

Геодинамика Балтийского щита и Русской платформы по данным ГНСС-наблюдений

А.В. Мохнаткин^{1,2}, В.Л. Горшков^{1,2}

1 – ГАО РАН

Н.В. Щербакова^{1,2}, С.Д. Петров²

2 – СПбГУ



Всероссийская астрометрическая конференция «Пулково-2015»

Геолого-геодинамическая мотивация

Евразийская плита (ЕА) состоит из многочисленных платформ и щитов, разного геологического возраста. Вращательной динамике таких структур на северо-западе ЕА плиты – **кристаллического Балтийского щита и осадочной Русской платформы** – посвящено данное исследование.

Наши предыдущие исследования, основанные на данных нескольких ГНСС-станций, дают основания предполагать вращение Балтийского щита относительно Русской платформы.

За последние годы в регионе возросло количество ГНСС-станций. Нами собраны и обработаны в рамках единой модели редукций все ряды наблюдений в регионе с продолжительностью более 3 лет.



Градиент трехмерного вектора скорости в декартовой системе

$$L = \begin{pmatrix} \frac{\partial v_x}{\partial x} & \frac{\partial v_x}{\partial y} & \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ \frac{\partial v_y}{\partial x} & \frac{\partial v_y}{\partial y} & \frac{\partial v_y}{\partial z} \\ \frac{\partial v_z}{\partial x} & \frac{\partial v_z}{\partial y} & \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{pmatrix} = D + \Omega, \text{ где } D - \text{тензор деформации,}$$

Ω – тензор вращения твердого тела.

$$D = \begin{pmatrix} \frac{\partial v_x}{\partial x} & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right) & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}\right) \\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right) & \frac{\partial v_y}{\partial y} & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) \\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}\right) & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) & \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{pmatrix},$$

$$\Omega = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x}\right) & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x}\right) \\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y}\right) & 0 & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) \\ \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z}\right) & \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z}\right) & 0 \end{pmatrix} \equiv$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{pmatrix}$$

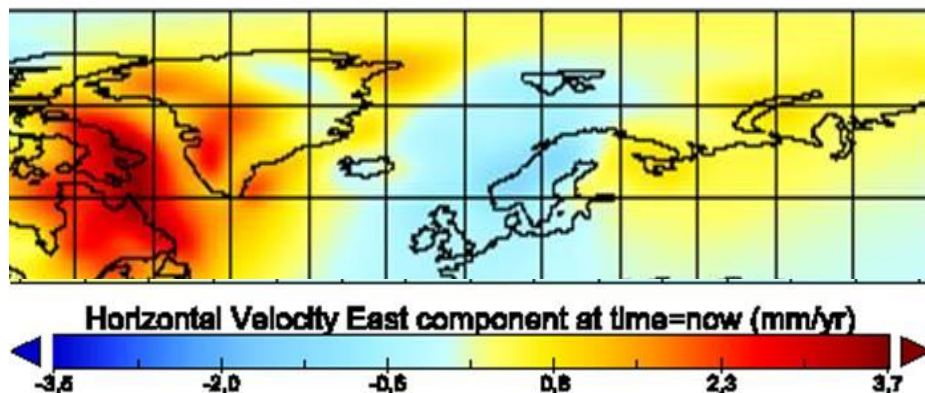
Вращение Балтийского щита и Евразийской плиты (EURA)

Таблица: 1 – EURA ITRF2005-PMM, 2 – 41 станция EURA ITRF2005 с учетом деформаций, 3 – Балтийский щит (42 станции)

	полюс Эйлера		углов. скорость
	ϕ	λ	ω , град./млн.лет
1	$56^{\circ}.330 \pm 0^{\circ}.549$	$-95^{\circ}.979 \pm 0^{\circ}.969$	0.261 ± 0.003
2	$58^{\circ}.069 \pm 0^{\circ}.117$	$-99^{\circ}.917 \pm 0^{\circ}.758$	0.250 ± 0.001
3	$57^{\circ}.093 \pm 0^{\circ}.244$	$-112^{\circ}.523 \pm 4^{\circ}.393$	0.234 ± 0.005

Модельные поправки в горизонтальные скорости за послеледниковое поднятие (ПЛП)

