

Введение

Для преобразования результатов обработки данных спутниковых (ГНСС) измерений из общеземной системы координат в локальную систему координат необходимы

1. исходные пункты, заданные в локальной системе координат.
2. координатные преобразования, связывающие эту систему координат с WGS-84.

Порядок, по которому выполняется вычисление координат, показан на следующей схеме преобразований:



1. Трансформация геоцентрических систем координат выполняется по формуле 7-ми параметрического преобразования Гельмерта (Amendment 2 to RTCM STANDARD 10403.1) :

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} + M \times R \times \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} \quad (1)$$

(X_S, Y_S, Z_S) и (X_T, Y_T, Z_T) - геоцентрические координаты WGS 84 и референцной системы координат соответственно (S - Source, T - Target);

dX, dY, dZ - смещения по осям X, Y, Z;

M - масштабный коэффициент. $M = (1 + dS \cdot 10^{-6})$. Величина dS указывается в списке датумов **Justin** в ppm, то есть в миллионных долях ($1\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$).

Матрица вращения $R = R_X \times R_Y \times R_Z$, где

$$R_X = \begin{bmatrix} \cos R_1 & \sin R_1 & 0 \\ -\sin R_1 & \cos R_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; R_Y = \begin{bmatrix} \cos R_2 & 0 & -\sin R_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R_2 & 0 & \cos R_2 \end{bmatrix}; R_Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R_3 & \sin R_3 \\ 0 & -\sin R_3 & \cos R_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

R_1, R_2, R_3 - углы между соответствующими осями исходной (source) и целевой (target) координатными системами. Углы отсчитываются в направлении обратном направлению часовой стрелки.

Формула обратного преобразования:

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \frac{R^{-1}}{M} \left[\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} \right] \quad (3)$$

Преобразование Гельмерта является преобразованием подобия, при котором масштабный коэффициент одинаков для каждой координаты. Комбинация набора из 7-ми параметров преобразования $(dX, dY, dZ, dS, R_1, R_2, R_3)$ и эллипсоида называется датумом. В списке датумов **Justin** знаки параметров соответствуют переходу от WGS 84 на референцную систему.

Пример. $dX = +10$ метров. $X_R = X_{WGS 84} + 10$.

Вычисление геодезических координат (B - широта, L - долгота, H - высота) по геоцентрическим (п.2 схемы преобразований) выполняется итерациями по формулам:

$$\begin{aligned} \tan L &= Y/X \\ \tan B &= \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}} + \frac{e^2 \times N \times \sin B}{\sqrt{X^2+Y^2}} \\ H &= \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos B} - N \end{aligned} \quad (4)$$

N - радиус кривизны первого вертикала, e^2 - квадрат первого эксцентриситета эллипсоида. Обратный переход к прямоугольным координатам X, Y, Z от геодезических координат (этап 2 схемы преобразования) B, L, H описывается формулами:

$$\begin{aligned} X &= (N + H) \times \cos B \times \cos L \\ Y &= (N + H) \times \cos B \times \sin L \\ Z &= (N + H - e^2 \times N) \times \sin B, \text{ где} \end{aligned} \quad (5)$$

e - эксцентриситет, N - радиус кривизны первого вертикала.

Для вычислений геодезических координат также необходимо задать эллипсоид - большую полуось и эксцентриситет.

Преобразование геодезических координат B, L в прямоугольные координаты на плоскости выполняется на основании типа и параметров картографической проекции. Переход от H_{geod} геодезической (эллипсоидальной) высоты, которая измеряется по нормали к эллипсоиду, к H_{ortho} ортометрической высоте выполняется по формуле:

$$H_{geod} = H_{ortho} + \zeta, \quad (5)$$

где ζ - высота геоида над эллипсоидом.

Высоты геоида определяются по геодезическим координатам на основании модели геоида, которая задана относительно того же самого эллипсоида, для которого вычисляется геодезическая высота.

Этап 4 схемы преобразований выполняется между двумя прямоугольными, заданными на плоскости координатными системами. Нахождение параметров такого преобразования в геодезии принято называть локализацией или калибровкой.

Формулы планового преобразования аналогичны (1).

$$\begin{bmatrix} N_T \\ E_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dN \\ dE \end{bmatrix} + M \times R \times \begin{bmatrix} N_S \\ E_S \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\text{где } R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

В развернутом виде они имеют вид:

$$\begin{aligned} N_T &= dN + M \times (N_S \times \cos \alpha - E_S \times \sin \alpha) \\ E_T &= dE + M \times (N_S \times \sin \alpha + E_S \times \cos \alpha), \end{aligned} \quad (7)$$

dN, dE - смещения по координатным осям.

N_S, E_S, N_T, E_T - северная (*Northing*) и восточная (*Easting*) прямоугольные координаты на плоскости. α - угол разворота, отсчитываемый по часовой стрелке. M - масштабный коэффициент.

Обратное преобразования для координат на плоскости:

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \end{bmatrix} = \frac{R^{-1}}{M} \left[\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX \\ dY \end{bmatrix} \right] \quad (8)$$

Формула высотного преобразования

$$H_T = H_S + dH + \alpha_N \times N_S + \alpha_E \times E_S, \quad (9)$$

H_S - высота в исходной системе координат, dH - приращение высоты, α_N, α_E - углы наклона по осям *Northing, Easting*.

Определение параметров преобразования систем координат на плоскости выполняется методом наименьших квадратов (МНК) путем сопоставления полученных в результате цепочки преобразования 1- 4 и исходных (из каталога) координат пунктов. Параметры планового и высотного преобразования вычисляются независимо. Минимальное количество необходимых для расчета пунктов составляет для плоской локализации два пункта и для высотной локализации три пункта.

Локальный датум включает 4 параметра планового преобразования плюс 3 параметра высотного преобразования. Иногда, такой набор параметров называют датумом 4+3, подчеркивая отличие от 7-ми параметрического датума, применяемого для преобразования геоцентрических координат.

9. Локализация *Justin*

Вычисление параметров преобразования прямоугольных систем координат на плоскости и вертикальных систем координат производится в окне *Локализация*. Для активации этого окна следует выбрать пункт главного меню *Инструменты*, и, далее, *Локализация* (рис.9-1):

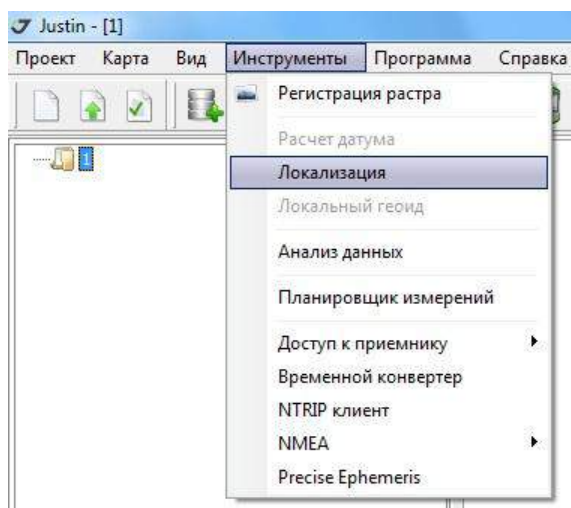


Рис.9-1

Основными элементами окна *Локализация* являются Главное меню, лента иконок, панель настроек и таблица ввода координат (рис.9-2):

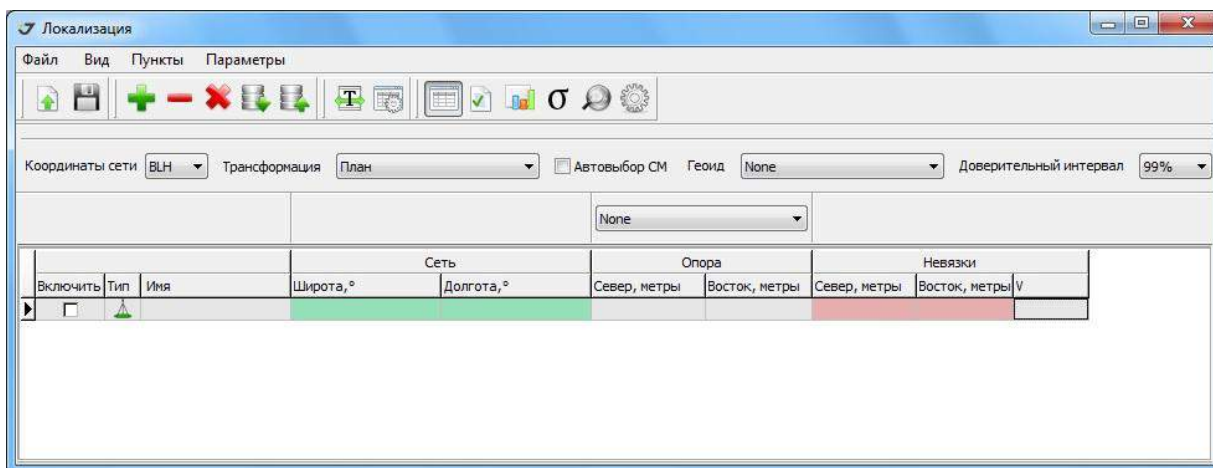
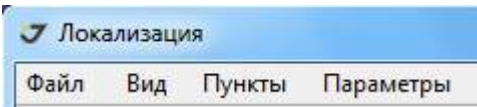


Рис.9-2

9.1 Пункты главного меню

Пункты главного меню  предназначены для доступа к основным операциям – экспорт\импорт данных, просмотр параметров имеющихся локальных систем координат, сохранения шаблонов, настройки вида таблицы и т.п.

9.1.1 Файл

Меню (рис.9-3) позволяет :

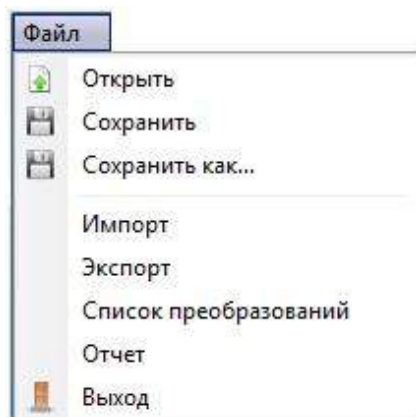


Рис.9-3

- открыть ранее созданную локализацию (рис.9-4) – таблица исходных данных, параметры расчета локализации, параметры координатного преобразования.



