

Описание методики трансформации точных ГНСС измерений для представления результатов в местных системах координат (МСК) без использования сведений каталогов ГГС

**2016
г. Москва**

Содержание

Термины и определения

Цели и задачи

Понятие ITRF

Анализ текущего состояния МСК

Общие положения методов преобразований координат

Описание массива исходных данных и метода интерполяции

Анализ работы метода на примере региона Московская область

Предложение развития метода на другие регионы

Обучаемость модели.

Выводы

Перспективы применения метода

Термины и определения

Собственная система координат -

единая для всех используемых средств ГНСС геоцентрическая система, в которой производятся измерения.

ГНСС измерения -

Измерения расстояний от известных положений спутников до определяемых наземных объектов, отнесенных к точке приема сигналов от спутников ГНСС.

Известные положения спутников (точные орбиты, коэффициенты уравнений начальных условий орбит) -

на момент измерений определяются начальными условиями их орбит и уравнениями движения относительно стандартной модели Земли.

Модель земли -

- применяемая в измерениях от спутников GPS, использует в качестве референц-эллипсоида WGS-84;

- применяемая в измерениях от спутников ГЛОНАСС, использует в качестве референц-эллипсоида ПЗ-90.11;

Поскольку в геодезическом производстве приемников работающих только по спутниковым сигналам ГЛОНАСС не существует, то наиболее важной задачей является пересчет измерений из собственной системы WGS-84 в наиболее распространенные типы проекций, государственные и местные системы.

Государственная геоцентрическая система координат ГСК 2011-

Постановлением правительства РФ от 28 декабря 2012 г. No 1463 геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011) утверждена в качестве единой государственной системы координат для использования при осуществлении геодезических и картографических работ.

Особенность данной системы в том, что в настоящее время, измерений в ней не ведется ничем. Исходные пункты ГС приводятся к этой системе методом трансформации существующих описаний (координат) этих пунктов в проекциях государственных систем разных лет издания.

Проекция

Способ представления, географических описаний на плоскости. В Российской Федерации применяется равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера (в зарубежном стандарте Transverse Mercator) с выделением однородных по масштабу искажений сферических сегментов (зон) в разбивке на 6-ти градусные двухугольники.

Проекция является способом определения географических описаний на плоскости (в топографии). Системы координат картографии, учитывающей кривизну Земли к своим описаниям и топографии, в которой искажения за кривизну земли отсутствуют, образуют взаимосвязанные *геодезические системы координат и топоцентрические системы координат, или проекции*

Геодезическая система координат

Имеет началом отсчета пересечения нормали к поверхности земли с осью вращения. Определяется геодезическая система угловыми величинами измерений. Широта отсчитывается от плоскости экватора, а долгота от начального меридиана. Высота определяется разницей уровней определяемой точки по отношению к отсчетному эллипсоиду (референц-эллипсоиду).

Местная (топоцентрическая) система координат

Выражена плоскими прямоугольными координатами проекции Гаусса-Крюгера соответствующими широтам и долготам государственной геодезической системы в действующей редакции.

Местные системы координат (МСК регион) отличаются от топоцентрических координат государственных систем, смещением начал отсчета.

В качестве параметров установления местных систем вводятся: долгота осевого меридиана, масштаб длин на осевом меридиане, смещение нуля по северной координате и смещение нуля по восточной координате.

Последнее требование перешло к нам из эпохи докомпьютерных технологий, запрещавшее отрицательные величины координатных описаний к топографии.

Этот атавизм и по сей день прижился в стандартах.

Государственные системы координат СК-42 и СК-95

Редакции разных эпох уравнивания, топоцентрические системы, основанные на проекции Гаусса-Крюгера для 6-ти градусных зон. Отличаются, полученными в результате обобщений началами геоцентрических и геодезических систем, в теле общеземного эллипсоида, относительно собственной системы ГНСС измерений. Эти величины смещений документируются в виде наборов общих параметров преобразований, именуемые датумом.

Датум

Коэффициенты математического преобразования начал одного эллипсоида вращения к другому

Датум в прецизионных методах преобразования использует 7 параметров. Три линейных смещения начал D_X D_Y D_Z (в метрах), три угловых разворота системы относительно главных осей (в секундах) и масштаб длин в ppm.

Преобразование

Датум является набором коэффициентов математического преобразования одной пространственной системы отсчета к другой. Метод преобразования (сдвиг, разворот и масштаб, является расширенным случаем плоского аффинного преобразования в пространстве. Авторство метода приписывают Хельмерту, чьим именем этот метод и введен в технические регламенты.

Матрица отклонений

Математическое описание отклонений координат от их теоретического (истинного) значения в выбранной системе. Критерием истины является наиболее точный метод определения координат. Отклонения представлены разностями широт (DB) и долгот (DL) между двумя геодезическими системами (СК42 минус WGS84). Данные в системе СК 42 берутся из каталогов исторических редакций этой системы, как данные менее точных определений, соответствующих эпохе оптических методов наблюдений и вычислений в ограниченных способностях ЭВМ. Данные в системе (WGS84) определяются современными высокоточными методами ГНСС наблюдений, с подтвержденной точностью на два порядка выше оптических методов, с опорой на открытые данные международного геодезического ГНСС мониторинга.

Матрица отклонений может иметь две формы реализации:

Модель TIN (нерегулярная триангуляционная сеть) - способ представления поверхностей в трехмерном пространстве в виде триангуляционной сети. Узлы этой сети соответствуют приближенным положениям пунктов ГГС. Точные сведения о пунктах ГГС пока еще являются секретными, и потому матрица построена по приближенным сведениям о положении пунктов, но с точными значениями отклонений в этих точках.

Регулярная матрица - способ представления поверхностей разностей широт и долгот точек в виде регулярной сетки узлов с заданным шагом смещения по широте и долготе.

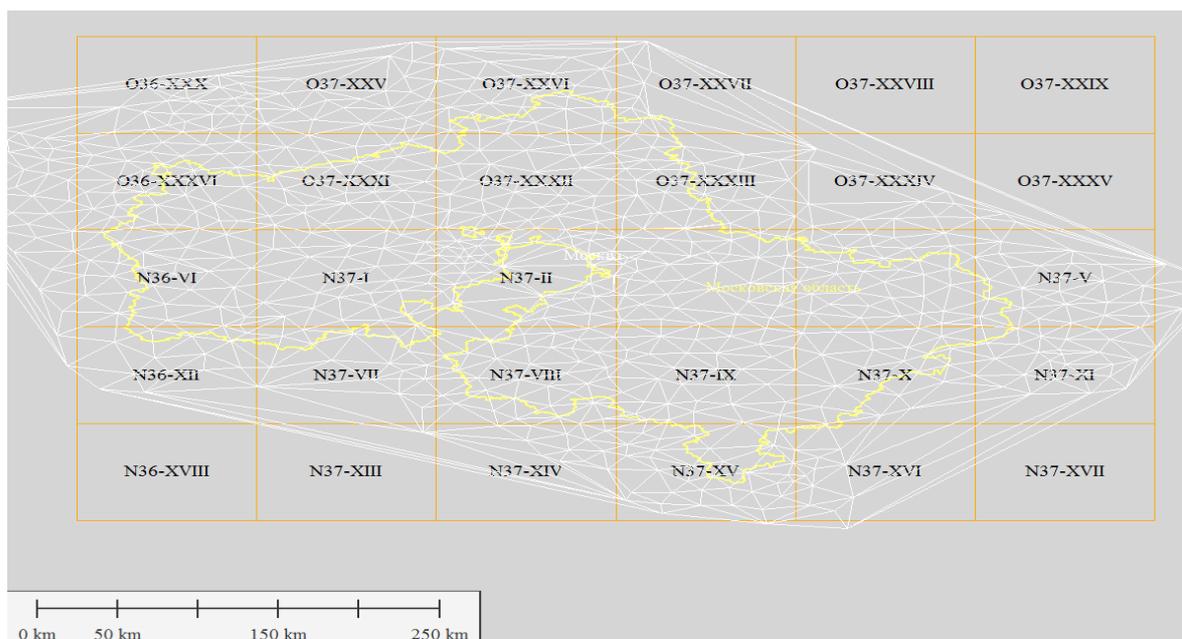


Рис.1 Вид географического положения нерегулярной матрицы для региона Московской области (граница показана желтым контуром) на фоне разграфки листов карт М 1:200000

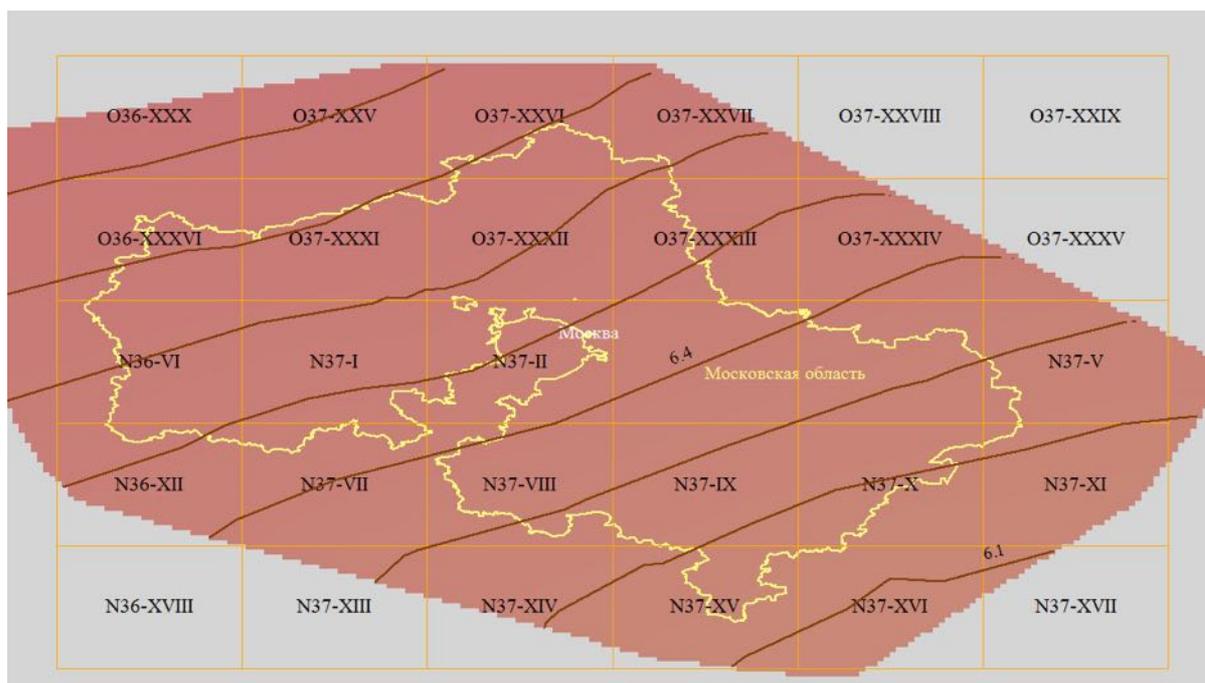


Рис.2 Вид матрицы отклонений долгот (DL) для региона Московской области на фоне разграфки листов карт М 1:200000. Изолинии с шагом 0.1 " нарушают плавность в концентрации пунктов с историческими накоплениями индивидуальных ошибок уравнивания СК42

Цели и задачи

Парадигма

Преобразование координат из одной системы в другую, является математической реализацией представления данных, разными способами, для достижения функционального соответствия их различным системам отсчета.

Представление данных в любой из систем, не может быть точнее метрики самой системы, полученной на момент развития технических средств её создания.

Трансформация описаний служит преемственности методов представления данных в разных системах, не улучшая, или искажая самих систем.

ITRF 2008 является на данный момент, реализацией системы с наивысшей геометрической точностью представления данных, основанной на базе высокоточных ГНСС определений, которым отводится приоритетный вес точности по отношению к другим системам.

В государственных СК спутниковые данные измерений, более высокого класса точности меняют свои масштабы длин для лучшего соответствия редакциям государственных СК . Разности несоответствий анализируются и накапливаются для обоснованных научно-практических решений.

В Российской Федерации на настоящий момент отсутствует целевая, продуманная государственная стратегия обеспечения отрасли геодезических измерений и картографии единой методикой координатных решений, которая :

- а) отвечала бы требуемой точности обоснования геодезических и кадастровых работ;
- б) соответствовала бы текущим возможностям средств измерений по точности;
- в) не имела бы конфликтов с различными реализациями систем координат прежних эпох.

А, поскольку, необходимость решения этих задач является сегодня камнем преткновения внедрения самых прогрессивных средств измерений, то представленную в данной работе частную инициативу можно считать одним из возможных путей решения перечисленных выше проблем.

Цель

Создать удобный открытый общественный информационный ресурс для представления географических описаний на уровне достоверных экспертных данных вычислений, в открытой для свободного опубликования системе координат.

"Открытый" в данном контексте, означает представляющий возможность публичного оказания услуг по представлению решений клиентских данных в системе координат МСК, не являющейся секретной.

Задачи

1. Продемонстрировать частное решение для отдельно взятого региона (Московская область) способное приводить (интерполировать) геодезические ГНСС измерения в собственной системе (ITRF2008) к виду и соответствию топоцентрической системы МСК 50, минуя необходимость синхронных наблюдений на пунктах ГГС.

