

Министерство образования Республики Беларусь  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(Полоцкий государственный университет)

УДК 004.942:528.2/3

№ госрегистрации 20200727

Инв. № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе Полоцкого  
государственного университета,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Ю.П. Голубев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
**«Моделирование развития деформационных процессов природных и инженерных  
объектов по геопространственным данным с представлением в среде ГИС»**  
(заключительный)  
научное задание к договору между Министерством образования Республики Беларусь и  
Полоцким государственным университетом № 13-ПГУ от 27.02.2020  
на 2020 год

Начальник ОСНИ

\_\_\_\_\_ Т.В.Гончарова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020

Заведующий кафедрой геодезии и ГИС,  
научный руководитель НИР,  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Г.А.Шароглазова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020

Новополоцк 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель задания, к.т.н., доцент	_____ «__»_____ 2020	Г.А.Шароглазова (научное руководство)
Младший научный сотрудник	_____ «__»_____ 2020	Долгий П.С. (главы отчёта, оформление)
Нормоконтролер	_____ «__»_____ 2020	Л.В.Ищенко

## РЕФЕРАТ

Отчет 63 с., 26 рис., 9 табл., 35 источников.

### ГЕОДИНАМИКА, ПОВТОРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ГИС-ПРОЕКТ, ССТП, ЛИНЕАМЕТНЫЙ АНАЛИЗ, ГЕНЕРАТОР ГЕОМЕТРИИ QGIS

Объектом исследования являются геодинамические явления на территории Беларуси

Цель работы - анализ взаимообусловленности влияний тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры и окружающую среду с моделированием по данным различных наук, привлечением ГИС технологий и разработкой тематического программного обеспечения.

Работа посвящена составлению ГИС-проекта по тематике геодинамики Беларуси. Выполнен обзор программного обеспечения для обработки геопространственных данных: ГНСС-наблюдений, данных дистанционного зондирования, векторных данных. На основе имеющихся данных о тектонических разломах территории Беларуси, инженерных объектах выполнен подбор необходимой для их исследования измерительной информации Спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь и данных дистанционного зондирования с российского спутника Ресурс-П. На основе приобретенных в РУП «Белгеодезия» данных повторных ГНСС-наблюдений построены карты деформаций земной коры для шести полигонов в различных регионах Беларуси. Полученные результаты согласуются с тектоническим режимом исследуемых полигонов.

По приобретенным в УП «Геоинформационные системы» данным дистанционного зондирования выполнен структурный линеаментный анализ окрестностей поселка Бычиха Городокского района Витебской области. Выявленные нами линеаменты достаточно точно совпали с выявленными ранее.

Дополнительно исследована возможность учета гравитационного влияния природных и техногенных конусовидных форм рельефа на результаты повторных геодезических измерений. В качестве примера использованы данные о Большом трещинном Толбачинском извержении на полуострове Камчатка. Выявлено, что перераспределение масс породы вблизи нивелирных ходов может влиять на определяемое превышение на величину первых миллиметров. Разработаны программные модули на языке python для представления результатов обработки повторных ГНСС-наблюдений в ГИС, а также для оценки гравитационного влияния конусовидных форм рельефа на результаты повторных геодезических измерений с применением различных моделей разбиения конуса.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ГЛАВА 1. ОБЗОР И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИМЕЮЩИХСЯ ДАННЫХ ВЗАИМОУСЛОВЕННОГО ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. ....	7
1.1. История геодинамических исследований территории Беларуси. Имеющиеся данные, результаты, выводы.....	7
1.2. Данные, необходимые для исследования.....	10
1.3. Техническое задание на разработку программного обеспечения.....	11
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ГИС-ПРОГРАММ, МОДЕЛИРОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И Т.Д. СПЕЦИФИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ, ЭКЗОГЕННЫХ И СОВОКУПНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. ПОКУПКА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.....	13
2.1. Обзор программного обеспечения для обработки геопространственных данных.....	13
2.2. Программное обеспечение для обработки ГНСС-наблюдений .....	14
2.2.1. Trimble Business Center (TBC).....	14
2.2.2. Leica Infinity .....	16
2.2.3. Кредо ГНСС.....	17
2.3. Программные средства линеаментного анализа.....	17
2.4. ГИС-пакеты .....	18
2.4.1. ESRI ArcGIS.....	18
2.4.2. QGIS.....	19
2.5. Разработка программного модуля.....	19
2.6. Покупка геопространственных данных .....	20
2.6.1. Покупка данных ГНСС-наблюдений Спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь .....	20
2.6.2. Покупка данных дистанционного зондирования .....	23
ГЛАВА 3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В СРЕДЕ ГИС РАЗВИТИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ. РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ). ....	24
3.1. Структура ГИС-проекта .....	24

3.2. Программный модуль для представления результатов анализа повторных ГНСС-наблюдений .....	26
3.3. Представление результатов анализа повторных ГНСС-наблюдений.....	27
3.3.1. Гомельский полигон .....	29
3.3.2. Житковичский полигон .....	31
3.3.3. Брестский полигон .....	33
3.3.4. Островецкий полигон .....	35
3.3.5. Полоцкий полигон.....	36
3.4. Анализ данных дистанционного зондирования.....	38
ГЛАВА 4. СОСТАВЛЕНИЕ ГИС-ПРОЕКТА (ОКОНЧАНИЕ). РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ОКОНЧАНИЕ). КОМАНДИРОВКА ПО БЕЛАРУСИ.....	42
4.1 Завершение ГИС-проекта.....	42
4.2. Командировка по Беларуси.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Геодинамика – сложная научная дисциплина, возникшая на стыке различных наук о Земле: геодезии, геологии, гравиметрии, океанологии и других. Несомненно, чтобы в полной мере раскрыть все аспекты геодинамических явлений той или иной территории, необходим междисциплинарный подход к исследованиям. Основные инструменты исследований – повторные высокоточные геодезические измерения. Чтобы четко выдержать методику высокоточных измерений, необходимы знания в области высшей геодезии, гравиметрии. В настоящее время всё больше применяются спутниковые технологии как в виде ГНСС-наблюдений, так и в виде данных дистанционного зондирования. Для понимания принципов полета спутника, получения данных необходимы знания в области электроники, космической техники и баллистики. В настоящее время у ученых не вызывает сомнения, что Земля представляет собой единый организм, в котором все явления обуславливают друг друга. Небольшие подвижные блоки земной коры в точности повторяют свойства огромных блоков, например, литосферных плит. Эффективным научным подходом в исследовании геодинамических явлений становится теория фракталов. Не вызывает сомнения факт, что блоки земной коры, которые испытывают деформации, проявляют свойства упругой среды. Изучение деформаций, равно как и понимание механизмов, вызывающих деформации, будь то эндогенные или экзогенные процессы, невозможно без применения законов и методик физики. Важнейшей современной дисциплиной, которая позволяет свести воедино результаты исследований многих дисциплин, стала геоинформатика. Эффективное исследование в области информатики невозможно без применения других дисциплин информатики: программирования, математического моделирования.

Несмотря на то, что Беларусь приурочена к относительно стабильной Восточно-Европейской платформе, её территория также не является исключением в отношении геодинамических явлений. Предыдущими исследованиями выявлены факты наличия современных движений земной коры в районе Полоцкого, Речицкого, Стоходско-Могилёвского тектонических разломов. Космотектонические исследования различных авторов выявляют тектонические структуры различного порядка и конфигурации.

Данное исследование призвано изучить совокупное проявление природных и техногенных геодинамических явлений по результатам имеющихся данных и составление комплексного ГИС-проекта с разработкой тематических программных модулей.

# **ГЛАВА 1. ОБЗОР И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИМЕЮЩИХСЯ ДАННЫХ ВЗАИМОУСЛОВЛЕННОГО ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.**

## **1.1. История геодинимических исследований территории Беларуси.**

### **Имеющиеся данные, результаты, выводы.**

Исследования совокупного влияния природных и техногенных факторов на состояние земной коры проводятся повсеместно уже достаточно продолжительное время.

