

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

А.К. Коваленко (ГУП «Леноблинвентаризация, Санкт-Петербург, e-mail: [alex\\_kov@mail.ru](mailto:alex_kov@mail.ru))

С.А. Тесленок (Югорский государственный университет, высшая экологическая школа, Ханты-Мансийск, e-mail: [teslserg@mail.ru](mailto:teslserg@mail.ru))

Л.Г. Калашникова (НИ Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, институт геоинформационных технологий и географии, Саранск, e-mail: [lar\\_ka73@mail.ru](mailto:lar_ka73@mail.ru))

О.Ф. Богдашкина (НИ Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, институт геоинформационных технологий и географии, Саранск, e-mail: [olga.fara@mail.ru](mailto:olga.fara@mail.ru))

П.С. Дмитриев (Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, факультет математики и естественных наук, Петропавловск, e-mail: [dmitriev\\_pavel@mail.ru](mailto:dmitriev_pavel@mail.ru))

А.А. Скурихин (Югорский государственный университет, высшая экологическая школа, Ханты-Мансийск, e-mail: [a.skurikhin98@mail.ru](mailto:a.skurikhin98@mail.ru))

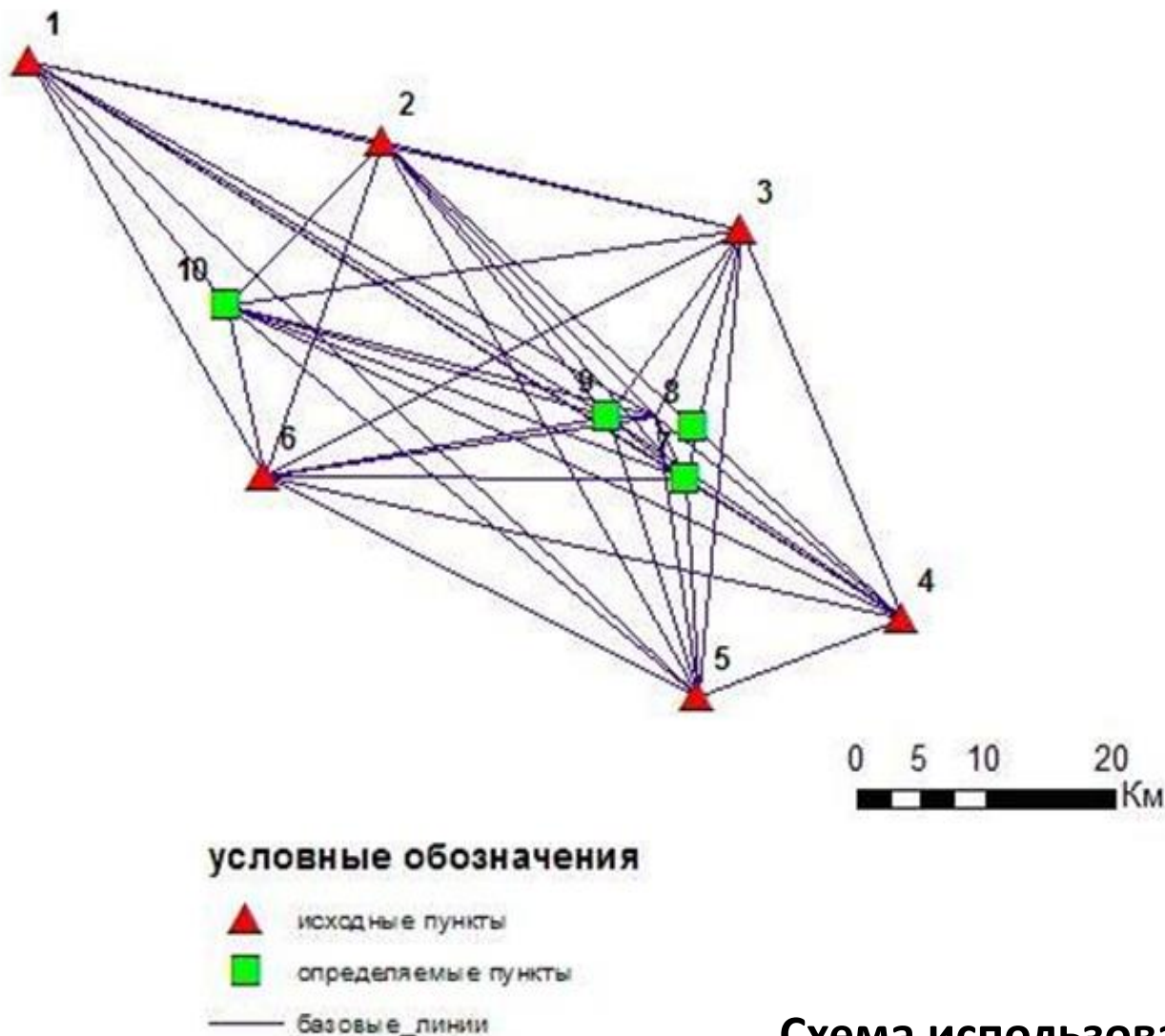
И.А. Фомин (Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, факультет математики и естественных наук, Петропавловск, e-mail: [iafomin@mail.ru](mailto:iafomin@mail.ru))