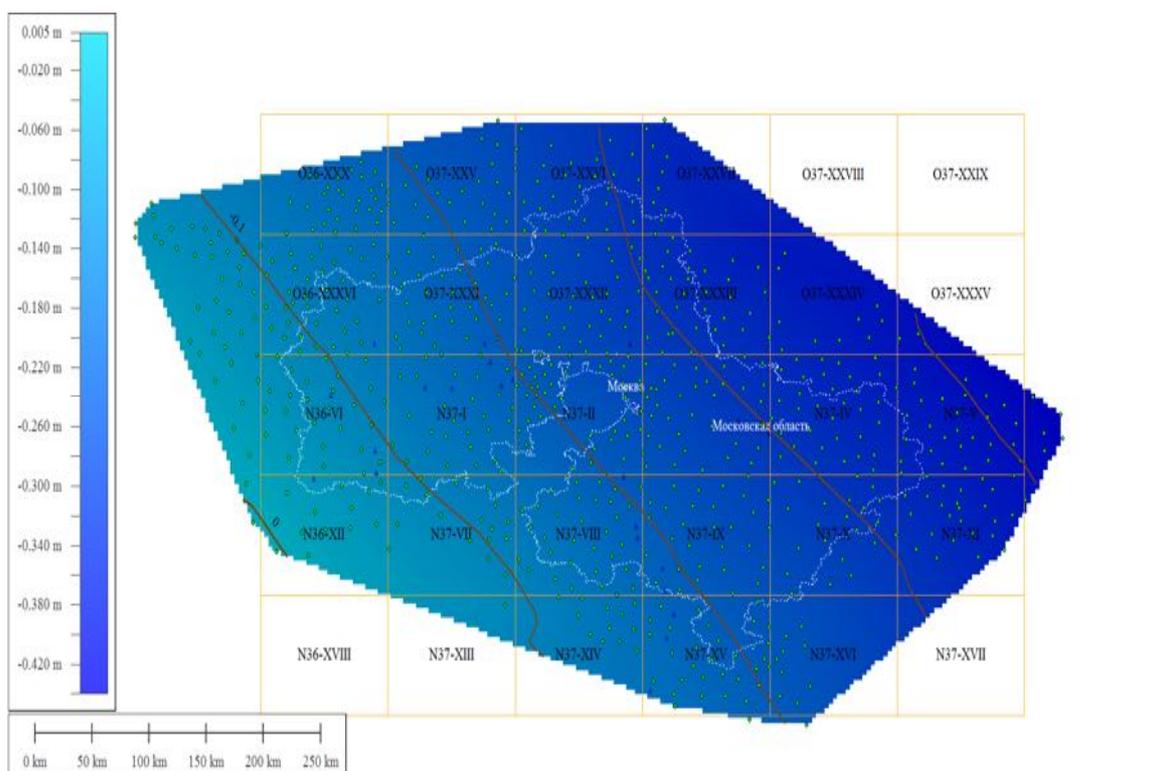


Рис.3. Представленная в виде слоев ГИС исходная модель данных :

- регулярная матрица разностей широты в градиентном фоне заливки синим в зависимости от величины разностей СК42-WGS84 в секундах с шагом 1 минута;
- разграфка листов карт в СК 42 М 1:200000;
- граница Московской области;
- местоположения пунктов ГГС в которых выполнены контрольные ГНСС измерения в системе ITRF2008, (синие треугольники)
- узлы TIN модели матрицы разностей DB DL в секундах (зеленые точки)
- изолинии (равных разностей широт) с шагом 0.1 секунды

2. Использовать TIN матрицу разностей DB DL в секундах, для условных положений пунктов ГГС, округленных до 200 метров, полученную из открытых источников публикуемых работ ЦНИИГАиК и университетской науки.

3. Произвести тестовые испытания и настройки исходной математической модели (матрицы) на фактическом полевом материале ГНСС измерений на выборке пунктов ГГС. С вычислениями в ручном, неавтоматизируемом режиме.

4. Оценить точность использования математической модели.

5. Дать предложение по созданию на основе этой модели самообучаемой системы данных, которая способна улучшить точности интерполяции по мере поступления в нее дополнительных данных ГНСС наблюдений на пунктах ГГС.

6. Описать методику интерполяции ГНСС наблюдений для её воплощения в виде автоматических методов программными решениями.

7. Заменить ГНСС наблюдения на пунктах ГГС, математической моделью данных исторических искажений координат дополняющих теоретические разности широт и долгот одноименных пунктов в разных геодезических системах координат. В данном случае с

использованием разностей широт и долгот СК42 на эллипсоиде Крассовского с системой ITRF2008 на эллипсоиде WGS 84 .

Понятие ITRF

В данной работе координаты пунктов ГГС и базовых станций приводятся к единой системе. Из общедоступных систем координат ITRF остается наиболее точной геодезической основой измерений в мире. Одновременно ITRF является и наиболее открытой системой публикации геодезических координат, без каких-либо законодательных или точностных ограничений.

Этими её свойствами и обусловлен выбор эталонной системы редуцирования ГНСС измерений к единой основе в данном проекте.

Роль данной системы сводится к открытому и доступному ресурсу редуцирования данных любых ГНСС наблюдений, как исходной основы, так и в будущем определяемых точек.

Международная Система Земной Относимости (ITRF) - реализация Международной Глобальной Системы отсчета (ITRS), созданной Международной Службой Систем отсчета и вращения (IERS). Официальный веб-сайт: itrf.ensg.ign.fr.

Глобальная система отсчета (TRS) - это система отсчета, вращающаяся вместе с Землей в соответствии с ее движением в пространстве. ITRS не накладывает условие вращения (NNR) горизонтальных перемещений, это означает, что данная величина не привязана к какой-либо конкретной тектонической плите.

В такой системе, расположенные на твердой поверхности Земли точки имеют координаты, которые претерпевают лишь небольшие изменения во времени, в связи с геофизических эффектов (тектонические или приливные деформации). Земная опорная система (TRF) представляет собой набор физических точек с точно определенными координатами в определенной системе (декартова, географические, отображение ...), прикрепленный к опорной системе земного координат. Такая TRF называется реализацией TRS.

ITRF не использует напрямую эллипсоид. ITRF использует декартовой систему ECEF (центр Земли, Земля закреплена) с осями X, Y, и Z. При необходимости они могут быть преобразованы в географические координаты (долгота, широта и высота), употребляемых эллипсоидов. В этом случае рекомендуется эллипсоид GRS80 (большая полуось $a = 6378137,0$ м, сжатие $= 1/298.257222101$). Этот эллипсоид был принят на Генеральной Ассамблее XVII Международного союза геодезии и геофизики (IUGG). В GRS80 первоначально использовался WGS84, но из-за более поздних изменений, возникли небольшие различия.

Текущая ITRS основана на ITRF2008, опубликованной на IERS 31 мая 2010 года.

Обновленная редакция ITRS основанная на ITRF2008 отнесена к дате 1 января 2011 года (2011.02)

ITRF2008 состоит из наборов положений станций и скоростей с их дисперсией и ковариационных матриц. Новое решение ITRF (ITRF2013) находится в стадии подготовки и планируется на июль-август 2014 года.

В данном проекте роль координат в системе ITRF 2008 сводится к эталонной системе координат воспроизводимой средствами ГНСС измерений в более открытом доступе, чем данные в МСК и других системах, локализованные на российских геодезических системах координат.

Для реализации методики первым шагом к обеспечению единства измерений было приведение исходной сети базовых станций к единой эпохе ITRF.

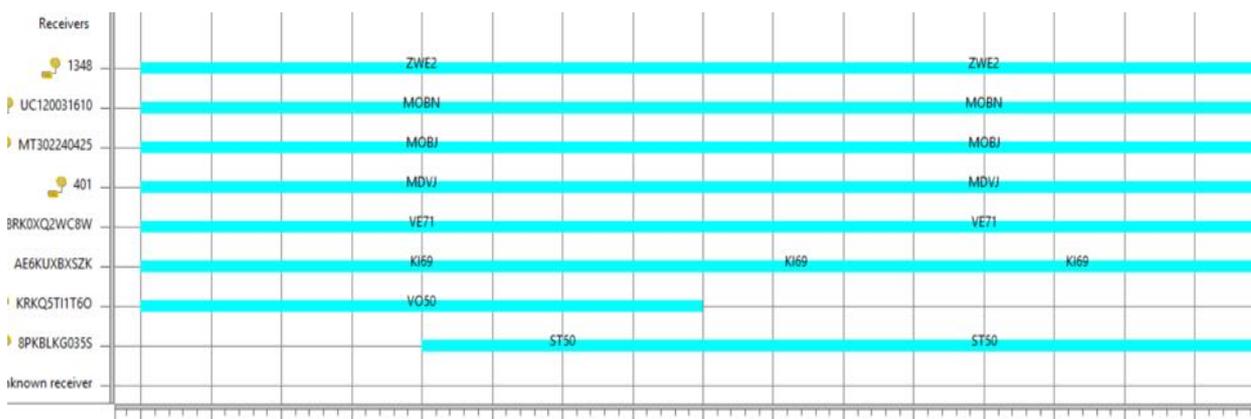


Рис.4. Совместные ГНСС наблюдения на базовых станциях IGS и ГСИ для передачи на последние, координат в системе ITRF2008 на дату 2011.002

Исходные данные для передачи координат со станций IGS получены на официальном сайте <http://sopac.ucsd.edu/sector.shtml>

Scripps Orbit and Permanent Array Center
Processing and archiving high-precision GPS data for the study of earthquake hazards, tectonic plate motion, crustal deformation and meteorol

Home About SOPAC QuickLinks SOPAC Archive Processing Sites Realtime GPS CSRC Resources Projects Map

SECTOR: Scripps Epoch Coordinate Tool and Online Resource

SECTOR Info

Input Parameters

Coordinate
Source: SOPAC
Type: Unfiltered
View Sites for this source

Sites
Single site:
List of sites: mobn mobj zwi (space delimited, max=20)
Sites by array: ARGN (16) View Sites for this array
All

Date
2011-01-01
2011.002
2011.002

Output
display as: csv in separate window
degrees as: decimal degrees
datum: WGS84
Get Coordinates

University of California, San Diego
Scripps Institution of Oceanography
Cecil H. and Ida M. Green
Institute of Geophysics and
Planetary Physics
SOPAC Scripps Orbit and
Permanent Array Center

sopac.ucsd.edu/gpseDB/coord?op=getXYZ&out=csv&source=sopac_ats&year=2011&doy=002&sites=mobn_mobj_zwe2_mdvj - Google Chrome

sopac.ucsd.edu/gpseDB/coord?op=getXYZ&out=csv&source=sopac_ats&year=2011&doy=002&sites=mobn_mobj_zwe2_mdvj

SOPAC GLOBK ATS,unf
site,date,x,y,z (m),x_sig,y_sig,z_sig,wgsLat,wgsLon,wgsHt,lat_sig,lon_sig,ht_sig,
mdvj,2011.0041,2845455.952531,2160954.315891,5265993.256458,0.002190,0.001757,0.003865,56.02149294,37.21450616,257.10791206,0.000794,0.000870,0.004630
mobj,2011.0041,2936424.525636,2178374.131409,5208858.498177,0.011490,0.009289,0.018658,55.11488289,36.56971579,182.67359344,0.006045,0.005504,0.022352
mobn,2011.0041,2936431.926127,2178364.625486,5208858.278811,0.002449,0.001958,0.004002,55.11487978,36.56952706,182.65311042,0.001290,0.001890,0.004795
zwe2,2011.0041,2886335.719433,2155987.640249,5245818.828417,0.005106,0.004126,0.008535,55.69928328,36.75839160,208.18515228,0.002592,0.002368,0.010180

Рис.5. Сведения о координатах базовых станций IGS в системе ITRF2008 на дату 2011.002

Данные этих станций использовались в качестве фиксированных в уравнении совместных ГНСС наблюдений с базами IGS

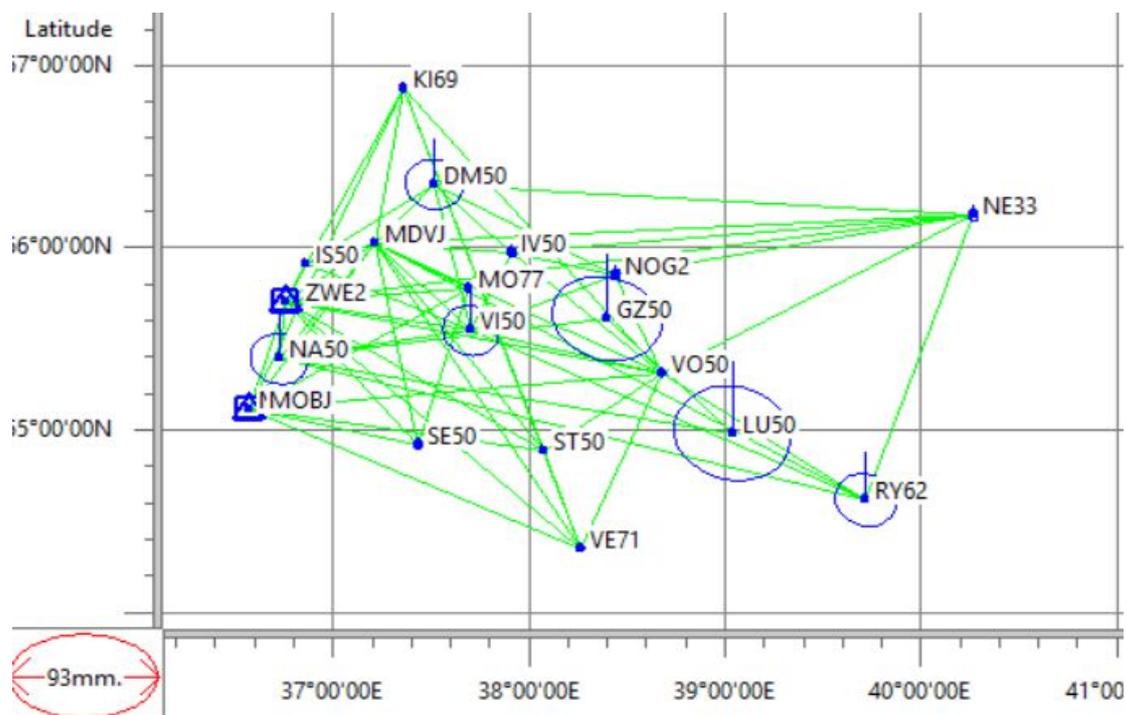


Рис.6. Результаты совместного уравнивания в ПО Pinnacle

Результаты уравнивания в табличном виде

Name	Latitude	Longitude	height	s(N)	s(E)	s(U)
DM50	56°20'46.93791"N	37°30'58.98153"E	165.851	16.8	17.3	31.1
GZ50	55°36'35.96477"N	38°23'48.12054"E	154.138	28.1	33.6	43.5
IS50	55°54'57.05508"N	36°51'27.88155"E	202.077	1.6	1.2	3.5
IV50	55°58'21.24186"N	37°54'54.81994"E	173.189	2.9	2.2	6.2
KI69	56°52'18.13032"N	37°21'21.18143"E	145.655	2.3	1.7	4.8
LU50	54°58'52.27646"N	39°02'15.92866"E	147.092	31.6	35.8	49
MO77	55°46'45.44206"N	37°41'28.83669"E	190.952	2.5	1.9	5.2
NA50	55°23'19.10282"N	36°43'31.95506"E	207.224	16.9	17.8	31.4
NE33	56°10'36.52327"N	40°16'06.65273"E	194.533	3.8	2.9	8.1
NOG2	55°51'13.28136"N	38°26'37.61753"E	171.106	3.4	2.5	7.2
RY62	54°36'55.87742"N	39°43'04.88477"E	184.835	17.6	18.8	32.8
SE50	54°55'19.57077"N	37°26'08.29377"E	214.494	2.9	2.2	6.3
ST50	54°53'23.52868"N	38°04'19.55581"E	207.928	1.9	1.5	3.9
VE71	54°21'00.50442"N	38°16'02.03144"E	225.136	2.1	1.6	4.4
VI50	55°32'39.98220"N	37°42'10.78521"E	172.020	16.6	17	30.6
VO50	55°18'50.57986"N	38°40'50.77630"E	150.216	2.3	1.7	4.9
ZWE2	55°41'57.41981"N	36°45'30.20976"E	208.185	0	0	0
MDVJ	56°01'17.37467"N	37°12'52.22238"E	257.152	1.2	0.9	2.5
MOBJ	55°06'53.57840"N	36°34'10.97684"E	182.672	0	0	0

Таблица. 1. Координаты исходных базовых станций ГСИ и IGS по результатам совместного уравнивания на исходную дату ITRF2008 (2011.002)

Все дальнейшие вычисления ГНСС измерений в привязке от базовых станций ГСИ (или IGS) произведены на основе показанных в таблице 1 исходных данных.

