-0,3	-0,4	18,6	0,8	-0,9	-47,0	-5,4	50,9
			StD	0,026	0,024	0,089	0,007	0,008	0,037	1,232	2,6	2,4	8,9	4,7	5,2	23,6	0,8	26,4
	2012	366	Mean	-0,003	-0,002	0,128	0,001	0,000	-0,042	0,448	-0,3	-0,2	12,8	0,7	-0,1	-26,5	0,3	29,5
			StD	0,026	0,035	0,068	0,006	0,007	0,033	6,689	2,6	3,5	6,8	3,9	4,4	20,9	4,3	23,6
	2013	365	Mean	-0,004	-0,001	0,114	-0,001	0,000	-0,042	4,488	-0,4	-0,1	11,4	-0,5	0,2	-26,6	2,9	29,1
			StD	0,018	0,015	0,074	0,006	0,007	0,029	0,815	1,8	1,5	7,4	3,6	4,3	18,2	0,5	20,6
PZ-90.11	2014	365	Mean	-0,003	-0,001	0,066	0,000	0,002	0,008	4,624	-0,3	-0,1	6,6	0,1	1,0	5,0	2,9	8,8
			StD	0,015	0,015	0,053	0,004	0,004	0,021	0,805	1,5	1,5	5,3	2,4	2,8	13,3	0,5	15,0
	2015	364	Mean	-0,001	0,000	0,076	0,001	0,001	-0,001	4,305	-0,1	0,0	7,6	0,6	0,7	-0,9	2,7	8,2
			StD	0,017	0,014	0,057	0,004	0,005	0,019	0,999	1,7	1,4	5,7	2,5	3,4	12,0	0,6	14,2
	2016	364	Mean	0,002	0,001	0,060	0,000	0,001	0,002	3,705	0,2	0,1	6,0	0,1	0,7	1,4	2,4	6,7
			StD	0,016	0,015	0,051	0,004	0,005	0,019	0,849	1,6	1,5	5,1	2,8	3,2	11,8	0,5	13,7
	2017	362	Mean	0,001	0,000	0,066	0,000	-0,001	0,001	3,547	0,1	0,0	6,6	0,2	-0,4	0,5	2,3	7,0
			StD	0,014	0,015	0,056	0,004	0,005	0,019	0,965	1,4	1,5	5,6	2,7	3,4	12,0	0,6	14,1
	2018	365	Mean	0,001	0,001	0,064	0,000	0,000	-0,002	3,196	0,1	0,1	6,4	0,3	-0,1	-1,3	2,0	6,9
			StD	0,016	0,015	0,059	0,005	0,005	0,022	0,878	1,6	1,5	5,9	3,0	3,0	14,1	0,6	16,0
	2019	357	Mean	0,002	0,000	0,091	0,001	0,000	0,001	2,601	0,2	0,0	9,1	0,4	0,2	0,6	1,7	9,3
			StD	0,014	0,014	0,058	0,004	0,005	0,017	0,759	1,4	1,4	5,8	2,8	3,1	10,9	0,5	13,2
	2020	363	Mean	0,001	0,003	0,144	-0,001	0,002	0,003	2,375	0,1	0,3	14,4	-0,4	1,4	1,9	1,5	14,7
			StD	0,015	0,014	0,056	0,005	0,005	0,018	0,725	1,5	1,4	5,6	2,9	3,3	11,2	0,5	13,4
	2021	364	Mean	0,001	0,002	0,106	0,000	0,001	0,005	2,468	0,1	0,2	10,6	0,0	0,4	3,1	1,6	11,1
			StD	0,015	0,015	0,069	0,006	0,006	0,029	0,845	1,5	1,5	6,9	3,5	4,0	18,4	0,5	20,5
	2022	236	Mean	0,000	-0,002	0,092	-0,001	0,000	0,006	2,220	0,0	-0,2	9,2	-0,4	0,2	4,1	1,4	10,2
			StD	0,018	0,016	0,057	0,006	0,007	0,034	0,960	1,8	1,6	5,7	3,8	4,3	21,7	0,6	23,3