Подготовка наземного обоснования  
Опознавательные знаки и контрольные точки  
закреплялись на местности и координировались с  
использованием оборудования ГНСС методом  
спутниковых наблюдений

Процесс координирования опознавательного знака



Использованы результаты ГНСС-наблюдений на непрерывно действующей геодезической сети в составе десяти пунктов и 45 векторов

Обработке файлов этой сети методом позиционирования высокой (сантиметрового уровня) точности с использованием возможностей службы коррекции сервиса Trimble GNSS Correction Services позволила получить значения приращений координат векторных базовых линий и их средних квадратических отклонений.

Также значения приращений координат базовых линий были рассчитаны по двойным фазовым разностям в процессе обработки с использованием ПО Topcon Tools.

Схема использованной ГНСС-сети





## Post-Processing Service Based on RTX Technology

TrimbleRTX.com

Contributor: Alex\_kow@mail.ru  
Reference Name: BAZA 5.230  
Upload Date: 09/14/2023 05:52:57 UTC

Report Time Frame:  
Start Time: 09/12/2023 06:06:31 UTC  
End Time: 09/12/2023 09:57:41 UTC  
Observation File Type(s): RINEX  
Observation File(s): BAZA 5.230

Antenna:  
Name: HXCCG7601A HXCG  
Height: 0.000 m  
Reference: Bottom of antenna mount

Receiver Name: TRIMBLE BD970  
Coordinate Systems: ITRF2014  
Tectonic Plate: Eurasia (Auto-detected)  
Tectonic Plate Model: MORVEL56  
Processing Interval: 10 s

### Statistics

# Total Obs	# Usable Obs	# Used Obs	Percent
13871	1387	1387	100

### Used Satellites

# Total Satellites:	48
GPS:	G02 G03 G04 G06 G08 G10 G12 G14 G15 G17 G18 G19 G21 G23 G24 G25 G27 G28 G31 G32
GLONASS:	R04 R05 R07 R08 R09 R12 R13 R14 R15 R16 R20 R21 R22 R24
Galileo:	E03 E05 E07 E08 E09 E13 E15 E21 E24 E26 E27 E31 E34 E36

### Processing Results

ITRF2014 at Epoch 2010.0		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	2548072.392 m	0.004 m
Y	1751355.920 m	0.004 m
Z	5560027.667 m	0.008 m
Latitude	61° 05' 5.58993" N	0.004 m
Longitude	34° 30' 6.28312" E	0.003 m
El. Height	120.470 m	0.008 m

ITRF2014 at Epoch 2023.70		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	2548072.135 m	0.004 m
Y	1751356.077 m	0.004 m
Z	5560027.735 m	0.008 m
Latitude	61° 05' 5.59447" N	0.004 m
Longitude	34° 30' 6.30151" E	0.003 m
El. Height	120.471 m	0.008 m

### Report Information

Trimble RTX Solution ID: 28711585  
Solution Type: Static  
Software Version: 8.5.1.20196  
Creation Date: 09/14/2023 05:53:45 UTC

#### Disclaimer

Trimble Navigation Limited does not guarantee availability, reliability, and performance of the current RTX Post-Processing service and accepts no legal liability arising from, or connected to, the use of information on this document or use of this service.

