

Калабин Е.В.

## Привязка постоянно действующей станции в г. Тюмень к общеземной каркасной сети ITRF2005

### Назначение станции

Постоянно действующая базовая станция г. Тюмени (TUMP) создана ЗАО «ПРИН» на базе представительства ЗАО «ПРИН» в г. Тюмени для целей проведения демонстрации возможностей современных сервисов предоставляемых пользователям постоянно действующими станциями, проведения исследовательских работ по изучению возможностей сетевого программного обеспечения VRS<sup>3</sup>Net, использованию международных сервисов и решению ряда научно-прикладных задач.



Рис.1. Закрепление фазового центра антенны

Аналогичные станции расположены в офисе ЗАО «ПРИН» (г. Москва), в институте ВНИИФТРИ (п. Менделеево, Московская обл.), в ООО «Азимут» (г.

Жуковский, Московская обл.) и в ближайшее время в представительстве ЗАО «ПРИН» г. Санкт-Петербург.

## **Система координат**

При создании локальных сетей постоянно действующих станций одной из важнейших задач является их привязка к опорным пунктам общеземной сети, имеющей координаты, регулярно уточняемые и вычисляемые с высокой степенью точности. Одной из таких общеземных сетей является международная каркасная сеть ITRF. Пункты этой сети покрывают все материки земного шара и используются для решения широкого спектра научных и практических задач, важнейшими из которых являются определение формы Земли и геодинамические исследования движений материков. Координаты данных пунктов измеряются как непрерывно, так и периодически с применением спутниковых средств измерений ГНСС, радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) и лазерных методов измерений. Помимо расчета самих координат пунктов с высокой точностью определяются направления и скорости их движения (дрейфа), что в свою очередь дает возможность прогнозирования положения пунктов на определенный момент времени с субмиллиметровой точностью. Доступ к данной информации свободен и может быть осуществлен через интернет-серверы международных научных служб, например центра сбора и обработки спутниковых данных SOPAC.

## **Исходные данные**

В настоящее время постоянно действующая базовая станция, расположенная в г. Тюмень оснащена спутниковым приемником Trimble NetR9 GNSS и высокоточной антенной типа ChokeRing. К закреплению антенны были применены самые жесткие критерии надежности ее фиксации и стабильности положения. Первые сессии измерений были запущены по истечении полугода после закладки установочной платформы под антенну. С помощью программы TEQC был выполнен предварительный анализ качества выбранного места закрепления антенны с точки зрения ошибок вызываемых эффектом многолучевости и приемных свойств спутникового комплекса. Обработка четырех дневных абсолютных измерений показала высокую стабильность (повторяемость) измерений и минимальное влияние на результаты инструментальных и атмосферных особенностей.

С помощью программы Trimble 4D Control размещенной на сервере мониторинга в московском офисе компании ЗАО «ПРИН» было установлено постоянное удаленное подключение к приемнику, расположенному в тюменском офисе ПРИН. Сырые данные измерений, передаваемые через интернет в формате RT-27, регистрировались на сервере в Москве и затем сохранялись на жесткий диск сервера в стандартном формате RINEX.

В качестве исходных пунктов каркаса ITRF были использованы 10 ближайших к Тюмени референчных станций:

п/п	Обозначение пункта	Регион/населенный пункт расположения	Примерное удаление от TUMP Тюмень ПРИН (км)
1	ARTU	Екатеринбург	440
2	NVSK	Новосибирск	1130
3	NOVM	Новосибирск	1100
4	CHUM	Чумыш (Казахстан)	1700
5	MDVJ	Менделеево, Московская обл.	1740
6	MOBK	Обнинск, Московская обл.	1800
7	MOBN	Обнинск, Московская обл.	1810
8	NRIL	Норильск	1760
9	POL2	Бишкек, Кыргызстан	1730
10	ZWE2	Звенигород, Московская обл	1770

Таблица 1. Список пунктов каркасной сети ITRF

Для приведенных выше станций с серверов SOPAC были загружены файлы измерений в формате RINEX за период с 3 марта 2011г. по 9 марта 2011 (6 полных дней). Для расчета координат использовался программный пакет Trimble Business Center. Исходные координаты данных пунктов также были получены через web-сервис SOPAC на средний момент времени полной сессии измерений, т.е. на 5 марта.