Annual evolution of compatibility between PZ-90 & ITRF

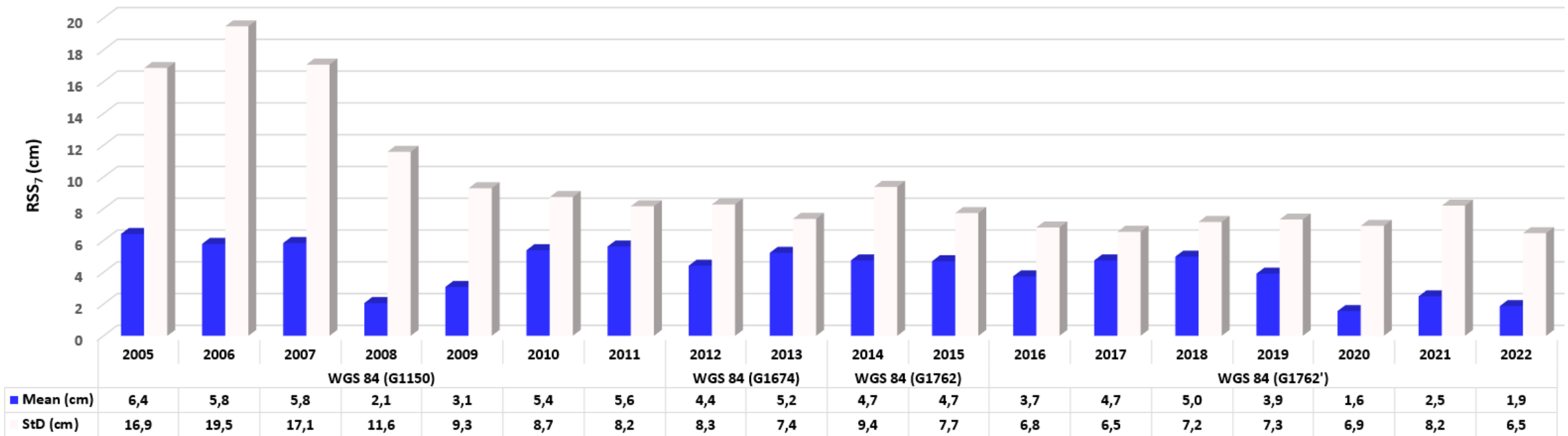


Helmert transformation parameters between WGS 84 & ITRF obtained from the GPS orbital data processed by IAC PNT



TRF	Year	Number of solutions	Value	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	$RX \times 10^{-6}$ (rad)	$RY \times 10^{-6}$ (rad)	$RZ \times 10^{-6}$ (rad)	Scale (ppb)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	RX (cm)	RY (cm)	RZ (cm)	Scale (cm)	RSS ₇ (cm)
WGS 84 (G1150)	2005	171	Mean	-0,001	0,004	0,014	-0,006	0,007	0,003	-0,040	-0,1	0,4	1,4	-3,7	4,5	2,2	0,0	6,4
			StD	0,021	0,021	0,086	0,013	0,015	0,011	0,794	2,1	2,1	8,6	8,0	9,6	6,7	0,5	16,9
	2006	365	Mean	-0,001	0,000	0,001	0,002	-0,006	0,007	0,154	-0,1	0,0	0,1	1,4	-3,5	4,3	0,1	5,8
			StD	0,015	0,015	0,063	0,014	0,022	0,012	0,825	1,5	1,5	6,3	9,0	14,0	7,6	0,5	19,5
	2007	365	Mean	0,001	-0,002	-0,005	-0,003	0,000	0,009	0,210	0,1	-0,2	-0,5	-1,9	0,0	5,5	0,1	5,8
			StD	0,014	0,017	0,043	0,010	0,020	0,012	0,957	1,4	1,7	4,3	6,5	12,9	7,6	0,6	17,1
	2008	366	Mean	-0,002	0,000	-0,017	0,000	-0,001	-0,001	-0,297	-0,2	0,0	-1,7	0,0	-0,9	-0,5	-0,2	2,1
			StD	0,012	0,013	0,036	0,010	0,012	0,008	0,699	1,2	1,3	3,6	6,1	7,5	5,0	0,4	11,6
	2009	365	Mean	-0,001	0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,004	-0,339	-0,1	0,2	-0,1	-0,5	-1,0	-2,9	-0,2	3,1
			StD	0,012	0,014	0,040	0,005	0,007	0,010	0,496	1,2	1,4	4,0	3,4	4,3	6,1	0,3	9,3
	2010	365	Mean	-0,001	0,002	0,006	0,000	-0,001	-0,008	-0,204	-0,1	0,2	0,6	0,1	-0,6	-5,3	-0,1	5,4
			StD	0,012	0,013	0,044	0,004	0,006	0,009	0,595	1,2	1,3	4,4	2,8	3,8	5,6	0,4	8,7
	2011	365	Mean	0,001	0,000	0,026	0,000	-0,001	-0,008	-0,331	0,1	0,0	2,6	-0,1	-0,6	-5,0	-0,2	5,6
			StD	0,013	0,012	0,059	0,003	0,004	0,006	0,518	1,3	1,2	5,9	2,0	2,9	4,1	0,3	8,2
WGS 84 (G1674)	2012	366	Mean	-0,001	0,002	-0,002	0,000	-0,001	-0,007	-0,407	-0,1	0,2	-0,2	-0,3	-0,7	-4,3	-0,3	4,4
			StD	0,012	0,012	0,057	0,004	0,005	0,006	0,413	1,2	1,2	5,7	2,8	3,2	3,8	0,3	8,3
2013	365	Mean	-0,002	-0,001	0,006	-0,001	-0,001	-0,008	-0,493	-0,2	-0,1	0,6	-0,5	-0,4	-5,1	-0,3	5,2	
		StD	0,011	0,010	0,048	0,004	0,005	0,006	0,423	1,1	1,0	4,8	2,4	3,1	3,7	0,3	7,4	
WGS 84 (G1762)	2014	365	Mean	0,000	0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,007	-0,485	0,0	0,1	0,0	-0,9	-0,2	-4,6	-0,3	4,7
			StD	0,011	0,011	0,046	0,004	0,005	0,011	0,430	1,1	1,1	4,6	2,5	3,2	6,9	0,3	9,4
2015	364	Mean	0,000	0,002	0,024	-0,001	0,000	-0,006	-0,484	0,0	0,2	2,4	-0,3	0,1	-4,0	-0,3	4,7	
		StD	0,010	0,010	0,044	0,004	0,006	0,007	0,404	1,0	1,0	4,4	2,5	3,6	4,4	0,3	7,7	
WGS 84 (G1762')	2016	364	Mean	-0,001	0,001	0,019	-0,001	-0,001	-0,005	-0,777	-0,1	0,1	1,9	-0,5	-0,6	-3,1	-0,5	3,7
			StD	0,010	0,009	0,035	0,004	0,005	0,006	0,430	1,0	0,9	3,5	2,5	3,2	3,9	0,3	6,8
	2017	362	Mean	0,002	0,001	0,033	0,000	0,000	-0,005	-0,992	0,2	0,1	3,3	-0,1	-0,2	-3,4	-0,6	4,7
			StD	0,014	0,010	0,035	0,004	0,005	0,005	0,357	1,4	1,0	3,5	2,7	3,2	3,1	0,2	6,5
	2018	365	Mean	-0,002	-0,001	0,044	0,000	0,000	-0,003	-1,284	-0,2	-0,1	4,4	0,0	-0,3	-2,1	-0,8	5,0
			StD	0,008	0,010	0,042	0,004	0,005	0,006	0,406	0,8	1,0	4,2	2,8	3,3	3,7	0,3	7,2
	2019	357	Mean	-0,002	-0,002	0,037	-0,001	-0,001	0,000	-1,260	-0,2	-0,2	3,7	-0,6	-0,4	0,2	-0,8	3,9
			StD	0,009	0,009	0,047	0,004	0,005	0,005	0,395	0,9	0,9	4,7	2,6	3,3	3,5	0,3	7,3
	2020	363	Mean	0,002	0,001	0,012	-0,001	0,000	0,000	-0,970	0,2	0,1	1,2	-0,7	-0,3	0,3	-0,6	1,6
			StD	0,008	0,008	0,038	0,004	0,005	0,007	0,438	0,8	0,8	3,8	2,3	3,1	4,2	0,3	6,9
	2021	364	Mean	0,001	-0,001	0,006	0,000	-0,001	-0,003	2,542	0,1	-0,1	0,6	-0,3	-0,5	-1,7	1,6	2,5
			StD	0,008	0,009	0,046	0,004	0,005	0,006	5,361	0,8	0,9	4,6	2,3	3,3	4,1	3,4	8,2
	2022	236	Mean	-0,001	-0,002	0,013	-0,001	-0,001	0,001	0,506	-0,1	-0,2	1,3	-0,4	-0,9	0,8	0,3	1,9
			StD	0,009	0,008	0,033	0,004	0,006	0,005	0,428	0,9	0,8	3,3	2,4	3,7	3,1	0,3	6,5