TrimbleRTX Post-Processing 2 февраля, 2:42  
Кому: Alex\_kow@mail.ru



Dear Customer,

Your uploaded file (kron.zip) was successfully processed.

The processing result is a report which contains coordinates in ITRF2014 (reference epoch) and ITRF08 (current epoch). For tectonic plate corrections the plate EURASIA was used. As per your request, the tectonic plate was determined automatically by the RTX-PP server based on the estimated latitude and longitude of the observation data.

The report is attached to this e-mail in XML and PDF formats.

This e-mail was generated automatically by [TrimbleRTX.com](https://TrimbleRTX.com).

Служба коррекции сервиса Trimble GNSS Correction Services для обработки файлов, получаемых на непрерывно действующей геодезической сети.

приращения координат метод PPP			приращения координат статический метод			Dx(м)	Dy(м)	Dh(м)
9823.414	-29418.619	-15.812	9823.401	-29418.598	-15.833	0.013	-0.021	0.021
-4970.396	5887.381	-7.4	-4970.39	5887.379	-7.404	-0.006	0.002	0.004
-3192.102	-27051.795	9.987	-3192.101	-27051.766	9.994	-0.001	-0.029	-0.007
13721.297	11033.309	16.79	13721.282	11033.298	16.76	0.015	0.011	0.03
29150.007	-43934.803	-12.2	29149.976	-43934.781	-12.226	0.031	-0.022	0.026
-21573.709	6022.608	30.602	-21573.691	6022.609	30.606	-0.018	-0.001	-0.004
-206.01	3769.347	1.166	-206.014	3769.347	1.164	0.004	0	0.002
21801.67	-16612.598	14.486	21801.648	-16612.588	14.481	0.022	-0.01	0.005
-16360.765	22252.886	-8.226	-16360.75	22252.87	-8.224	-0.015	0.016	-0.002
-14793.81	35306	8.411	-14793.793	35305.981	8.431	-0.017	0.019	-0.02
-13015.516	2366.824	25.799	-13015.503	2366.828	25.825	-0.013	-0.004	-0.026
3897.883	40451.928	32.602	3897.882	40451.893	32.587	0.001	0.035	0.015
19326.593	-14516.184	3.611	19326.57	-14516.171	3.605	0.023	-0.013	0.006
-31397.123	35441.227	46.414	-31397.093	35441.212	46.435	-0.03	0.015	-0.021
-10029.424	33187.966	16.978	-10029.416	33187.947	16.999	-0.008	0.019	-0.021
11978.256	12806.021	30.297	11978.246	12806.01	30.315	0.01	0.011	-0.018
-26184.179	51671.504	7.586	-26184.157	51671.482	7.607	-0.022	0.022	-0.021
1778.294	-32939.176	17.388	1778.289	-32939.145	17.396	0.005	-0.031	-0.008
18691.693	5145.928	24.19	18691.673	5145.92	24.165	0.02	0.008	0.025
34120.403	-49822.184	-4.8	34120.369	-49822.162	-4.825	0.034	-0.022	0.025
-16603.313	135.227	38.003	-16603.3	135.229	38.009	-0.013	-0.002	-0.006
4764.386	-2118.034	8.566	4764.376	-2118.031	8.569	0.01	-0.003	-0.003