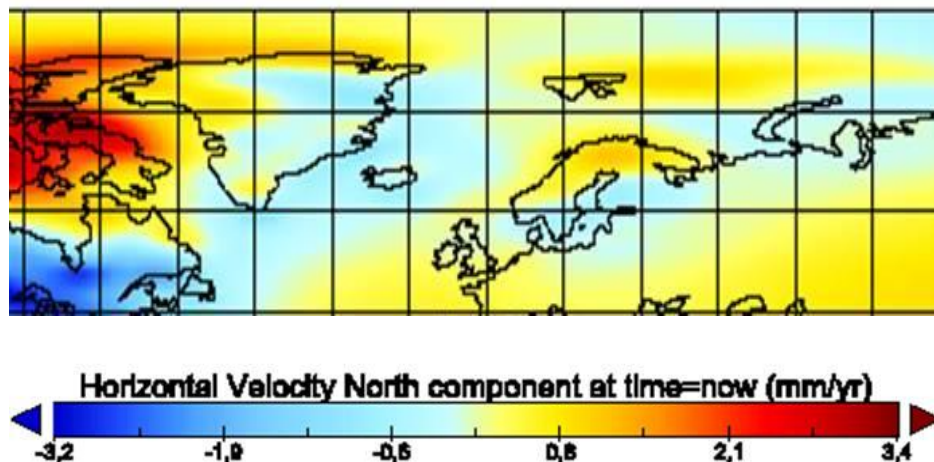
Horizontal Velocity East component at time=now



Послеледниковое поднятие региона является систематическим фактором, искажающим поле скоростей.

Использовалась модельная коррекция горизонтальных скоростей (не превышает 1 мм/год).

Horizontal Velocity North component at time=now



По скоростям 75 станций в системе ITRF05 из работы
Martin Lidberg, Jan Johanssona, Hans-Georg Scherneck, Glenn Milned
Recent results based on continuous GPS observations
of the GIA process in Fennoscandia from BIFROST

и поправкам к ним за ПЛП по модели из работы
Peltier, W.R., Argus, D.F. and Drummond, R. (2015)
Space geodesy constrains ice-age terminal deglaciation:
The global ICE-6G_C (VM5a) model

были вычислены компоненты угловой скорости ω (mas/year)
Балтийского щита (БЩ) и Русской платформы (РП),
найденные как элементы тензора твердотельного вращения:

ITRF2005	ω -X	ω -Y	ω -Z	Nst
ЕА	-0.054 ± .009	-0.518 ± .006	0.782 ± .011	41
БЩ	-0.175 ± .016	-0.419 ± .046	0.708 ± .010	42
БЩ - ПЛП	-0.253 ± .023	-0.880 ± .067	0.770 ± .015	
РП	-0.145 ± .016	-0.425 ± .033	0.559 ± .019	33
РП - ПЛП	0.261 ± .030	-0.523 ± .034	0.437 ± .020	

Видно, что ПЛП коррекция

1. увеличивает ошибки оценок σ_{ω} ,
2. сильно смещает оценки ω .

ДАННЫЕ – I

46 ГНСС-станций национальных служб России, Норвегии, Швеции, Финляндии, Эстонии, Латвии, Польши, Украины

Для обработки использовано ПО: Gipsy/Oasis 6.3 (JPL).

Стратегия обработки: PPP (Precise Point Positioning).

Редукции: абсолютная калибровка антенн,
поправки часов и орбиты (IGS08, <ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/...>),
параметры вращения Земли (IERS_C04, <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>),
модель тропосферы (VMF1, <http://mars.hg.tuwien.ac.at/~ecmwf1/GRID/>),
океанические приливные нагрузки (GOT48, <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>),
твердотельные приливы, в том числе полюсной прилив,
атмосферные нагрузки (IMLS по модели MERRA, <http://massloading.net/>).

Были учтены все смещения в рядах положений из-за смены антенн и других причин, а также удалены достоверно некачественные наблюдения и выбросы.

По рядам координат были оценены скорости станций и их ошибки с учётом типа шумовой составляющей (как правило фликкер-шум).