Первые геофизические исследования на территории Беларуси были выполнены в 1928 году по инициативе профессора БГУ Е.Е.Сироткина. В 1934 – 1935 годах Московским аэрогеодезическим предприятием выполнены масштабные измерения силы тяжести на территории Беларуси, а в 1932 – 1937 – магнитная съемка. Благодаря гравиметрическим, магнитометрическим, сейсмологическим исследованиям геофизиков Украинского геологического треста в 1937 – 1941 гг. удалось пролить свет на строение кристаллического фундамента Беларуси. Первоначально главными тектоническими структурами считали Полесский девонский вал, Украинскую и Белорусско-Польскую мульды. Уже в послевоенные годы, благодаря исследованиям Г.В. Богомолова, Ж.П.Хотько, Б.В.Бондаренко, А.С.Махнача и др. появились принципиально новые (современные) взгляды на тектонику Беларуси. Наиболее исчерпывающие сведения о геологическом строении территории страны дает монография А.С. Махнача «Геология Беларуси» 2001 года [1]. Огромный вклад в изучение строения кристаллического фундамента и его разрывных нарушений внесли Р.Г.Гарецкий, Р.Е.Айзберг, Г.И.Каратаев, И.В.Данкевич. Среди наиболее примечательных публикаций можно отметить «разломы консолидированной литосферы...» 2005 года и «космотектоническая карта Беларуси...» 2013 года, поднимающая вопрос изучения линеаметной сети Беларуси по данным дистанционного зондирования [2]. Изучением геологии Беларуси по данным дистанционного зондирования активно занимается В.Н.Губин. Хрестоматийной работой, посвященной изучению геологических структур по ДДЗ стала его монография «Космическая геология Беларуси». В ней описаны все главные космотектонические линейные и кольцевые структуры, выявляемые по материалам дистанционного зондирования (в основном Белорусский космический аппарат и Landsat) [3].

В настоящее время исследования вертикальных смещений земной поверхности, особенно в районах разработки месторождений полезных ископаемых, ведутся по хоздоговорам специалистами унитарного предприятия «Геоинформационные системы» с использованием данных радарных спутников Terra SAR, Sentinel, ALOS(PALSAR), SkyMed и др.

Создание государственной спутниковой сети точного позиционирования позволило вести непрерывные наблюдения за динамикой территории страны относительно пунктов IGS и в отрыве от них.

Отметим предыдущие исследования, выполненные на кафедре геодезии и ГИС (до 2016 года - кафедры геодезии и кадастров; прикладной геодезии и фотограмметрии) Полоцкого государственного университета. В рамках ГПНИ «Моделирование геодинамических процессов по данным инструментальных исследований», г/р № 20111099 (Подпрограмма «Геологические модели»), наун. рук. К.т.н. Шароглазова Г.А.; «Инструментальные исследования современной геодинамики в Полоцком регионе», г/р №20142987 (Подпрограмма «Геологические модели»), наун. рук. к.т.н. Шароглазова Г.А. выполнено 11 циклов повторного высокоточного нивелирования и 7 циклов повторных ГНСС-наблюдений на территории Полоцкого геодинамического профиля, расположенного к северу от г. Полоцк и пересекающего Полоцкий тектонический разлом. Результаты этих исследований отражены во многих публикациях, в магистерских диссертациях К.И. Марковича, А.Н.Соловьёва, П.С.Долгого, кандидатской диссертации К.И.Марковича.

График разностей отметок реперов  $\Delta H$  (рис 1.1 – 1.2) свидетельствует, что Полоцкий нивелирный профиль пересекает 5 тектонических блоков, движения на которых чередуются от подъема к опусканию и наоборот, то есть в целом носят квазипериодический характер со скоростями порядка 0,5-3 мм/год. Границы между блоками проходят по 4-ем показанным на графике тектоническим нарушениям.

В рамках диссертационного исследования Маркович К.И. подробно останавливался на исследовании геодинамики района Полоцкой ГЭС. Первые исследования этого района были проведены ещё на начальном этапе проектирования ГЭС в 2006 году. Специалистами института геофизики и геохимии НАН Беларуси и Полоцкого государственного университета были проведены геодезические и геофизические исследования: гравиметрические и магнитометрические наблюдения [5,6].

В 2014 году запроектирован геодинамический полигон в виде ГНСС сети, конфигурация которой выбрана с учетом необходимости опроса Полоцкого, Чашникского, Туровлянского разломов. Для повышения надежности выбора мест закладки центров пунктов выполнено структурное дешифрирование материалов космической съемки



(Landsat 5TM, синтез каналов 4-5-3) услугами специалистов отдела аэрокосмических исследований государственного предприятия «НПЦ по геологии» НАНБ.

В результате выявлено, что территория района Полоцкой ГЭС имеет разломно-блоковое строение, отражающее интенсивные глубинные процессы, происходящие в земной коре на современном этапе тектонического развития, а положение Полоцкого, Чашникского, Туровлянского разломов в точности совпало с местоположением, выявленным в результате более ранних исследований [7].

В 2014, 2015, 2017 годах были выполнены три цикла повторны ГНСС-наблюдений. Выявленные в результате их анализа деформации согласуются с основными этапами строительства ГЭС.

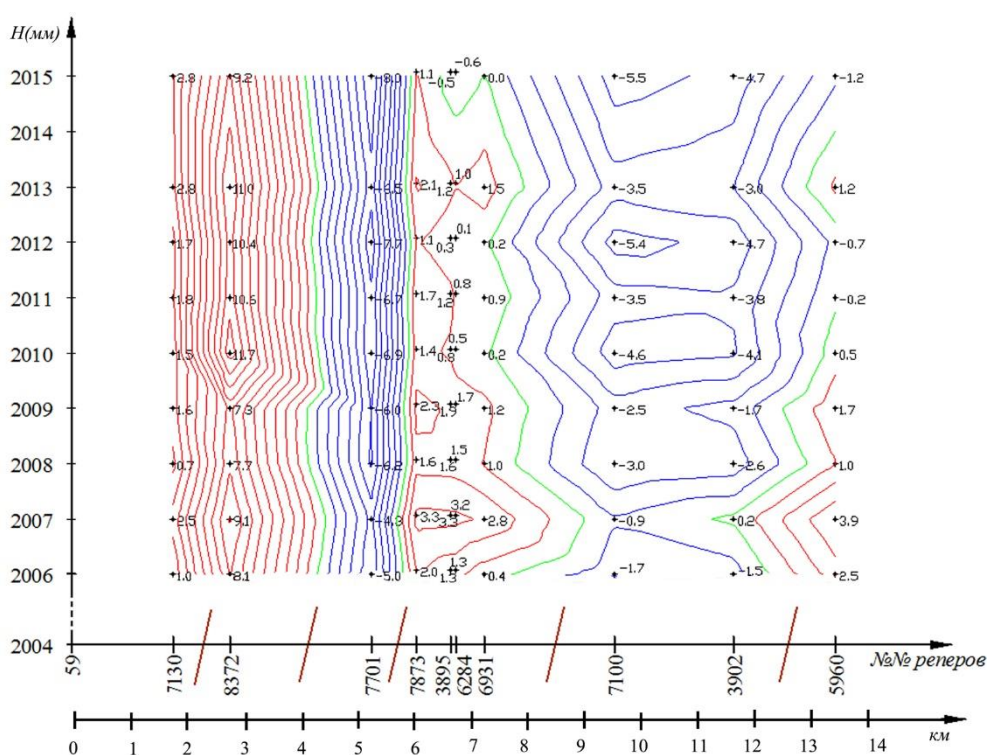


Рис. 1.1 – Графики разностей отметок реперов  $\Delta H$  мм в пространственно-временной области на Полоцком микрополигоне. Отметки реперов в каждую эпоху вычислены относительно репера 59, а их разности – между текущей и начальной эпохами наблюдений  $\Delta H_T = H_T - H_{2004}$ , где  $T$  – эпоха наблюдений. Изолинии для  $\Delta H$  проведены через 1мм: красный цвет положительные разности, синий – отрицательные, зеленый – нулевые. Значимые с вероятностью 0,95 разности отметок реперов выделены жирным шрифтом. На горизонтальной оси графиков наклонными линиями показаны тектонические разломы, выявленные по нивелирным данным [4].