Рис.9-4

- сохранить новый расчет локализации с уже определённым или с новым именем, если расчет был выполнен в первый раз (рис.9-5)

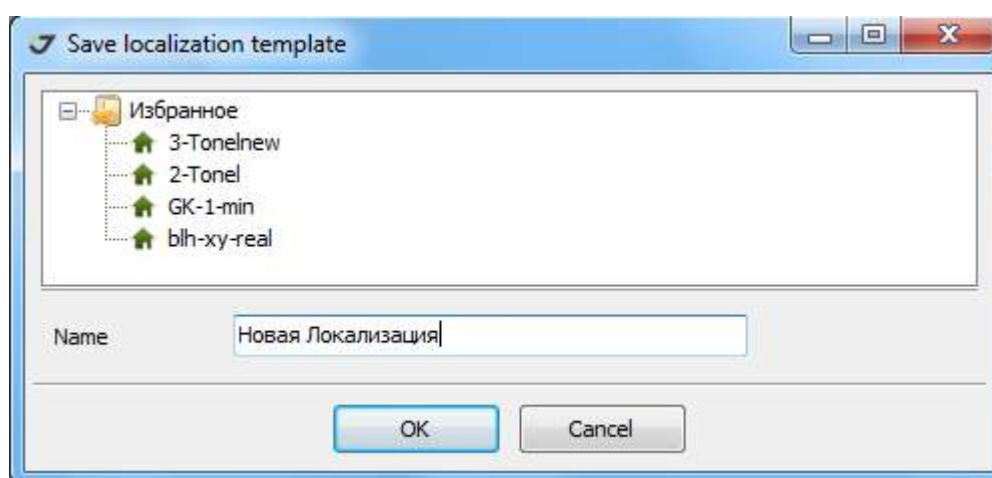


Рис.9-5

- открыть ранее созданную и сохранённую в файле формата JCS (для обмена с Трасу, Victor-VS, Triumph-VS) локализацию.

- экспортировать созданную локализацию в файл формата JSC (рис.9-6):

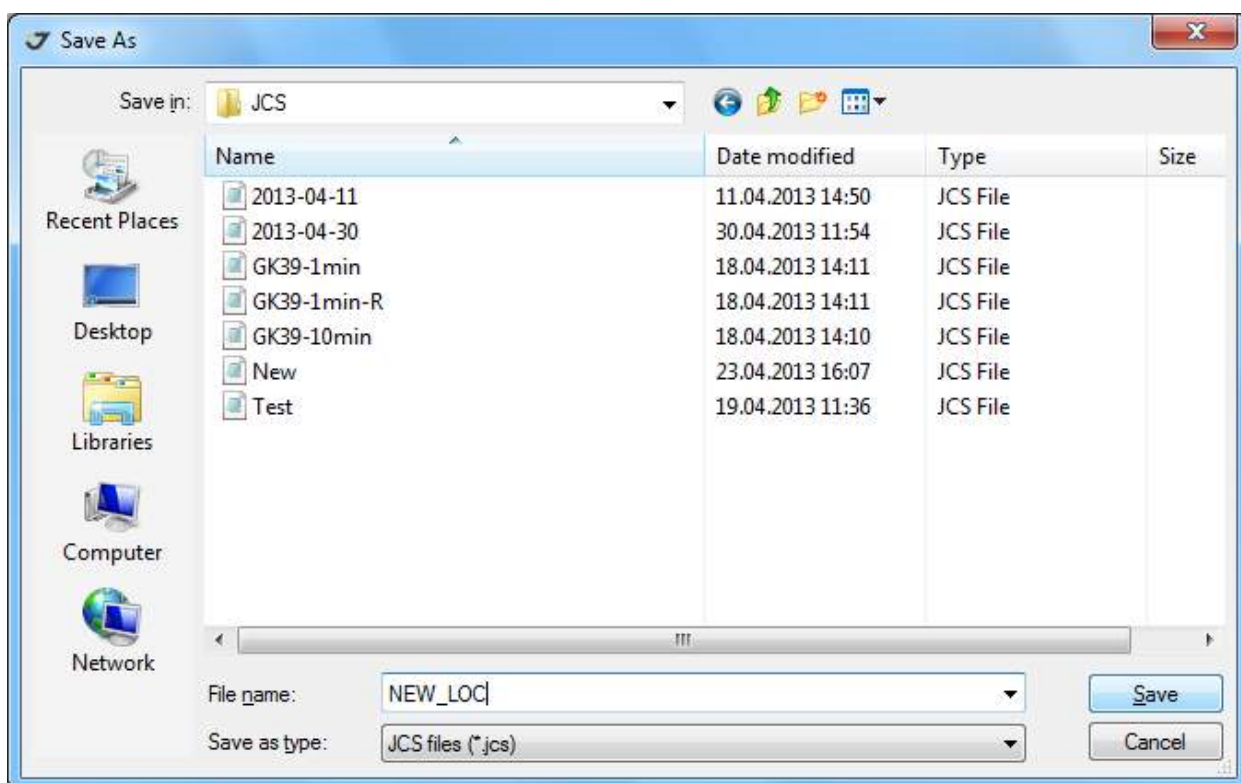


Рис.9-6

Следует обратить внимание, что при экспорте в файл JCS имя файла может не совпадать с именем локализации. Имеется возможность экспорта в один файл нескольких локализаций. Эта опция реализована в окне *Свойства проекта* (закладка *Координатные системы*). Соответственно, при импорте *.jcs файла пользователю предоставляется выбор из списка локализаций, сохранённых в файле (рис.9-7):

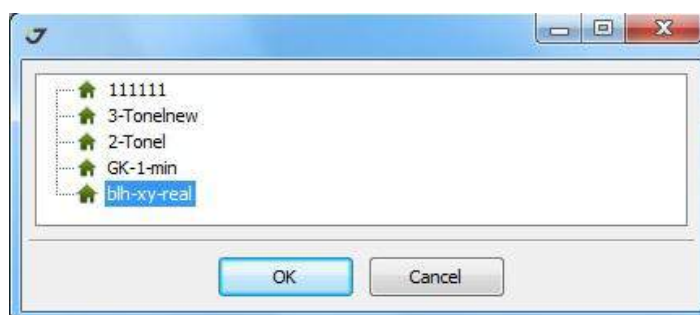


Рис.9-7

- просмотреть список всех доступных в проекте локализаций - созданных и скопированных из предыдущего открытого проекта (если в окне *Параметры* (закладка *Общие*) установлен флажок *Apply last coordinate system*) (рис.9-8):

Имя	NO, метры	EO, метры	RA	SD	VO, метры	IncN	IncE
111111	-6032474.34452938	134140.288963272	0°00'00.2599"	1.09102853442788E-5	-109.696274041198	0°00'00.0061"	0°00'00.0411"
3-Tonelnew	-5395504.0567595	-65.2312587268571	0°00'01.0109"	-4.55451735437151E-7	-81.4595323499816	0°00'02.3793"	0°00'03.1003"
2-Tonel	-5395504.03906316	-65.3271083831787	0°00'01.0145"	-4.58747647869018E-7	-81.4926552530378	0°00'02.3806"	0°00'03.1045"
GK-1-min	-0.00245439696300309	0.000783871698217808	0°00'00.0000"	3.97516464190062E-10	0	0°00'00.0000"	0°00'00.0000"
blh-xy-real	-6032474.34452938	134140.288963272	0°00'00.2599"	1.09102853442788E-5	0	0°00'00.0000"	0°00'00.0000"

Рис.9-8

- выдать отчёт о сделанной локализации, включающий координаты сети и исходных пунктов, их статус и полученные невязки (рис.9-9):



Программа: Justin

Версия: 2.107.142.31

Исполнитель: -

Организация: -

Проект: Каркас_key

Обработано: 20.05.2013 15:25:52

Reference Система координат: G-K-39

Единицы: метры

Тип высот: Эллипсоидальная

Network Система координат: WGS 84

Единицы: градусы

Тип высот: Эллипсоидальная

			Сеть		Опора		Невязки		
Включить	Тип	Имя	Широта,°	Долгота,°	Север, метры	Восток, метры	Север, метры	Восток, метры	V
Да	0	1516	N 56°10'34.229633"	E 40°29'56.475926"	196784.7730	227246.9860	-0.0070	0.0010	0.0071
Да	0	2168	N 56°07'09.962721"	E 40°21'55.829635"	190295.4070	219080.6280	0.0071	0.0013	0.0072
Да	0	2191	N 56°10'22.004601"	E 40°24'44.897940"	196293.2460	221879.8550	0.0044	-0.0065	0.0079
Да	0	281	N 56°06'14.863190"	E 40°26'07.496081"	188679.6640	223463.8840	0.0063	0.0057	0.0085
Да	0	93	N 56°07'25.801134"	E 40°20'31.616372"	190756.6690	217616.2070	-0.0065	-0.0074	0.0099
Да	0	3719	N 56°07'02.583654"	E 40°30'27.627948"	190251.2770	227927.4280	-0.0028	0.0028	0.0039
Да	0	4468	N 56°10'26.488799"	E 40°23'20.784814"	196402.4400	220425.9350	-0.0034	-0.0009	0.0035
Да	1	4902	N 56°11'01.675327"	E 40°26'56.795013"	197567.3030	224129.5760	0.0021	-0.0002	0.0021
Да	0	5109	N 56°10'31.658228"	E 40°19'55.442580"	196492.4220	216880.3480	-0.0002	0.0043	0.0043

Рис.9-9

- закрыть окно локализации

9.1.2 Вид

Флажки, установленные для пунктов *Таблица*, *Параметры* и *График* (рис.9-10),

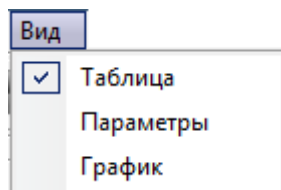


Рис.9-10

активируют в главном окне (рис.9-2) панели, содержащие соответственно таблицу для ввода координат и оценок точности пунктов и вывода невязок (Т), список вычисленных параметров планового и высотного преобразований (П) и график (Г) соответствия расстояний между пунктами в двух системах координат (применяется для поиска грубых ошибок введённых координат сети или опоры).