Annual evolution of compatibility between WGS 84 & ITRF

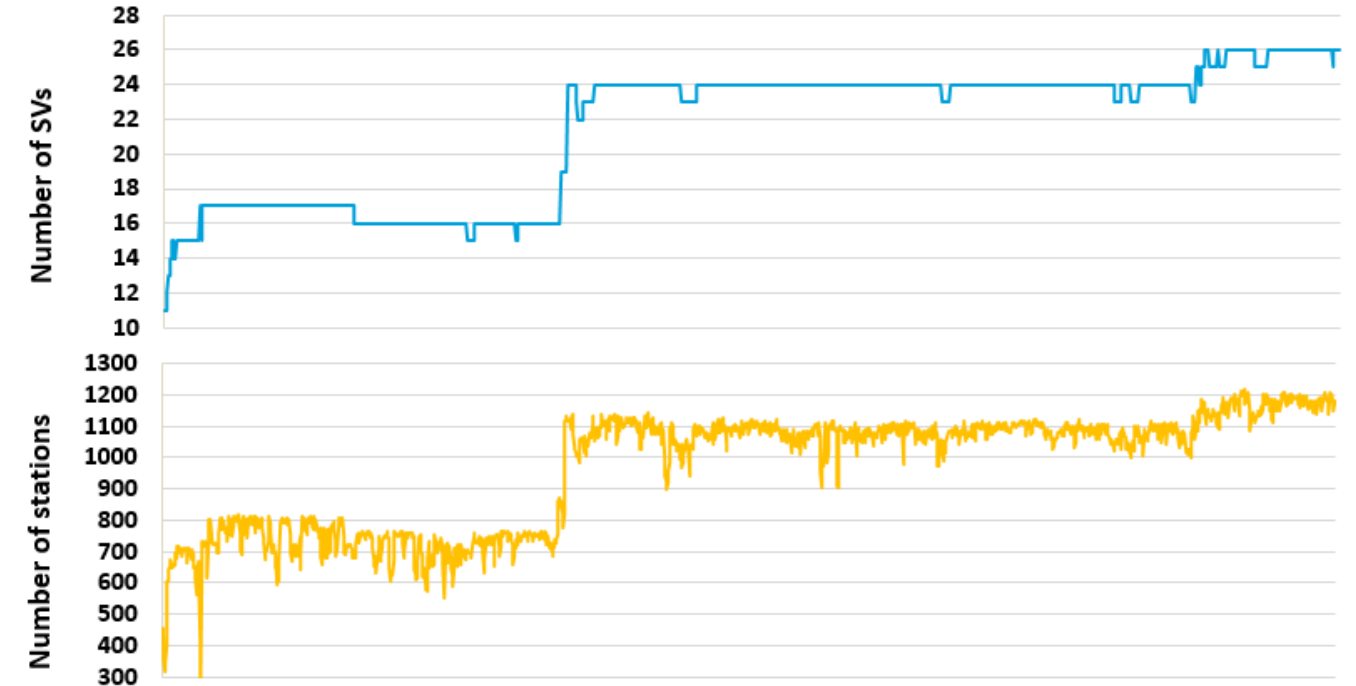
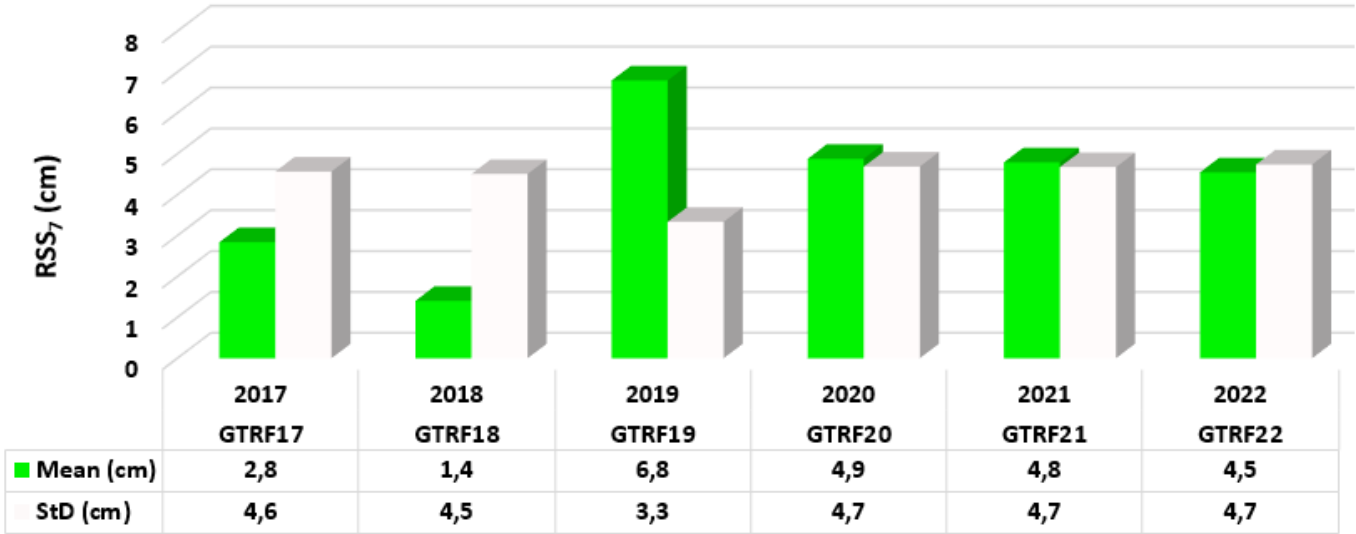