Уточнение.

Получение данного результата не использует никаких сведений ГГС. Результаты получены исключительно по совместной обработке ГНСС измерений и открытых ресурсов интернета. Это позволило получить исходную метрику высокоточных определений взаимных положений базовых станций ГСИ относительно IGS в единой координатной системе отсчета.

Общие положения методов преобразований координат

Прежде чем перейти к описанию системы МСК, являющейся реализацией проекции Гаусса-Крюгера, на эллипсоиде Крассовского, следует остановиться на самой конструкции геодезических систем координат, лежащих в основе МСК

Геодезические системы координат

В качестве отчетной поверхности в геодезических системах координат используются двухосные эллипсоиды вращения. В зависимости от того как зафиксированы эллипсоиды вращения в теле Земли, геодезические системы координат делятся на общеземные (геоцентрические) и референционные.

В России о применяются две геоцентрические системы координат. Это ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 года) и WGS-84 (World Geodetic System 1984 года). При глобальных геодинимических исследованиях может использоваться также и международная земная отчетная основа – ITRF. В данном проекте, мы используем именно ITRF по указанным выше причинам её большей доступности .

В качестве основных референционных систем координат в нашей стране используются СК-42 и СК-95, где в качестве отчетного используется эллипсоид Красовского.

Положение точек в пространстве в геодезических системах координат определяется либо сфероидальными координатами (B – широта, L – долгота, H – высота), либо пространственными прямоугольными (X Y Z , где ось Z параллельна направлению на международное условное начало, плоскость XOZ параллельна плоскости начального астрономического меридиана, а ось Y дополняет систему до правой).

Для пересчета координат из одной геодезической системы в другую используются семь параметров преобразования:

- T_x, T_y, T_z - линейные параметры;
- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - угловые параметры;
- m - масштабный коэффициент.

Переход от пространственных прямоугольных координат исходной геодезической системы (1) к определяемой (2) осуществляется следующим образом:

(1.1)

$$X_2 = X_1 + T_x - \omega_y Z_1 + \omega_z Y_1 + m X_1;$$

$$Y_2 = Y_1 + T_y + \omega_x Z_1 - \omega_z X_1 + m Y_1;$$

$$Z_2 = Z_1 + T_z - \omega_x Y_1 + \omega_y X_1 + m Z_1$$

В Таблице 2 приведены значения параметров преобразования геодезических систем координат, рекомендуемые различными ГОСТ в Российской Федерации.

Таблица 2

Направление преобразования	Параметры преобразования						
	Tx	Ty	Tz	ω_x	ω_y	ω_z	m
от СК-42 к ПЗ-90	+25	-141	-80	0	-0,35	-0,66	1
от ПЗ-90 к СК-95	-25.90	+130.94	+81.76	0	0	0	1
от ПЗ-90 к WGS-84	-1.10	-0.30	-0.90	0	0	-0.20	-0.12ppm
от WGS84 к СК-42	26.3	-132.6	-76.3	-0.22	-0.4	-0.9	-0.12ppm

Выделенные в таблице 2 параметры прямого перехода от WGS84 к СК 42 являются наиболее простым и удобным решением прямой связи двух систем минуя промежуточные.

Математическая связь пространственных прямоугольных и сфероидальных геодезических координат определяется блоком формул (1.2) и (1.3)

(1.2)

$$X = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L,$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L,$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \sin B;$$

где

$$N = a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2 B)^{-0,5} - \text{радиус кривизны эллипсоида в первом вертикале,}$$

a – большая полуось эллипсоида,

e – эксцентриситет эллипсоида.

(1.3)

$$H = Z / \sin B - N \cdot (1 - e^2),$$

$$L = \arctg(Y / X),$$

$$B(i) = \arctg[(Z + N(i-1) \cdot e^2 \cdot \sin B(i-1)) \cdot (X^2 + Y^2)^{-0.5}];$$

где

I – номер итерации, повторяющейся пока

$$|B(i) - B(i-1)| > \varepsilon \quad (\varepsilon - \text{требуемая точность})$$

То, что приведено выше, уже является достаточным для связи геодезических систем координат, но в случае необходимости более детальную информацию о методах преобразования можно найти в **ГОСТ Р 51794-2008**.

Системы плоских прямоугольных координат

Существует множество видов проекций, те же, которые находят применение в практике, делятся на три категории: равнопромежуточные, равновеликие, конформные. В равнопромежуточных проекциях при трансформировании сохраняются расстояния, в равновеликих – площади, в конформных – углы.

При геодезических работах в Российской Федерации используется проекция Гаусса-Крюгера с элементами эллипсоида Крассовского. Проекция Гаусса-Крюгера – конформная, с исходными данными (параметрами), описывающими частный случай проекции, являются:

- долгота осевого меридиана L_0 ;
- координаты условного начала x_0, y_0 ;
- масштаб на осевом меридиане m .

Если параметры отвечают условию $L_0=3+6(n-1)$; $x_0=0$ $y_0=500000$ $m=1$, где n – номер зоны, то такие проекции называют 6-ти градусными СК-42 (не стоит путать геодезическую систему координат СК-42 и проекционную (топоцентрическую) СК-42).

На территории Московской области применяются 6-ая и 7-ая зоны топоцентрической СК-42 с осевыми меридианами 33° и 39° соответственно

Системы координат МСК, являются топоцентрическими местными системами всегда основанными на одной из редакций геодезической системы СК42 или СК95.

Система координат МСК 50 использует геодезическую систему СК42 и отличается началом от топоцентрических СК42 (6я и 7я зоны) иным размещением начал проекции : осевого меридиана, смещений нулевых отсчетов по северной и восточной осям.

В результате ввода местных систем координат решались две основные задачи:

1. минимизация искажений за счет перехода на плоскость;
2. засекречивание перехода к геоцентрическим системам координат (до сих пор координаты с точностью выше 30м в геоцентрических системах координат в России являются секретными).

Однако, если первый пункт совершенно оправдан, то второе положение входит в противоречие с развитием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. И на сегодняшний день это создает массу неудобств при выполнении работ по пересчету координат.

Дело в том, что координаты в местных системах открыты для общего доступа.

То, каким образом с помощью параметров математически правильно осуществлять переход от плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера к геодезическим сфероидальным и наоборот, отражено в блоках формул (1.4) и (1.5).

(1.4)

$$\begin{aligned}x &= x_0 + 6367558,4968 \cdot B - \sin 2B \cdot (16002,89 + 66,9607 \cdot \sin 2B + 0,3515 \cdot \sin 4B) + \\ &+ I_2 \cdot \sin 2B \cdot (1594561,25 + 5336,535 \cdot \sin 2B + 26,790 \cdot \sin 4B + 0,149 \cdot \sin 6B) + \\ &+ I_4 \cdot \sin 2B \cdot (672483,4 - 811219,9 \cdot \sin 2B + 5420 \cdot \sin 4B - 10,6 \cdot \sin 6B) + \\ &+ I_6 \cdot \sin 2B \cdot (278194 - 830174 \cdot \sin 2B + 572434 \cdot \sin 4B - 16010 \cdot \sin 6B + \\ &+ I_8 \cdot \sin 2B \cdot (109500 - 574700 \cdot \sin 2B + 863700 \cdot \sin 4B - 398600 \cdot \sin 6B); \\ y &= y_0 + I \cdot \cos B \cdot (6378245 + 21346,1415 \cdot \sin 2B + 107,159 \cdot \sin 4B + 0,5977 \cdot \sin 6B) + \\ &+ I_3 \cdot \cos B \cdot (1070204,16 - 2136826,66 \cdot \sin 2B + 17,98 \cdot \sin 4B - 11,99 \cdot \sin 6B) + \\ &+ I_5 \cdot \cos B \cdot (270806 - 1523417 \cdot \sin 2B + 1327645 \cdot \sin 4B - 21701 \cdot \sin 6B) + \\ &+ I_7 \cdot \cos B \cdot (79690 - 866190 \cdot \sin 2B + 1730360 \cdot \sin 4B - 945460 \cdot \sin 6B); \end{aligned}$$

где

$$l = L - L_0;$$

для вычисления геодезических сфероидальных координат B, L по местным координатам x, y применяются следующие формулы:

(1.5)

$$\Delta x = x - x_0; y = y - y_0;$$

$$\beta = \Delta x / 6367558,4968; z_0 = \Delta y / (6378245 \cdot \cos B_0);$$

$$B_0 = \beta + \sin^2 \beta \cdot (0,00252588685 - 0,0000149186 \cdot \sin^2 \beta + 0,00000011904 \cdot \sin^4 \beta);$$

$$\begin{aligned} \Delta B = & -z_0 \cdot \sin^2 B_0 \cdot (0,251684631 - 0,003369263 \cdot \sin^2 B_0 + 0,000011276 \cdot \sin^4 B_0) + \\ & + z_0^4 \cdot \sin^2 B_0 \cdot (0,10500614 - 0,04559916 \cdot \sin^2 B_0 + 0,00228901 \cdot \sin^4 B_0 - 0,00002987 \cdot \sin^6 B_0) - \\ & - z_0^6 \cdot \sin^2 B_0 \cdot (0,042858 - 0,025318 \cdot \sin^2 B_0 + 0,014346 \cdot \sin^4 B_0 - 0,001264 \cdot \sin^6 B_0) + \\ & + z_0^8 \cdot \sin^2 B_0 \cdot (0,01672 - 0,00630 \cdot \sin^2 B_0 + 0,01188 \cdot \sin^4 B_0 - 0,00328 \cdot \sin^6 B_0); \end{aligned}$$

$$B = B_0 + \Delta B;$$

$$\begin{aligned} l = & z_0 \cdot (1 - 0,0033467108 \cdot \sin^2 B_0 - 0,0000056002 \cdot \sin^4 B_0 - 0,0000000187 \cdot \sin^6 B_0) - \\ & - z_0^3 \cdot (0,16778975 + 0,16273586 \cdot \sin^2 B_0 - 0,0005249 \cdot \sin^4 B_0 - 0,00000846 \cdot \sin^6 B_0) + \\ & + z_0^5 \cdot (0,0420025 + 0,1487407 \cdot \sin^2 B_0 + 0,005942 \cdot \sin^4 B_0 - 0,000015 \cdot \sin^6 B_0) - \\ & - z_0^7 \cdot (0,01225 + 0,09477 \cdot \sin^2 B_0 + 0,03282 \cdot \sin^4 B_0 - 0,00034 \sin^6 B_0) + \\ & + z_0^9 \cdot (0,0038 + 0,0524 \cdot \sin^2 B_0 + 0,0482 \cdot \sin^4 B_0 + 0,0032 \cdot \sin^6 B_0); \end{aligned}$$

$$L = L_0 + l$$

Анализ текущего состояния МСК

Наиболее распространенными местными системами координат (МСК) являются системы смещений, применяемые к СК 1963 года (СК-63) которые приняты открытыми в качестве местных систем субъектов РФ (МСК).

На территории Московской области используются зоны «Р2» и «Р3» СК-63, зоны «1» и «2» МСК-50. Обе системы относятся к референцной системе координат 1942 года с одинаковыми осевыми меридианами L_0 для каждой зоны соответственно и ординатами y_0 условных начал. Различие абсцисс условных начал составляет 5700000 и направлено на уменьшение координаты x в МСК-50 до тысяч километров. Таким образом, связь между СК-63 и МСК-50 зон «Р2», «Р3» и «1», «2» соответственно осуществляется по блоку формул (1.6).

(1.6)

$$X_{\text{мск-50}} = x_{\text{ск-63}} - 1000000 + \Delta x;$$

$$y_{\text{мск-50}} = y_{\text{ск-63}} - 5700000 + \Delta y;$$

где

$\Delta x = ? \Delta y = ?$, до недавнего времени были закрытыми ключами, пока не поучили широкой публикации на сайтах профессионального сообщества.

<http://www.mapbasic.ru/mksolutions>

<http://mapbasic.ru/msk50>

(1.7)

"МСК-50 зона 1", 8, 9999, 3, **23.57, -140.95, -79.8, 0, -0.35, -0.79, -0.22, 0, 7, 35.483333333333, 0, 1, 1250000, -5712900.566**

"МСК-50 зона 2", 8, 9999, 3, **23.57, -140.95, -79.8, 0, -0.35, -0.79, -0.22, 0, 7, 38.483333333333, 0, 1, 2250000, -5712900.566**

Приводимые параметры МСК50 взяты на указанных сайтах.