#### Обработка базовых линий в Trimble Business Center (TBC)

Обработка векторов и уравнивание сети выполнялось программным пакетом TBC версии 2.40 с обязательным привлечением высокоточных финальных эфемерид спутников ГНСС. В результате отбраковки неразрешаемых векторов была сформирована сеть следующей конфигурации:

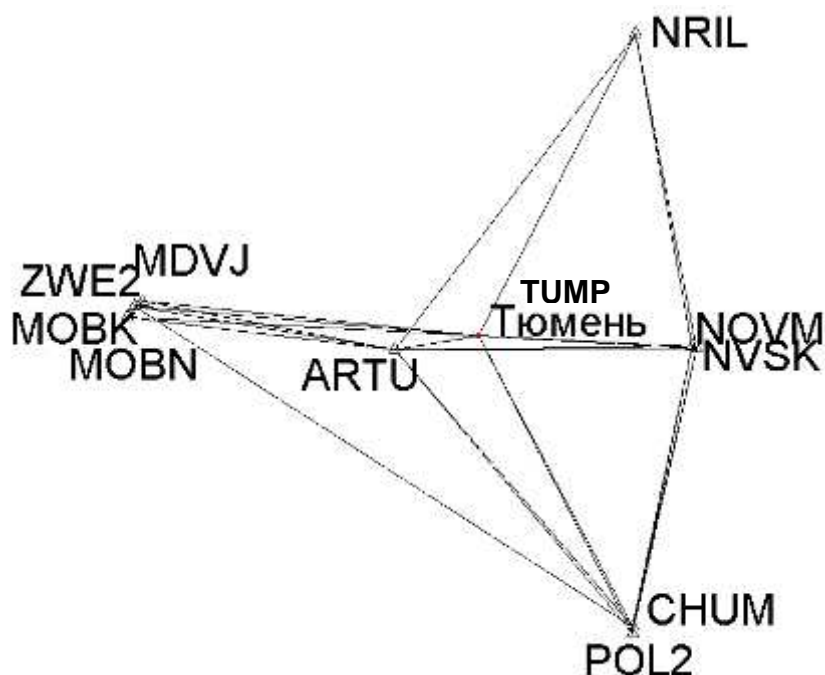


Рис. 2. Схема каркасной сети ITRF для привязки пункта TUMP

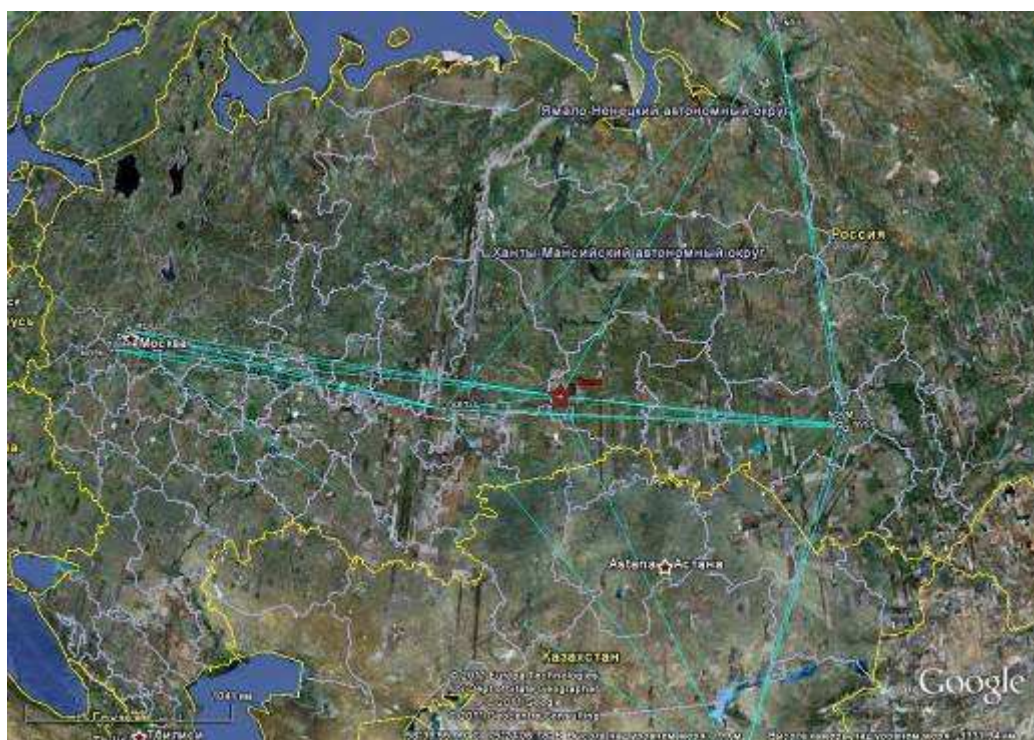
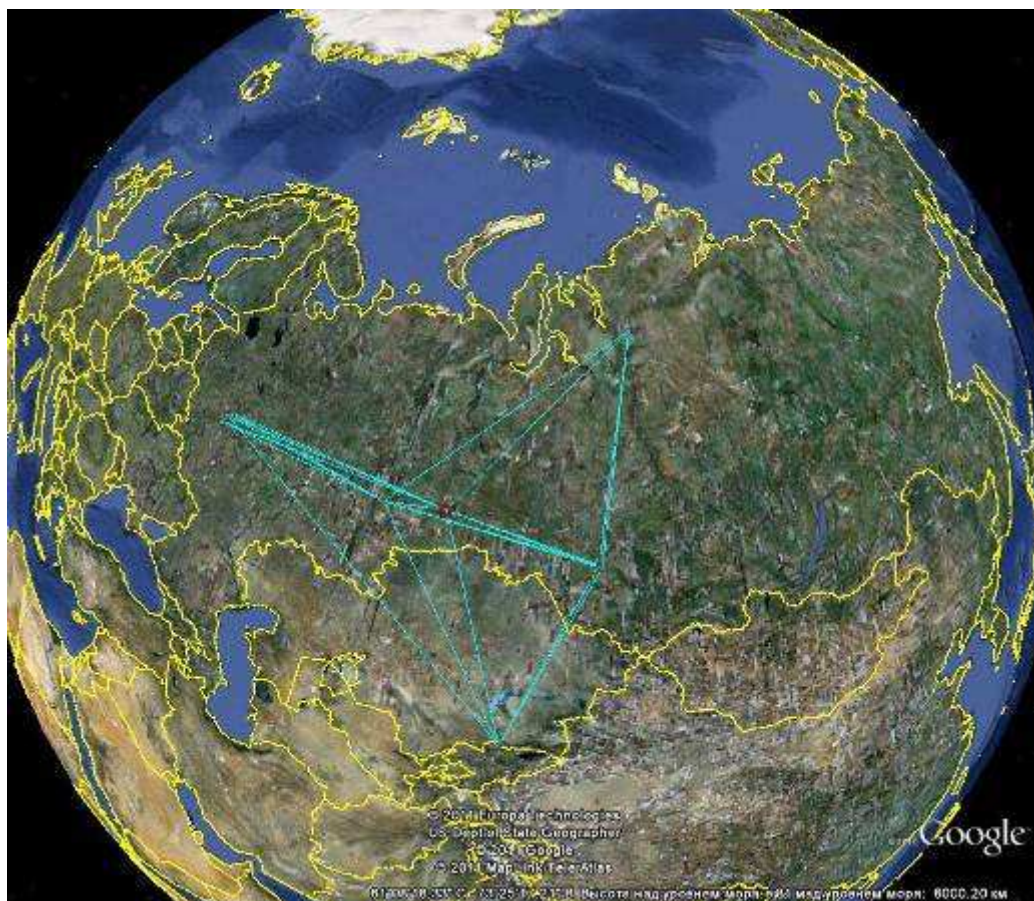


Рис. 3. Вид той же сети в сервисе Google Earth:

Учитывая значительные расстояния между пунктами и их небольшое количество на территории России, перед расчетом каждого вектора проводился анализ сессии измерений с целью выявления временных участков, имеющих срывы и их устранения из данных совместной обработки. Забракованные области

(Рис. 4.) данных для одной из базисных линий с выявленными срывами затенены серой штриховкой:

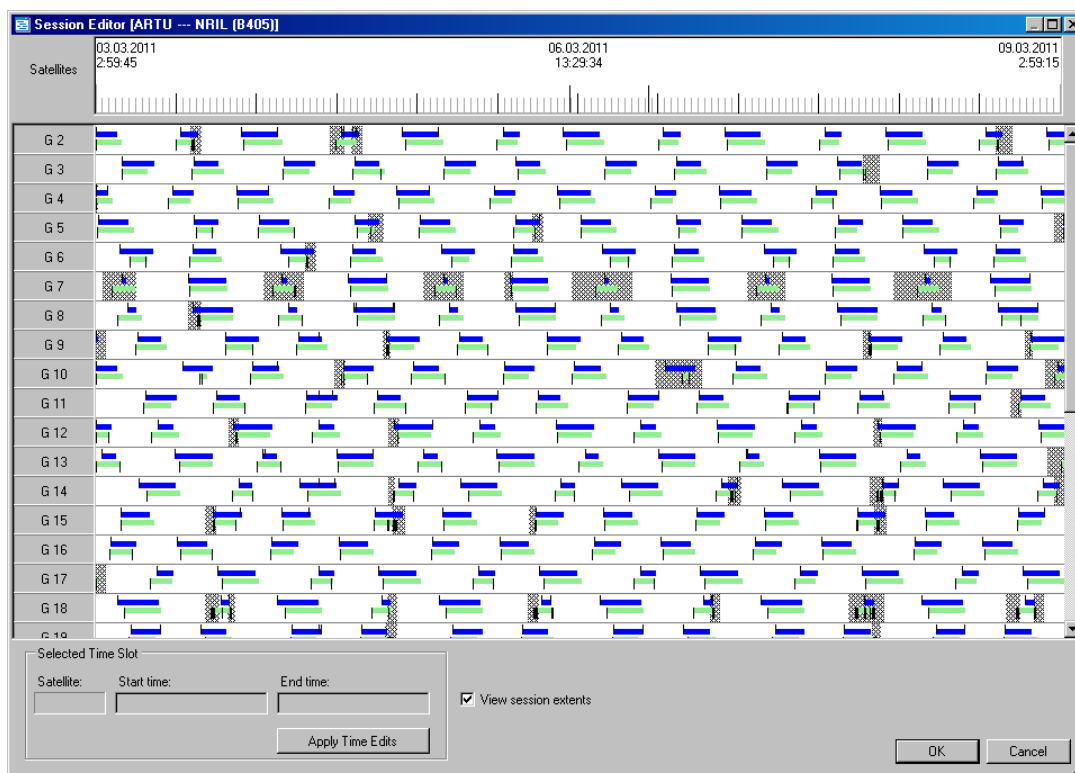


Рис. 4. Выбраковка некачественных данных

В результате таких действий удалось получить фиксированные решения для нескольких векторов, дающих без редактирования только плавающее решение. Тем не менее, для последующего уравнивания было принято решение о включение двух линий, имеющих плавающее решение, но дающих дополнительную жесткость каркаса сети.

О качестве результатов постобработки векторов можно судить по данным сводной таблицы:

От точки	До точки	Тип решения	Точность в плане, м	Точность по высоте, м
CHUM	ZWE2	Float	0.0030	0.0047
NRIL	NOVM	Fixed	0.0029	0.0037
ARTU	NRIL	Float	0.0027	0.0044
NRIL	TUMP	Fixed	0.0027	0.0045
NOVM	TUMP	Fixed	0.0026	0.0038
CHUM	NOVM	Fixed	0.0026	0.0058
ARTU	NVSK	Fixed	0.0025	0.0049
CHUM	NVSK	Fixed	0.0025	0.0039
NRIL	NOVM	Fixed	0.0024	0.0050
NOVM	ARTU	Fixed	0.0023	0.0043
NOVM	TUMP	Fixed	0.0022	0.0040
NVSK	NRIL	Fixed	0.0021	0.0046
POL2	NVSK	Fixed	0.0021	0.0038
POL2	NOVM	Fixed	0.0021	0.0039
NOVM	ARTU	Fixed	0.0019	0.0043
NVSK	TUMP	Fixed	0.0018	0.0036
CHUM	NOVM	Fixed	0.0018	0.0038
Tume	ZWE2	Fixed	0.0018	0.0030
ARTU	ZWE2	Fixed	0.0018	0.0027
MDVJ	TUMP	Fixed	0.0017	0.003
CHUM	ARTU	Fixed	0.0017	0.0030
POL2	ARTU	Fixed	0.0016	0.0032
POL2	NOVM	Fixed	0.0016	0.0036
MOBN	ARTU	Fixed	0.0015	0.0028
MOBK	TUMP	Fixed	0.0015	0.0032
MOBN	TUMP	Fixed	0.0015	0.0031
ARTU	MDVJ	Fixed	0.0014	0.0025
CHUM	TUMP	Fixed	0.0014	0.0030
POL2	TUMP	Fixed	0.0013	0.0030
NVSK	NOVM	Fixed	0.0013	0.0040
MOBK	ARTU	Fixed	0.0012	0.0028
ARTU	TUMP	Fixed	0.0011	0.0025
NVSK	NOVM	Fixed	0.0011	0.0036
MOBN	ZWE2	Fixed	0.0009	0.0022
MOBK	ZWE2	Fixed	0.0009	0.0022
MDVJ	ZWE2	Fixed	0.0009	0.0020
MOBN	MDVJ	Fixed	0.0009	0.0021
MDVJ	MOBK	Fixed	0.0009	0.0021
POL2	CHUM	Fixed	0.0007	0.0020
MOBN	MOBK	Fixed	0.0002	0.0002

Таблица 2. Вариант решения и СКО векторов

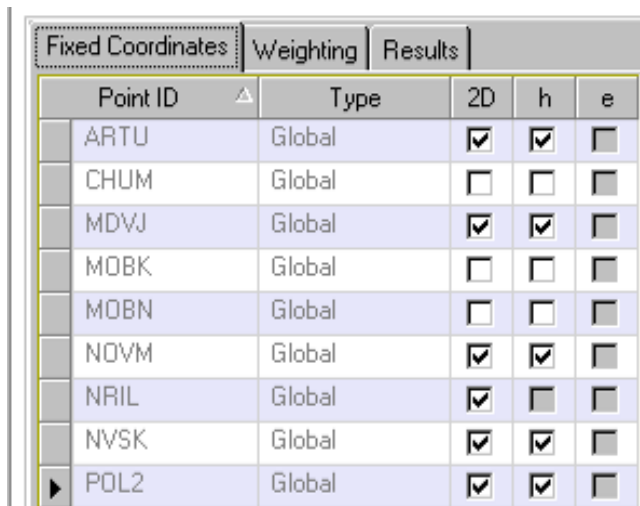
Максимальные значения погрешностей для вычисленных векторов составили: 3мм в плане и 6мм по высоте. На все этапы подготовки, редактирования и обработки базовых линий было затрачено около 2 часов.

## Уравнивание сети

Процедура уравнивания производилась в два этапа:

1. Свободное уравнивание для выявления слабых мест сети.
2. Уравнивание с фиксацией координат выбранных опорных пунктов.

Таким образом, были отобраны наиболее качественные исходные пункты, дающие хорошую оценку результатов уравнивания. Пункты, имеющие наибольшие погрешности в свободном уравнивании, не фиксировались, но и не удалялись из сети векторов, так как их вклад оказался весьма ценен, с точки зрения жесткости каркаса сети и избыточности данных для уравнивания. Для расчета нормальных высот использовалась модель геоида EGM2008. На рисунке видно, какие пункты были зафиксированы с плановыми координатами и высотами:



Fixed Coordinates		Weighting	Results		
Point ID	Type		2D	h	e
ARTU	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CHUM	Global		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MDVJ	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOBK	Global		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOBN	Global		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOVM	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NRIL	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NVSK	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
POL2	Global		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис.5. Выбор априорных пунктов