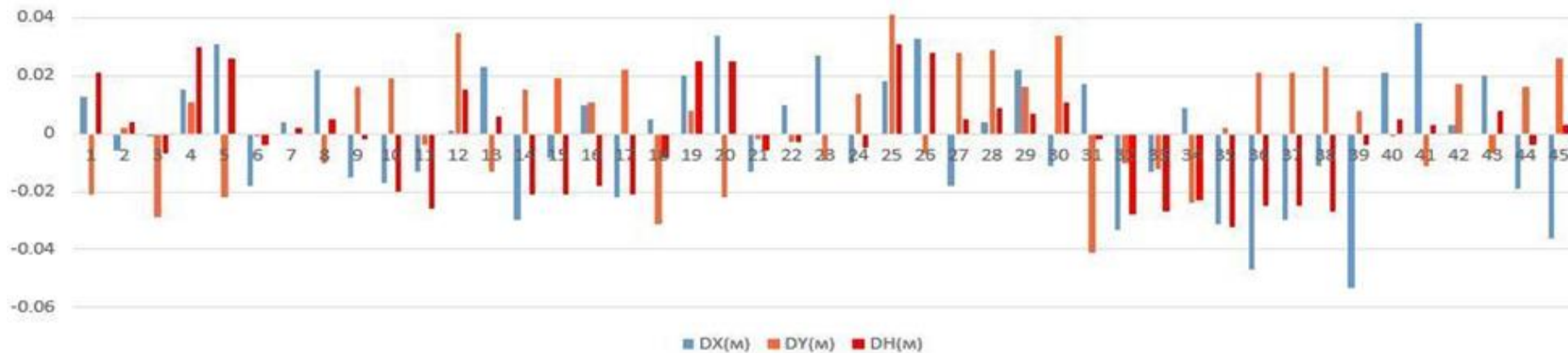
На основе рассчитанных координат пунктов (X, Y, Z) и их средних квадратических отклонений ( $mX$ ,  $mY$ ,  $mZ$ ), полученных методом PPP в международной общеземной системе отсчета International Terrestrial Reference Frame ITRF2014 (WGS-84), определены приращения координат базовых линий ( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ ) и их средних квадратических отклонений ( $mdX$ ,  $mdY$ ,  $mdZ$ )

Фрагмент таблицы анализа разностей приращений координат

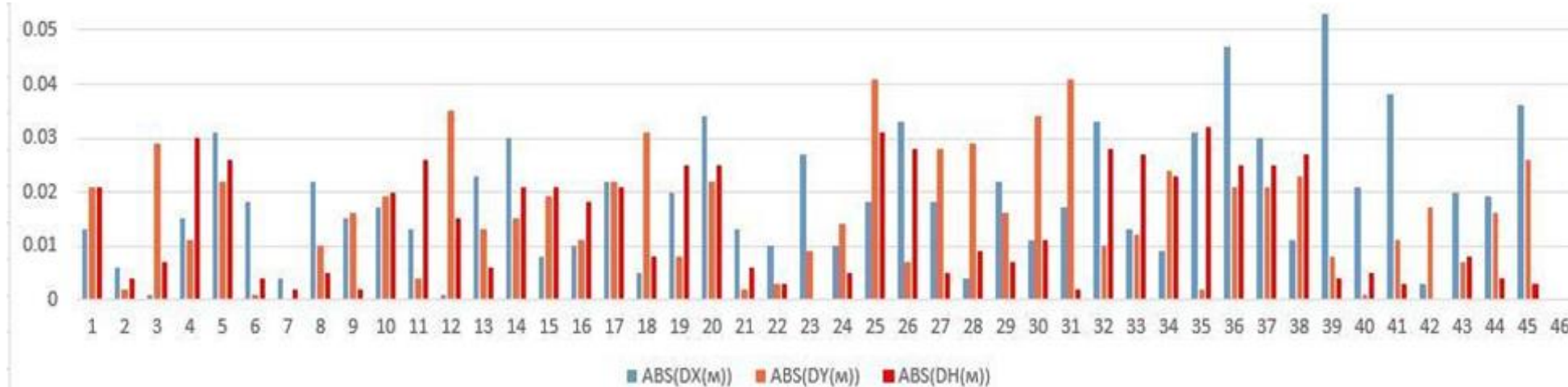
Сравнивались разности координат для каждой базовой линии, согласно схемы, полученной при обработке этих же наблюдений в программном обеспечении Topcon Tools, для случая относительных наблюдений.