Красным выделены параметры датумов аналогичные таблице 2.

Синим выделены $1000000 + \Delta x$, $5700000 + \Delta y$, а также долготы осевых меридианов двух зон МСК50

Система координат МСК унаследовала все погрешности прежних оптических методов реализации геодезической системы

Следует отметить, что во времена создания геодезической СК использовались методы триангуляции и трилатерации, способные, обеспечить абсолютную точность геодезических координат не точнее 30 см (в линейной мере). Эта величина получалась из совместного уравнивания угловых и линейных измерений с предельными ошибками направлений 1 секунда для сторон триангуляции до 30 км.

Абсолютное ориентирование самих сегментов сетей осуществлялось на основе астрономических наблюдений, способных на то время обеспечивать истинные азимуты исходных направлений с точностью 0.2".

Современные системы ГНСС определений дают возможность получать азимуты сторон в тех же фигурах геодезических построений с точностью 0.00002" , а в линейной мере получать длины сторон с точностью 1 мм.

Сравнение результатов ГНСС наблюдений с каталожными данными в МСК полученными по технологиям триангуляции и трилатерации стали выявлять массово конфликт исходных данных по причине меньшей точности основы по сравнению с применяемыми методами сгущения.

Данный конфликт не будет замечен, пока пользователи ГНСС измерительных комплексов приводят данные из собственной системы WGS84 в топоцентрические методами упрощенных преобразований, более известными как "калибровка" или "локализация"

Суть этих методов в корне отличается от методики классического перехода от геодезических координат в проекцию Гаусса-Крюгера, тем, в первую очередь, что используется в приближенных методах проектирование в условную плоскость, не имеющую искажений ни углов, ни линий, ни площадей. Некую идеальную плоскость.

Сами же редакции топоцентрика МСК, являются частным случаем равноугольной проекции, которая имеет своим существенным недостатком изменение масштаба длин в зависимости от удаления от осевого меридиана зоны. Что игнорируется калибровками и локализацией.

Как результат, данные калибровок работают по показанному на рисунке методу преобразований

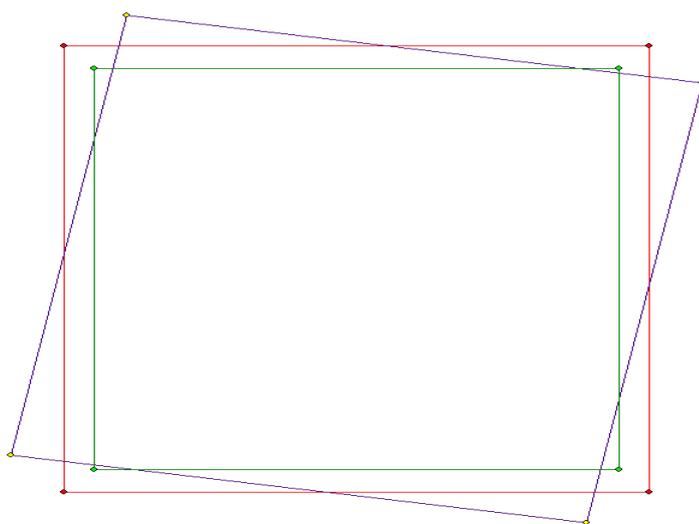


Рис.7. Синий прямоугольник - измерения в WGS84, Зеленый - результат его преобразования калибровкой без учета масштаба длин. Красный - истинное положение в топоцентрической проекции с соблюдением конформности.

Все калибровки используют иной масштаб длин, отличный от свойственного проекции Гаусса-Крюгера. Это и обусловило ограничения на применение таких методов преобразований, строительными площадками в пределах первых квадратных километров. При более протяженных объектах требуется корректно применять методы трансформации по правилам проекции, описанные выше.

Наглядным примером демонстрирующим качество каталогов МСК в сравнении с метрикой этих же пунктов полученными из ГНСС наблюдений является нижеприводимое сравнение длин.

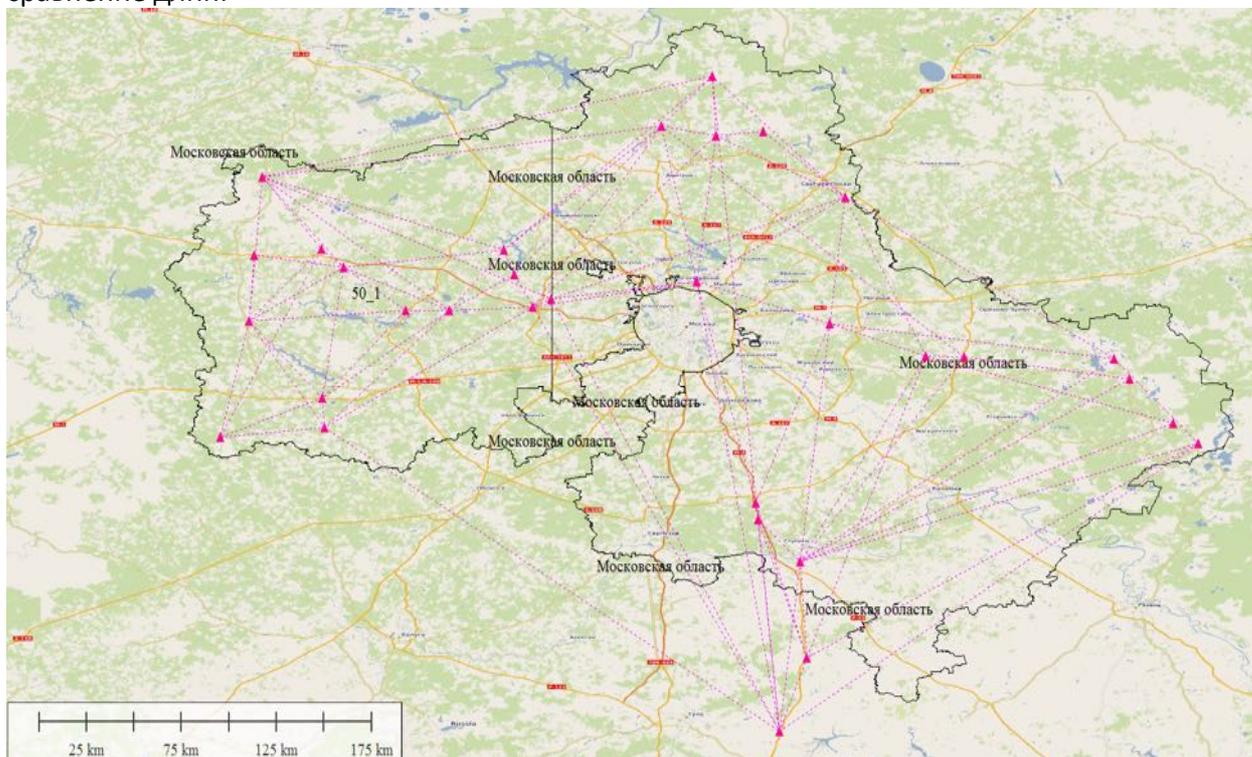


Рис.8. Пункты ГГС выборки на территории московской области.

Определим разности сторон между измеренными пунктами ГГС, показанными темными линиями на рисунке 8 в системе проекции Гаусса_Крюгера, полученной по ГНСС измерениям с опорой на пункты IGS (ITRF) с их же длинами, но полученными из каталогов уравнивания СК42

VECTOR	DIST_MSK	DIST_GNSS	RMS_DIST_MSK
CHBN-EFMO	79287.76	79287.92	-0.16
EFMO-HRSL	88644.94	88645.12	-0.17
HRSL-ILNS	112958.30	112958.60	-0.30
ILNS-IVAN	36231.38	36231.34	0.04
IVAN-LAMN	71415.68	71415.22	0.46
LAMN-PTRS	6483.36	6483.31	0.04
PTRS-SEMN	109608.99	109609.30	-0.31
SEMN-SEMY	52357.00	52357.50	-0.51
SEMY-STAR	29080.88	29080.81	0.07
STAR-STRE	50990.94	50990.78	0.16
STRE-YKUN	39666.42	39666.64	-0.22
YKUN-ZAGR	31597.22	31597.48	-0.26
ZAGR-ZHDN	36689.65	36689.60	0.05
ZHDN-CHBN	58521.69	58522.03	-0.34

Таблица 3. Разности длин в СК42 и в проекции Гаусса-Крюгера по ГНСС данным

Из разностей длин мы видим, что СК-42 обеспечивала точность взаимного положения пунктов в пределах 30 см только для смежных пунктов ГГС. При удалениях более чем в несколько

треугольников от исходного точность геодезических координат падает независимо от свойств проекции.

Предлагая сегодня клиентам, в качестве "надежного решения" преобразования координат ГНСС измерений в искомые МСК, два описанных выше метода : проекцию по параметрам или локализацию (калибровку) поставщики ГНСС оборудования допускают значительное лукавство перед истиной.

Оба, описанных выше, метода выполняют следующее:

1. Метод преобразований по параметрам проекций - приводит ГНСС измерения в соответствие идеальной геометрии соотношений в проекции Гаусса-Крюгера.
2. Метод калибровки - масштабирует (сдвигает и разворачивает) ГНСС измерения до наилучшего соответствия каталожным координатам исходных пунктов.

Первый метод выявляет исторические погрешности СК и каталогов демонстрируя фактические величины ошибок прежних редакций.

Второй метод "красивее" дает отчетность о соответствии вычисляемых параметров локализации тому, что взято из каталогов. При этом сами ошибки каталогов и СК игнорируются подгоном ГНСС к наилучшему соответствию исходным.

Но следует помнить, что при этом:

- а) калибровка меняет длину метра для всех измерений внутри опоры;
- б) не является равноугольной проекцией, которая обеспечивает прямые углы строений прямыми на картах и планах;
- в) невозможна для использования на территориях протяженностью более 1 кв. км.

Что является предпочтительнее?

Вопрос философский, на который нет ответа у отечественной нормативной базы производства ГНСС наблюдений.

Все существующие на сегодня руководства по развитию обоснования и съемкам ГНСС методами рекомендуют только одно. Использовать больше пунктов ГГС и брать среднее арифметическое из всех их погрешностей в оправдание существования ГГС.

Такая парадигма, является преступной по отношению к будущим поколениям геопространственных описаний. По той причине, что конфликт данных не устраняется, а накапливается еще более. В результате все последующие сгущения сетей и объекты внутри триангуляции 1 2 классов, несут на себе все проблемы геометрии исходной основы, создавая наложения и расползания точек, полученных измерениями от разных исходных.

Недальновидность такой технической политики государства основанное только на том, что новое не должно быть лучше (компетентнее) прежнего можно сравнить с дегенерацией поколений, когда дети обязаны быть глупее родителей. Нетрудно предугадать к чему приводят такие социальные тренды. Аналогично и с геодезией.

Одной из целевых идей данной работы было продемонстрировать третий метод преобразования координат ГНСС измерений в проекцию Гаусса-Крюгера в реализации МСК с учетом:

- а) свойств проекции;
 - б) неизменности параметров эллипсоида, датума и начал топоцентрической системы;
 - в) точной геометрии взаимных положений пунктов измерений, основанных на метрике ITRF;
- но
- д) удовлетворению в отчетных данных критерию соответствия данных исходным каталогам МСК.

Целевая задача

Иными словами, каким способом, соблюдая принципы точных измерений и сохраняя с собственной системе взаимные геометрические соотношения с точностью близкой к сантиметру, соответствовать опоре на ГГС с минимальным отклонением от каталожных значений координат опоры?

Описание массива исходных данных и метода интерполяции

Предлагаемый метод решения основан на том, что:

1. Пункты ГГС в различных геодезических системах отсчета (на разных эллипсоидах и с разными датами) можно описать численными разностями широт и долгот в разных системах.
2. Разности широт и долгот можно представить в машиночитаемом формате представления (таблицы, матрицы, базы данных, векторные формы, сферические рациональные полиномы))
3. Разности широт и долгот пунктов в разных системах могут быть теоретическими, полученными по геодезическим координатам систем из уравнений сферической геодезии, и фактическими, соответствующими разностям документального закрепления сведений (каталогов) с измерениями более точными методами.

Создав матрицу расхождений (отклонений) теоретических разностей геодезических координат с фактическими, можно получить основу для интерполяции измерений в более высокоточной системе в решения менее точной системы координат, в любой точке пространства, охвата матрицами,

Иными словами:

Для любой точки пространства, имеющей точное определение позиции (геодезических координат) в системе ITRF2008 (WGS84) можно интерполировать значение приращений широт и долгот (DB DL) до соответствия их значениям BL в системе СК-42.

Если использовать координаты пунктов ГГС, полученные в системе ITRF2008 на одну и ту же дату (в предлагаемом случае исходную дату последней редакции 2011.002) и применить к этим пунктам параметры перехода (датум, эллипсоид) для представления их же но в СК 42, мы получим теоретические разности координат пунктов обеих систем, без учета особенностей (исторических ошибок) каталогов координат в СК42 этих же пунктов.

Если бы мы не имели :

- а) ошибок прежних методов получения геодезических координат
- б) неопределенности реализации, собственной системы ГНСС измерений (WGS84 еще не ITRF),

то переход из одной геодезической системы в другую осуществлялся бы просто по формулам (1.2) и (1.3)

Но жизнь устроена несколько сложнее.

Она заставляет нас иметь ввиду оба препятствия , и реализовать стратегию их компенсации.

Если вторая проблема, связанная с реализацией единства данных в WGS84 решается именно методом установления исходной даты (2011.002), к которой приводятся все измеренные от опоры вектора ГНСС наблюдений, устраняет систематический сдвиг между системами 42 и 84, то вторая проблема, решается исключительно накоплением представительного числа ГНСС измерений на пунктах ГГС.

Идеальным было бы переопределить геодезические координаты всех пунктов ГГС. Но этого также невозможно выполнить, как и получить несуществующий идеальный газ, лежащий в основе науки термодинамики.