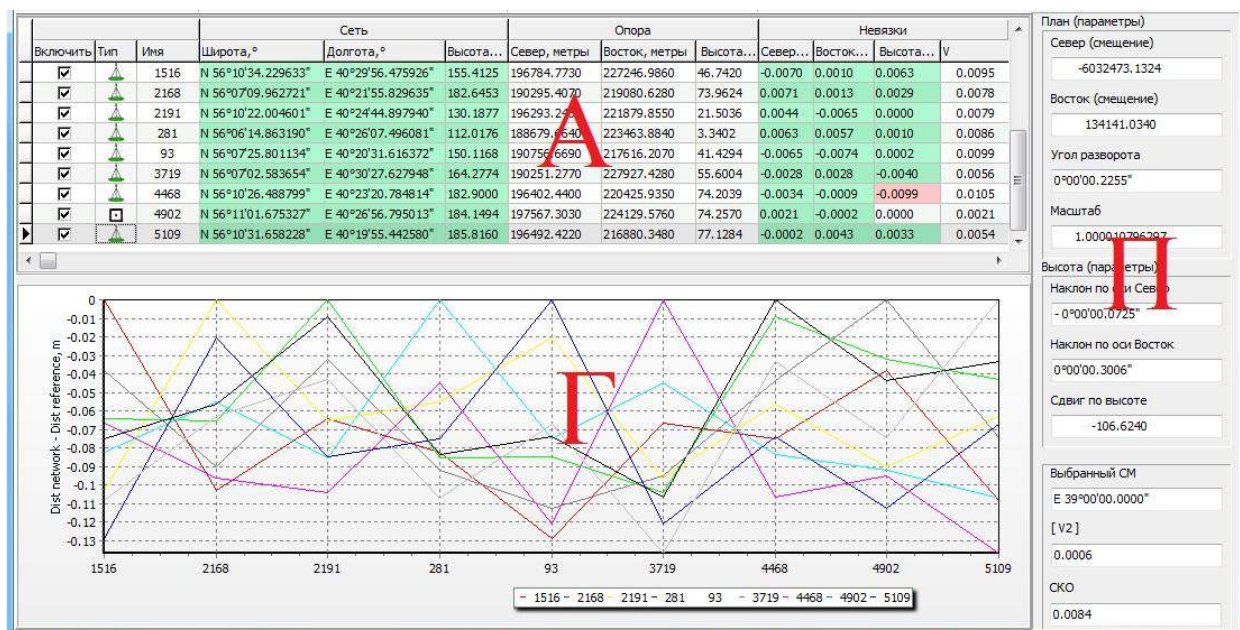


Рис.9-11

9.1.3 Пункты

Меню (рис.9-12) позволяют проводить следующие операции:

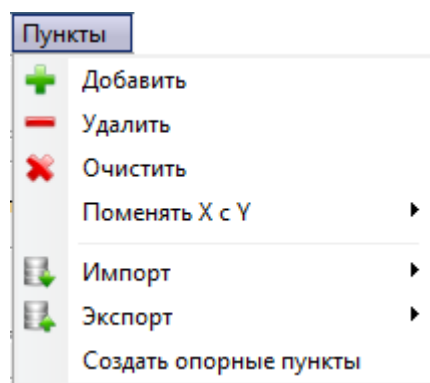


Рис.9-12

- добавить строку ввода в таблице
- удалить выделенную строку ввода в таблице
- очистить таблицу (удалить все строки в таблице)
- поменять местами содержимое колонок координат таблицы для пунктов сети и/или опоры (в случае ошибочного ввода координат не в ту колонку) (рис.9-13):

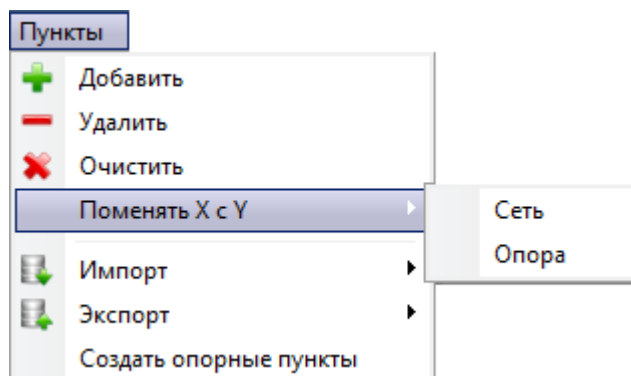


Рис.9-13

- импортировать координаты пунктов в таблицу из различных источников (рис.9-14),

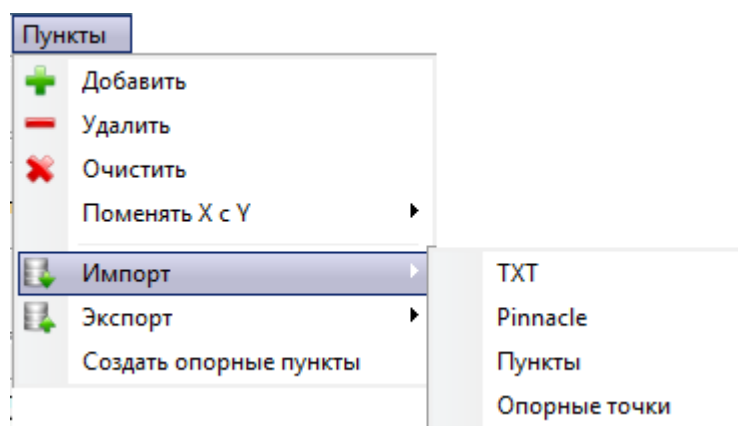


Рис.9-14

таких, как текстовых файлов произвольного формата, текстовых файлов формата **Pinnacle**, списка пунктов, присутствующих в проекте, списка опорных пунктов, содержащихся в базах данных проекта и программы.

- экспортировать координаты пунктов из таблицы в текстовые файлы произвольного формата, в том числе в текстовые файлы формата программы **Pinnacle** (рис.9-15):

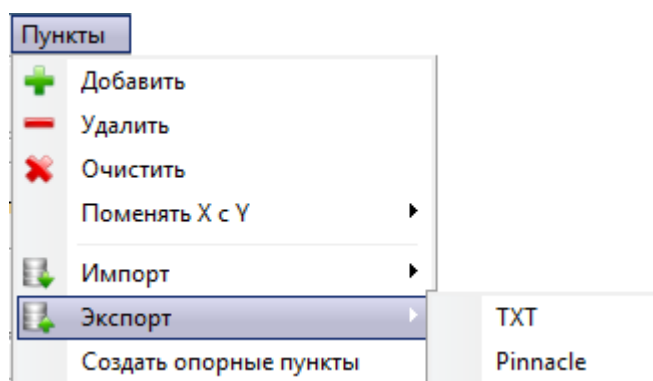


Рис.9-15

- создавать опорные пункты путём копирования координат опоры из таблицы локализации в базу данных проекта или программы (рис.9-16):

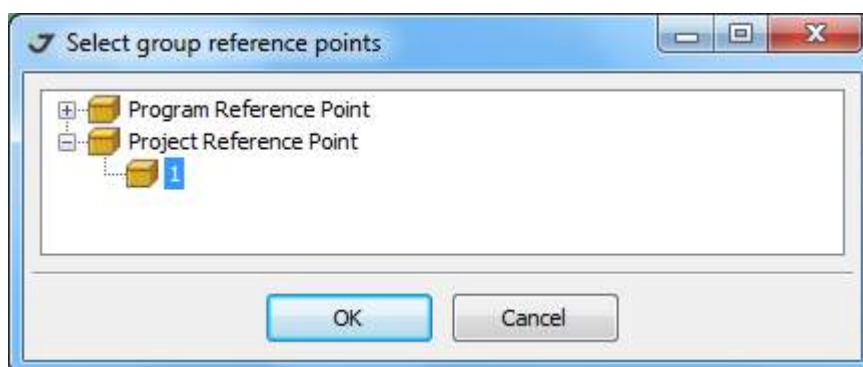


Рис.9-16

Копирование выполняется только после расчета параметров локализации. Список координат исходных пунктов (числовые данные) без привязки к системе координат не может быть скопирован в базу данных программы или проекта. В случае попытки копирования выдается соответствующее сообщение.

9.1.4 Параметры

Пункты этого меню (рис.9-17) предназначены для настройки вида таблицы:

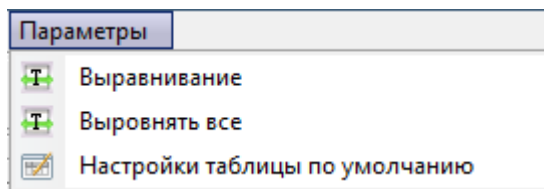


Рис.9-17

- устанавливать ширину колонки, в которой находится курсор, по максимальной длине ячейки в этой колонке (включая заголовков)
- устанавливать ширину всех колонок по тому же принципу
- восстанавливать настройки таблицы (ширина колонок, количество выводимых знаков после запятой и т.п.), принятые по умолчанию.

9.2 Лента иконок

Иконки на ленте (рис.9-18) дублируют наиболее часто используемые при локализации команды

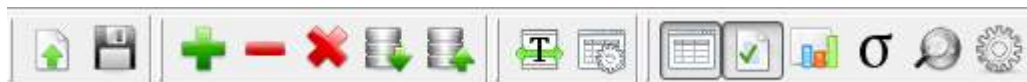


Рис.9-18

пунктов главного меню, а также содержат две дополнительные команды (активизация колонок ввода оценок точности координат и запуск локализации).

На ленте доступны иконки со следующими функциями:



- открыть ранее созданную локализацию



- сохранить локализацию



- добавить новую строку в таблицу



- удалить выделенную строку из таблицы



- удалить все строки в таблице



- импортировать координаты пунктов в таблицу из текстовых файлов произвольного формата и текстовых файлов, формата программы **Pinnacle**



- экспортировать координаты пунктов из таблицы в текстовые файлы произвольного формата и текстовые файлы, создаваемых программой **Pinnacle**



- устанавливать ширину колонки, в которой находится курсор, по максимальной длине ячейки в этой колонке (включая заголовок)



- восстанавливать настройки таблицы (ширина колонок, количество выводимых знаков после запятой и т.п.), принятые по умолчанию



- активировать/убрать закладку, содержащую таблицу для ввода координат и оценок точности пунктов и вывода невязок



- активировать/убрать закладку, содержащую список вычисленных параметров планового и высотного преобразований



- активировать/убрать закладку, содержащую график соответствия расстояний между пунктами в двух системах координат



- добавить колонки для ввода оценок точности координат пунктов опоры



- иконка зарезервирована.



- выполнить расчет локализации

9.3 Окно ввода координат в таблицу и размещения закладок

9.3.1 Таблица данных

Таблица данных (рис.9-19) служит отображения координат пунктов и оценки точности расчета трансформации. Оценка точности производится по невязкам. Она зависит как от качества координат пунктов спутниковой сети и взаимной согласованности исходных пунктов, так и от достоверности заданных пользователем параметров проекции локальной системы координат **Опоры**. Колонки таблицы объединены в блоки – **Сеть**, **Опора**, **Невязки**. Блок **Сеть** содержит координаты пунктов в одной из систем координат проекта. Как правило, это координаты пунктов, полученные в результате уравнивания

свободной сети ГНСС. Блок **Опора** - координаты пунктов в локальной прямоугольной системе координат на плоскости. Полученные в результате уравнивания невязки показываются в правой части таблицы.