При анализе разностей приращений координат, выполненном в Microsoft Excel, для непрерывно действующей ГНСС-сети, схема которой была приведена ранее, для каждой из линий были сравнены показатели, полученные методом позиционирования высокой точности и статическим.

Полный объем выборки составил 135 разностей приращений координат.



**Величины разностей приращений координат, полученных методами позиционирования высокой точности и статических измерений**



**Оценка абсолютных величин разности приращений координат, полученных методами позиционирования высокой точности и статических измерений**

Результаты оценки показателей величин разностей приращений векторов, полученных методом PPP и методом статических измерений ГНСС-сети.

Средние полученные значения разности приращений координат составили менее 20 мм, что говорит о значительной близости и равнозначности полученных результатов.



№	PPP			Statica			Katalog		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
9	9616.166	7316.086	34.265	9616.127	7316.091	34.252	9616.140	7316.101	34.228
10	9439.680	7897.468	19.301	9439.677	7897.495	19.291	9439.739	7897.492	19.287
7	4645.770	3203.468	26.142	4645.728	3203.263	26.727	4645.696	3203.464	26.695
8	9410.156	1085.434	35.360	9410.111	1085.439	35.345	9410.104	1085.458	35.292

### Координаты определяемых контрольных пунктов

№	PPP - Statica			PPP - Katalog			Statica - Katalog		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
9	0.039	-0.005	0.013	0.026	-0.015	0.037	-0.013	-0.01	0.024
10	0.003	-0.027	0.010	-0.059	-0.024	0.014	-0.062	0.003	0.004
7	0.042	0.005	0.015	0.074	0.004	0.047	0.032	-0.001	0.032
8	0.045	-0.005	0.015	0.052	-0.024	0.058	0.007	-0.019	0.053

### Разность координат определяемых контрольных пунктов

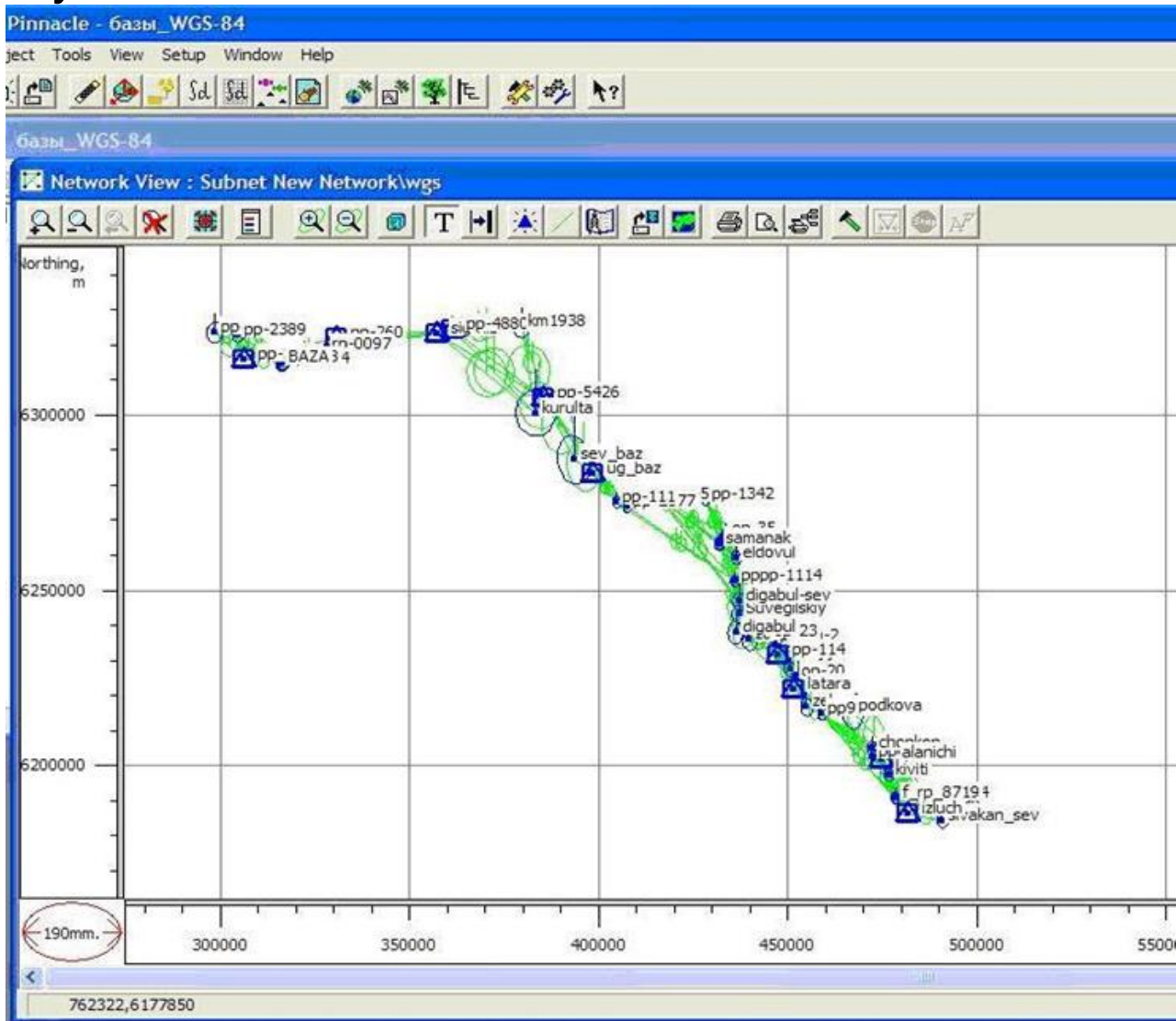
**Вычисление координат четырех определяемых контрольных пунктов, анализ полученных данных и сравнение их с каталожными значениями.**