ДАННЫЕ – II

Скорости 56 ГНСС-станций из базы JPL

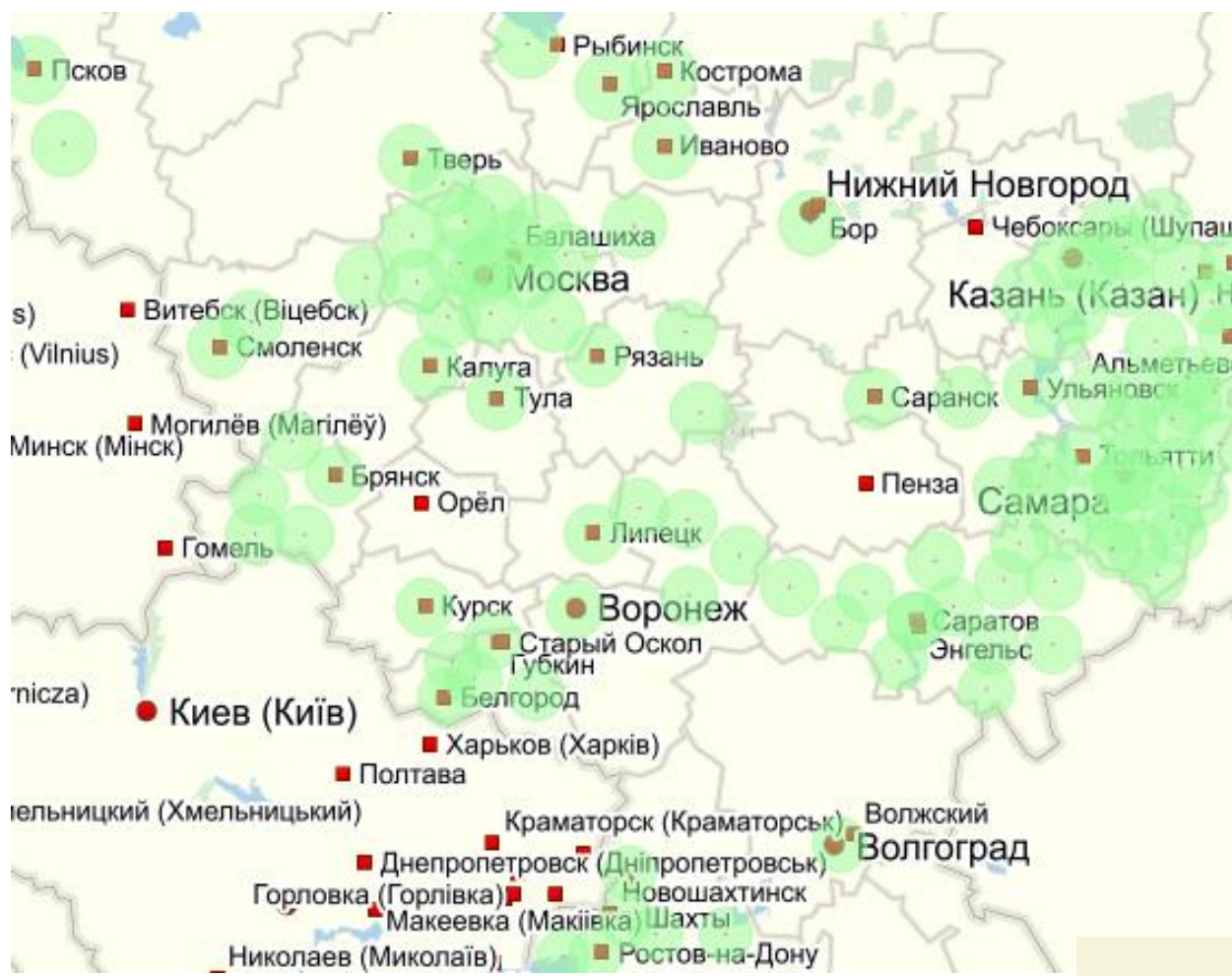
(<http://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>),

также вычисленные в системе ITRF08 пакетом Gipsy.