Включить	Тип	Имя	Сеть		Опора		Невязки		
			Широта, °	Долгота, °	Север, метры	Восток, метры	Север, метры	Восток, метры	V
☐									

Рис.9-19

В окне ввода каждая строка содержит информацию об одном пункте и содержит следующие колонки:

- **Включить** – установленный флажок означает, что координаты пункта будут использованы при расчёте параметров, иначе, пункт исключен из процесса вычислений. В этом случае соответствующая строка в таблице затеняется, невязки не вычисляются.
- **Тип** – устанавливает тип преобразований, в котором может быть использован конкретный пункт (рис.9-20):

Тип	Имя	Широта, °
	1516	N 56°10'34.2
	2168	N 56°07'09.9

Рис.9-20

Возможно задание одного из трёх типов привязки к опорным пунктам:



- **Планово-высотная**. Координаты пунктов будут использованы для вычисления параметров для планового преобразования (Широта/Долгота или Север/Восток) и высотного преобразования (Высота).



- **Плановая**. Координаты пунктов будут использованы для вычисления параметров для планового преобразования (Широта/ Долгота или Север/Восток)



- **Высота**. Координаты пунктов будут использованы для вычисления параметров высотного преобразования (Высота).

- **Имя** – имя пункта

- **Широта, Долгота, (Высота** – если также вычисляются параметры для высотного преобразования) из блока **Сеть** – координаты пунктов в исходной системе координат. В зависимости от типа вводимых в эти колонки координат (эллипсоидальные, геоцентрические или прямоугольные на плоскости), могут быть варианты **BLH, XYZ** или **Север/Восток**).

- **Север, Восток, (Высота** – если также вычисляются параметры для высотного преобразования) из блока **Опора** - координаты пунктов в локальной системе координат.
- **V** (блок **Невязки**) – невязки координат пунктов по соответствующей составляющей и невязка по радиус-вектору.

9.3.2 Работа с полями ввода в таблице

Для большей наглядности и удобства работы в таблице используется выделение полей цветом. Столбцы координат пунктов в исходной системе координат выделены зелёным цветом. Поля столбцов невязок (кроме колонки **V**) до вычисления параметров выделены красным цветом. После вычисления параметров поля этих столбцов могут быть отмечены зелёным цветом, если соответствующие поправки в измерения соответствуют критериям τ -теста (тау-тест) или же красным, если тест не пройден. При τ -тесте анализируется соответствие поправок в координаты пунктов оценке их точности, полученной из уравнивания. Поэтому, иногда, даже сравнительно небольшие поправки могут быть отмечены как не прошедшие τ -тест. Дополнительно к τ -тесту, при оценке результатов локализации, следует также обращать внимание на величину самих невязок.

Если пункт исключён из вычислений (снят флажок в колонке **Включить**), цвет соответствующей строки изменяется цвет на светло-серый. Значения невязок будут равны нулю. Поля невязок будут выделены в строке белым цветом.

Для редактирования типа, имён, координат пунктов непосредственно в таблице следует дважды кликнуть левой клавишей мыши по соответствующему полю. Чтобы сохранить редакцию в колонках ввода текстовой информации, следует нажать клавишу **Enter**, или нажав и удерживая левую клавишу мыши, переместить курсор из редактируемого поля.

Пустые поля в колонках **Высота** заполняются нулями. Значение высоты для этого пункта не будет приниматься в расчет вычисления параметров высотной трансформации. Соответствующее поле в колонках невязок (рис.9-21) выделяется белым цветом:

Тип	Имя	Сеть		Опора			Невязки			
		Широта, °	Долгота, °	Высота, ...	Север, метры	Восток, метры	Высота...	Север,...	Восток,	Высота...
	1516	N 56°10'34.246730"	E 40°29'56.458845"	0.0000	16784.7730	227246.9860	46.7420	-0.0105	0.0015	0.0000
	2168	N 56°07'09.979511"	E 40°21'55.812445"	133.8241	190295.4070	219080.6280	73.9624	0.0111	0.0059	0.0010
	2191	N 56°10'22.021424"	E 40°24'44.880990"	131.3607	196293.2460	221879.8550	21.5036	0.0077	-0.0085	0.0090

Рис.9-21

Если при вводе координат в таблицу в колонки блока **Сеть** отсутствует значение какой-либо плановой координаты (удалено из таблицы оператором, пропущено в импортированном файле), то строка ввода не учитывается при расчете (рис.9-22, пункт 1516). Результат будет аналогичен удалению информации о пункте из таблицы или

отключению флажка в колонке **Включить**). Невязки строки будут равны нулю, а их поля в таблице выделены белым цветом.

Включить	Тип	Имя	Сеть			Опора			Невязки			
			Широта,°	Долгота,°	Высота...	Север, метры	Восток, метры	Высота...	Север...	Восток...	Высота...	V
☒		1516	N 56°10'34.229633"		155.4125	196784.7730	227246.9860	46.7420	0.0000	0.0000	0.0000	
☒		2168	N 56°07'09.962721"	E 40°21'55.829635"	182.6453	190295.4070	219080.6280	73.9624	0.0050	-0.0010	0.0006	0.0051
☒		2191	N 56°10'22.004601"	E 40°24'44.897940"	130.1877	196293.2460	221879.8550	21.5036	0.0030	-0.0069	0.0000	0.0075
☒		281	N 56°06'14.863190"	E 40°26'07.496081"	112.0176	188679.6640	223463.8840	3.3402	0.0030	0.0041	0.0008	0.0051
☒		93	N 56°07'25.801134"	E 40°20'31.616372"	150.1168	190756.6690	217616.2070	41.4294	0.0000	0.0000	-0.0029	0.0029
☒		3719	N 56°07'02.583654"	E 40°30'27.627948"	164.2774	190251.2770	227927.4280	55.6004	-0.0067	0.0025	0.0012	0.0072

Рис.9-22

При изменении типа пункта из вычислений исключаются те координаты, которые не принадлежат данному типу. Поля в колонках **Невязки** выделяется белым цветом. Например, для пункта 2191 (рис.9-22) не используется высота, а для пункта 93 – координаты.

Для колонок координат блока **Опора** действуют аналогичные правила. Поля, в которые не введены координаты (для всех трёх колонок) остаются пустыми, а при импорте файла с отсутствующим на соответствующем шаблону ввода месте значением координаты выдаётся сообщение с указанием номера строки, в которой оно отсутствует или приведены некорректные данные (рис.9-23):

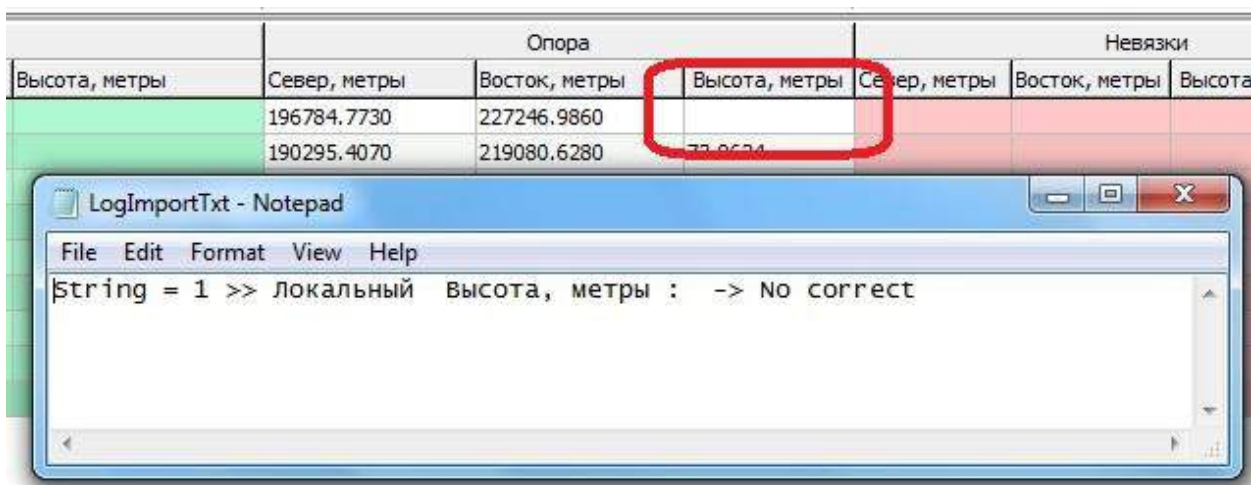


Рис.9-23

Окно с сообщением можно закрыть и далее вручную ввести известное значение координат или оставить поле пустым.

9.3.3 Закладки окна ввода

Кроме таблицы координат в окне могут быть размещены две закладки:

1. Список вычисленных параметров преобразования и оценок точности (рис.9-24), в которой выводятся четыре параметра планового преобразования (если вычисляются),

План (параметры)	
Север (смещение)	-6032473.6951
Восток (смещение)	134141.4051
Угол разворота	0°00'00.2129"
Масштаб	1.000010885781
Высота (параметры)	
Наклон по оси Север	0°00'00.0236"
Наклон по оси Восток	0°00'00.2760"
Сдвиг по высоте	-109.5107
Выбранный СМ	
	E 39°00'00.0000"
[V2]	0.0004
СКО	0.0071

(Рис.9-24)

три параметра высотного преобразования (если вычисляются), используемый при вычислении параметров центральный меридиан (см. раздел **Панель настроек**), сумма квадратов невязок (по радиус-вектору, см. раздел **Таблица ввода**, описание колонки **Невязки**) и средняя квадратическая ошибка.