Helmert transformation parameters between GTRF & ITRF obtained from the Galileo orbital data processed by IAC PNT

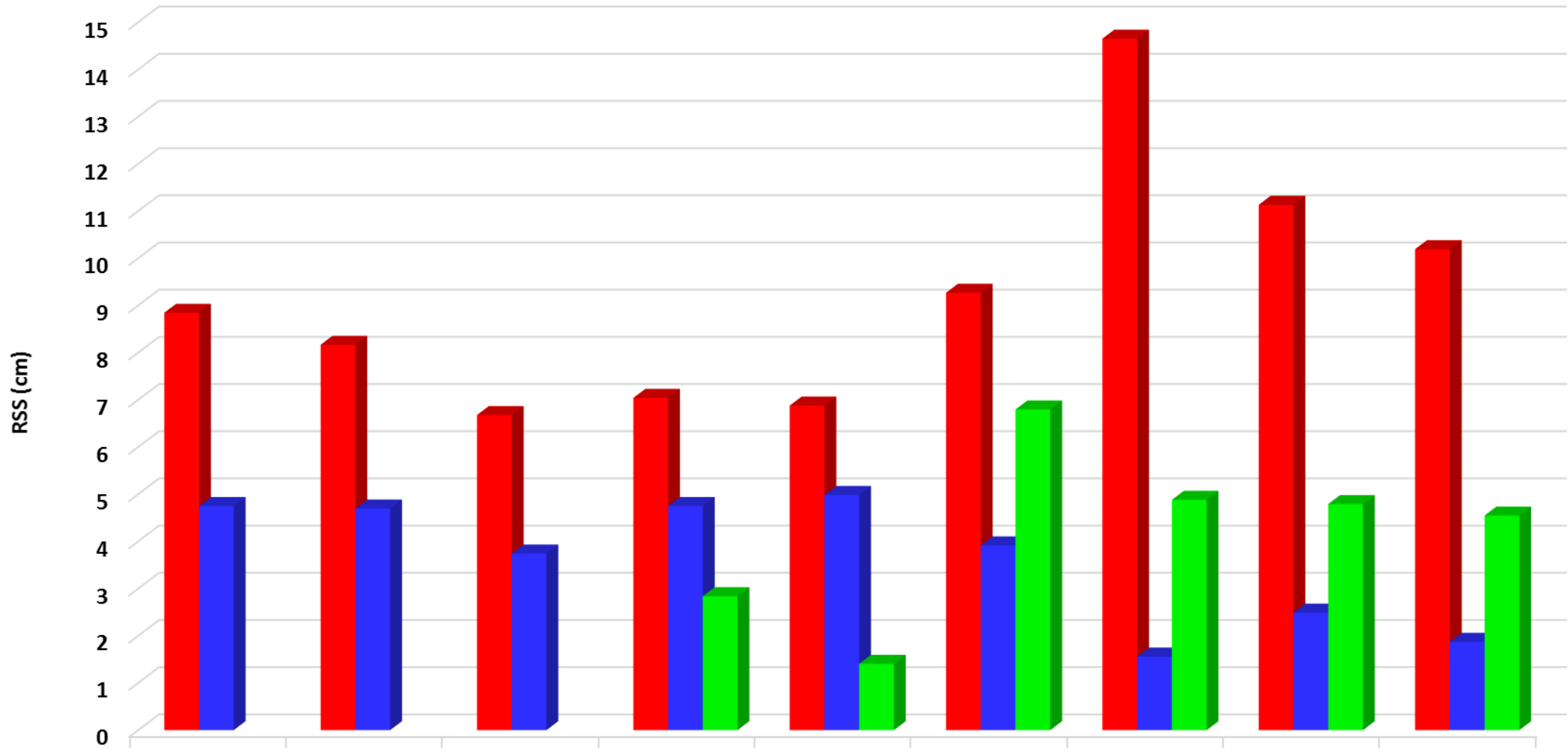


TRF	Year	Number of solutions	Value	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	$RX \times 10^{-6}$ (rad)	$RY \times 10^{-6}$ (rad)	$RZ \times 10^{-6}$ (rad)	Scale (ppb)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	RX (cm)	RY (cm)	RZ (cm)	Scale (cm)	RSS ₇ (cm)
GTRF17	2017	278	Mean	0,008	0,002	0,001	-0,001	0,001	-0,003	-2,845	0,8	0,2	0,1	-0,4	0,4	-1,9	-1,8	2,8
			StD	0,021	0,018	0,031	0,001	0,002	0,002	0,466	2,1	1,8	3,1	0,9	1,1	1,3	0,3	4,6
GTRF18	2018	263	Mean	0,001	-0,001	0,002	0,000	0,000	-0,002	-0,721	0,1	-0,1	0,2	0,1	0,1	-1,3	-0,5	1,4
			StD	0,016	0,015	0,031	0,002	0,002	0,002	2,363	1,6	1,5	3,1	1,0	1,0	1,3	1,5	4,5
GTRF19	2019	76	Mean	-0,011	-0,004	-0,043	-0,001	0,000	-0,003	7,534	-1,1	-0,4	-4,3	-0,4	-0,3	-1,7	4,8	6,8
			StD	0,015	0,014	0,020	0,001	0,001	0,002	0,405	1,5	1,4	2,0	0,8	0,9	1,1	0,3	3,3
GTRF20	2020	363	Mean	-0,004	-0,001	-0,004	0,000	0,000	-0,003	7,113	-0,4	-0,1	-0,4	0,1	-0,3	-1,7	4,5	4,9
			StD	0,015	0,014	0,039	0,001	0,001	0,002	0,397	1,5	1,4	3,9	0,7	0,9	1,1	0,3	4,7
GTRF21	2021	364	Mean	0,000	0,007	-0,006	0,000	0,000	-0,002	7,050	0,0	0,7	-0,6	-0,1	0,0	-1,4	4,5	4,8
			StD	0,014	0,015	0,039	0,001	0,001	0,002	0,386	1,4	1,5	3,9	0,8	0,9	1,1	0,2	4,7
GTRF22	2022	236	Mean	-0,003	0,007	0,008	-0,001	0,000	0,000	6,894	-0,3	0,7	0,8	-0,3	-0,1	-0,1	4,4	4,5
			StD	0,013	0,013	0,041	0,001	0,001	0,001	0,421	1,3	1,3	4,1	0,7	0,8	0,9	0,3	4,7

Annual evolution of compatibility between GTRF & ITRF



Overall review of three GNSS TRFs compatibility with ITRF