Атмосферные нагрузки не учитывались

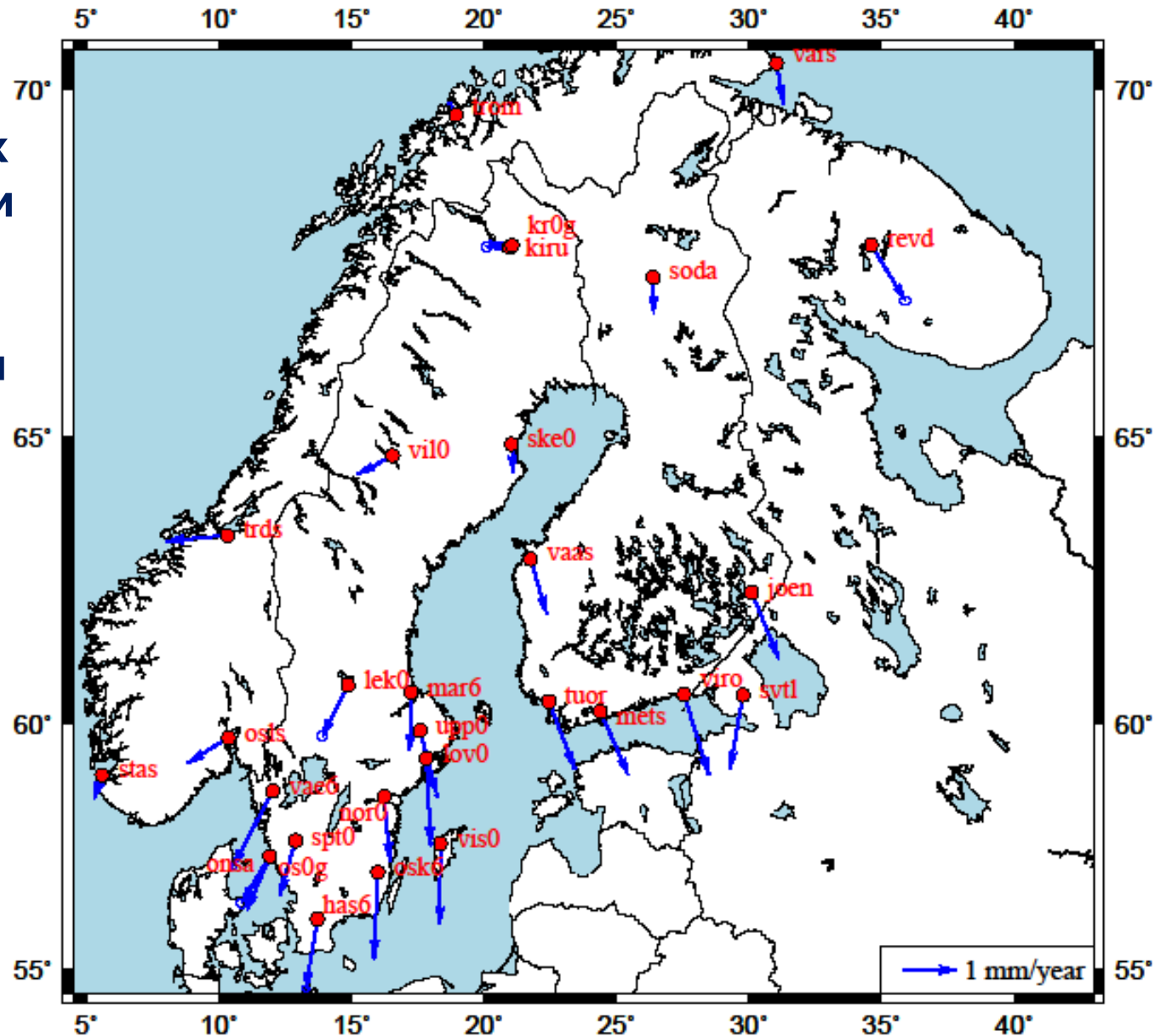
8 из них использованы совместно с ДАННЫМИ-I

Сеть перспективных
станций (НАВГЕОКОМ)
(пока менее 3 лет
наблюдений)