**Результаты вычисления координат, их анализ и сравнение показывают, что разница координат каталожных значений контрольных пунктов и координат этих пунктов, полученных методом PPP и методом статических наблюдений одного порядка величины. Это говорит о равнозначности методов ГНСС-наблюдений.**

**Статический метод требует синхронизированных по времени наблюдений на пунктах. В сложных физико-географических условиях это не всегда может быть выполнено в полном объеме.**

**Применение метода PPP не требует синхронных наблюдений на пунктах.**

Осуществлена при выполнении инженерных изысканий в районе Байкало-Амурской магистрали на линейном объекте изысканий протяженностью порядка 400 км, расположенном в сложных физико-географических условиях



Начальный этап - построение каркасной ГНСС-сети методом статических измерений.

Координаты исходных пунктов представлены в трех местных системах координат.

За исходные взяты пункты государственной геодезической сети не ниже 2 класса точности с высотами, полученными геометрическим нивелированием не ниже 4 класса точности.

На этих пунктах выполнены длительные ГНСС-наблюдения и методом PPP вычислены координаты и высоты в системе отсчета ITRF2014 (WGS 84).

Далее было выполнено уравнивание каркасной сети в ПО Topcon Tools.

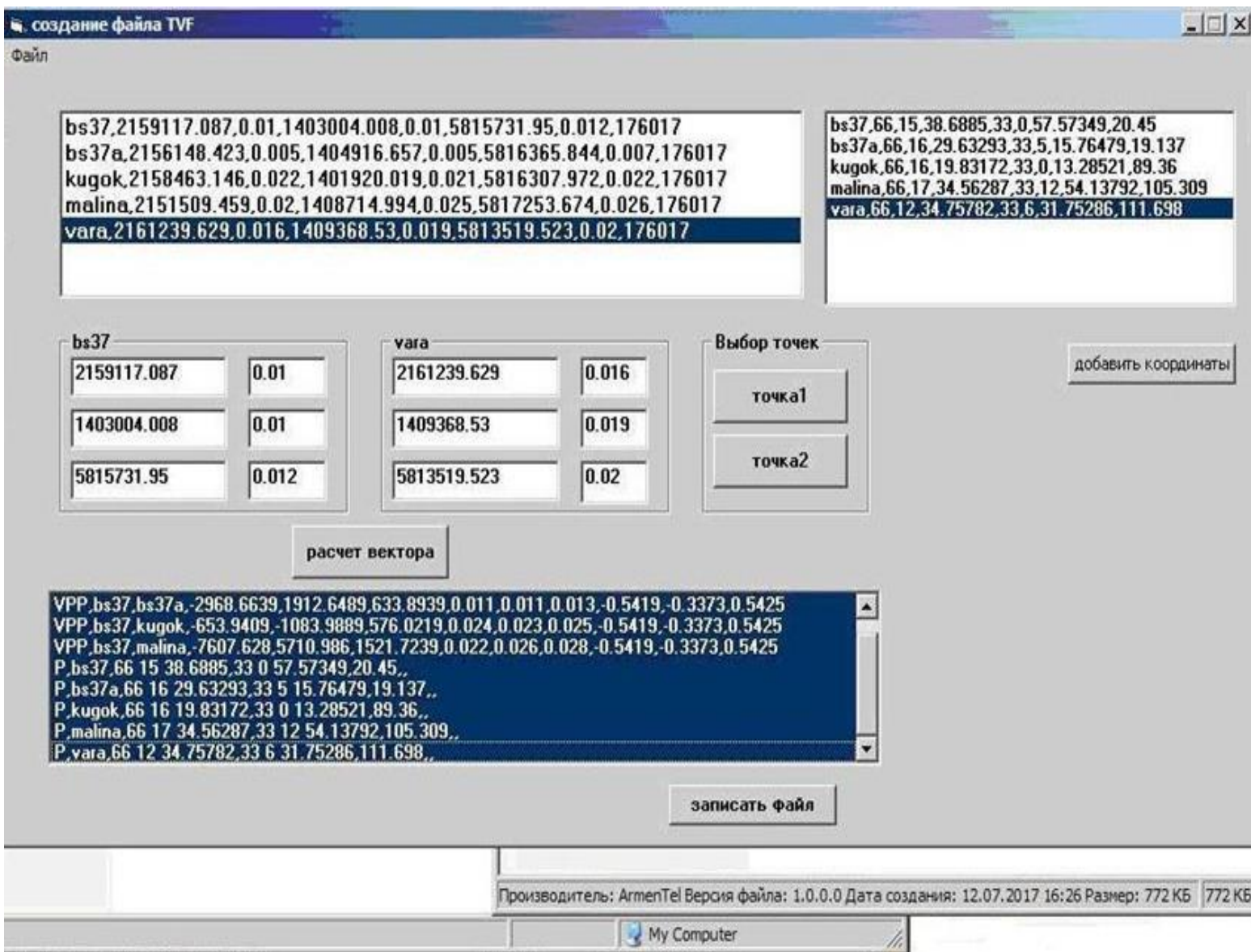
На следующем этапе выполнено уравнивание каркасной сети в местных системах координат с использованием модели геоида Earth Gravitational Model EGM2008.