2. График разностей расстояний между пунктами в двух системах координат (рис.9-25):

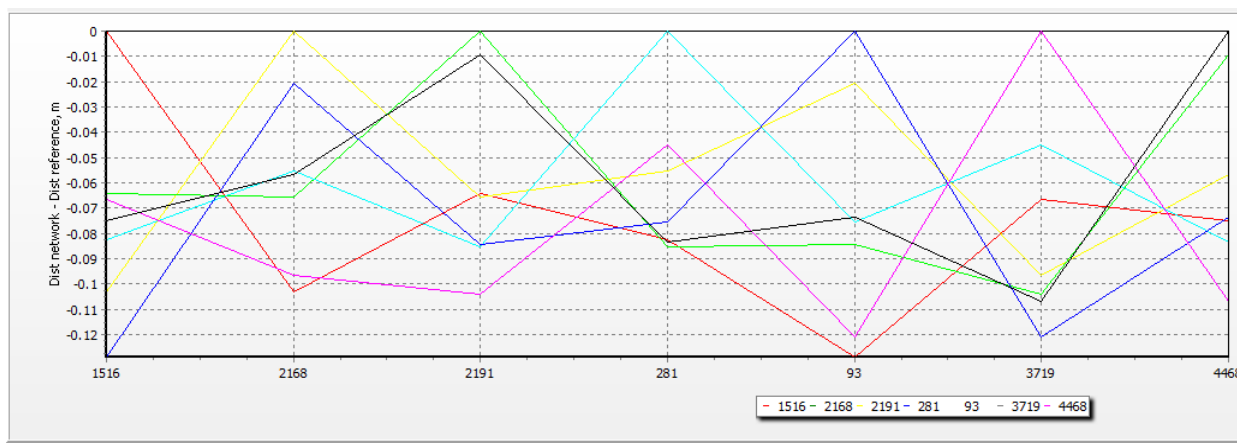


Рис.9-25

График может быть особенно полезен при анализе грубых ошибок ввода координат. После заполнения таблицы вычисляются расстояния между всеми пунктами для данных блоков **Сети** и **Опоры**. Затем находится разность расстояний для всех одноимённых пар в двух блоках. Как правило, такие разности не превышают 1 метра, поэтому грубая ошибка ввода может быть легко обнаружена. Обнаружить грубую ошибку по величине невязок можно только при том условии, что ошибочны плановые координаты небольшого количества пунктов. Для проверки правильности ввода высот подобного графика не требуется, так как перераспределения невязок не происходит и по величине невязок можно однозначно определить ошибки ввода координат.

9.4 Панель настроек (выпадающие списки)

Панель настроек (рис.9-26) предназначена для выбора различного рода установок и параметров при вычислении параметров преобразования.

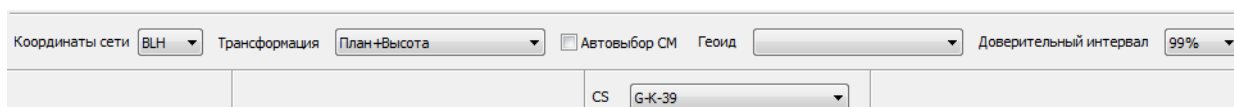


Рис.9-26

9.4.1 Координаты сети

Выпадающий список **Координаты сети** служит для определения типа координатной системы для координат, которые будут импортироваться в блок **Сеть** (рис.9-27):

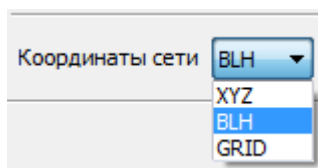


Рис.9-27

Это могут быть пространственные координаты в геоцентрической (XYZ), или эллипсоидальной (BLH) системе координат (устанавливается по умолчанию), или

прямоугольные координаты на плоскости (GRID). В зависимости от выбранного типа координатной системы настраивается вид таблицы, выбираются настройки для шаблона ввода координат (см. раздел **Импорт координат в таблицу**).

Поскольку основное назначение модуля **Локализация** заключается в привязке получаемых в результате обработки/постобработки программой **Justin** данных глобальных спутниковых систем навигации – ГНСС к наземным пунктам, то, преимущественно, координаты **Сети** по сути обозначают координаты WGS-84. В таком случае, переключатель XYZ/BLH/Grid влияет только на внешнее представление координат, поскольку внутреннее представление данных в базе данных программы **Justin** – это **WGS-84**.

Иначе обстоит дело при импорте координат сети из файла, в котором координаты могут быть указаны в произвольной форме. Установка переключателя позволяет правильно идентифицировать исходные данные, то есть преобразовать их во внутреннее представление программы **WGS-84**. Список предлагаемых для выбора систем координат соответствует списку доступному при выборе **Программа-Проекция** главного меню программы **Justin**.

9.4.2 Трансформация

Выпадающий список **Трансформация** (рис.9-28) служит для определения набора вычисляемых параметров: **План** (устанавливается по умолчанию) – вычисляются четыре

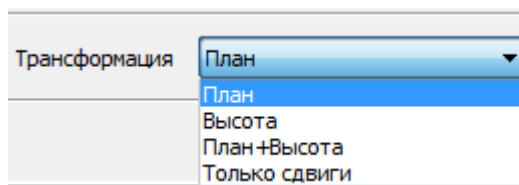


Рис.9-28

параметра планового преобразования, **Высота** – три параметра высотного преобразования, **План+Высота** – четыре параметра планового и три параметра высотного преобразований, **Только сдвиги** – 2 параметра планового преобразования (сдвиги по осям Север и Восток). В этом случае, угол разворота – 0, масштаб – 1.

9.4.3 Автовыбор СМ

Флажок **Автовыбор СМ** (рис.9-29) предназначен для подбора центрального меридиана при вычислении параметров трансформации.

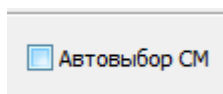


Рис.9-29

Если флажок не установлен, то координаты пунктов **Сеть** преобразуются в систему координат **Опоры**, используя предустановленное значение центрального меридиана, заданной картографической проекции в списке **CS** координатных систем. Если флажок установлен, то меридиан автоматически подбирается для шестиградусной зоны с границами, сдвинутыми на 3 градуса влево и вправо относительно средней долготы пунктов блока **Сеть**. Расчет выполняется в цикле с шагом долготы, равным одной угловой секунде. Критерием служит оценка наименьшей суммы квадратов невязок. Значение этой суммы отражено в строке **[V2]** закладки со списком вычисленных параметров (рис.9-24), там же в строке **Выбранный СМ** приведено значение центрального меридиана, для которого были получены параметры трансформирования.

9.4.4 Геоид

Выпадающий список **Геоид** (рис.9-30) содержит список файлов с различными моделями геоида (значение по умолчанию **None**).

Добавление нового файла геоида производится в окне **Параметры** (главное меню **Justin: Программа-Параметры-Геоид**). Если файл геоида соответствует территории, на которой находятся пункты блока **Сеть**, то высоты пунктов могут быть преобразованы из эллипсоидальных в ортометрические в процессе расчета локализации.

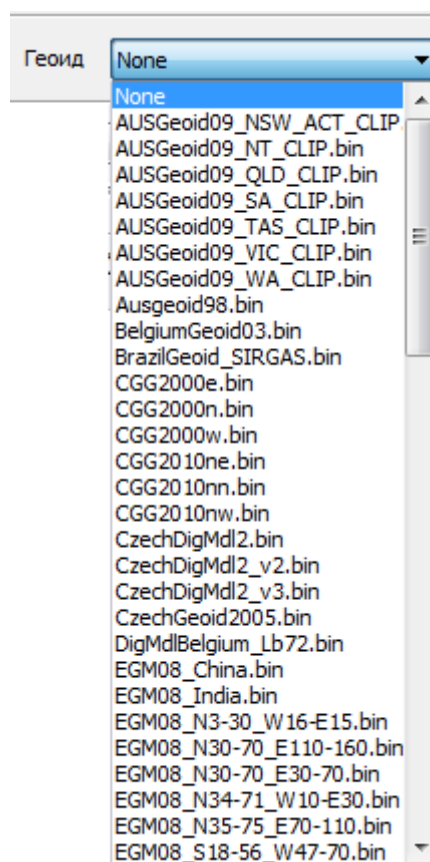


Рис.9-30

В заголовке отчёта по локализации указывается тип высот, соответствующий выполненному преобразованию, и примененная модель геоида (рис.9-31).

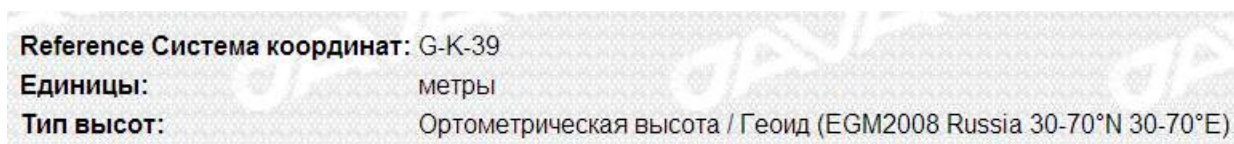


Рис.9-31

Если же был выбран геоид, не соответствующий по территории пунктам **Сети**, то будут выданы сообщения (рис.9-32) о невозможности вычисления параметров планового и высотного преобразований.



Рис.9-32

9.4.5 Доверительный интервал

Доверительные интервалы задаются для поиска «плохих» координат при проведении т-теста.

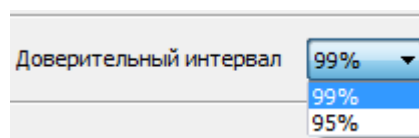


Рис.9-33

Уровню доверия 95% соответствует более узкий доверительный интервал, то есть критерий прохождения теста будет более строгий. Уровень доверия 99% соответствует более мягкому критерию достоверности координат.

9.4.6 CS блока **Опора**

Выпадающий список **CS** (Coordinate Systems), расположенный над колонками блока **Опора** (рис.9-34), предназначен для выбора предварительно заданной координатной системы исходных пунктов

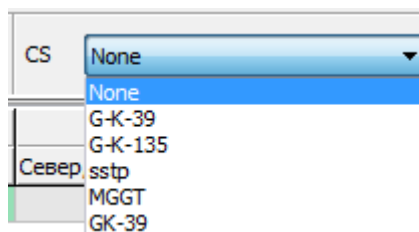


Рис.9-34

Система координат опоры характеризуется картографической проекцией и глобальным (пространственным) 7-ми параметрическим датумом. Целью локализации является вычисление параметров локального датума, необходимого для преобразований координат, заданных на плоскости.

Локальный датум применяется в программе **Justin** в дополнение к глобальному, однако его расчет может представлять интерес для использования в независимых программах координатных преобразований. Параметры картографической проекции опоры не являются предметом вычисления (за исключением значения осевого меридиана, для тех проекций, где он имеется).

Точность преобразований в локальную координат зависит от точности первоначального задания системы координат **Опоры**. Зависимость точности преобразований от параметров глобального датума сравнительно мала. В большинстве случаев, главным источником погрешностей вычислений является неточность выбора центрального меридиана. Искажения в координатах пункта возрастают по мере удаления от него. Поэтому, параметры картографической проекции предварительно заданной системы координат **Опоры** должны быть как можно точнее соответствовать реальным, которые не всегда бывают известны. Можно рекомендовать подбор параметров и типа картографической проекции **Опоры** с целью достижения наилучшего результата.

Если о типе и параметрах картографической проекции системы координат **Опоры** ничего не известно, то в выпадающем списке систем координат следует выбрать **None**, что равносильно выбору стереографической проекции с центральной точкой, вычисленной как среднее между их максимальным и минимальным значениями широт и долгот для пунктов блока **Сеть**, нулевыми сдвигами по осям и единичным масштабам.