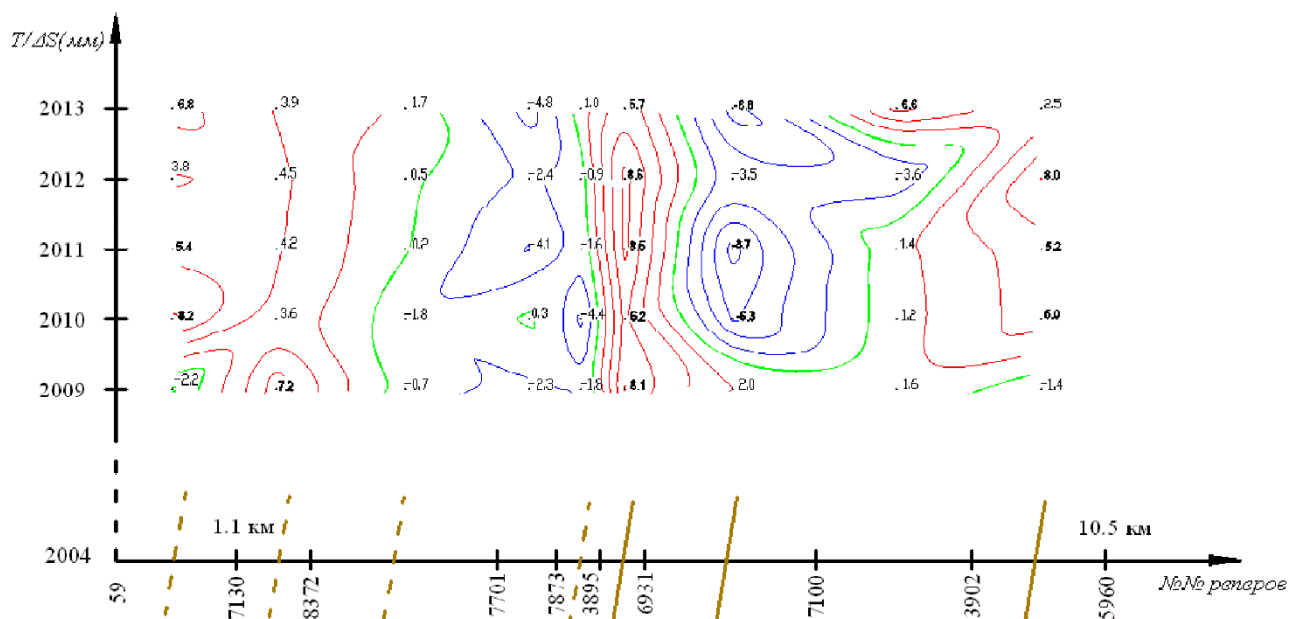


Рис. 1.2 - Графики разностей наклонных дальностей в пространственно-временной области на Полоцком микрополигоне. Разности наклонных дальностей для каждой линии (59-7130, 7130-8372.... 3902-5960) даны относительно 2004 г. Изолинии для  $\Delta S$  – через 2 мм: красный цвет -положительные разности, синий – отрицательные, зеленый – нулевые.

Значимые с вероятностью 0,95 разности наклонных дальностей выделены жирным шрифтом. На горизонтальной оси графика наклонными линиями показаны тектонические разломы, выявленные по разностям наклонных дальностей: пунктиром – с меньшей степенью вероятностью, сплошной с большей степенью вероятности [4].

В публикации автором высказана идея необходимости объединения геодинамического полигона Полоцкой ГЭС с полигоном Витебской ГЭС и создания единого геодезического пространства. Однако по причине недостатка финансирования к настоящему времени этот проект не реализован [5].

В рамках настоящей работы мы проведем исследование современных движений земной коры на различных полигонах с использованием данных Спутниковой сети точного позиционирования, также выполним структурное дешифрирование фрагмента космоснимка на территорию Полоцкого и Руднянского разломов. Попытаемся сделать выводы о причинах деформаций и о влиянии их на ответственные инженерные сооружения.

## 1.2. Данные, необходимые для исследования

С точки зрения геодинамической активности на территории Беларуси можно выделить несколько территорий интереса. При этом современные движения земной коры эндогенного характера нельзя рассматривать в отрыве от экзогенных и техногенных процессов.

Инженерные объекты представляют интерес для геодинамики по двум причинам: одни могут являться причиной опасных геодинамических явлений (шахты, карьеры, водохранилища), другие – пострадать в результате этих явлений и вызвать техногенную катастрофу в результате выброса вредных веществ, взрыва, высвобождения большого объема воды и т.д.

В нашем исследовании мы будем использовать данные спутниковой сети точного позиционирования. Расположение базовых линий будем выбирать таким образом, чтобы они пересекали активные (активность выявлена по результатам предыдущих исследований) тектонические разломы, районы разработки полезных ископаемых, магистральные трубопроводы.

### **1.3. Техническое задание на разработку программного обеспечения**

В программных продуктах для обработки ГНСС-наблюдений отсутствует возможность импорта данных напрямую в линейные шейп-файлы, а в отчетах об уравнивании сетей не представлено деление сети на треугольники, формат представления отчета в html неудобен для обработки стандартными программами, для эффективного анализа деформаций сети потребуется разработка пользовательского модуля.

Модуль должен считывать html-код документа и представлять в удобном для работы виде его структуру. Необходимо прочитать набор документов для одного полигона и разных эпох измерений. Сформировать наборы объектов для каждой эпохи: станций с координатами в качестве атрибутов; базовых линий сети со станциями начала и конца, наклонной дальностью в атрибутах; треугольников с набором образующих его станций в атрибутах.

Для смежных эпох необходимо рассчитать разности наклонных дальностей для линий и компоненты деформации для треугольников: дилатации  $Q$ , максимального  $E_1$  и минимального  $E_2$  растяжения, максимального сдвига  $\gamma_m$ , направлений максимального и минимального растяжений  $\varphi_{E1}$ ,  $\varphi_{E2}$  следующим образом:

Пусть известны плоские координаты станций, образующих треугольник:  $X_i, Y_i$ , а также их изменения  $\Delta X_i, \Delta Y_i$  в последующую эпоху. Рассматривая деформацию в пределах треугольника как однородную, можно выразить величины  $\Delta X_i, \Delta Y_i$  в виде системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} \Delta X_1 = X_1 e_{11} + Y_1 e_{12} + a \\ \Delta Y_1 = X_1 e_{21} + Y_1 e_{22} + b \\ \Delta X_2 = X_2 e_{11} + Y_2 e_{12} + a \\ \Delta Y_2 = X_2 e_{21} + Y_2 e_{22} + b \\ \Delta X_3 = X_3 e_{11} + Y_3 e_{12} + a \\ \Delta Y_3 = X_3 e_{21} + Y_3 e_{22} + b \end{cases} \quad (1.1)$$

где  $a, b$  – величины поступательного перемещения по осям  $X, Y$ ;  $e_{11}, e_{12}, e_{21}, e_{22}$  – компоненты тензора второго ранга на плоскости, относящегося к центру треугольника:

$$|T_{ij}| = \begin{vmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{vmatrix} \quad (1.2)$$

Используя значения элементов тензора, можно вычислить компоненты деформации по следующим формулам:

$$Q = \frac{e_{11} + e_{22}}{2} \quad (1.3)$$

$$E1 = Q + \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2} \quad (1.4)$$

$$E2 = Q - \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2} \quad (1.5)$$

$$\gamma_m = E1 - E2 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} \quad (1.6)$$

$\gamma_1 = (e_{11} - e_{22}), \gamma_2 = (e_{12} + e_{21})$  – компоненты сдвига

$$\varphi_{E1, E2} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( -\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right) + A^\circ \quad (1.7)$$

При  $\gamma_1 > 0, A = 90^\circ$ ; при  $\gamma_1 < 0, A = 0$ .

Вычисленное направление может быть как направлением максимального  $\varphi_{E1}$ , так и минимального растяжения  $\varphi_{E2}$ . Чтобы однозначно определить смысл полученного значения, следует выполнить проверку условия: если  $Q < 0$  и  $|Q| > \gamma_m$ , то полученное значение является направлением минимального растяжения, иначе – максимального [8]. Направления максимального и минимального растяжения взаимно перпендикулярны.

Используя значения координат станций, необходимо построить пространственные объекты шейп-файлов: линейных для базовых линий и полигональных для треугольников, а вычисленные значения разностей наклонных дальностей и компонентов деформации поместить в атрибуты соответствующих объектов.

## **ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ГИС-ПРОГРАММ, МОДЕЛИРОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И Т.Д. СПЕЦИФИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ, ЭКЗОГЕННЫХ И СОВОКУПНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. ПОКУПКА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.**

### **2.1. Обзор программного обеспечения для обработки геопространственных данных**

Понятие геопространственных данных (геоданных) весьма широко: так называют любую информацию, так или иначе привязанную к конкретному местоположению объектов. Форматы цифрового представления геоданных могут быть различными: как специальные, используемые в ГИС и системах автоматизированного проектирования, так и общие (табличные, фотографические, фактографические и т.п.), представленные в форматах, не предполагающих использование в ГИС (например, таблицы EXCEL, пространственная привязка данных которой осуществляется с помощью адресов, координат, номеров точек и т.п.).