	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
■ GLONASS (PZ-90)	8,8	8,2	6,7	7,0	6,9	9,3	14,7	11,1	10,2
■ GPS (WGS 84)	4,7	4,7	3,7	4,7	5,0	3,9	1,6	2,5	1,9
■ Galileo (GTRF)				2,8	1,4	6,8	4,9	4,8	4,5

Part III

Compatibility of terrestrial reference frames used in GLONASS and GPS broadcast messages compatibility estimates during 8 weeks of 2019 obtained by NGA (USA) and IAC PNT (Russia)

Helmert Transformation Parameters for GLONASS and GPS obtained by NGA and IAC PNT for 21/07/2019-14/09/2019



Vendor	Value	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	RX (mas)	RY (mas)	RZ (mas)	Scale (ppb)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)	RX (cm)	RY (cm)	RZ (cm)	Scale (cm)	RSS (cm)	Λ^{**} (cm)
GLONASS (PZ-90.11)																	
IAC PNT	Mean	0,3	-0,3	9,3	0,12	0,10	2,01	2,48	0,3	-0,3	9,3	0,4	0,3	6,2	1,6	11,3	10,7
	StD	1,3	1,4	5,0	0,82	0,91	3,15	0,65	1,3	1,4	5,0	2,5	2,8	9,7	0,4	11,7	10,1
NGA*	Mean	0,0	0,0	10,0	0,21	0,00	1,76	-9,71	0,0	0,0	10,0	0,6	0,0	5,4	-6,2	13,0	12,6
	StD	2,0	2,0	6,0	0,26	0,52	2,78	0,57	2,0	2,0	6,0	0,8	1,6	8,6	0,4	11,0	9,8
	Diff.	0,3	-0,3	-0,7	-0,1	0,1	0,3	12,2	0,3	-0,3	-0,7	-0,3	0,3	0,8	7,8	-1,6	-1,8
GPS (WGS-84)																	
IAC PNT	Mean	0,0	0,1	5,3	-0,15	0,25	0,94	-0,86	0,0	0,1	5,3	-0,5	0,8	2,9	-0,5	6,1	5,9
	StD	1,0	0,8	1,9	0,71	1,07	1,33	0,29	1,0	0,8	1,9	2,2	3,3	4,1	0,2	6,2	5,2
NGA*	Mean	0,0	0,0	5,0	0,01	0,28	1,06	-0,27	0,0	0,0	5,0	0,0	0,9	3,3	-0,2	6,0	5,7
	StD	1,0	1,0	2,0	0,57	0,87	1,17	0,11	1,0	1,0	2,0	1,8	2,7	3,6	0,1	5,4	4,6
	Diff.	0,0	0,1	0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,1	0,3	-0,5	-0,1	-0,4	-0,4	0,1	0,2