Используя метод приближений и представительных статистических выборок, автором данного проекта, накоплен необходимый уровень данных по массиву сведений о координатах в МСК регионов, на которых выполнены точные ГНСС наблюдения.

Имея линейно-угловые связи пунктов ГГС в виде материалов уравнивания сети прежних редакций и большую выборку пунктов с уточненными геодезическими координатами, стало возможным получить переуровненный массив геодезических координат в СК42 для остальных пунктов, на которых не было еще ГНСС наблюдений.

Полученный таким образом каталог координат пунктов уже не является по сути редакцией СК42. Это массив точек с геодезическими координатами лучшей геометрии соответствия ITRF.

Принимая условно координаты этого массива точек за геодезические в СК42, мы имеем дело со смещенными данными, которых нет ни в одном каталоге.

Для этих координат можно рассчитать разности :

$$B42 - B84 = DB''$$

$$L42 - L84 = DL''$$

Приписав полученные разности пунктам ГГС, можно создать массив вида:

DB	DB_DEG	DL	DL_DEG	GGSNAME	LAT42	LON42
-0.2095	-0.0000581944	6.0543999	0.0016817778	N3722203	53° 56' 37.9157" N	39° 17' 22.6574" E
-0.21349996	-0.0000593055	6.0718001	0.0016866111	N3716218	54° 04' 01.7936" N	39° 12' 52.3237" E
-0.22450012	-0.0000623611	6.0776001	0.0016882222	N3716219	54° 09' 40.1820" N	39° 19' 08.1746" E
-0.18350008	-0.0000509722	6.0804002	0.0016890001	N3721211	53° 58' 35.3016" N	38° 50' 36.7284" E
-0.20650012	-0.0000573611	6.0822002	0.0016895001	N3716217	54° 06' 16.4400" N	39° 04' 43.8181" E
-0.18649996	-0.0000518055	6.0953999	0.0016931666	N3715232	54° 04' 39.6178" N	38° 48' 54.1481" E
-0.21349996	-0.0000593055	6.0987	0.0016940833	N3716215	54° 14' 17.7517" N	39° 05' 37.1213" E
-0.19949992	-0.0000554166	6.0996	0.0016943333	N3715231	54° 09' 57.1266" N	38° 55' 00.9982" E
-0.2275	-0.0000631944	6.1060001	0.0016961111	N3716205	54° 22' 58.6525" N	39° 16' 31.6172" E
-0.17749996	-0.0000493055	6.1086	0.0016968333	N3715229	54° 06' 25.1065" N	38° 38' 59.0826" E
-0.2095	-0.0000581944	6.1097999	0.0016971666	N3715226	54° 16' 06.4763" N	38° 59' 32.0925" E
-0.21550012	-0.0000598611	6.1128002	0.0016980001	N3716214	54° 18' 36.5900" N	39° 03' 29.6964" E
-0.21749992	-0.0000604166	6.1137999	0.0016982778	N3716203	54° 21' 20.7447" N	39° 06' 11.7021" E
-0.19049992	-0.0000529166	6.1144	0.0016984444	N3715228	54° 12' 00.2548" N	38° 45' 21.7734" E
-0.20250016	-0.00005625	6.1150998	0.0016986388	N3715227	54° 15' 32.6428" N	38° 53' 49.7362" E
-0.35850004	-0.0000995833	6.1154001	0.0016987222	N3711230	54° 54' 42.5663" N	40° 50' 24.9016" E
-0.23250004	-0.0000645833	6.1173999	0.0016992777	N3716201	54° 29' 33.9281" N	39° 14' 56.9588" E
-0.26850004	-0.0000745833	6.118	0.0016994444	N3710102	54° 46' 22.9684" N	39° 38' 20.9880" E
-0.21050008	-0.0000584722	6.1185	0.0016995833	N3715225	54° 18' 43.7961" N	38° 57' 26.1025" E
-0.34249984	-0.0000951388	6.1186998	0.0016996388	N3711229	54° 52' 37.3006" N	40° 38' 20.2275" E
-0.16550008	-0.0000459722	6.1218002	0.0017005001	N3715219	54° 06' 24.7577" N	38° 28' 08.5726" E
-0.22350004	-0.0000620833	6.1222001	0.0017006111	N3716202	54° 26' 16.6586" N	39° 07' 43.8757" E
-0.25849996	-0.0000718055	6.1222998	0.0017006388	N3710101	54° 43' 30.1812" N	39° 28' 30.9487" E
-0.21450004	-0.0000595833	6.1263002	0.0017017501	N3715211	54° 23' 57.3496" N	38° 59' 09.7967" E
-0.18450016	-0.00005125	6.1263002	0.0017017501	N3715224	54° 13' 34.5811" N	38° 37' 53.9451" E
-0.14850016	-0.00004125	6.1297	0.0017026944	N3715220	54° 02' 48.7742" N	38° 15' 23.2134" E
-0.32149996	-0.0000893055	6.1302	0.0017028333	N3711222	54° 52' 20.4013" N	40° 18' 36.2066" E
-0.19549996	-0.0000543055	6.1342	0.0017039444	N3715222	54° 19' 53.6489" N	38° 44' 05.4785" E
-0.21950008	-0.0000609722	6.1355	0.0017043056	N3715209	54° 29' 13.4242" N	38° 59' 40.4123" E
-0.1735	-0.0000481944	6.1355	0.0017043056	N3715214	54° 12' 26.1917" N	38° 28' 39.9102" E
-0.35850004	-0.0000995833	6.1355	0.0017043056	N3711228	54° 59' 26.9675" N	40° 44' 54.8020" E
-0.15150004	-0.0000420833	6.1393998	0.0017053888	N3715216	54° 06' 49.9710" N	38° 15' 00.1859" E
-0.23949988	-0.0000665277	6.1427	0.0017063056	N3710217	54° 40' 06.0832" N	39° 10' 23.0356" E
-0.33750016	-0.00009375	6.1441	0.0017066944	N3711221	54° 58' 07.7877" N	40° 26' 30.3366" E
-0.35050012	-0.0000973611	6.1443002	0.0017067501	N3711216	55° 00' 28.8960" N	40° 35' 48.3345" E
-0.1825	-0.0000506944	6.1443999	0.0017067777	N3715223	54° 18' 21.8623" N	38° 32' 33.9246" E
-0.16150012	-0.0000446611	6.1456998	0.0017071288	N3715215	54° 11' 20.7631" N	38° 10' 21.5169" E

Рис.9 Массив данных по созданию матриц отклонений.

Имея координаты пунктов (уже не отвечающие их фактическому местоположению по каталогам) вследствие смещения по опоре из ITRF2008, будем дальше использовать вместо имен этих пунктов индексы GGSNAME.

По координатам, условно названным далее СК42 (а на самом деле это проекция Гаусса-Крюгера применяемая к данным измерений в WGS84, что не одно и то же) построим в ГИС сеть точек с атрибутами отклонений DB DL в градусной мере и в секундах, в

Для любого набора элементов содержания карты (точки, линии, полигоны, TIN) можно применить функцию программы приписать значения интерполируемой высоты (в качестве которой выступают наши слои отклонений) любому элементу или всему массиву.

Получив таким инструментом значения отклонений DB DL для определяемых точек, мы получаем их решения простым приращением

$$B42 = B84 + DB''$$

$$L42 = L84 + DL''$$

в виде геодезических координат в системе СК42 без опоры на исходные пункты ГГС.

Для преобразования решений в МСК остается только воспользоваться формулами 1.4, 1.5, 1.6 с началами системы МСК 50 для зоны 1.7

Либо использовать стандартный интерфейс ГИС который трансформирует в требуемую систему весь проект.

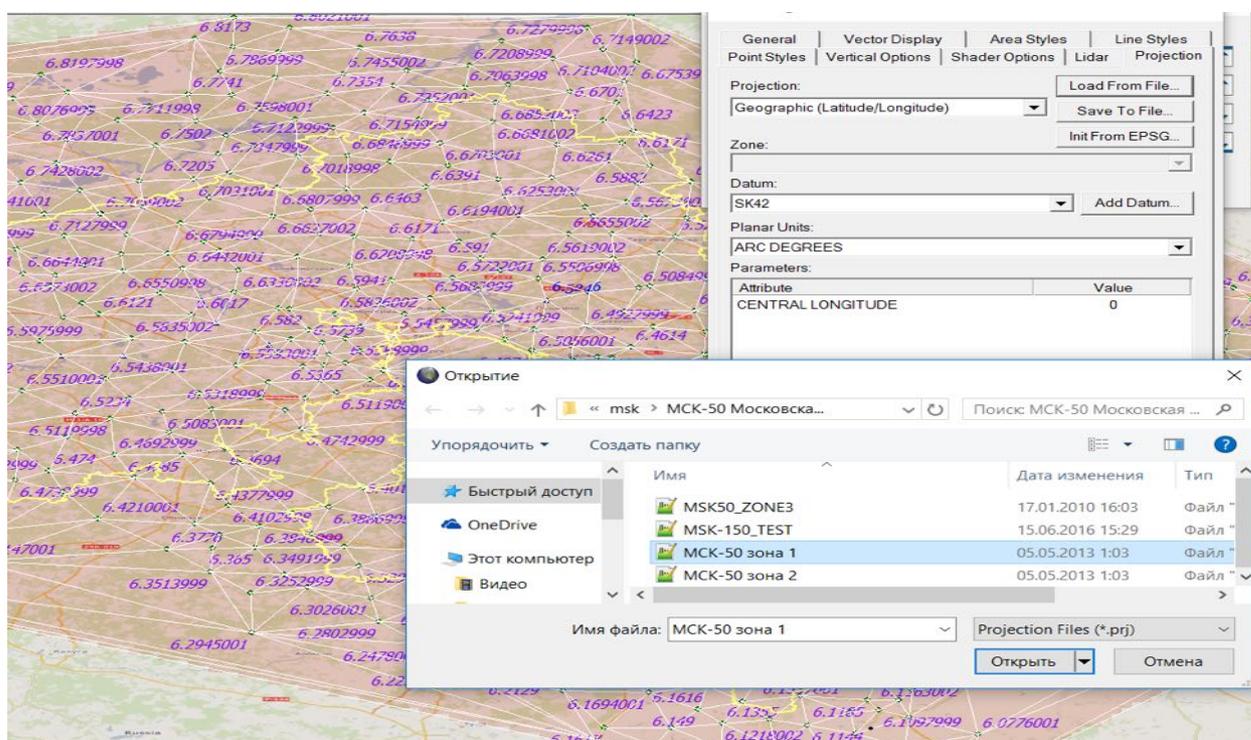


Рис. 12. Параметры установки местной системы МСК50 в ГИС .

После установки параметров системы в требуемую проекцию ГИС Глобал Mapper формирует окно проекта в виде трансформированных растров и векторных слоев в этой системе. Это несколько удобнее пересчета по формулам вручную каждой определяемой точки.

Создание подобных веб-интерфейсов и локальных приложений по работе с данными векторными данными клиентов, можно было бы выполнить и в еще более эргономичном интерфейсе корректировки измеренных или представленных данных VLН84 в МСК минуя пересчеты в СК42, сделав их фоновыми задачами.

Готовое решение проекта с выводом в МСК и формированием каталога для пунктов в другой системе (в данном случае СК42) приведено на рисунке 13 как возможности ГИС решений предлагаемой методики.

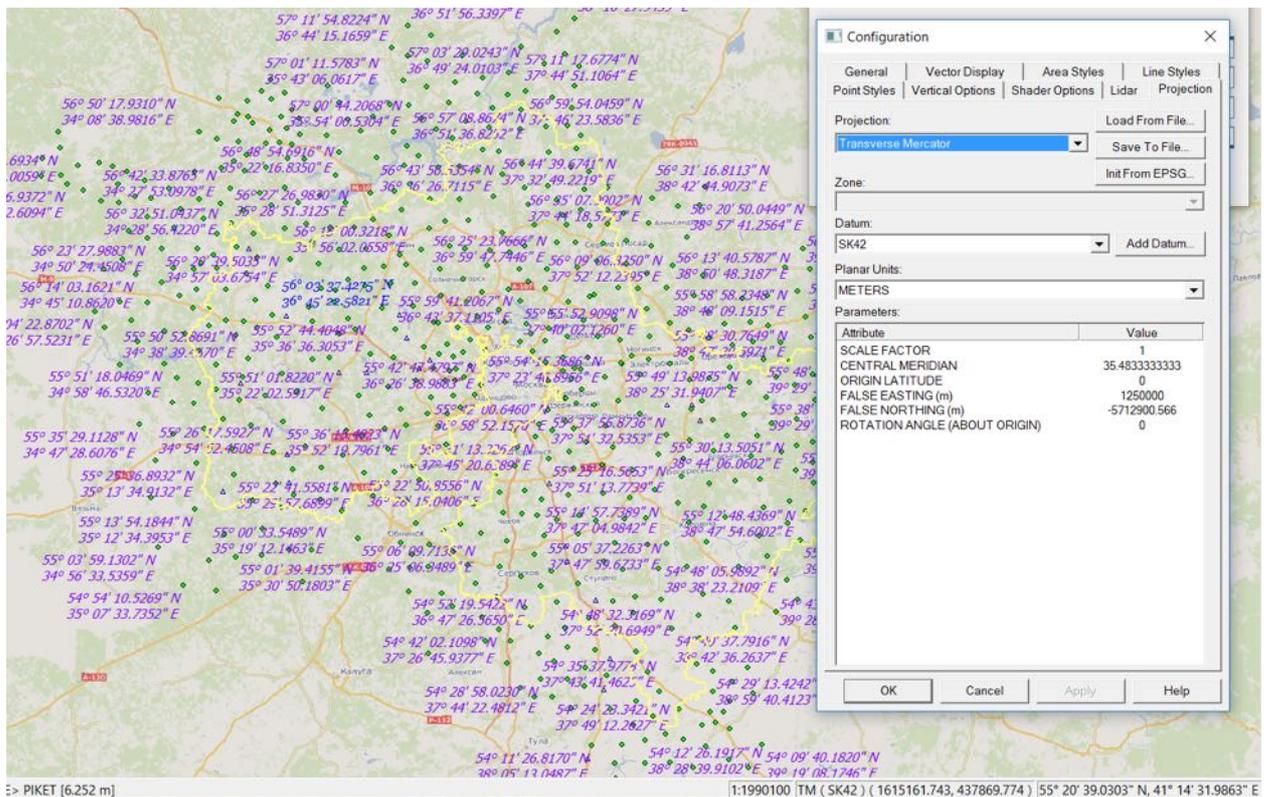


Рис.13. Преобразованный в МСК 50_1 проект. В строке состояний в правом нижнем углу координаты в МСК 50-1. Параметры начал топосентрической системы МСК 50-1 на вкладке.