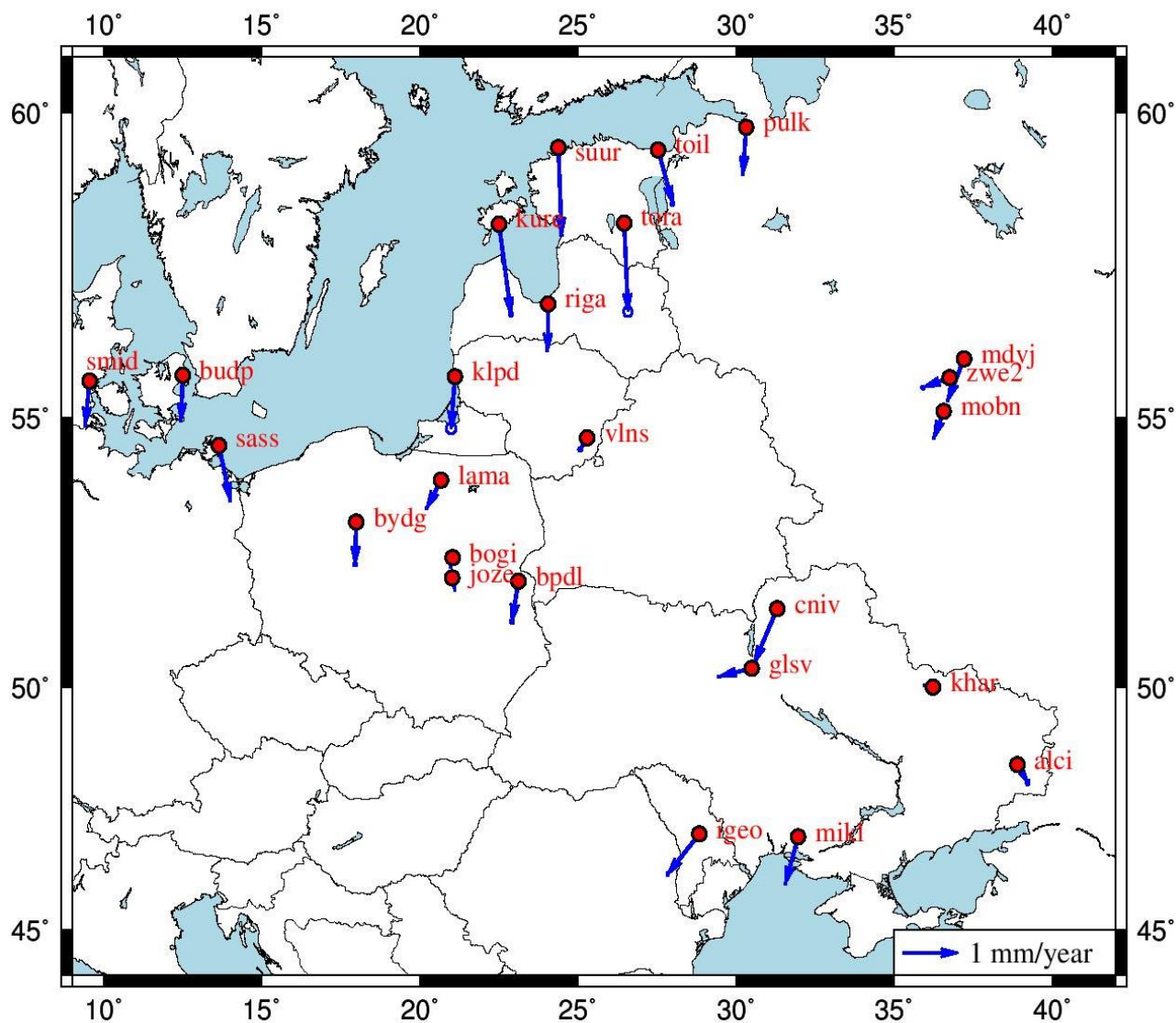
ГНСС-станции на Балтийском щите

Вектора остаточных скоростей станций и их 1σ -эллипсы после редукции вращения ЕА плиты (ITRF08).



ГНСС-станции на Русской платформе

Станции на Украинском щите, не принадлежащие к Русской платформе, не рассматривались.



**По скоростям 56 станций из базы JPL
были вычислены компоненты угловых скоростей в системе ITRF08:**

ITRF2008	ω -X		ω -Y		ω -Z		Nst
БЩ	-0.244	$\pm .008$	-0.467	$\pm .005$	0.840	$\pm .005$	37
РП	-0.135	.002	-0.545	.005	0.654	.003	19
ЕА	-0.083	.008	-0.534	.007	0.750	.008	69

По скоростям 54 станций из нашего решения:

ITRF2008	ω -X		ω -Y		ω -Z		Nst
БЩ	-0.255	$\pm .013$	-0.382	$\pm .009$	0.734	$\pm .014$	29
РП	-0.106	.008	-0.535	.015	0.704	.008	25
ЕА	-0.083	.008	-0.534	.007	0.750	.008	69

Видно, что между разными решениями различия оценок ω превосходят $3\sigma_\omega$. Следовательно, формальные ошибки не отражают ситуацию с пространственным распределением станций и реальными ошибками их скоростей.

Поскольку ошибки скоростей ГНСС-станций при реальном, как правило, фликкер-шумовом типе распределения ошибок в среднем составляют около ± 0.1 мм/год был проведён

численный эксперимент

для определения более реалистичных ошибок метода с помощью случайного варьирования исследуемых скоростей станций в пределах ± 0.1 мм/год по 20 реализациям

	$\sigma_{\omega-x}$	$\sigma_{\omega-y}$	$\sigma_{\omega-z}$
РП	± 0.0282	± 0.0324	± 0.0189
БЩ	± 0.0526	± 0.0613	± 0.0300

Выводы

- Определение вращения (ω) БЩ и РП по разным наборам ГНСС-станций приводит к различающимся более чем на $3\sigma_\omega$ компонентам угловых скоростей. Так, получающаяся разница в ω для БЩ и РП (0.1 – 0.2 mas/y) статистически не достоверна на материале исследованных станций.
- Выбор расположения станций, анализ стабильности рядов их положений являются необходимым элементом селекции рядов для исследований в региональной геодинамике, т.к. искомый параметр (ω) существенно зависит от незначительных вариаций (реально до 0.5 мм/год) в поле скоростей станций и равномерности их распределения.
- Коррекция за ПЛП на станциях (0.1 -1.0 мм/год) не улучшает оценки ω , вероятно, по этой причине станции БЩ не использовались при выводе ω для ЕА плиты.

СПАСИБО
за внимание