* S. Malys et al. (2021) Compatibility of Terrestrial Reference Frames used in GNSS broadcast messages during an 8 week period of 2019. *Advances in Space Research* 67 (2021) 834–844

** Λ is an alternative estimation defined as

$$\Lambda^2 \approx \Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2 + m^2 R_e^2 + (\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2) \frac{2R_e^2}{3}$$

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ are rotation angles in radians

Analysis of the compatibility estimations for WGS 84 and PZ-90.11 obtained by NGA and IAC PNT for 21/07/2019-14/09/2019



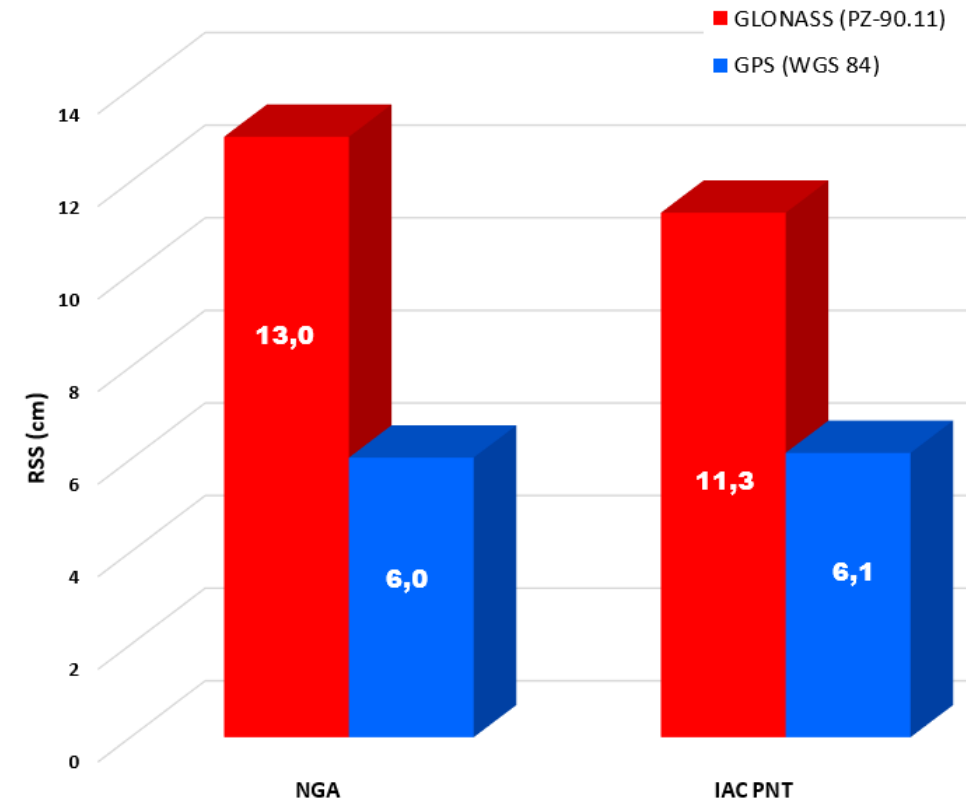
GNSS	TRF	NGA (USA)*			IAC PNT (Russia)		
		RSS, (cm)	# of SVs	# of IGS Stations	RSS, (cm)	# of SVs	# of Ground Stations**
GLONASS	PZ-90.11	13,0	21	128	11,3	22	1015
GPS	WGS 84	6,0	31	140	6,1	31	1434

* S. Malys et al. (2021) Compatibility of Terrestrial Reference Frames used in GNSS broadcast messages during an 8 week period of 2019. *Advances in Space Research* 67 (2021) 834–844