Поэтому программные продукты для обработки геоданных можно разделить на следующие группы: специализированные и комплексные.

К специализированным можно отнести большое число различных продуктов для обработки конкретных видов данных в специализированных форматах: геодезических измерений, данных дистанционного зондирования, гравиметрических, магнитометрических, данных аэрофотосъемок и т.д. Эти продукты могут поддерживать и другие, внешние, форматы данных, но только посредством импорта/экспорта.

Комплексные программные продукты позволяют представить в единой системе координат данные в различных форматах, различного происхождения, различного временного охвата. К таким программным продуктам относят ГИС-продукты. Одним из главных преимуществ ГИС является поддержка наряду с пространственными данными (геометрией) табличных данных (атрибутов). Каждому пространственному объекту соответствует запись в таблице атрибутов с заранее заданными полями в определенном формате. Привязка записи к объекту осуществляется автоматически. Большинство ГИС также поддерживают присоединение и привязку дополнительных таблиц, что позволяет создавать полноценные базы данных.

Поскольку в нашей работе акцент сделан на данные ГНСС-наблюдений и данные дистанционного зондирования, начнем обзор со специализированных программных продуктов.

## **2.2. Программное обеспечение для обработки ГНСС-наблюдений**

Большинство современных программ для обработки ГНСС-наблюдений находятся в составе комплексов для обработки геодезических измерений, разрабатываемых производителями геодезического оборудования.

### **2.2.1. Trimble Business Center (TBC).**

Программный комплекс для обработки геодезической информации, разработанный компанией Trimble (рис 2.1). Позволяет обрабатывать данные тахеометрических съемок, аэрофотосъемок, ГНСС-наблюдений. Имеет богатый функционал систем автоматизированного проектирования, шаблоны для оформления чертежей. Стандартные модули позволяют уравнивать съемочные сети, строить диаграммы земляных масс по поверхностям, профили поверхности по линиям. Остановимся подробнее на процессе обработки ГНСС-данных в Trimble Business Center. Программный продукт поддерживает данные как в формате приемников Trimble .DAT, так и в обменном формате RINEX. Ввод данных в программу производится при помощи импортера (команда Съемка – Импорт). После импорта данные отображаются в области окна «Вид в плане». Программа автоматически строит базовые линии между всеми станциями, съемка на которых выполнена в одну эпоху. Как правило, для работы не нужны все базовые линии, а длина некоторых из них слишком велика для корректной обработки. Поэтому, следует отключить ненужные линии. Настроив нужную конфигурацию сети, выбираем команду Съемка – Обработка базовых линий. Обработка занимает продолжительное время. По её окончании полученные векторы отображаются в таблице, с помощью которой можно сделать предварительные выводы о качестве измерений. В случае получения плавающего решения, либо недопустимых ошибок можно исключить векторы из сети.

Установить один из пунктов в качестве исходного можно с помощью команды «Добавить координату» контекстного меню, предварительно выбрав нужный пункт.

Имея вычисленные векторы, можно переходить к уравниванию сети. Уравнивание запускается с помощью кнопки «Уравнивание сети» во вкладке «Съемка». Если пункты используются в качестве исходных, необходимо поставить флажки (фиксировать пункт в

плане и по высоте) напротив нужного пункта. Алгоритм уравнивания запускается кнопкой «Уравнять». В настройках проекта можно задать число итераций при уравнивании. Если после уравнивания не выполнена проверка по критерию Хи-квадрат, следует переназначить веса во вкладке «Назначение весов» в области экрана «Уравнивание сети».

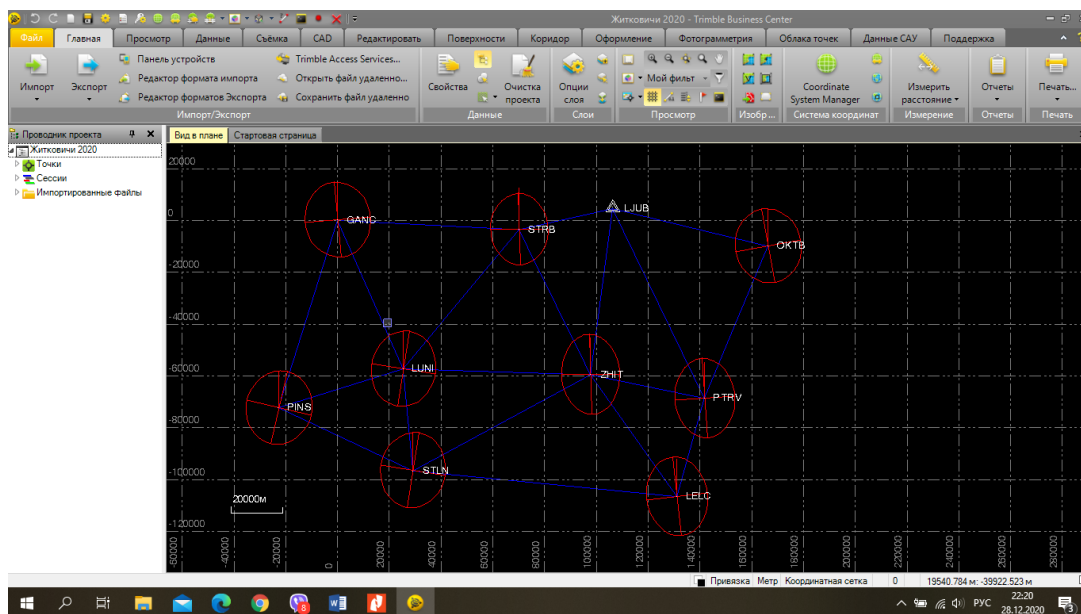


Рис. 2.1 – интерфейс программного продукта Trimble Business Center

Результаты уравнивания можно представить в виде отчета в формате html, либо путем экспорта в различные форматы.

Среди преимуществ ТВС можно выделить интуитивно понятный интерфейс, простые инструменты для ввода данных и выбора конфигурации сети.

Главный недостаток, на наш взгляд – слабая интеграция с ГИС-форматами. В нашей работе необходимо представить данные в ГИС, поэтому наилучшим решением будет экспорт данных в формат линейного шейп-файла. ТВС поддерживает экспорт в шейп-файлы, однако, в доступных нам версиях программы по неизвестной причине экспортер создает лишь точечный шейп-файл. В настройках экспорта отсутствует возможность выбрать информацию, которая будет представлена в атрибутивной таблице файла. Так, в таблице представлены плоские и географические координаты, но не представлены координаты в общеземной системе, как и ошибки их определения.

## 2.2.2. Leica Infinity

Интерфейс продукта во многом похож на TBC (рис. 2.2). Импорт измерений выполняется также с помощью специального импортера и вызывается кнопкой Import. При этом, при использовании часовых файлов, для слияния интервалов необходимо выбрать соответствующий флажок. В отличие от TBC, в Leica Infinity системы координат не встроены, а импортируются из специального файла TRFSET.DAT. Для работы необходимо импортировать данный файл, а затем выбрать нужную систему координат в выпадающем списке в нижней строке. Далее, выбрав вкладку GNSS и кнопку GNSS Intervals слева в области экрана Inspector, мы можем увидеть интервалы наблюдений. Для вычисления базовых линий устанавливаем для всех интервалов режим «Auto» (вкладка Processing) и нажимаем кнопку Process. В Leica Infinity нет возможности отключить базовые линии заранее, поэтому процесс вычисления занимает более продолжительное время, чем в TBC. Далее выбираем векторы, которые будут участвовать в уравнивании сети, для чего в таблице вычисленных векторов в контекстном меню выбираем команду Store. Процедура уравнивания запускается кнопкой Run Full 3D Adjustment на вкладке Adjustments. Отчет об уравнивании можно открыть в формате pdf либо html в области экрана Inspector.

Программный продукт также поддерживает экспорт в шейп-файлы, однако, так же, как и в случае с TBC, сохраняются только точечные объекты. Атрибуты также не содержат координат в общеземной системе.