Анализ работы метода на примере региона Московская область

В ходе проверки (контроля) предлагаемой методики были выполнены ГНСС наблюдения на выборке пунктов ГГС в Московской области для зоны МСК1. Пункты были определены в системе ITRF 2008 (2011.002) WGS84 и введены в ГИС проект для расчета интерполяцией, значений приращений DB" DL "

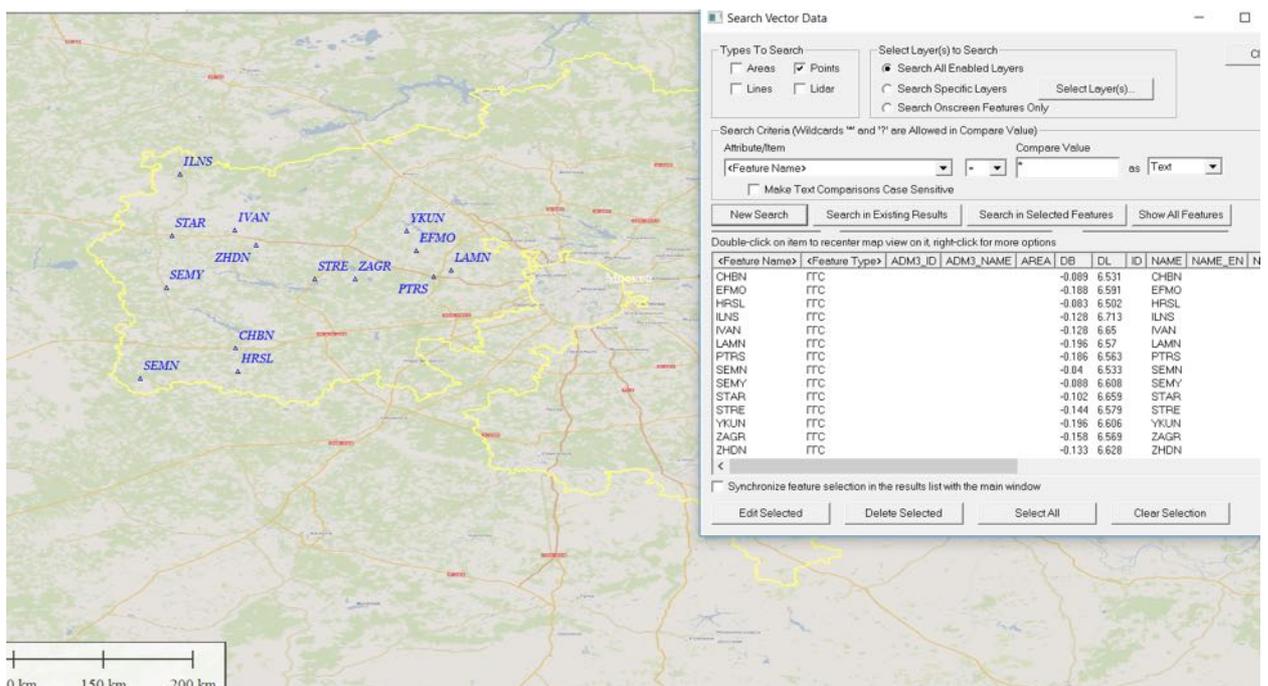


Рис.14. Пункты ГГС на которых были выполнены ГНСС наблюдения для контроля решений в предлагаемой методике. Справа окно вкладки управления атрибутами точек.

Вычисленные интерполяцией приращения DB" DL " добавлены в семантику точек ГИС проекта.

Вид сети и оценка точности уравнивания данных полученных от станции IGS Обнинск (mobj) показаны в качестве примера получения данных ГНСС измерений в системе ITRF.

Решения от станций IGS и от станций ГСИ в данном проекте были равноточными, при желании можно произвести расчеты геодезических координат пунктов ГГС от любой из станций таблицы 1. Различия решений от любой из этих точек буду в пределах 1 сантиметра.

Поэтому для демонстрации метода остановимся на сети с опорой на одну точку (mobj), которая в этот день работала наиболее стабильно.

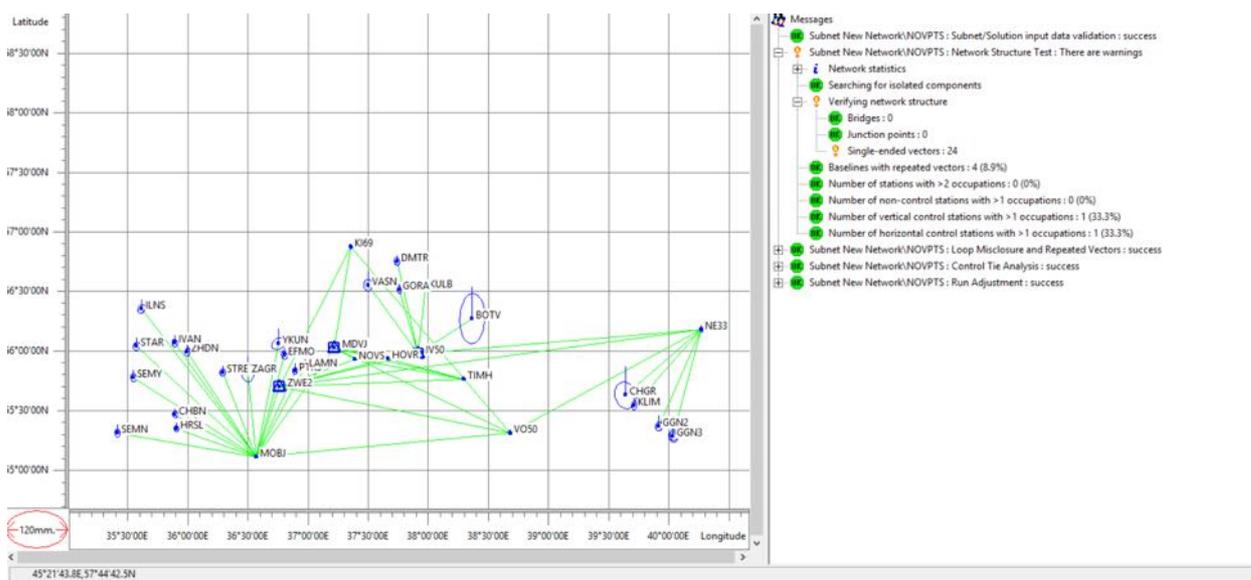


Рис.15 . Вид связей и результаты уравнивания пунктов ГГС, базовых станций IGS и ГСИ

Решения для пунктов ГГС в системе ITRF2008 (WGS84) представим в виде таблицы

Name	Latitude	Longitude	s(N)	s(E)	s(U)	ORIG_NAME
BOTV	56°16'10.28238"N	38°21'56.45977"E	49.3	23.9	62.3	Ботово
BRNO	55°17'08.66934"N	40°02'11.34233"E	8.8	6.6	16.5	Воронино
CHBN	55°28'01.08988"N	35°53'37.98424"E	6	5.1	12.7	Чебуново
CHGR	55°37'37.76534"N	39°38'20.05874"E	25.7	20.4	57	Черная_грива
DMTR	56°45'04.26595"N	37°44'19.66976"E	7.7	5.1	13	Дмитровка
EFMO	55°57'42.44237"N	36°48'03.87692"E	7.3	5.9	16.3	Ефимоново
FILN	55°22'04.63487"N	39°55'09.21543"E	8.4	6.5	22.4	Филинская
GORA	56°30'48.96714"N	37°45'25.30561"E	8.2	3.7	11.3	Гора
HOVR	55°55'52.89936"N	37°39'55.30259"E	1.7	1.7	3.2	Ховрино
HRSL	55°20'53.04972"N	35°54'14.39530"E	5.5	4.7	12	Хорошилово
ILNS	56°20'57.65932"N	35°36'48.11983"E	8.2	6.9	19.1	Ильинское
IVAN	56°03'46.30708"N	35°53'24.69594"E	7	5.1	17.3	Ивановское
KLIM	55°32'38.10319"N	39°42'43.98402"E	9.2	4.8	15	Климовская
KULB	56°31'52.32247"N	37°58'43.08686"E	5.5	7	13.8	Кулебякино
LAMN	55°51'47.02873"N	36°58'36.36238"E	8.1	6.1	16	Ламаново
PTRS	55°49'52.98371"N	36°53'23.76278"E	6.1	4.5	15.5	Петровское
SEMN	55°18'40.86219"N	35°24'52.34027"E	8.4	4.8	17.4	Семеновское
SEMY	55°46'31.92096"N	35°32'51.40025"E	8.1	5.4	15.3	Семейники
STAR	56°02'10.74146"N	35°34'24.55346"E	8.4	6.1	17.9	Стариково

STRE	55°49'03.06731"N	36°17'24.29181"E	7	5.3	14.2	Старое
TIMH	55°45'52.81573"N	38°17'41.89618"E	2.9	2.5	5.3	Тимохово
VASN	56°33'05.42885"N	37°29'49.38159"E	11.3	8	28.7	Васино
YKUN	56°03'37.50475"N	36°45'15.79733"E	11.4	13.4	29.2	Якунино
ZAGR	55°48'59.51817"N	36°29'45.26955"E	18.6	11.7	31.7	Загорье
ZHDN	55°59'21.80842"N	35°59'47.52898"E	7.5	5.1	16.1	Жданово

Таблица 4. Координаты пунктов ГГС в системе ITRF2008 (WGS84)

Полученные в результате уравнивания ГНСС измерения на выборке пунктов ГГС добавим в ГИС проект и припишем им интерполяцией приращения DB DL

таблица 5

Name	интерполируемые поправки		корректированные секунды (42)		итоговые координаты(42)	
	DB"	DL"	42_B"	42_L"	Latitude	Longitude
BOTV	-0.316	6.516	9.9664	2.9758	56°16'9.96638 N	38°22'2.97577 E
BRNO	-0.334	6.227	8.3353	17.5693	55°17'8.33534 N	40°02'17.56933 E
CHBN	-0.089	6.531	1.0009	44.5152	55°28'1.00088 N	35°53'44.51524 E
CHGR	-0.338	6.313	37.4273	26.3717	55°37'37.42734 N	39°38'26.37174 E
DMTR	-0.292	6.653	3.9740	26.3228	56°45'3.97395 N	37°44'26.32276 E
EFMO	-0.188	6.591	42.2544	10.4679	55°57'42.25437 N	36°48'10.46792 E
FILN	-0.333	6.248	4.3019	15.4634	55°22'4.30187 N	39°55'15.46343 E
GORA	-0.287	6.610	48.6801	31.9156	56°30'48.68014 N	37°45'31.91561 E
HOVR	-0.247	6.524	52.6524	61.8266	55°55'52.65236 N	37°39'61.82659 E
HRSL	-0.083	6.502	52.9667	20.8973	55°20'52.96672 N	35°54'20.8973 E
ILNS	-0.128	6.713	57.5313	54.8328	56°20'57.53132 N	35°36'54.83283 E
IVAN	-0.128	6.650	46.1791	31.3459	56°03'46.17908 N	35°53'31.34594 E
KLIM	-0.337	6.295	37.7662	50.2790	55°32'37.76619 N	39°42'50.27902 E
KULB	-0.305	6.589	52.0175	49.6759	56°31'52.01747 N	37°58'49.67586 E
LAMN	-0.196	6.570	46.8327	42.9324	55°51'46.83273 N	36°58'42.93238 E
PTRS	-0.186	6.563	52.7977	30.3258	55°49'52.79771 N	36°53'30.32578 E
SEMN	-0.040	6.533	40.8222	58.8733	55°18'40.82219 N	35°24'58.87327 E
SEMY	-0.088	6.608	31.8330	58.0083	55°46'31.83296 N	35°32'58.00825 E
STAR	-0.102	6.659	10.6395	31.2125	56°02'10.63946 N	35°34'31.21246 E
STRE	-0.144	6.579	2.9233	30.8708	55°49'2.92331 N	36°17'30.87081 E
TIMH	-0.272	6.436	52.5437	48.3322	55°45'52.54373 N	38°17'48.33218 E
VASN	-0.267	6.639	5.1619	56.0206	56°33'5.16185 N	37°29'56.02059 E
YKUN	-0.196	6.606	37.3088	22.4033	56°03'37.30875 N	36°45'22.40333 E
ZAGR	-0.158	6.569	59.3602	51.8386	55°48'59.36017 N	36°29'51.83855 E
ZHDN	-0.133	6.628	21.6754	54.1570	55°59'21.67542 N	35°59'54.15698 E

Таблица 5. Вычисление координат пунктов ГГС в требуемой системе СК42 по интерполируемым поправкам.

По полученным данным решений геодезических координат в СК 42 получим их топоцентрические координаты в проекции Гаусса-Крюгера со смещениями начал отсчета стандартных для МСК 50, зона 1

Таблица 6. Разности интерполируемых (МСК_интерполяция) и каталожных значений координат ГГС в системе СК42 зона 7

Полученные результаты свидетельствуют о "работе" методики с точностью в пределах 5 см. для большинства пунктов.

Величины отклонений также коррелируют и с RMS позиций пунктов из ГНСС определений. Выявленные отклонения (**выделены зеленым**) интерполированных координат и каталожных дают основания к замене атрибутов DB" DL" в соответствующих узлах матриц и пересчета их с новыми значениями.

Пункт GORA вероятнее всего представлен ошибочными данными измерений, либо был перезаложен во время реконструкции СГС1, либо имеет недопустимые погрешности каталожной выписки. В любом случае изменения матриц с подобными величинами отклонений теории от факта недопустимо без детального изучения причин возникновения таких расхождений. Они чрезмерны.