9.4.7 CS блока **Сеть**

При импорте координат из файла может возникнуть необходимость определения локального датума для двух наборов, заданных на плоскости в различных прямоугольных системах координат. В таком случае, следует выбрать в выпадающем списке **Координаты сети** GRID. Над блоком **Сеть** появится выпадающий список **CS**, содержащий список доступных систем координат (рис.9-35).

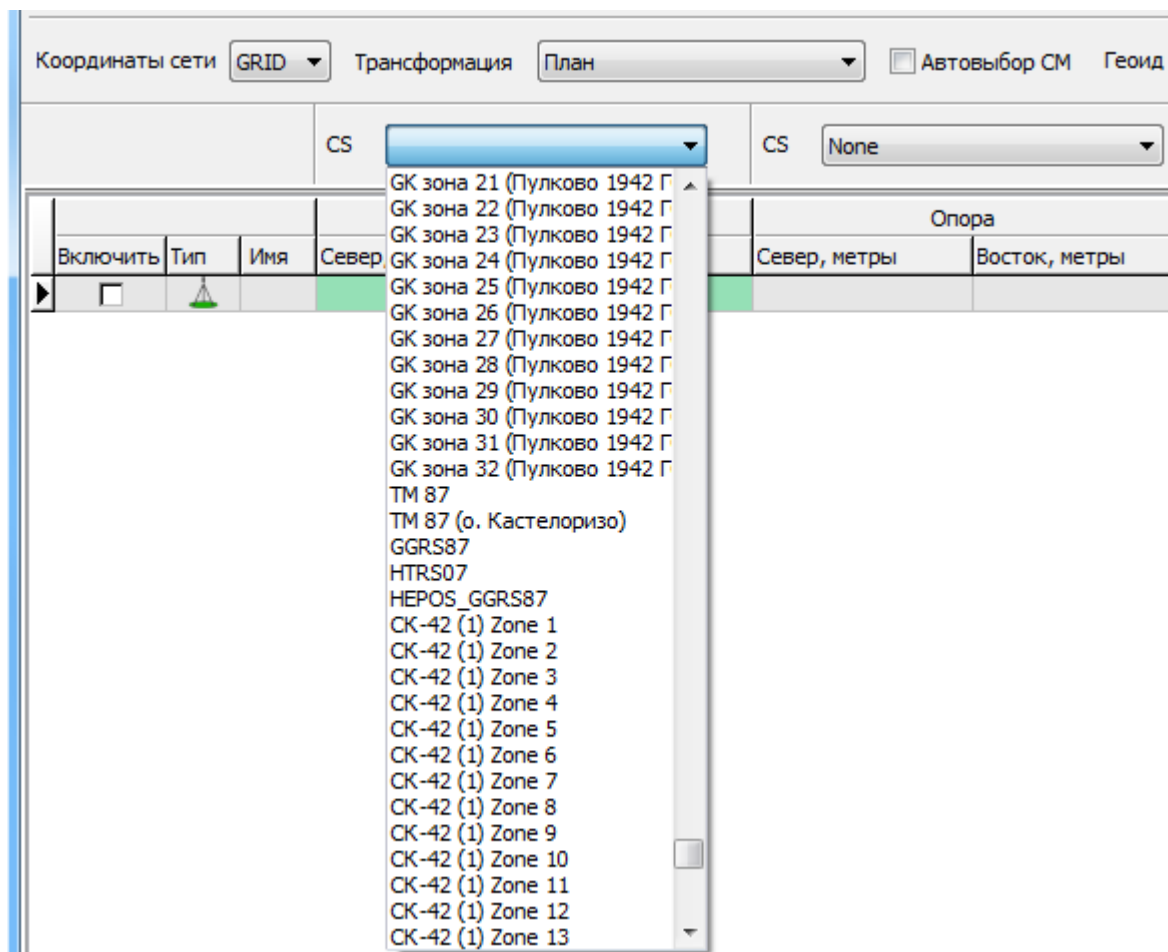


Рис.9-35

Так как по умолчанию никакого значения не предлагается, то при попытке выполнить локализацию без выбора системы координат расчет не производится, а появляется окно с сообщением (рис.9-36):

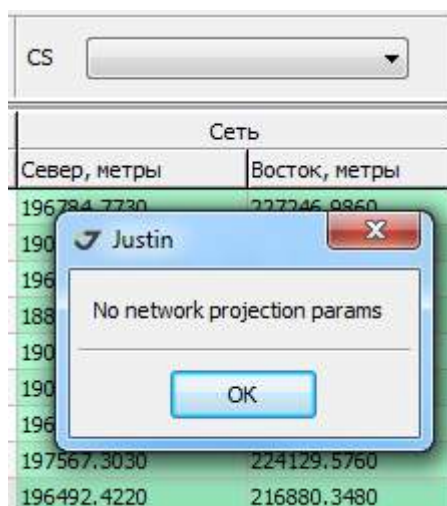


Рис.9-36

Параметры локализации вычисляются между двумя наборами координат, заданными в одной системе координат на плоскости. Поэтому, прямоугольные координаты на плоскости блока **Сеть** должны быть сначала преобразованы в

эллипсоидальные, затем в геоцентрические, переведены на датум **Опоры**, снова преобразованы в эллипсоидальные и, окончательно, спроецированы на плоскость с помощью картографической проекции **Опоры**. При преобразованиях прямоугольных координат на плоскости в эллипсоидальные и обратно неизбежны погрешности. Эти погрешности могут велики для отдельных систем координат. В случае импорта координат **Сети** из внешнего источника (не из проекта **Justin**), возникает необходимость проверки корректности заданной системы координат. Модуль локализации автоматически сравнивает координаты пунктов **Сети**, полученные преобразованием из прямоугольных в эллипсоидальные и обратно. При расхождении более 1 см выдаётся предупреждение (рис.9-37):

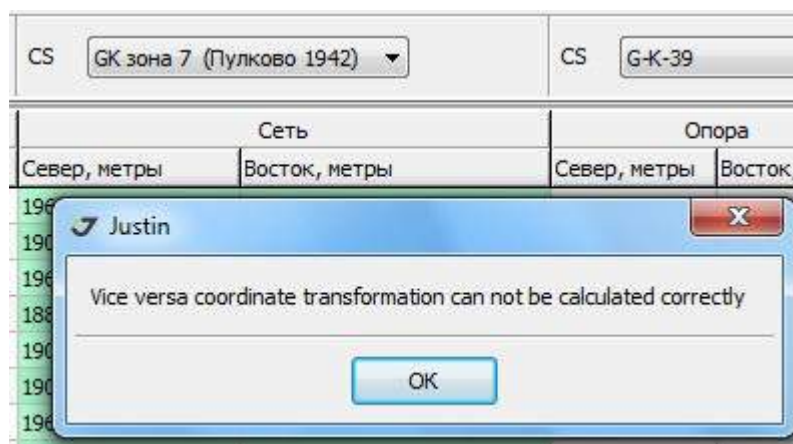


Рис.9-37

Точность проекционных преобразований **Опоры** контролируется пользователем на основании статистик расчета, подбора параметров картографической проекции.

9.5 Импорт координат пунктов в таблицу

В главном меню окна локализации следует в последовательно выбрать **Пункты – Импорт** (рис.9-14). Далее в диалоге можно импортировать текстовые файлы произвольного формата, текстовые файлы формата **Pinnacle**, пункты открытого проекта **Justin**, опорные пункты программы и проекта.

9.5.1 Импорт текстовых файлов произвольного формата

В открывшемся окне (рис.9-14) выбрать пункт меню **ТХТ** или кликнуть иконку



. В диалоге (рис.9-38) выбрать файл и

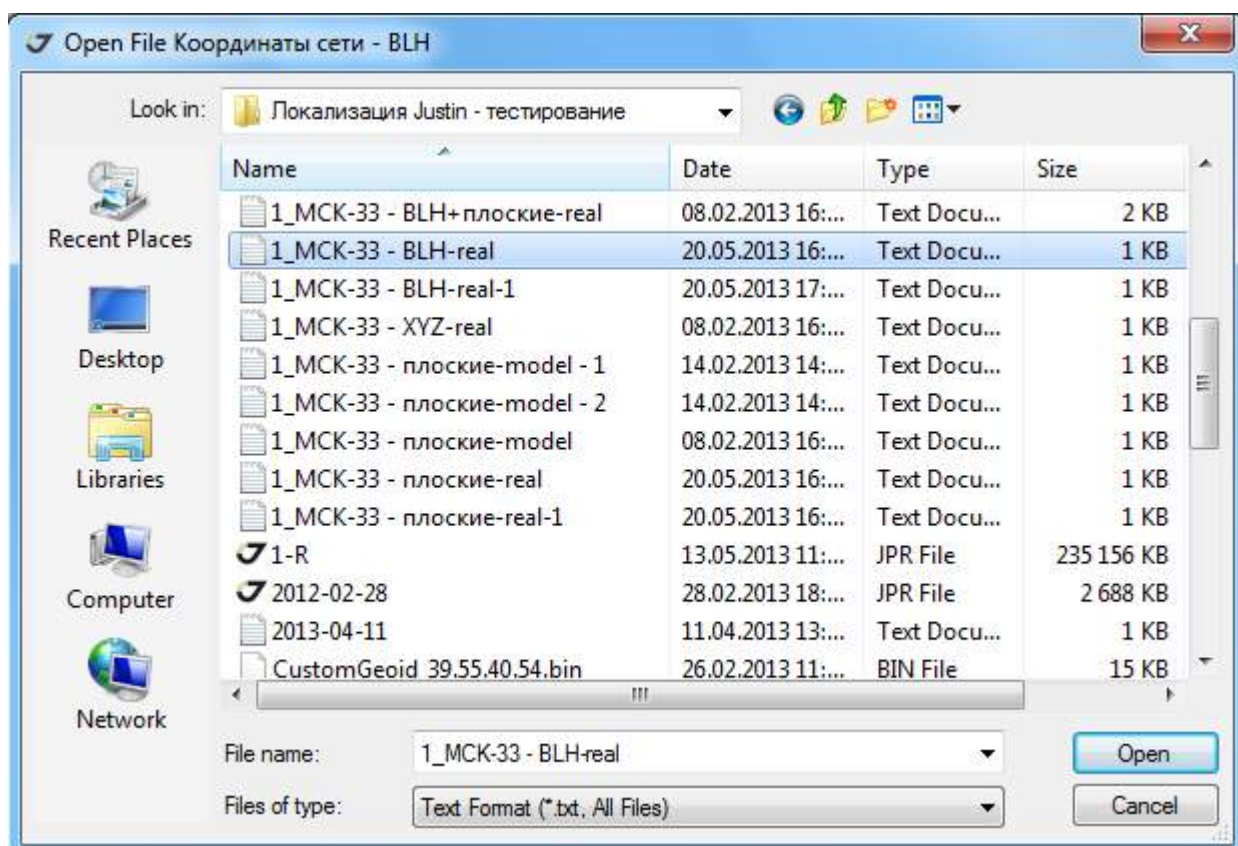


Рис.9-38

нажать кнопку **Open**. На экране появится окно **Шаблоны пакетной обработки координат** (рис.9-39), с помощью которого можно выбрать или настроить шаблон импорта (см. главу **Использование шаблонов при импорте файлов**).