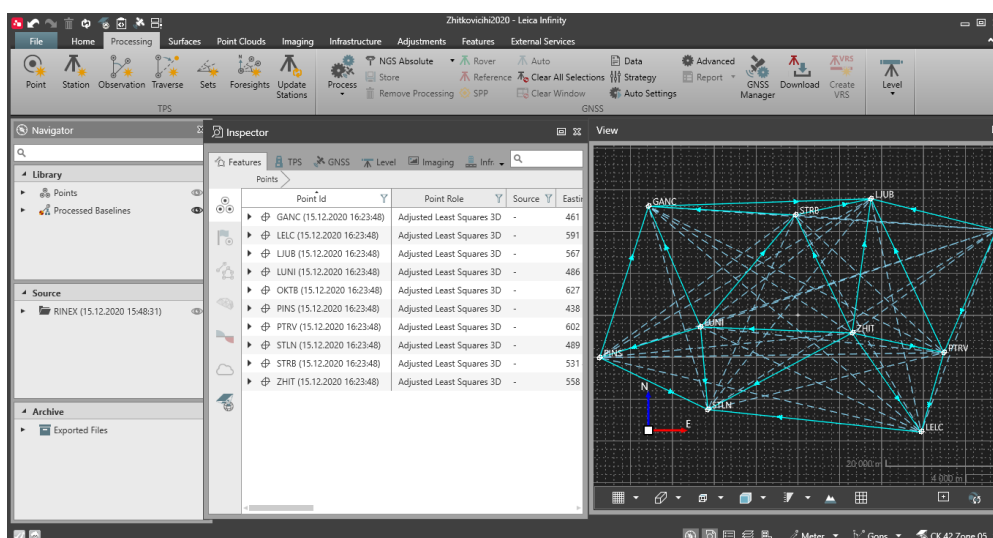


Рис. 2.2 – интерфейс программного продукта Leica Infinity



### 2.2.3. Кредо ГНСС.

Программный продукт от компании Кредо-диалог (рис 2.3). Поддерживает через импорт большое число форматов измерений, как фирменных, так и обменных. Также через импорт в проект можно добавлять растровые подложки, данные САПР (например, DWG), шейп-файлы, текстовые файлы пользовательского формата. Как и в других программных продуктах Кредо, в Кредо ГНСС имеется широкий набор инструментов для оформления планов, построения поверхностей.

С первым неудобством продукта пользователь сталкивается ещё на начальном этапе: программа не объединяет часовые интервалы наблюдений автоматически, необходимо выделять их вручную в таблице и объединять кнопкой «Объединить сеансы». Отключить либо удалить ненужные базовые линии можно с помощью контекстного меню в области экрана План. Обработка базовых линий выполняется с помощью команды Расчеты – Расчет базовых линий. Протокол обработки отображается в процессе вычислений, а также доступен после. Уравнивание выполняется с помощью команды Расчеты – Уравнивание.

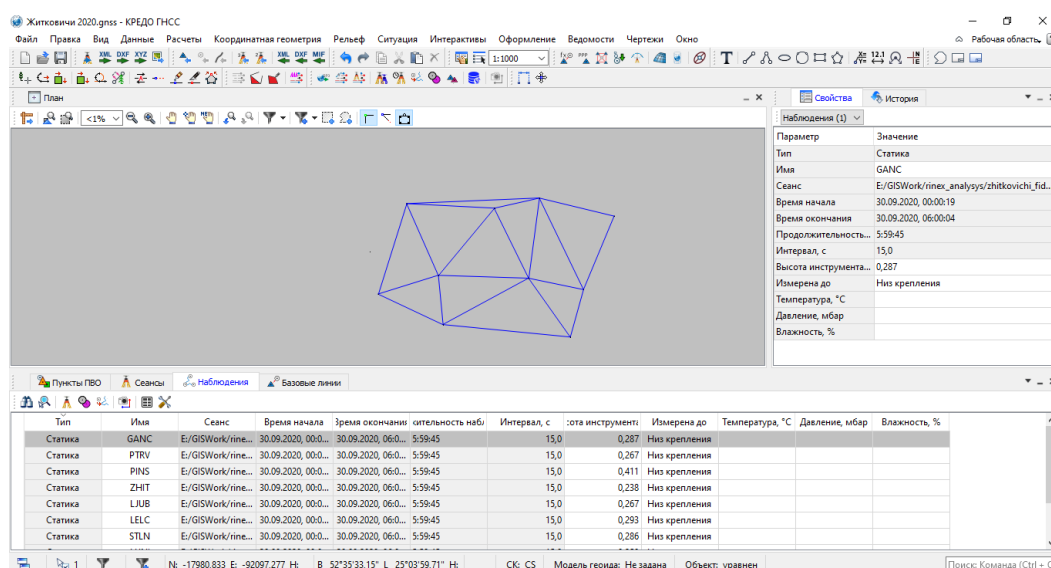


Рис. 2.3 – Интерфейс программного продукта Кредо ГНСС

### 2.3. Программные средства линеаментного анализа

Линеаментный анализ космических снимков появился с первыми космическими изображениями земной поверхности. Вначале исследования проводились исключительно визуальным методом, затем, с появлением алгоритмов машинного обучения, появились автоматизированные программные средства. В литературе широкую известность получил программный продукт LESSA, который позволяет выявлять линеаменты по космическим

изображениям и цифровым моделям рельефа строить розы-диаграммы их распределения. Модуль линеamentного анализа представлен в программном продукте PCI Geomatics. Однако, автоматизированный анализ часто дает ошибки, принимая за тектонические структуры инженерные объекты, например, дороги. В этом случае необходима разработка сложных алгоритмов обучения программ, из-за чего программные продукты автоматизированного линеamentного анализа приобретают ещё более высокую стоимость. Наиболее действенным способом выявления тектонических структур по материалам космической съемки по сей день остается визуальное дешифрирование, которое, к тому же широко представлено в публикациях В.Н.Губина.

## **2.4. ГИС-пакеты**

Современные ГИС-пакеты снабжены богатым инструментарием для обработки данных дистанционного зондирования. В нашем случае их вполне достаточно для целей визуального линеamentного дешифрирования.

### **2.4.1. ESRI ArcGIS.**

Самый известный и широко используемый ГИС-пакет. Ориентирован прежде всего на экологические и землеустроительные проекты. Компания ESRI является основоположником современной архитектуры ГИС, разработчиком форматов шейп-файла и баз геоданных. При этом, интерфейс и концепция программного продукта ArcGIS достаточно консервативны. С выходом новых версий дополнительные функции добавляются в основном в виде дополнительных модулей и инструментов ArcToolBox. Соответственно, поддержка новых форматов осуществляется через импорт.

ArcGIS становится незаменимым инструментом при разработке крупных землеустроительных, транспортных, экологических проектов. Позволяет строить сложные модели инженерных коммуникационных систем. Инструменты трехмерного геопро пространственного анализа наиболее совершенны среди всех имеющихся на сегодняшний день ГИС-пакетов.

Автоматизация работы в ArcGIS осуществляется с помощью библиотеки arcsru языка python версии 2.7. Имеется также среда визуального моделирования алгоритмов ModelBuilder.

ArcGIS – дорогостоящий коммерческий продукт, требовательный к ресурсам компьютера.

При разработке проектов, не предполагающих выполнение специфических видов анализа, особенно трехмерного, моделирования сложных инженерных систем стоит посмотреть в сторону свободных ГИС.

## 2.4.2. QGIS

QGIS – наиболее бурно развивающийся кроссплатформенный свободный ГИС-пакет. Продукт разрабатывается большим сообществом программистов со всего мира. QGIS поддерживает большое количество различных форматов, в том числе, стандартные для коммерческих ГИС, таких как ArcGIS и MapInfo, а также форматы, используемые в веб-картографии, например, geojson, растровые и векторные тайлы.

Инструменты трехмерного и сетевого анализа представлены в базовом виде. Поддерживаются инструменты GRASS GIS, SAGA GIS, GDAL.

Начиная с версии 3.0, QGIS перешел на автоматизацию с использованием языка python версии 3. Это необходимая мера, т.к. поддержка python версии 2 прекратится в ближайшее время. Язык python 3 удобнее в работе со строками на кириллице, итераторами и многими другими типами данных. Также имеется возможность автоматизации с помощью средства визуального моделирования алгоритмов анализа Graphical Modeler.