Аналогичные сравнения каталогов и интерполяции в МСК50 представлены в таблице 7

Name	МСК50_каталог		МСК50_интерполяция		разности 50(int) - 50	
	Northing,m	Easting,m	Northing,m	Easting,m	Dx	Dy
BOTV	525777.17	2242822.51	525777.81	2242822.66	0.64	0.16
BRNO	417339.24	2348792.18	417339.35	2348792.46	0.11	0.27
CHBN	436498.76	1276081.98	436498.76	1276081.97	0.01	-0.01
CHGR	454855.63	2322902.31	454856.05	2322901.95	0.42	-0.36
DMTR	579653.10	2204564.02	579653.29	2204564.09	0.19	0.07
EFMO	492297.40	1332411.90	492297.38	1332411.88	-0.02	-0.02
FILN	426331.29	2341154.28	426331.27	2341154.32	-0.03	0.04
GORA	553183.56	2205401.03	553186.25	2205399.35	2.69	-1.68
HOVR	488422.05	2198987.05	488422.06	2198987.05	0.01	0.00
HRSL	423265.43	1276801.53	423265.42	1276801.53	-0.01	-0.01
ILNS	534674.11	1258155.22	534674.08	1258155.23	-0.03	0.01
IVAN	502842.04	1275459.35	502842.03	1275459.33	-0.01	-0.01
KLIM	445668.59	2327683.73	445668.72	2327683.70	0.12	-0.02
KULB	555023.24	2219056.20	555023.47	2219055.97	0.23	-0.24
LAMN	481529.50	1343620.73	481529.53	1343620.71	0.02	-0.02
PTRS	477888.98	1338255.99	477889.00	1338255.98	0.02	-0.01
SEMN	419099.56	1245746.88	419099.56	1245746.88	0.00	0.00
SEMY	470778.00	1254148.92	470778.00	1254148.95	0.01	0.02
STAR	499815.59	1255735.08	499815.56	1255735.07	-0.03	-0.02
STRE	475744.82	1300686.98	475744.79	1300686.98	-0.02	0.00
TIMH	469576.68	2238288.27	469576.67	2238288.26	-0.01	0.00
VASN	557606.57	2189455.70	557606.66	2189455.73	0.09	0.03
YKUN	503223.09	1329294.13	503223.13	1329294.16	0.04	0.02
ZAGR	475804.41	1313590.62	475804.41	1313590.61	0.00	-0.01
ZHDN	494705.60	1282144.24	494705.64	1282144.20	0.04	-0.04

Таблица 7. Разности интерполируемых (МСК_интерполяция) и каталожных значений координат ГГС в требуемой системе МСК50-1

Полученные результаты в этой системе, также свидетельствуют о "работе" методики с точностью в пределах 5 см. для большинства пунктов. Выявленные отклонения (**выделены зеленым**) интерполированных координат и каталожных дают основания к замене атрибутов DB" DL" в соответствующих узлах матриц и пересчета их с новыми значениями.

Пункт GORA вероятнее всего представлен ошибочными данными измерений, либо был перезаложен во время реконструкции СГС1, либо имеет неподпустимые погрешности каталожной выписки. В любом случае изменения матриц с подобными величинами отклонений теории от факта недопустимо без детального изучения причин возникновения таких расхождений. Они чрезмерны.

Данные, корректирующие матрицы DB" DL" в пунктах ГГС (VASN, KULB, KLIM, DMTR, CHGR, BRNO, BOTV) изменены на значения соответствий координат интерполяции и каталогов в этих пунктах. Вычислена новая редакция матриц.

Более детальные данные с рассмотрением качества решений и для геодезических координат СК42 и для топоцентрики изложены в прилагаемом файле **результаты_измерений_интерполяции.xls**

Предложение развития метода на другие регионы

Вышеизложенный метод применим для всей, изученной территории РФ и стран СНГ, имеющих каталоги координат пунктов геодезических сетей на основе бывшей СК-42.

Главный принцип реализуемой методики - равномерность покрытия сведениями исторических носителей этой системы (пунктов ГГС) в прямоугольных топоцентрических системах, которые используют эллипсоид Крассовского, начальные геодезические даты (датумы) и единые правила проекции Гаусса-Крюгера (Transverse Mercator). Аналогичные возможности есть и у применения разностей DB DL между каталожными сведениями СК-95 по отношению к собственной системе ГНСС измерений (ITRF2008).

В рамках данного проекта разности 95- ITRF2008 не рассматривались по той причине, что в регионе МСК50 координаты пунктов в СК95 не получили широкого применения. Тем не менее такая возможность существует и для этой системы.

В основе развития метода для других регионов содержится тот же необходимый и достаточный уровень обеспечения данными.

Необходимый уровень состоит из :

а.) матриц значений приращений DB" DL" в авторской редакции, с учетом приведения широт и долгот ITRF2008 узлов этих матриц на единую нулевую дату (2011.002).

Такой материал был получен автором ранее, по значениям приращений для более чем 150 тыс. пунктов ГГС .

В ходе работы над данным проектом весь массив разностей получил систематические смещения (shift DB", shift DL") по средним значениям выборки пунктов ГГС, по которым произведены ГНСС контрольные наблюдения.

Массив необходимого решения, в авторской редакции представлен текстовым файлом, описывающим условные положения пунктов ГГС с округлением их реальных значений до минут, а также соответствующие этим точкам пространства, значения приращений DB" DL" между геодезическими координатами 42 и ITRF2008.

Такая форма представления данных по формальным признакам не составляет государственной тайны, потому, как показывает связь между некоторым набором точек пространства в разных системах координат. При этом ни одна из точек массива не соответствует положению пункта ГГС в одной из этих систем. Значения приращений даны атрибутами узлов матрицы.

Связи между узлами матрицы условно представлены векторами, однозначно и уникально формирующими систему ребер для удобства дальнейшей интерполяции по методу Делоне. Матрица не является регулярной. Это TIN (тесселированная) модель связей которую несложно импортировать в ГИС приложения, оперирующие с атрибутами или ПО специализированных расчетных систем преобразования и анализа геопространственных данных, принимающих ввод текстовых или векторных форматов подобных географических описаний.

Данная форма представления и хранения текущей редакции матрицы может отвечает усредненным расстояниям меж пунктами ГГС 2 класса, и потому может трансформироваться локально для заданных территорий посредством ввода уточняющих данных выборок контрольных измерений.

б) регулярные матрицы приращений DB" DL" можно рассматривать, как необходимый уровень при условии, что Заказчик не располагает иными средствами интерпретации данных кроме тех которые оперируют регуляризованными массивами.

Регулярные матрицы являются результатом вычислений с меньшей разреженностью сетки данных. Для хранения таких данных в виде упорядоченных массивов такое удобно, но для воспроизводства новых редакций матриц в "самообучаемом" режиме, предпочтительнее оперировать нерегулярными TIN моделями с плотностью близкой к сети ГГС 2 класса, что отвечает скорости изменения функции искажения данных, локализованной типичными неоднородностями сети исходной плотности данных.

Достаточный уровень точности обеспечивается:

а) контрольными наблюдениями ГНСС на пунктах ГГС в отдельно взятом регионе МСК .

Определение числа пунктов представительной выборки должно учитывать два главных условия:

1) Выборка пунктов для одной зоны МСК должна включать не менее 10-ти пунктов, равномерно покрывающих территорию охвата.

2) В случае разделения зоны границей блоков уравнивания ГГС 1 класса, необходимо иметь до 10 ти точек выборки в каждом из блоков.

Приводимый ниже пример для МСК50 характеризует совпадение восточного края блока колонки 37 для рядов O и N, по которым проходит граница блока уравнивания. Эта граница по великому счастью совпадает с границей зон МСК-50_1 и МСК-50_2.

Разница методов уравнивания и качества исходных данных (астрономо-геодезических определений) выявилась одновременным наблюдением ГНСС на разных блоках уравнивания СК-42. Результатом является резкий скачок долгот и широт на границе смежных блоков уравнивания СК-42. О чем свидетельствует и тоновая заливка - градиентный шейдер скоростей изменения разностей координат , а также изолинии выражающие мгновенную смену приращений с величин 3.5 метра до 2.7 в восточные и северные плановые координаты. см. рис.

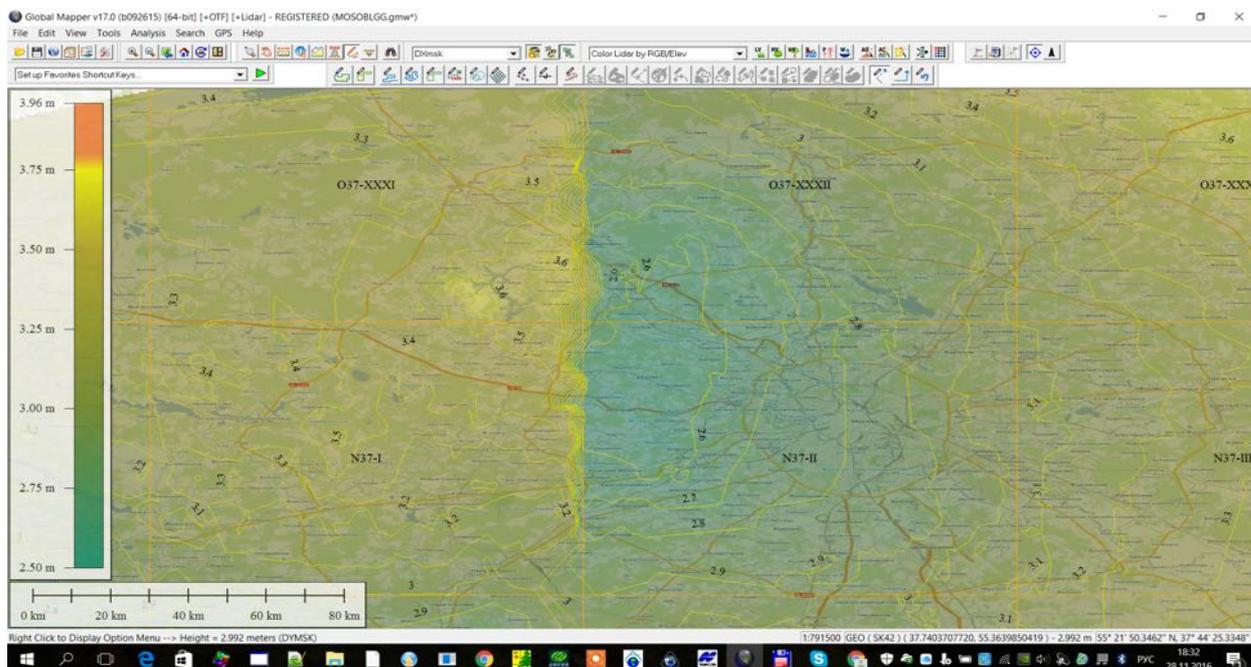


Рис.16. Систематическое смещение интерполируемых разностей Dy и каталожных в МСК-50 на границе зон 1 и 2

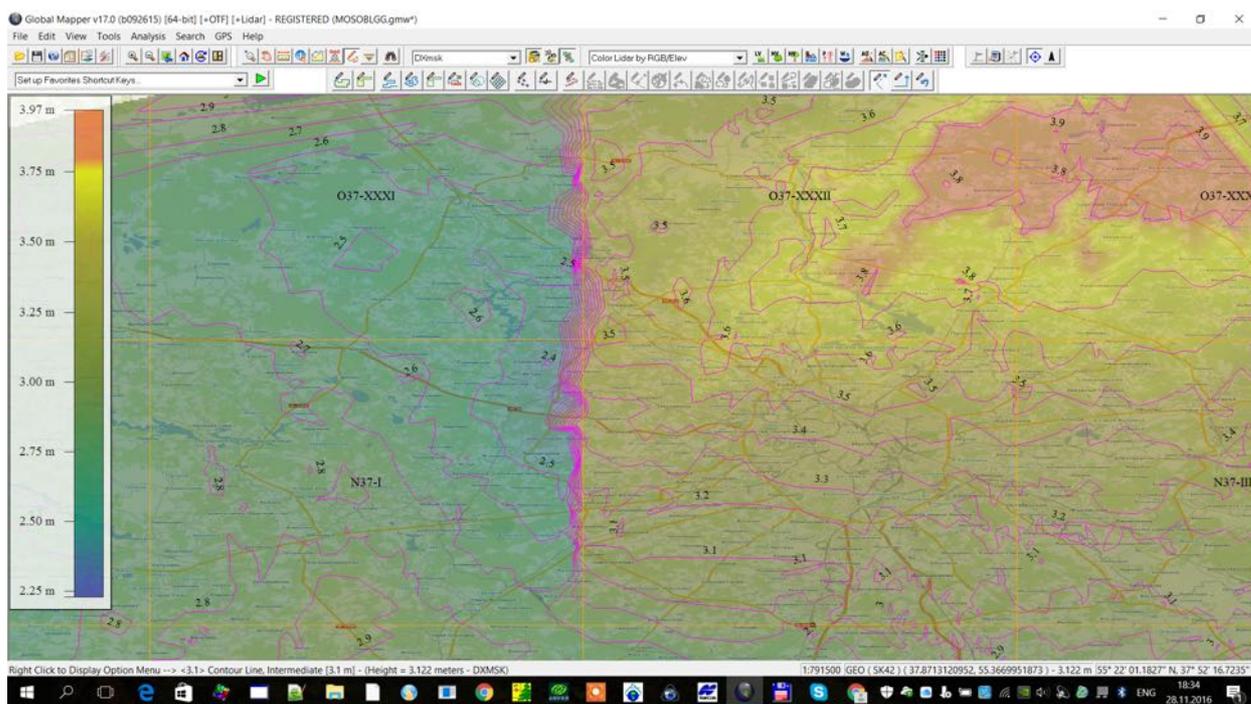


Рис.17. Систематическое смещение интерполируемых разностей Dx и каталожных в МСК-50 на границе зон 1 и 2

б) раздельными решениями для разных зон МСК и для разных блоков массивов уравнивания СК-42, уточняющих матрицы.

Блоки ГГС, выделяемые при уравнивании СК-42 вписываются в номенклатуру разграфки 1: 1 млн.