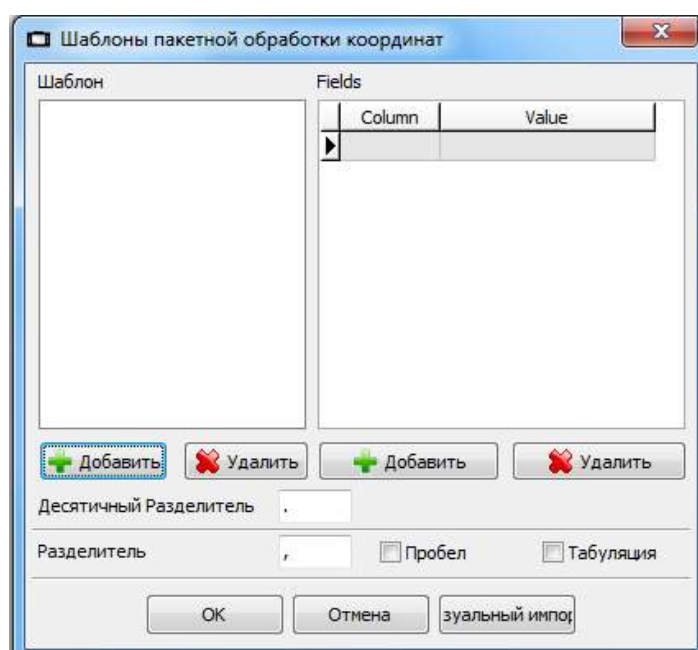


Рис. 9-39

После нажатия кнопки **OK**, координаты будут импортированы в таблицу в соответствии с шаблоном. Тип шаблона зависит, в свою очередь, от системы координат (XYZ/BLH/Grid) то есть от выбора в выпадающем списке **Координаты сети**.

9.5.2 Импорт текстовых файлов, создаваемых программой **Pinnacle**

В открывшемся окне (рис.9-14) выбрать пункт меню **Pinnacle**. В диалоге (рис.9-40) укажите файл и

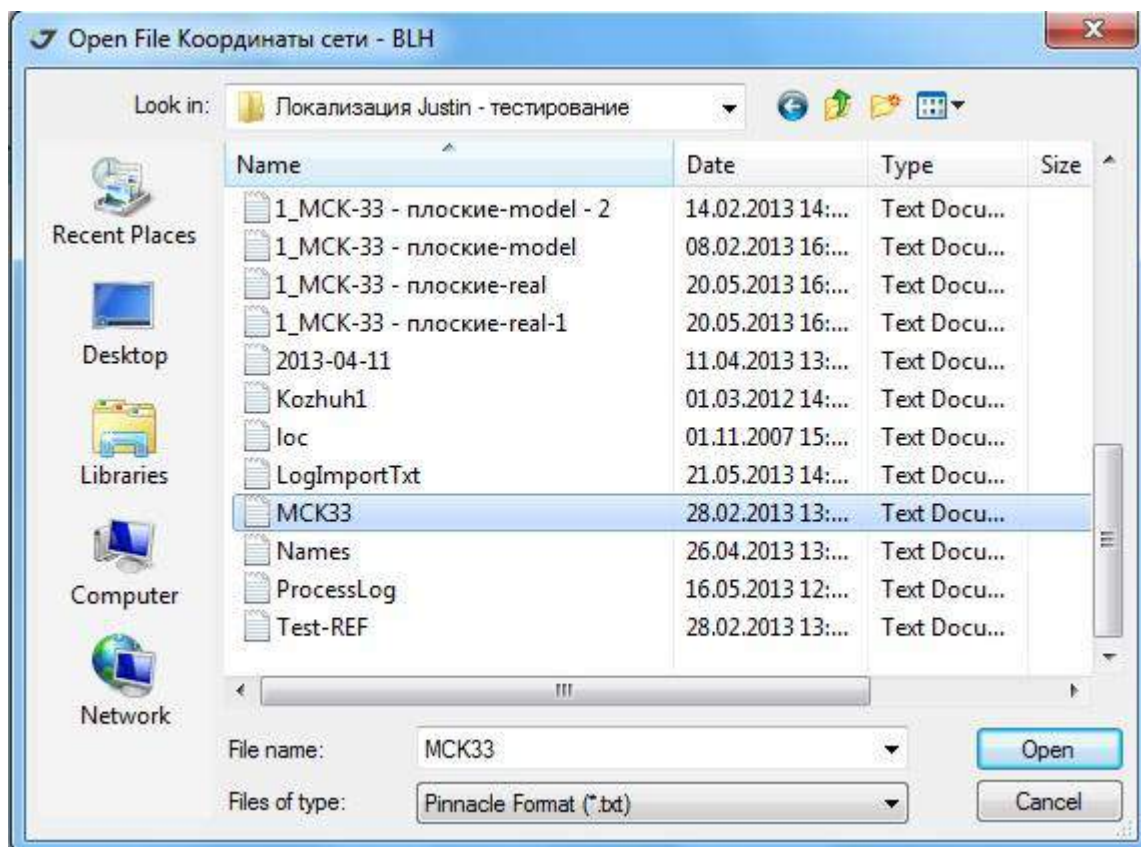


Рис.9-40

нажмите **Open**. Координаты будут импортированы в таблицу.

9.5.3 Импорт координат пунктов проекта

В окне (рис.9-14) выбрать **Пункты**. В диалоге (рис.9-41) необходимо отметить пункты, которые должны быть импортированы

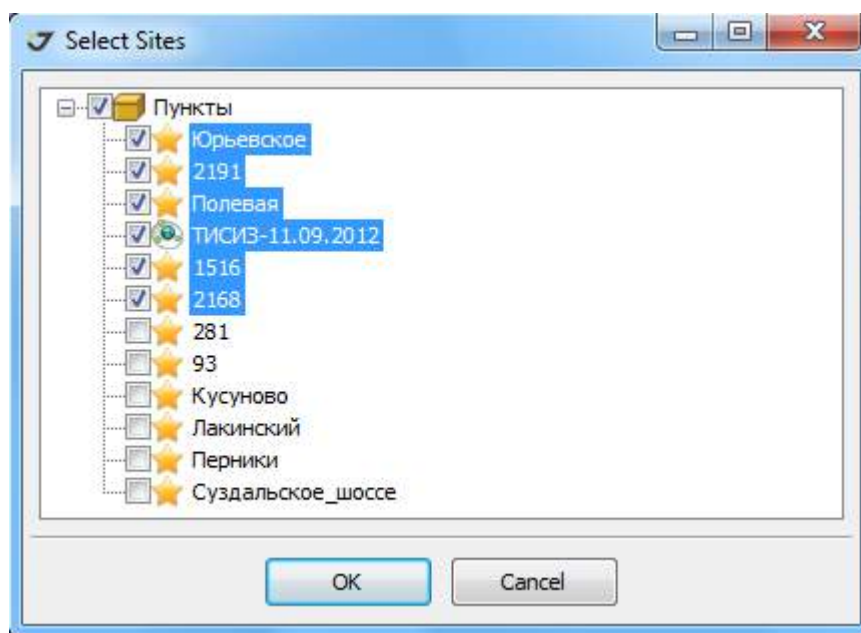


Рис.9-41

9.5.4 Импорт координат опорных точек

Для импорта координат опорных точек в таблицу (блок Network) следует в окне (рис.9-14) выбрать пункт меню **Опорные точки**. В диалоге (рис.9-42) необходимо отметить пункты, которые должны быть импортированы.

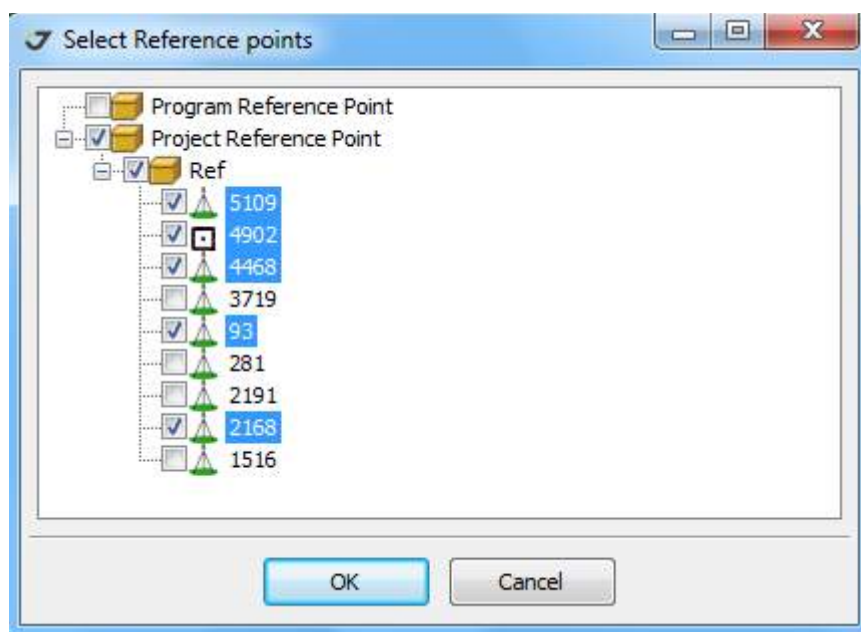
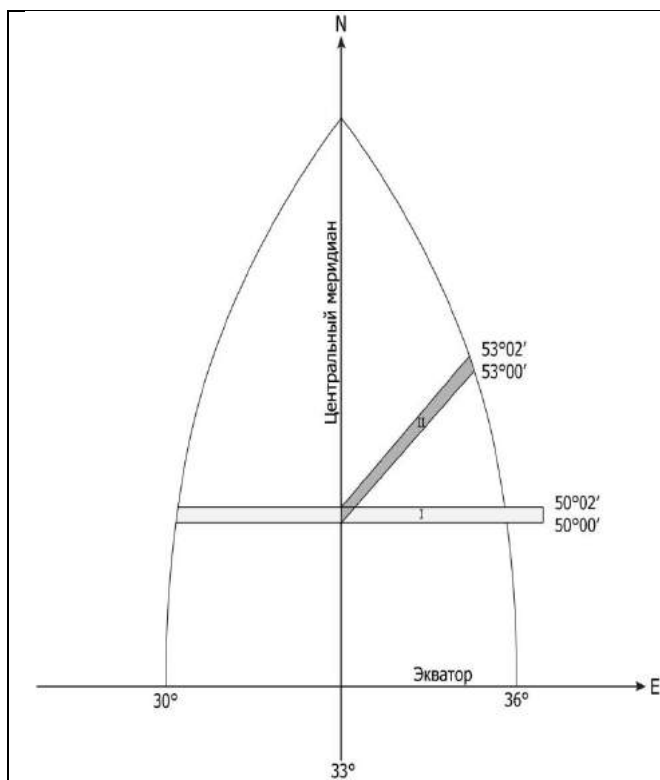


Рис.9-42

Рекомендации

Чтобы ответить на вопрос о размерах территорий, для которых локализация "4+3" обеспечивает точность вычислений, сопоставимую со стандартными координатными преобразованиями, выполняемые по глобальному 7-ми параметрическому датуму, были протестированы два варианта локализации.