## 2.5. Разработка программного модуля

Первым этапом необходимо считать имеющиеся отчеты по уравниванию сетей в формате html и представить их в удобной для дальнейшей работы форме. Сложность в том, что в том файле, который получается при сохранении отчета, содержится лишь ссылка на основной файл с данными, который находится в папке «\_files». Получать четкую структуру html-файла помогает python-библиотека BeautifulSoup. Получив ссылку на основной файл, считываем его и преобразуем из обычного текстового файла в формат BeautifulSoup (переменная soup). Каждая таблица имеет свое уникальное id-имя, например, уравненные плоские координаты – AdjustedGridCoordinates, уравненные геодезические координаты – AdjustedGeodeticCoordinates и т.п. Используя id- имя в качестве аргумента, получаем объект таблицы с помощью метода: `soup.find(id).tbody`. Затем считываем из объекта таблицы в список все её строки (html-тег tr): `.find_all('tr')`. Далее аналогично получаем все ячейки строки (html-тег td) в отдельный список: `.find_all('td')`. Присваиваем все считанные значения свойствам соответствующих объектов. Мы продолжим рассматривать разработку программного модуля в следующей главе.

## **2.6. Покупка геопространственных данных**

### **2.6.1. Покупка данных ГНСС-наблюдений Спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь**

В качестве исходных данных для исследования современных движений земной коры на территории Беларуси решено использовать данные постоянно действующих пунктов спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь (ПДП ССТП РБ), так как это наиболее надежные по точности, качеству закладки центров станций и пространственному охвату данные, которые можно получить от белорусского поставщика по низкой цене (специальный тариф для учебных заведений «Учебный», 0,91 белорусских рублей за файл измерений продолжительностью 1 час).

Спутниковая сеть точного позиционирования создается в Республике Беларусь с 2010 года как составная часть государственной геодезической инфраструктуры, что дает возможность воспроизводить в режиме реального времени и с высокой точностью Международную общеземную систему координат ITRS, а также используемые в государстве системы координат, например, СК-95 и местные системы координат.

По состоянию на конец 2020 года, система насчитывает 98 постоянно действующих пунктов.

Все пункты установлены на зданиях, преимущественно малой этажности. Это допускается согласно рекомендациям к эксплуатации пунктов IGS и EPN [10-12] и позволяет обеспечить необходимые условия для эффективного функционирования сети: сохранность дорогостоящего оборудования, непрерывное электропитание, непрерывный доступ к сетям передачи данных открытый горизонт для приема сигналов от спутников GNSS.

Центры пунктов представляют собой армированный железобетонный столб сечением 40 на 40 см, снабженный устройством принудительного центрирования. Столб устанавливается в углубление в несущей стене здания, которое заливается цементным раствором. Дополнительную стабильность обеспечивают два металлических стержня, расположенные внутри раствора крестообразно. Таким образом, надстройку для установки антенны можно считать единым целым со стеной [13, 14].

К слою станций в ГИС-проекте применен метод отображения «Уникальные значения». Таким образом, станции отображены различным цветом в зависимости от даты начала наблюдений.

Перед покупкой необходимо было провести тщательное планирование: выделить полигоны интереса, понять, какие станции и базовые линии между ними позволят опросить

активные тектонические структуры и другие объекты интереса. В итоге выделено 6 полигонов интереса, представленных в составном слое «ССТП» в полигональном виде (таблица 2.1).

Для указанных в таблице 2.1 станций закуплены (договор между РУП «Белгеодезия» и Полоцким государственным университетом № 12747/ПДП/20 от 24.04.2020) файлы наблюдений в формате RINEX 2.10 продолжительностью 6 часов и с дискретностью в 15 секунд на дату 30 сентября соответствующего года.

Формат RINEX (Reciever INdependent EXchange format – обменный формат, не зависящий от приёмника) является общим форматом для хранения данных ГНСС-измерений. Удобство использования состоит также в том, что формат является текстовым, а значит, с файлами можно просматривать в текстовом редакторе, а также считывать с помощью пользовательских программных модулей. Полный набор данных для одной станции в одну эпоху измерений состоит из файла наблюдений с расширением \*.YYo, где YY – год наблюдений, и файлов эфемерид, расширение которых отличается для различных ГНСС:

- .YYn – GPS
- .YYg – ГЛОНАСС
- .YYc – BeiDou
- .YYl – Galileo
- .YYj – QZSS
- .YYi – IRNSS
- .nav – смешанные эфемериды

В версии RINEX 2.10 доступны только данные GPS и ГЛОНАСС [15], поэтому, каждый набор данных в нашем случае состоит из трех файлов.

Всего приобретено 1560 файлов на общую сумму 1703,52 белорусский рублей (включая НДС).

К исследования дополнительно привлекаются данные станций, включенных в европейскую сеть EUREF (суточные наблюдения с дискретностью 30 секунд [16]).

Таблица 2.1 – полигоны интереса для исследования современных движений земной коры по данным повторных ГНСС-наблюдений.

Полигон	Станции ССТП	Временной промежуток данных	Объекты интереса
Полоцкий	Браслав, Верхнедвинск, Россоны, Шарковщина, Новополоцк (исходный), Ушачи, Оболь, Бешенковичи, Городок, Витебск, Лиозно	2016 - 2020	Полоцкий, Чашникский, Бешенковичский, Туровлянский, Витебский разломы; участок нефтепровода Унеча-Полоцк; Полоцкая, Витебская ГЭС, месторождение Гралёво.
Островецкий	Островец, Комарово, Мядель, Вилейка, Воложин, Сморгонь, Ивье, Вороново, Вильнюс (исходный)	2017 - 2020	Ошмянский, Мядельский, Налибокский разломы, Белорусская АЭС.
Брестский	Высокое, Брест (исходный), Каменец, Малорита, Кобрин, Пружаны, Берёза, Дрогичин, Ивацевичи, Телеханы, Пинск	2016 - 2020	Каменецкий, Ореховский, Пружанский, Северо-Ратновский разломы, участок нефтепровода Дружба.
Пинский	Пинск (исходный), Дрогичин, Телеханы, Лунинец, Ганцевичи, Старобин	2015 - 2020	Стоходско-Могилёвский разлом
Житковичский	Пинск, Телеханы, Ганцевичи, Старобин, Лунинец, Столин, Житковичи, Любань (исходный), Октябрьский, Петриков, Лельчицы	2015 - 2020	Участок нефтепровода Дружба, разломы Припятского прогиба, месторождения Гранит, Петриковское.
Гомельский	Бобруйск, Быхов, Довск, Чечерск, Жлобин, Буда-Кошелёво, Светлогорск, Октябрьский, Петриков, Лельчицы, Ельск, Калинковичи, Хойники, Лоев, Речица, Гомель (исходный), Добруш.	2017 - 2020	Участок нефтепровода Дружба, разломы Припятского прогиба, Мозырьское месторождение каменной соли, нефтяные месторождения.

## 2.6.2. Покупка данных дистанционного зондирования

Для целей линеаментного анализа планировалась покупка данных высокого разрешения с наличием инфракрасного канала. При этом, предпочтение было отдано архивной съемке, т.к. её стоимость, как правило, в два раза ниже, чем у новой съемки. Ограничивающим условием при выборе снимка, помимо денежной суммы, стало покрытие съемкой территории Беларуси, а также размер минимального заказа. Подбор снимка осуществлялся с помощью сервиса <https://www.kosmosnimki.ru/>. В итоге предпочтение было отдано снимку с космического аппарата «Ресурс-П» (Россия) на дату 05.05.2016 г., площадью 51 кв. км на территорию в окрестностях поселка Бычиха Городокского района Витебской области. Сумма покупки – 444,34 белорусский рубль. Согласно анализу карт из монографии «Геология Беларуси», в этом месте находится точка пересечения Полоцкого и Руднянского тектонических разломов.

Снимок имеет разрешение 1 м в панхроматическом режиме и 3 – 4 метра в мультиспектральном, таблица 2.2 [17].

Таблица 2.2 – краткая характеристика снимка со спутника Ресурс-П

Канал	Длина волны, мкм	Пространственное разрешение, м
Панхроматический	0,58 – 0,80	1
Красный	0,61 – 0,68	3-4
Ближний инфракрасный	0,68 – 0,80	3-4
Зеленый	0,52 – 0,60	3-4
Синий	0,45 – 0,52	3-4

## ГЛАВА 3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В СРЕДЕ ГИС РАЗВИТИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ. РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ).

### 3.1. Структура ГИС-проекта

Разрабатываемый ГИС-проект призван выполнять две основные функции. С одной стороны, он позволяет эффективнее планировать исследования, подбирать исходные данные в зависимости от местоположения объектов интереса, а с другой – представлять результаты исследований в наглядном виде.