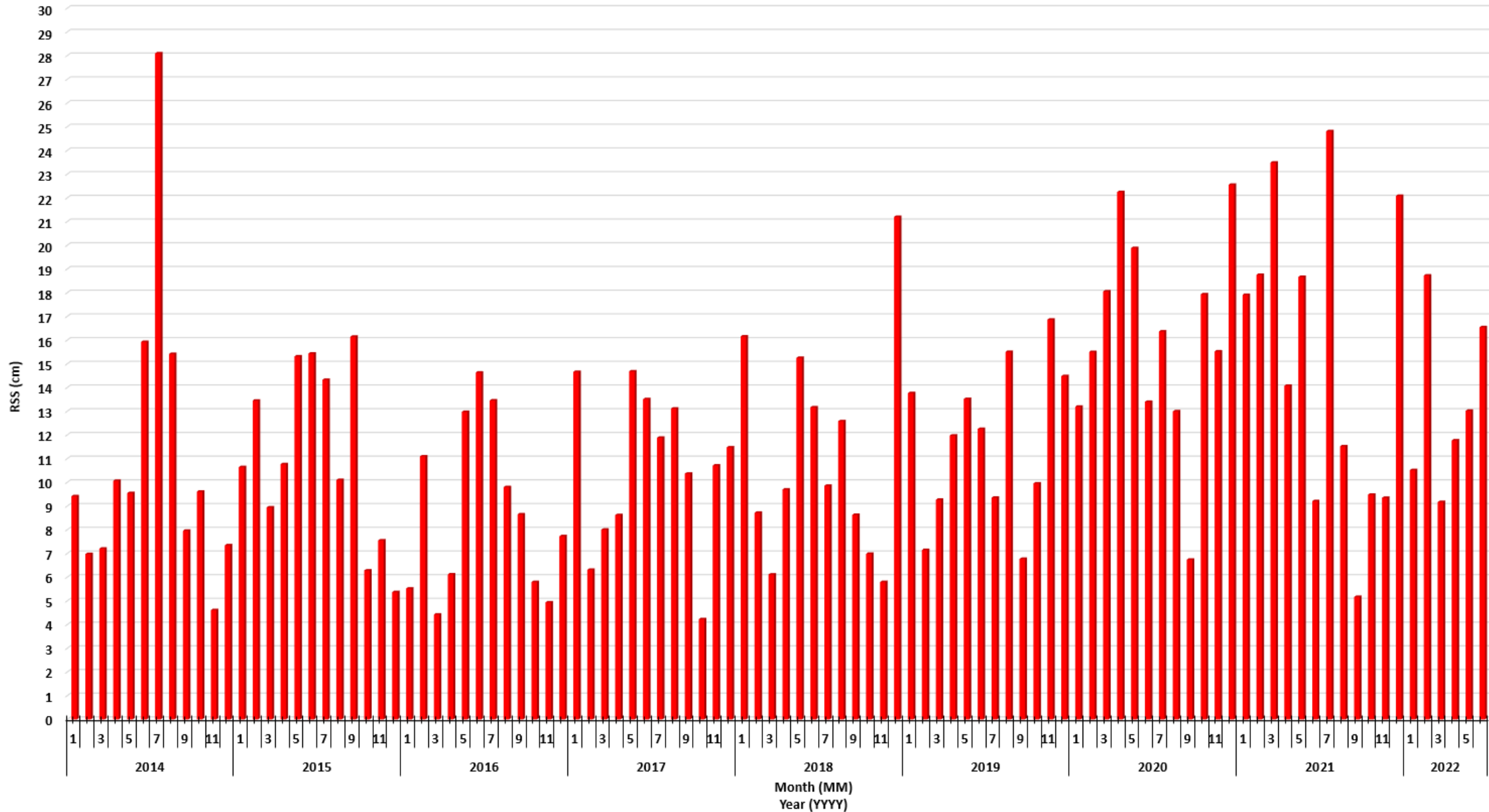
** IGS, Roscosmos State Space Corporation, Federal Technical Regulation and Metrology Agency (Rosstandart), Russian Academy of Sciences (RAS)

Conclusion:

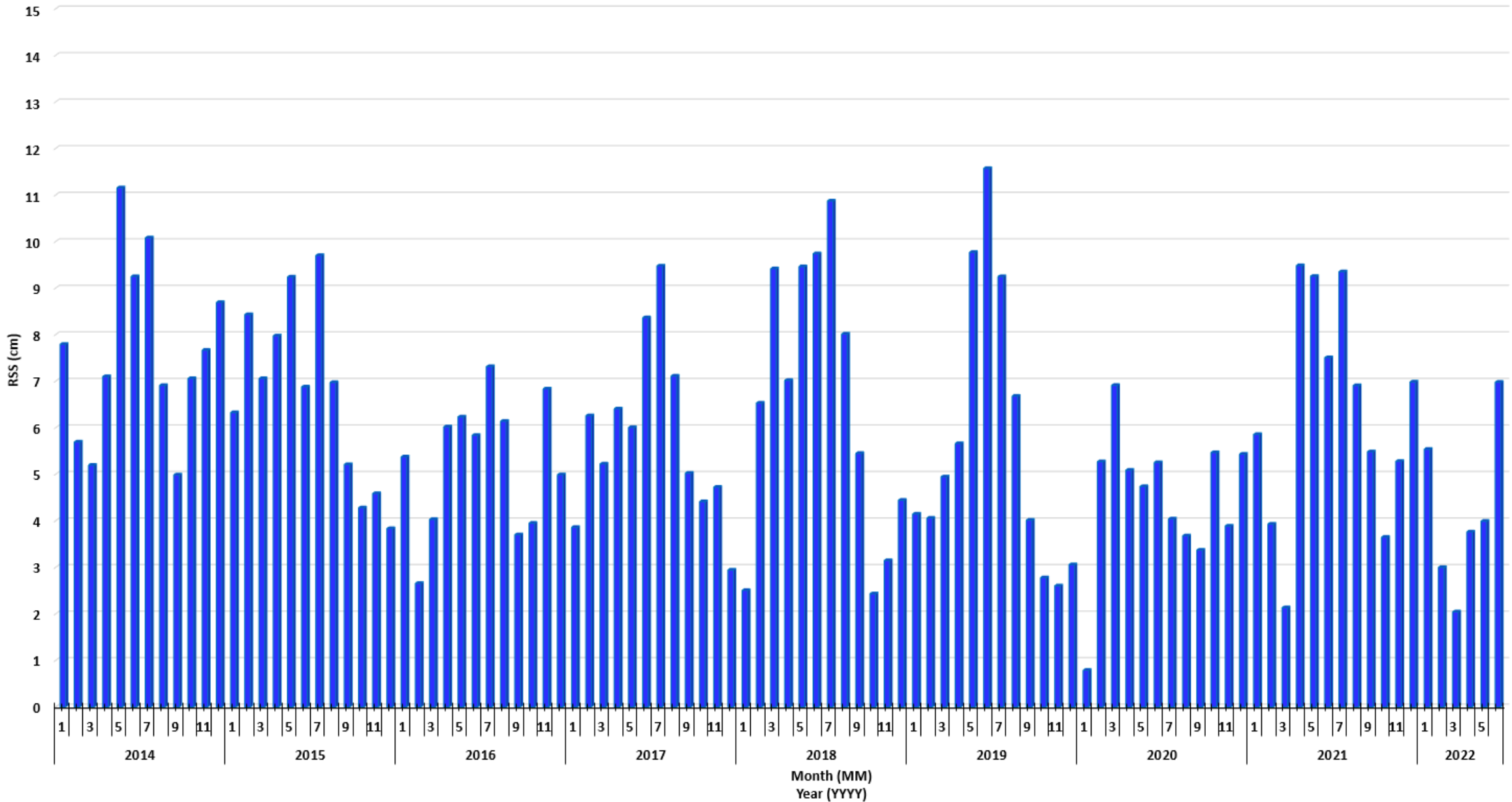
- The RSS estimates obtained by NGA and IAC PNT based on the analysis of the GNSS ephemeris predominantly coincide.
- Differences in RSS estimates for GLONASS satellites are insignificant and presumably depend on the accuracy of antenna phase centers definition and other systematic errors.