Схема каркасной сети

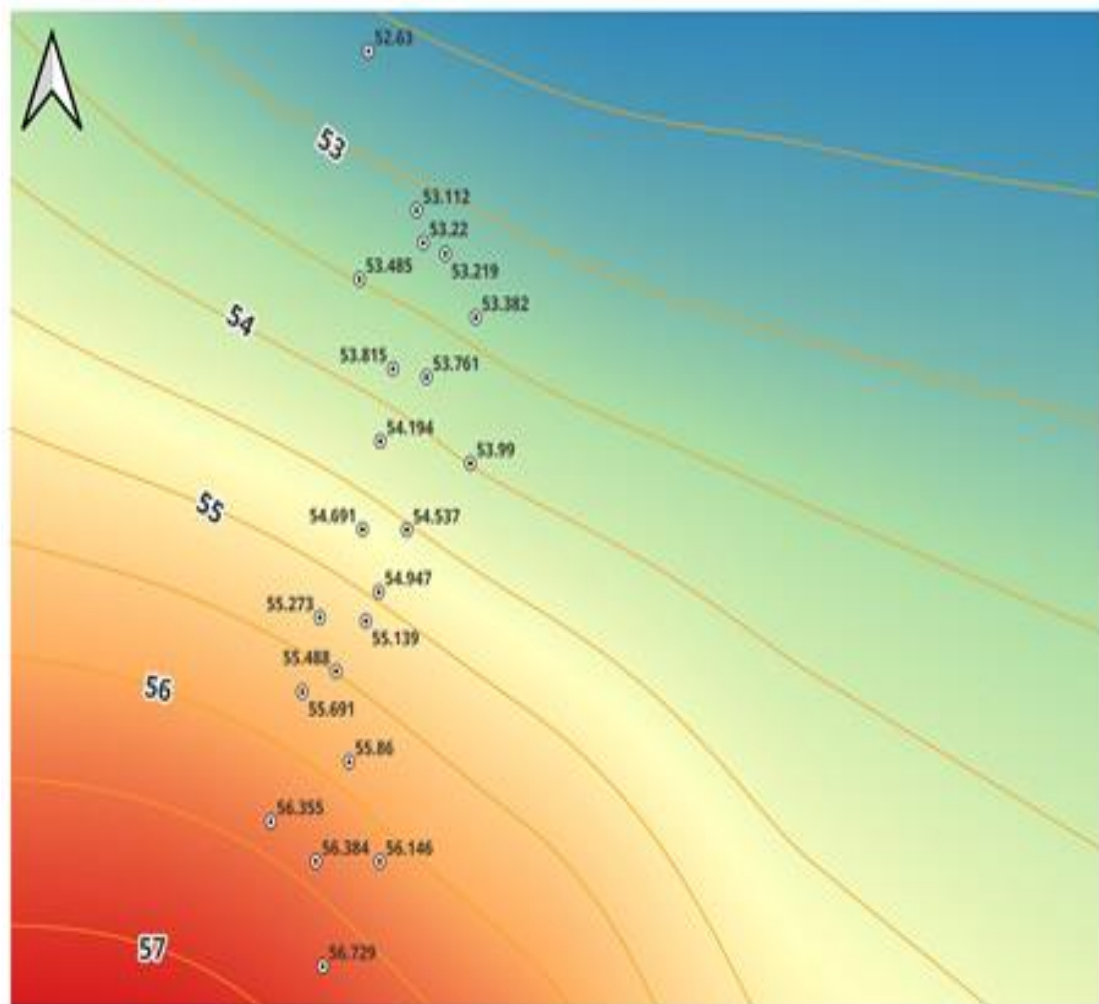


Позволяет вычислять по координатам свободной базисной станции и координатам ближайших пунктов (в системе WGS-84, X, Y, Z, mX, mY, mZ, B, L, H) компоненты приращения координат DX, DY, DZ и создавать SNAP-файлы с данными по станциям и базовым линиям и их точностные характеристики.

Файлы импортировались в качестве вставки спутникового построения в проект Topcon Tools каркасной сети и выполнялось уравнивание, с получением точных координат и высоты свободной станции. Вычислялись и вносились соответствующие поправки в координаты и высоты точек, полученных в результате съемки в режиме кинематики реального времени.



Интерфейс разработанной программы



Масштаб 1:1100000

Эта нормальная система высот основана на использовании отвесной линии, проходящей через снимаемую точку.

Высоты в методе PPP определяются относительно нормали к исходному эллипсоиду. Для вычисления необходимых поправок используют модель геоида. Для решения задачи уточнения стандартной модели геоида, на основе значений нормальных высот исходных пунктов, с использованием ГИС-технологий была создана локальная пространственная геоинформационная модель поправок.

Это модель поверхности разности нормальных и эллипсоидальных высот исходных пунктов, полученная с использованием возможностей алгебры растров в ГИС QGIS в системах координат объекта работ для всего участка в районе Байкало-Амурской магистрали.

**Спасибо за внимание!**