В него включаются как объекты, сами по себе вызывающие интерес с точки зрения тектонической активности, как природного, так и техногенного происхождения (разломы кристаллического фундамента и платформенного чехла различной глубины, возраста и генезиса; космолинеаменты, кольцевые структуры, разрабатываемые месторождения полезных ископаемых), так и ответственные инженерные сооружения, которые подвержены влиянию движений земной коры и в случае аварии могут нанести ещё более серьёзный ущерб окружающей среде (атомные и гидро- электростанции, магистральные трубопроводы).

В качестве платформы выбран свободный ГИС-продукт QGIS. С точки зрения сбора, представления, визуализации геопространственных данных и большинства видов анализа QGIS ни в чем не уступает коммерческим ГИС-пакетам. В свободном доступе находится исходный код продукта, множество дополнительных модулей, программный интерфейс для их разработки.

Рассмотрим подробнее структуру проекта. В зависимости от тематики слои проекта группируются в составные слои.

В качестве карты-подложки проекта использована карта OpenStreetMap, представленная в тайловом виде (при масштабировании и перемещении вида автоматически загружается нужный фрагмент карты). Добавить такой набор данных в QGIS можно с помощью дополнительного модуля QuickMapServices.

Составной слой **Инженерные объекты** включает линейные слои трубопроводов: газопроводы и нефтепроводы, а также точечные слои электростанций и месторождений полезных ископаемых. Инженерную инфраструктуру Беларуси нельзя рассматривать в отрыве от инфраструктуры сопредельных государств. Например, нефтепровод Дружба проходит по территории Российской Федерации, Беларуси, Украины, Литвы, Польши и пересекает различные активные тектонические структуры, например, Речицкий и



Стоходско-Могилёвский разломы. Ряд публикаций показывает, что в местах пересечения наблюдается повышенная аварийность [18-20]. В дальнейшем в рамках ГИС-проекта планируется вносить информацию об авариях в отдельный слой Аварии с атрибутами даты и краткой характеристикой с указанием объемов разлива. Объекты закоординированы на основе общедоступной информации из сети Интернет.

Составной слой **Разломы Махнач** включает информацию о разломах земной коры из монографии «Геология Беларуси». Представлены растровые карты структурообразующих, постконсолидационных разломов кристаллического фундамента, разломов платформенного чехла, а также разломы в векторном виде. Карты получены путем конвертации pdf-страниц в изображение и геопривязаны в ГИС к карте-подложке по координатной сетке, либо, при её отсутствии, по административным границам Беларуси и пунсонам городов. Перевод объектов в векторный вид осуществлялся с помощью стандартных инструментов оцифровки QGIS. Атрибуты векторных объектов разломов: название, возраст заложения, длина, азимут простирания.

Составной слой **Кристаллический фундамент** включает растровые карты кристаллического фундамента, изогипсы и отметки поверхности фундамента в векторном виде с атрибутами высоты, цифровые модели поверхности фундамента в виде растров и триангулированных поверхностей. Получение, геопривязка, оцифровка данных осуществлялись аналогично описанному выше.

Составной слой **Космотектоническая карта** включает геопривязанную космотектоническую карту Беларуси [2] в растровом виде; линейные слои космолинеаментов и кольцевых структур; полигональные слои блоков и мегаблоков, ограниченных космолинеаментами. Атрибуты: название блока (мегаблока).

Составной слой **Карта СВДЗК** построен на основе «карты современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР» 1989 года [21]. Включает растровую карту, векторные отметки и изолинии СВДЗК с атрибутами соответствующих величин.

В составной слой **ДДЗ** объединены данные дистанционного зондирования из различных источников и различного разрешения: от свободно распространяемых данных landsat-8, которые имеют низкое разрешение, но высокую информативность, благодаря большому числу каналов, в том числе в тепловом инфракрасном диапазоне до фрагмента данных российского спутника Ресурс-П.

Составной слой **ЦМР** представляет фрагменты различных свободно распространяемых цифровых моделей рельефа.

В составном слое ССТП представлена информация о станциях спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь. Станции ССТП показаны в виде точечных объектов. Атрибуты: четырехбуквенный код станции, дата начала наблюдений.

### **3.2. Программный модуль для представления результатов анализа повторных ГНСС-наблюдений**

Для представления результатов исследования в среде ГИС необходимо получить треугольники в виде полигонального шейп-файла с вычисленными компонентами деформаций. Шейп-файлы будут формироваться с помощью разработанного нами программного модуля.

Для разработки модуля будем использовать язык python (версия 3.8, интерактивная среда разработчика jupyter). Среди преимуществ среды jupyter можно выделить то, что её интерфейс строится на основе веб-браузера, что позволяет осуществлять вывод результатов в удобочитаемом виде. Программный код записывается в ячейки (cells) и каждая из ячеек может запускаться на выполнение независимо. Причем, значения переменных, полученные в результате работы ячейки, доступны в других ячейках. В нашем случае это позволило вначале рассчитать значения для всех эпох, а затем, в другой ячейке, выбирая по две эпохи, вычислять разности между ними.

Используя прямоугольные координаты, вычислим горизонтальные длины линий, а по координатам в общеземной системе – наклонные дальности.

Связывать между собой станции, базовые линии и треугольники в программе на языке python удобно с помощью пользовательских классов.

Станции представлены объектами класса Station с координатами в различных системах, точностью их определения и эпохе, которой соответствуют значения координат в качестве свойств.

Для базовых линий разработан пользовательский класс BaseLine, который имеет свойства .begin (начальная станция, объект класса Station), .end (конечная станция, объект класса Station), .year (эпоха, которой соответствует базовая линия), .tilted\_dist (наклонная дальность), .plane\_dist (плоское расстояние), .ellipsoid\_dist (эллипсоидальное расстояние). Для эпох используется встроенный целочисленный класс int, а для координат и наклонных дальностей – numpy.float. Использование объектов numpy.float вместо встроенных float позволяет получать результаты операций над вещественными числами с более высокой точностью.

Находим тройки базовых линий, имеющих общие начальные и конечные точки. Далее проверяем, не попадает ли какая-либо станция ССТП, за исключением станций, лежащих в вершинах, внутрь треугольника. Используя полученные координаты вершин треугольника, создаем объект пользовательского класса Triangle со свойствами: набор (встроенный класс set) базовых линий, образующих треугольник (объектов класса BaseLine), аналогично набор вершин (объектов класса Station), эпохи, которой соответствует треугольник.

Далее программа запрашивает две эпохи, для которых проводить расчеты.

Найдя соответствие между базовыми линиями и треугольниками в разные эпохи, программа производит вычисление разностей наклонных дальностей для базовых линий и компонентов деформации для треугольников: дилатации  $Q$ , максимального  $E_1$  и минимального  $E_2$  растяжения, максимального сдвига  $\gamma_m$ , направлений максимального и минимального растяжений  $\varphi_{E1}$ ,  $\varphi_{E2}$  по методике, описанной в техническом задании.

Используя python-библиотеку pyshp, которая позволяет записывать шейп-файлы – векторный формат геоданных, который поддерживается всеми современными ГИС, создаем шейп-файл треугольников. В качестве геометрии берем координаты станций, образующих треугольник, а в атрибутивную таблицу добавляем по полю для каждого компонента деформаций. В отдельное текстовое поле запишем смысл направления  $\varphi$ : «max» либо «min».

Добавляем полученные треугольники в ГИС-проект и помещаем в новый составной слой **Деформации**, в котором создаем составные подслои для каждого исследуемого полигона.

### 3.3. Представление результатов анализа повторных ГНСС-наблюдений

Величины максимального и минимального растяжения отобразим стрелками с помощью встроенного генератора геометрии QGIS (Geometry generator) (рис. 3.1). Geometry generator предоставляет широкие возможности для визуализации данных и построения нестандартных условных знаков. Генератор геометрии работает на основе специального языка выражений, близкого к функциональному языку программирования. Язык располагает большим набором стандартных функций для различных операций с пространственными и атрибутивными данными, а кроме того, стандартный набор функций может быть дополнен пользовательскими функциями на языке python [22].