Ниже приведены выдержки из стандартного протокола результатов уравнивания:

### Adjustment Statistics

Number of Iterations for Successful Adjustment:	3
Network Reference Factor:	1.00
Chi Square Test (95%):	Passed
Precision Confidence Level:	95%
Degrees of Freedom:	104

### Post Processed Vector Statistics

Reference Factor:	1.00
Redundancy Number:	104.00
A Priori Scalar:	10.38

### Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">ARTU</a>	1843956.5696	?	3016203.1654	?	5291261.7514	?	?	LLh
<a href="#">CHUM</a>	1228950.6256	0.0050	4508079.9410	0.0090	4327868.5165	0.0088	0.0136	
<a href="#">MDVJ</a>	2845455.9562	?	2160954.3209	?	5265993.2712	?	?	LLh
<a href="#">MOBK</a>	2936424.5153	0.0055	2178374.1176	0.0049	5208858.4737	0.0081	0.0110	
<a href="#">MOBN</a>	2936431.9309	0.0055	2178364.6367	0.0049	5208858.2949	0.0081	0.0110	
<a href="#">NOVM</a>	452260.9268	?	3635877.4865	?	5203453.2182	?	?	LLh
<a href="#">NRIL</a>	64537.0534	?	2253782.8966	?	5946363.5407	?	?	LL
<a href="#">NVSK</a>	433605.4139	?	3655558.5547	?	5191286.6859	?	?	LLh
<a href="#">POL2</a>	1239971.2001	?	4530790.1156	?	4302578.8391	?	?	LLh
<a href="#">TUMP</a>	1433257.1245	0.0047	3159812.1530	0.0057	5333968.8034	0.0080	0.0109	
<a href="#">ZWE2</a>	2886335.7002	0.0063	2155987.6874	0.0057	5245818.8695	0.0093	0.0126	

Таблица 3. Протокол результатов уравнивания

В результате уравнивания для станции TUMP были получены следующие значения погрешностей в топоцентрических координатах:

Плановая ошибка в северном направлении:	0.0026 м.
Плановая ошибка в восточном направлении:	0.0041 м.
Ошибка высоты над эллипсоидом:	0.0098 м.
Ошибка нормальной высоты:	0.0098 м.

### Независимый контроль

Для подтверждения достоверности полученных координат станции TUMP были выполнены независимые обработки с привлечением нескольких, имеющих свободный доступ веб-сервисов, позволяющих вычислить координаты (WGS84/ITRF) по данным совместной обработки пользовательского файла RINEX и отбираемых в автоматическом или ручном режиме референчных станций IRTF:



1. Веб-сервис SOPAC, использующий для обработки программу SCOUT (США).
2. AUSPOS online GPS Processing Service (Австралия)
3. NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL) service (США)
4. Сервис уточнения координат по RINEX файлу ИАЦ КВНО ЦНИИМаш (Россия)

Все сервисы предусматривали загрузку файла(ов) измерений Тюменской станции в стандартном формате RINEX, с последующей автоматической обработкой и пересылкой полученных результатов по электронной почте. Ниже приведены 3D-отклонения положения станции TUMP от координат, полученных при обработке онлайн-службами:

<b>Онлайн-служба</b>	<b>Отклонение d3D, мм</b>
Sopac (Scout)	4.5
AusPOS	21.8
ИАЦ КВНО ЦНИИМаш	37.8
JPL	53.1

### **Заключение**

Проведенные работы по привязке референцной станции г. Тюмени к каркасной общеземной сети ITRF позволяют с уверенностью заявить о возможности использования программного пакета Trimble Business Center для решения аналогичных задач при условии большой удаленности исходных пунктов, а также о достоверности полученных при обработке (и уравнивании) координат определяемого пункта. Полученный с контролем уровень точности позволяет использовать опорную станцию TUMP как в качестве исходного пункта при создании сетей постоянно действующих референцных станций в Тюменской области и соседних регионах, так и для различных научно-исследовательских изысканий.

Процедура привязки станции TUMP была выполнена полностью силами специалистов компании ПРИН.