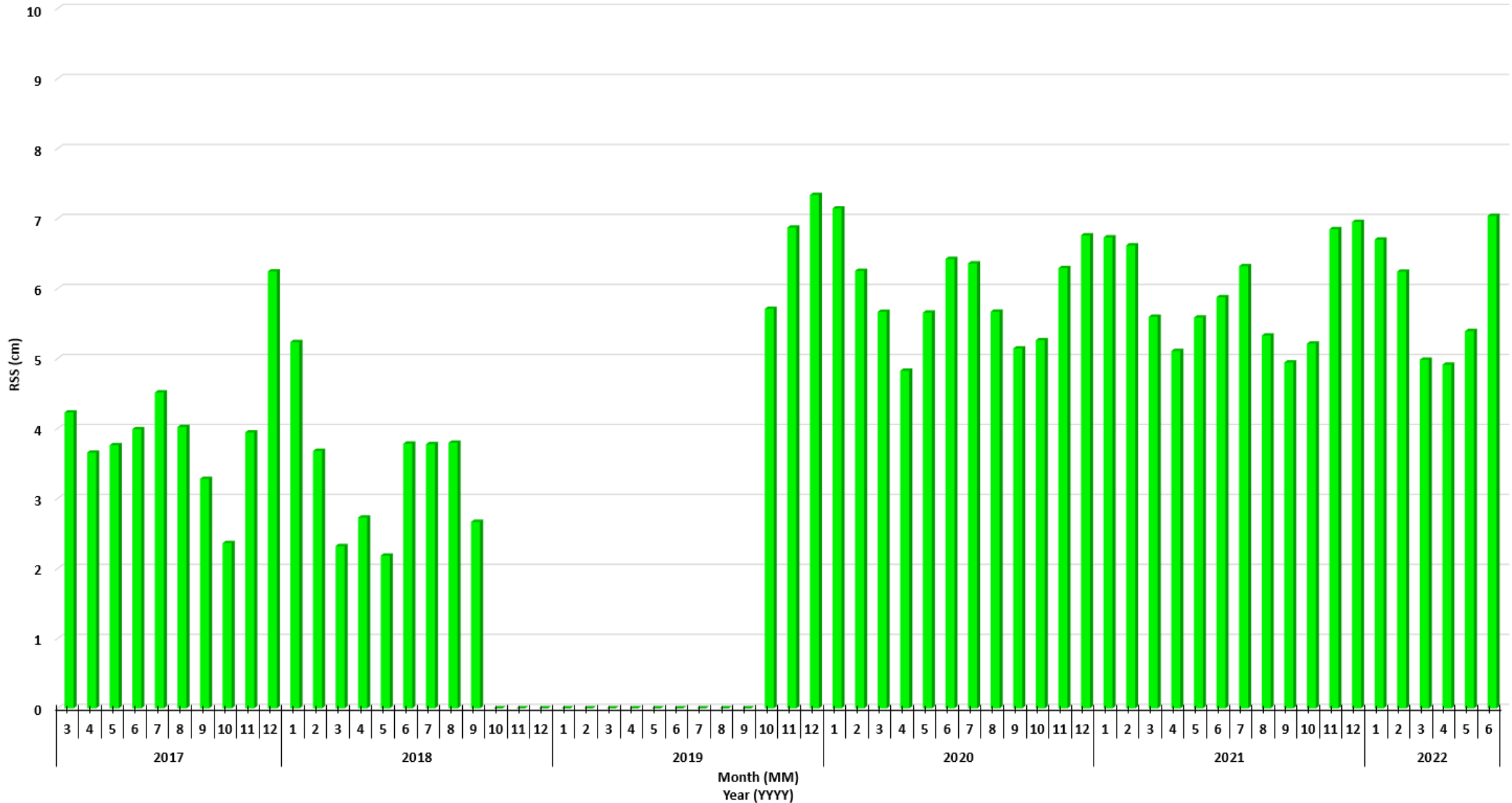
Monthly evolution of compatibility between PZ-90.11 & ITRF



Monthly evolution of compatibility between WGS 84 & ITRF



Monthly evolution of compatibility between GTRF & ITRF



Summary & Conclusions



- ✓ Terrestrial reference frames of three GNSS are consistent with ITRF at the level of a few centimeters and compatible with each other.
- ✓ PZ-90.11 accessible via broadcast GLONASS messages is consistent with ITRF at a level of 10 cm that complies with specified technical requirements.
- ✓ New transformations parameters between PZ-90.11 and ITRF2020 will be defined soon. PZ-90.11 brief description (template) will be updated.
- ✓ A new realization of PZ-90 terrestrial reference frame is planned to be generated.

Proposal (Recommendation)



- ✔ It would be helpful if all WG-D members estimate the GNSS terrestrial reference frames transformation parameters to ITRF2020 on the base of GNSS broadcast messages and present alternative and independent results within ICG annual meetings.