Для тех регионов МСК внутри границ которых проходят границы блоков разделения миллионных листов, необходимо набрать адекватное частям блоков и делению ими административных границ регионов число пунктов наблюдений.

Задача представительной выборки измерений сводится к фиксированию границ блоков и наборе достаточного числа измерений, для описания тенденции скоростей изменений на границе смежных блоков.

г) приведенные в таблице 1 геодезические координаты станций IGS и станций ГСИ являются основой применения предлагаемой методики.

Для ввода её в массовый клиентский сервис, необходимо прописать координаты из этой таблицы в установки приемников.

Тогда коррекция и в реальном времени будет приведена к единой отсчетной дате собственной системы.

в) идеальным было бы решение, представления матриц приращений рациональными сферическими полиномами.

Для этого решения потребуется переход от нерегулярной матричной формы описания приращений к регулярной и интерполяция атрибутов значений функций изменения широт и долгот в узлах заданного шага в виде корней уравнений для широт и долгот.

Обучаемость модели.

Изменения, вносимые в матрицу необходимо документировать ведя релизы соответствующей индикации.

Существующая, на данный момент, матрица приращений адекватна тому массиву обработанных данных, который существовал в виде знаний на начало новой редакции СК42 при переходе на СК-95.

Изо всего многообразия пунктов ГГС различных классов (1-4) и разрядной полигонометрии в создание предлагаемых матриц вошел лишь ограниченный объем данных уточнения пунктов. В качестве основы было взято 165 тысяч пунктов ГГС с их линейно-угловыми связями, и произведено переуравнивание этой сети на основе ГНСС измерений выборочной группы пунктов равномерно распределенных по РФ и СНГ. Число пунктов выборки по которым уточнялась геометрия прежней СК равно первым тысячам.

В результате улучшилось качество взаимного положения пунктов в геодезических координатах СК-42 и общая ориентировка блоков уравнивания.

Так появилась на свет СК-95, которая оказалась нежизнеспособной по двум причинам.

- Она строилась методом минимума внесения изменений в существующую СК-42
- Она не создавалась на иных принципах, а лишь точно изменила прежние данные измерений, улучшив взаимное положение смежных пунктов, а не целостной системы, в которой неопределенность масштаба осталась той же.

Представление матриц приращений в данном виде есть ничто иное, как метод документирования разностей геодезических координат As IS (как есть) без цели улучшения СК42 за счет ввода новых значений координат и измерений прежних пунктов.

Понятие пункта в данной модели описания среды нет. Есть некие абстрактные узлы сетки, в которых разности широт и долгот на разных эллипсоидах и с разными начальными

геодезическими датами (датурами) представлены эмпирическим набором того как эти разности вошли в каталоги координат существующей СК.

Частные отклонения от теории в нашем случае сведены к значениям DB" DL" для узлов сетки условных связей.

Если выполнить ГНСС измерения на пунктах ГГС и получить на них данные в системе ITRF2008 на начальную дату 2011.002, то можно определить фактические DB" DL" для данных точек пространства и интерполируемые по вышеописанным матрицам.

Разности меж интерполируемыми и фактическими, как это представлено в таблице 6 "Таблица 6. Разности интерполируемых (МСК_интерполяция) и каталожных значений координат ГГС в требуемой системе МСК50-1 " в значениях первых сантиметров свидетельствуют об отсутствии непредсказуемых ошибок исторического уравнивания СК42 на территории выборки.

Если же значения разностей МСК будут превосходить заданный предел точности работы метода, то вместо DB" DL" , существующих в данной редакции узлов следует внести те значения, которые дали контрольные измерения.

После чего трансформировать матрицы любым на выбор способом интерполяции изменений (дисторсия, аффинное преобразование, линейный сдвиг, проективное, полиномы)

Какой из предлагаемого выбора методов даст лучший результат?

Наверное тот, что обеспечит лучшие сходимости измеренного массива выборки каталожным значениям координат на данном ограниченном участке территории.

О каких величинах допустимых отклонений можно уверенно говорить, как о возможности применения данного метода на производстве?

Допуск точности абсолютных координат смежных пунктов СК 42 и МСК основанных на ней авторитетными изданиями форумами экспертных оценок определяется на уровне 35 см.

Если смежные пункты ГГС при сравнении их положения с данными из обратной задачи ГНСС измерений сходятся по плановым координатам в линейной и угловой невязке на этом уровне, то лучшего ждать от СК-42 и нереально. Отдельные части блоков уравнивания дают разности в два дециметра. Это особый случай высокой точности.

Целевой задачей приведения СК-95 в лучшую геометрию по отношению к СК42 было обеспечение точности взаимного положения пунктов сети 5 см. Что вполне справедливо в последней редакции СК-95, использующей подобную матрицу искажений двух систем СК-95 и 42.

Но это не лишает общую конструкцию сети риска получить 20 см меж пунктами в СК95 расположенными в 100 км друг от друга. А в СК-42 получить до полуметра меж пунктами такого удаления.

Для ГНСС измерений вектора и в 1000 км не проблема взаимного положения их концов с точностью 1 мм.

Этот факт говорит, о том, что матричная форма соответствия интерполируемых значений координат каталожным - остается инструментом подгона точных ГНСС измерений под каталожные координаты МСК худшей точности.

В данном методе, как и в других , когда исходное грубее измеренного, мы всегда вынуждены приводить измеренное к исходному. На сленге геодезистов этот процесс именуется подгоном.

До какой степени подгон должен искажать реальность в пользу лучшего соответствия истории - вопрос лишенный границ разумного.

Очевидно, что можно добиться и сантиметрового подгона ГНСС в значения каталогов. Только нужно ли это, если нет сетей такой метрики взаимных положений?

Обеспечение точности попадания интерполируемых координат в каталоги зависит только от спектра неоднородностей редакции каталогов данном регионе. И уровень точности в допуске 5 см достижим первым десятком контрольных ГНСС наблюдений. Что и показывает таблица 6

Выводы.

1. Предложенное решение для МСК региона 50 прошло испытания для зоны 1 с достаточной точностью соответствия решений каталожным значениям координат контрольных пунктов ГГС.
2. Данный метод решения можно применять для расчетов определяемых пунктов и точек съемки в данном регионе, игнорируя необходимость использования сведений ГГС, и используя для только открытые данные мировой сети и координаты станций ГСИ в открытых системах координат.
3. Предлагаемая методика может быть рекомендована в качестве самообучаемой, системы улучшающей качества соответствия ГНСС наблюдений системам МСК в разных редакциях геодезических систем (СК95, ГСК2011)
4. Координаты базовых станций ГСИ необходимо изменить на представленные в таблице 1 для обеспечения единства измерений RTKметодами и постпроцессинга.

Перспективы применения метода

Массив данных накопленный автором охватывает всю территорию Российской Федерации и, страны СНГ в границах бывшего СССР.

Уточнения для отдельных регионов требуются по весьма малым объемам выборки. Это десятки пунктов на всю территорию.

Там где региональные МСК уже перешли на более корректную метрику в редакции геодезических координат в СК95, для принятия решения о применении матриц потребуется наблюдения на пунктах числом от одного до трех в качестве контроля. По той причине, что СК95 очищена от локальных искажений пунктов ГГС.

Особую осторожность вызывает применение данной системы в горных районах Урала и на крайнем севере, где встречаются из ряда вон выходящие ошибки самих каталогов СК42. Эти зоны хорошо видны на тоновой градиентной заливке матрицы DL приводимой на рисунке.

Для использования предлагаемой методики в этих регионах потребуются не только дополнительные объемы измерений, но активирование сведений отдельных пунктов ГГС, как заведомо неверные. Такая работа не очень приветствуется сегодняшним руководством Росреестра, но тем не менее её не избежать .

В качестве бизнес-решения было бы привлекательно выполнить перевод массива матриц в более современные и интреберабельные форматы данных, такие как СУБД, с модулем расчета интерполяции по запросу и процедур коррективки и пересчета координат в нужные МСК исключая ручной труд описанный выше в разделах:

Описание массива исходных данных и метода интерполяции

Анализ работы метода на примере региона Московская область

Матричную форму описания массивов поправок можно заменить более современным математическим видом рационального полинома. Он будет очень компактной формой хранения и модификации данных, встраиваемым в web приложения и сервисы. Тогда модификация и улучшение свойств системы сведется к уточнению RPC коэффициентов полинома, по мере пополнения новыми данными контрольных определений в известных точках.

На основе этой информации можно делать приложения высокой компетенции по трансформации векторных данных целых проектов выполненных без привязок к ГГС, что делает гибче и удобнее работы геодезистов и изыскателей в полевых условиях, лишая их необходимости обязательного поиска пунктов перед началом работ. Это делает методы измерений более производительными, и независимыми от состояния ГГС, которая сегодня уже утрачена по разным оценкам от 30 до 50 %.

Одним из побочных свойств предлагаемой системы виртуализации сведений о ГГС, является возможность восстановления пунктов ГГС в исторические места закладки с точностью до первых сантиметров с учетом тех искажений их каталожных координат, которые им документально соответствовали на момент утраты.

Нормативы и руководящие материалы

(автор избежал прямого цитирования нижеприводимого списка документов, которые использовались тезисно)

1. Антонович, К. М. Сравнение результатов линейных измерений, выполненных спутниковыми и традиционными методами геодезии / К. М. Антонович, А. А. Струков // ГЕО-Сибирь-2010 : сб. материалов VI Междунар. научн. конгр., 19-29 апр. 2010 г. - Новосибирск : СГГА, 2010. - Т. 1, ч. 3. - С. 38-42.

Диссертации о Земле <http://earthpapers.net/sovershenstvovanie-metodiki-opredeleniya-polozheniya-punktov-lokalnyh-sputnikovyh-geodezicheskikh-setey-v-obschezemnoy-i-r#ixzz4PyYhUqiu>

2. О геодезии и картографии. Федеральный закон № 209-ФЗ от 26.12.1995.

3. Об утверждении Правил установления местных систем координат. Постановление Правительства РФ № 139 от 03.03.2007.

4. ГОСТ Р 51794-2001. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.

5. ГКИНП 01-006-03. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации.
6. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. — М.: ЦНИИГАиК, 2003.
7. Система геодезических параметров Земли "Параметры Земли 1990 года" (ПЗ-90). Справочный документ / Под общей ред. В.В. Хвостова. — М.: КНИЦ, 1998.
8. ГОСТ Р 51794-2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М.: Госстандарт России, 2001.
9. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). ГКИНП (ГНТА)-06-278-04. — М.: ЦНИИГАиК, 2004.
10. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения (РТМ 68-14-01). — М.: ЦНИИГАиК, 2001.
10. Антипов, А. В. Концепция алгоритма преобразования координат при спутниковых методах наблюдений Текст. / А. В. Антипов, Е. Б. Ключин // Известия вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. 2008. - № 5. - С. 5-9.
11. Антипов, А. В. Линейные уравнения поправок к координатам пунктов городской геодезической сети при преобразовании координат спутниковых определений Текст. / А. В. Антипов // Известия вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. -2010,-№6.- С. 6-9.
12. Антонович, К. М. Выбор стохастической модели при уравнивании спутниковых геодезических сетей Текст. / К. М. Антонович, В. В. Яхман // Вестник СГГА. Новосибирск : СГГА, 2005. - Вып. 11. - С. 63-69.
13. Афонин, К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учеб.-метод, пособие Текст. / К. Ф. Афонин. Новосибирск : СГГА, 2011.-66 с.
14. Баландин, В. Н. О преобразовании пространственных прямоугольных координат в плоские прямоугольные Текст. / В. Н. Баландин [и др.] // Геодезия и Картография. 2005. - № 5. - С. 11-13.
15. Берк, В. И. О современных геоцентрических системах координат Текст. / В. И. Берк // Геодезия и Картография. 2005. - № 2. - С. 4.
16. Бовшин, Н. А. Совместное уравнивание общегосударственных опорных геодезических сетей Текст. / Н. А. Бовшин, В. И. Зубинский, О. М. Остач // Геодезия и картография. 1995. - № 8. - С. 6-17.
17. Будущее государственных геодезических и межевых сетей в эпоху спутниковых технологий позиционирования Электронный ресурс. : Пространственные данные. 2010. - № 1. - Режим доступа: <http://www.gisa.ru/pd.html>. - Загл. с экрана.
18. Бурша, М. Основы космической геодезии. Ч. 1. Геометрическая космическая геодезия Текст. / М. Бурша. М.: Недра, 1971. - 128 с.
19. Виноградов, А. В. Оценка точности метода Precise Point Positioning и возможности его применения при кадастровых работах Текст. / А. В. Виноградов, А. В. Войтенко, А. Ю. Жигулин // Геопрофи. 2010. - № 2. - С. 27-30.
20. Герасимов, А. П. Спутниковые геодезические сети Текст. / А. П. Герасимов. -М. : ООО Издательство «Перспект», 2012. 176 с.
21. Горобец, В. П. Результаты построения государственной геоцентрической системы координат Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «ГЛОНАСС» Текст. / В. П. Горобец [и др.] // Геодезия и картография. -2012.-№2.-С. 53-57.
22. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек Текст. : нац. стандарт РФ. Введ. 18.12.2008. - Стандартинформ, 2009. - 16 с.

23. ГОСТ Р 52572-2006. Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования Текст. : нац. стандарт РФ. Введ. 28.09.2006. - Стандартинформ, 2006. - 12 с.
24. Гуляев, Ю. П. О деформациях топографо-геодезической основы и ее оптимальном использовании Текст. / Ю. П. Гуляев, Е. А. Васильев// Геодезия и картография. 2001. - № 11. - С. 15-20.
25. Демьянов, Г. В. Вопросы построения государственной геоцентрической системы координат Российской Федерации Текст. / Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геодезия и картография. 2011. - № 11. - С. 17-25.
26. Закатов, П. С. Курс высшей геодезии Текст. / П. С. Закатов. 4-ое изд., перераб. и доп. - М. : - Недра, 1976. - 511 с.
27. ЗАО «Геостройизыскания», базовые станции ГНСС Электронный ресурс. : официальный сайт. Режим доступа: <http://gnss.gsi.ru>. - Загл. с экрана.