Конфигурация тестируемых областей показана на рис.9-43. Протяженность тестовой области локализации по долготе превышает 3°. Ширина области составляет 2'.

В первом варианте полоса района локализации проходит по широте, полностью перекрывает 6-ти градусную зону и выходит за её границы на 1°, а во втором, она ориентирована под азимутом 45° и доходит до границы зоны 6-ти градусной зоны. В качестве опорных точек использовались рассчитанные на основе 7-ми параметрического датума Пулково-42 прямоугольные координаты в 6-ой зоне проекции Гаусса-Крюгера. При расчете локализации датум этот датум был проигнорирован, то есть, был установлен как WGS 84. Картографическая проекция локализации соответствовала исходной.

рис.9-43

Результаты оценки точности показали, что для обоих вариантов погрешности расчета локализации, в случае обусловленные замены 7-ми параметрического датума Пулково-42 на датум WGS 84, сопоставимы с ожидаемыми ошибками округления, то есть ничтожно малы.

				Network		Reference		Residuals		
	Enable	Type	Name	Latitude, °	Longitude, °	Northing, meters	Easting, meters	Northing...	Easting...	V
	☒		1	N 50°02'00.000000"	E 30°00'00.000000"	5548981.8946	285195.0788	0.0004	0.0003	0.0005
	☒		2	N 50°02'00.000000"	E 37°00'00.000000"	5552337.0813	786662.0578	0.0001	0.0003	0.0003
	☒		3	N 50°00'00.000000"	E 37°00'00.000000"	5548630.9990	786860.6143	-0.0001	-0.0003	0.0003
	☒		4	N 50°00'00.000000"	E 30°00'00.000000"	5545275.1214	285046.2101	-0.0004	-0.0003	0.0005

				Network		Reference		Residuals		
	Enable	Type	Name	Latitude, °	Longitude, °	Northing, meters	Easting, meters	Northing...	Easting...	V
	☒		1	N 50°02'00.000000"	E 33°00'00.000000"	5544666.7306	500117.1110	0.0001	-0.0001	0.0001
	☒		2	N 53°02'00.000000"	E 36°00'00.000000"	5882652.9202	701350.3735	-0.0003	-0.0003	0.0004
	☒		3	N 53°00'00.000000"	E 36°00'00.000000"	5878944.7597	701505.5947	0.0003	0.0003	0.0004
	☒		4	N 50°00'00.000000"	E 33°00'00.000000"	5540959.0735	500117.0940	-0.0001	0.0001	0.0001

рис.9-44

В случае, когда точно известны тип и параметры картографической проекции, локализация точно и полностью задает новую координатную систему - цепочку координатных преобразований и набор опорных пунктов, которые теперь определены в двух системах координат, исходной и новой. В соответствии с вычислительным алгоритмом, в новой системе координат будут перераспределены локальные деформации исходной сети. Поэтому, можно применять локализацию опоры саму на себя, что будет являться аналогом уравнивания на жесткой опоре с одновременным определением параметров трансформации сети. Преимущество локализации заключается в том, что, кроме результатов самого уравнивания, создаются новые исходные пункты, которые можно использовать в дальнейшем.

Coordinate calculator

BLH

Latitude: N 50°01'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Grid

Northing: 5545808.0272 meters

Easting: 679285.1969 meters

Height: -14.6166 meters

SK 42 (1)(KRASS) / SK-42 (1) Zone 6

Coordinate calculator

BLH

Latitude: N 50°01'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Local

Northing: 5545808.0279 meters

Easting: 679285.1959 meters

Height: 0.0000 meters

1

Batch processing Close

рис.9-45

Coordinate calculator

BLH

Latitude: N 51°31'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Grid

Northing: 5710745.5969 meters

Easting: 604238.2876 meters

Height: -15.8930 meters

SK 42 (1)(KRASS) / SK-42 (1) Zone 6

Coordinate calculator

BLH

Latitude: N 51°31'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Local

Northing: 5710745.5921 meters

Easting: 604238.2878 meters

Height: 0.0000 meters

2

Batch processing Close

рис.9-46

На рис. 9-45, 9-46 представлены сравнения результатов координатных преобразований, выполненных Координатным калькулятором **Justin**, для вариантов 1 и 2 локализации. В обоих случаях в качестве контрольной точки использовалась центральная точка области локализации. Сравнивались координаты, полученные с учетом датума Пулково-42, и координаты рассчитанные с помощью локализации на датуме, идентичном WGS 84. Максимальное расхождение, равное 0.005 мм, получено для варианта 2.

В завершение, покажем возможности применения локализации в случае, когда неизвестен не только датум, но и центральный меридиан картографической проекции. Для расчета следует установить режим подбора центрального меридиана. Критерием служит оценка минимума средних квадратических отклонений.

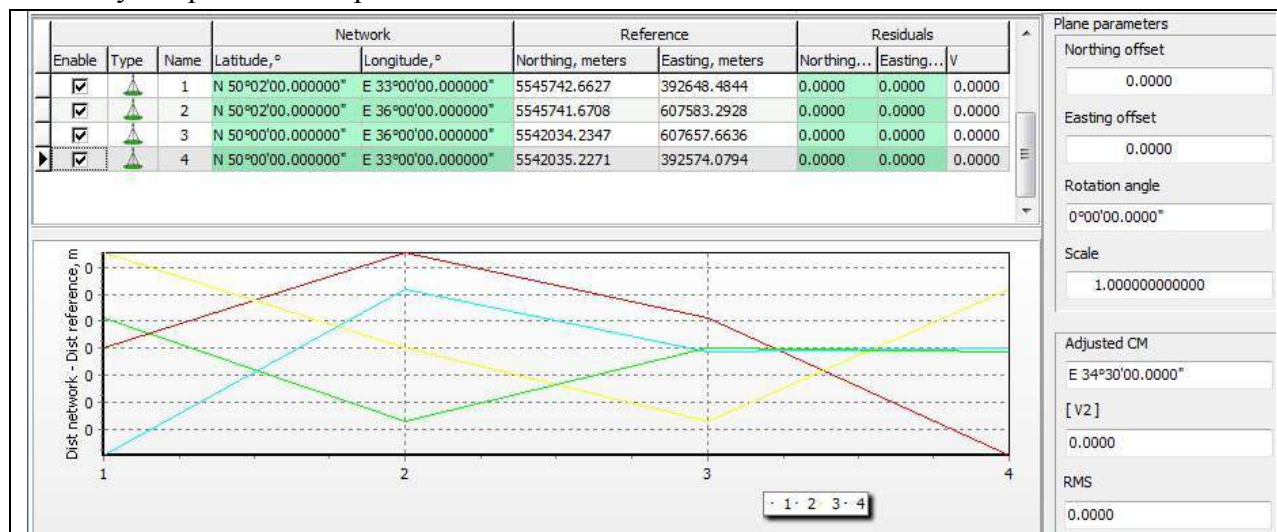


рис.9-47

Было задано координатное преобразование на датуме Пулково-42 и картографической проекции Гаусса-Крюгера с центральным меридианом 34°30'05". На основе указанного координатного преобразования и модели области локализации, которая соответствует варианту 2 рис. 9-43, вычислены координаты опорных точек.

В модуле расчета локализации был принят датум идентичный WGS 84 и проекция Гаусса-Крюгера с неизвестным нулевым меридианом.

Результаты расчета представлены на рис.9-47. Поскольку шаг подбора меридиана составляет 10", то вычисленное значение отличается от заданного на 5". Погрешность приближения менее 0.0001 м.

BLH

Latitude: N 50°01'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Grid

Northing: 5542810.0673 meters

Easting: 500115.8762 meters

Height: -16.0032 meters

SK 42 (1)(KRASS) / 3

Coordinate calculator

BLH

Latitude: N 50°01'00.000000"

Longitude: E 34°30'00.000000"

Height: 0.0000 meters

WGS 84

Local

Northing: 5542810.0673 meters

Easting: 500115.8762 meters

Height: -16.0032 meters

3

рис.9-48

На рис. 9-48 представлено сравнение координат контрольной точки, вычисленных как на основе предустановленных параметров координатных преобразований, так и с помощью локализации.

Рекомендации по использованию локализации:

- Уравнивании ГНСС сети на жесткой опоре вызывает значительные деформации относительно уравнивания свободной сети. Предполагается, что деформации обусловлены региональными систематическими погрешностями в координатах исходных пунктов, зависящими от методики уравнивания опорной сети, стыковки блоков уравнивания и т.п. Локализация необходима для распределения ошибок координат исходных пунктов.
- Несоответствие или несостоятельность оценок точностей плановой и высотной компонент, было установлено в результате комбинирования 2D/3D режимов уравнивания **Justin**. Целесообразна замена 7-ми параметрического датума на датум 4+3.
- Неизвестны параметры глобального датума, но определена картографическая проекция
- Исходные пункты заданы плановыми координатами на плоскости. Параметры картографической проекции (ключи) неизвестны. Предполагается, что неизвестная проекция может быть проекцией Гаусса-Крюгера или UTM. Необходимо выполнить локализация с подбором центрального меридиана.
- Отсутствует точная модель геоида.

Приведенные выше рекомендации предназначены для уравнивания пространственных спутниковых сетей на жесткой опоре в программе **Justin**. Параметры координатных преобразований, установленные в результате расчета локализации, могут быть применены в широком спектре геодезических приложений.