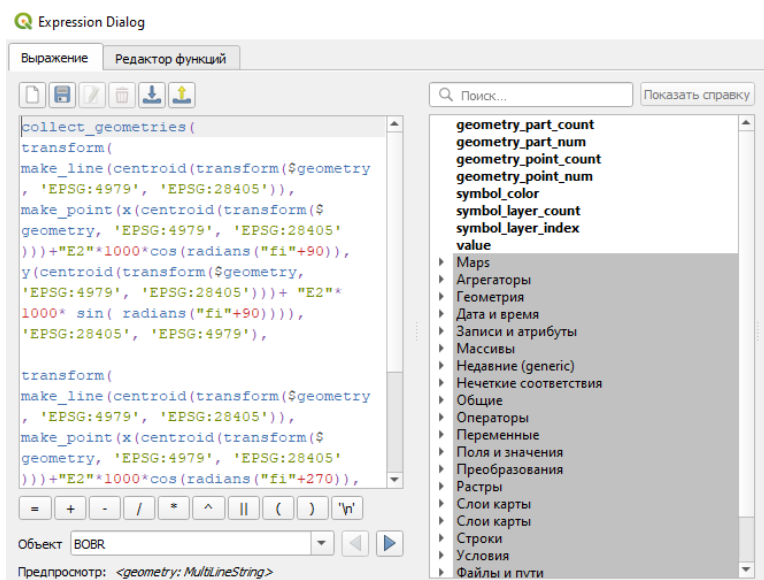


Рис. 3.1 – генератор геометрии QGIS

Остановимся подробнее на некоторых использованных в нашем проекте функциях.

Функция **collect\_geometries** позволяет создать массив отображаемых пространственных объектов.

Использование функции **transform** необходимо, поскольку исходный слой треугольников использует географическую систему координат с градусными единицами измерения, соответственно, построения в рамках этого слоя выполняются также в градусах. Чтобы выполнить построение в метрах, необходимо сначала трансформировать пространственные объекты в прямоугольную систему координат (в нашем случае – Гаусса-Крюгера 35-й зоны), а затем заново трансформировать построенные объекты в географическую СК для корректного отображения.

Функция **make\_line** возвращает пространственный объект линии. На вход в качестве аргументов принимает пространственные объекты точек, создаваемых с помощью функции **make\_point**. Функция **centroid** возвращает центр масс полигонального объекта. Функции **x** и **y** – соответствующие значения координат точечного объекта.

В качестве начала стрелок выбираем центр треугольника, а координаты окончания рассчитываем по формулам:

$$x = x_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi \quad (3.1)$$

$$y = y_{\text{ц}} \cdot \sin \varphi \quad (3.2)$$

где  $x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$  – координаты центра треугольника,  $\varphi$  – направление.





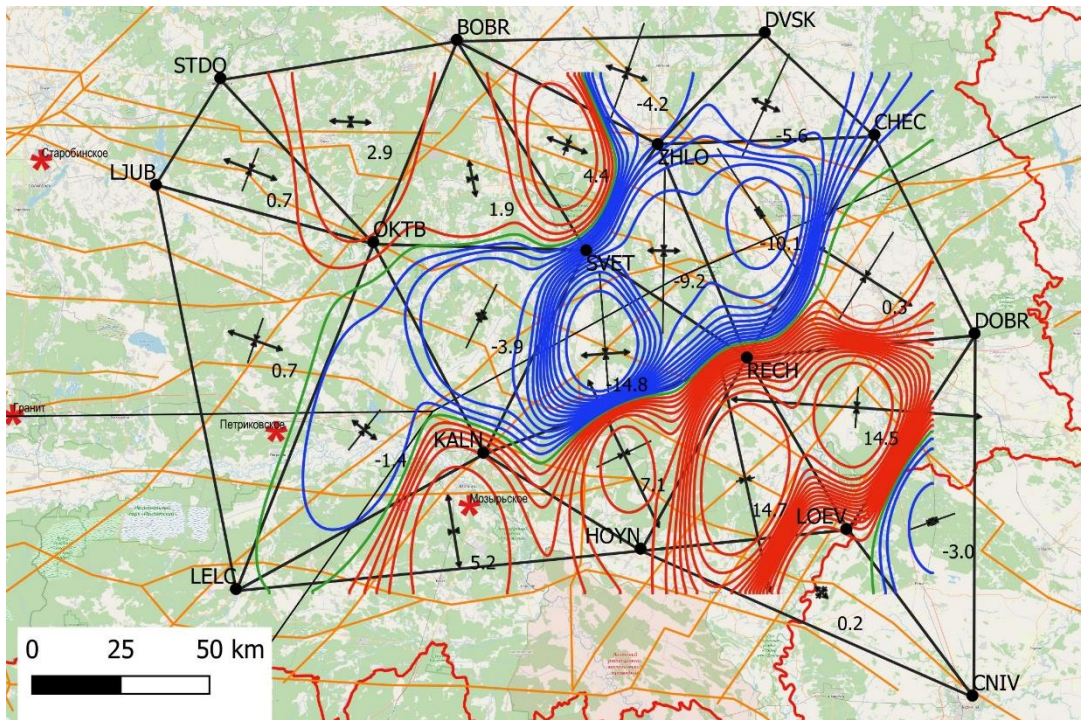


Рис. 3.3. – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Гомельского полигона за 2018 – 2019 годы.

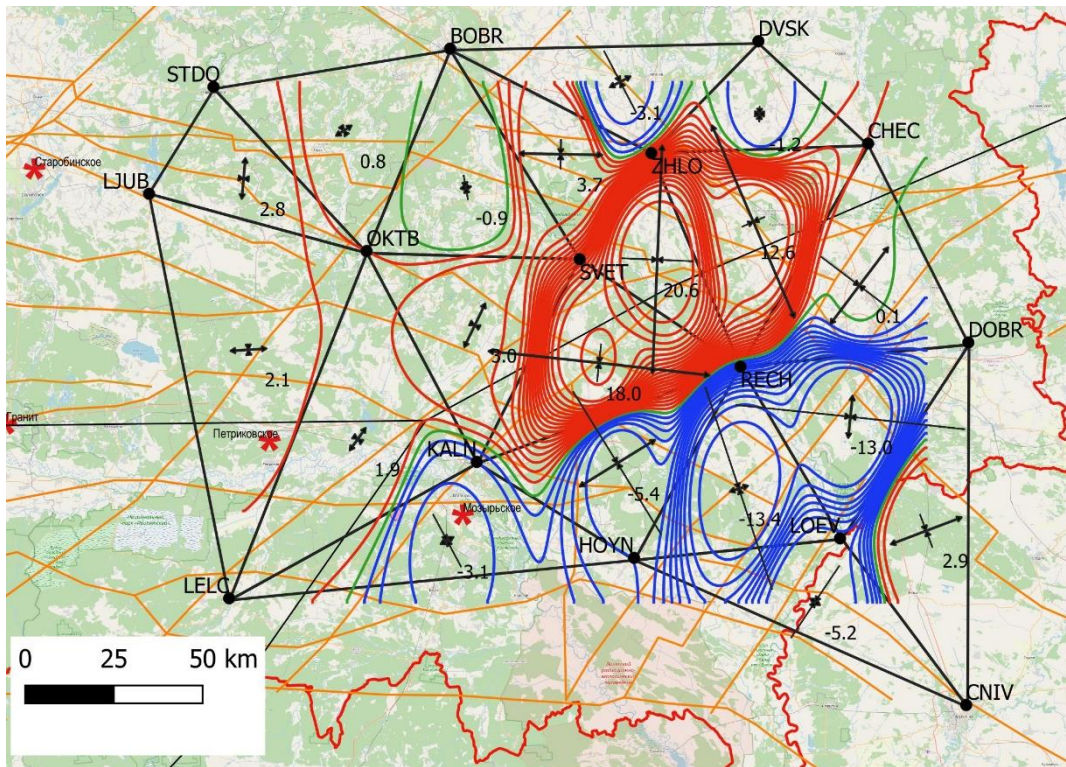


Рис. 3.4 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Гомельского полигона за 2019 – 2020 годы.



В целом для Гомельского полигона (рис. 3.2 – 3.4) выявлена высокая активность, наибольших величин достигающая в треугольниках Калинковичи – Светлогорск – Речица, Светлогорск – Жлобин – Речица, Хойники – Лоев – Речица, Добруш – Лоев – Речица (Северо-Припятский, Речицкий, Лоевский разломы). При переходе от 2018 – 2019 к 2019 – 2020 годам, величина дилатации наиболее активных треугольников меняет знак.

### 3.3.2. Житковичский полигон

В целом полигон (рис. 3.5 – 3.8) характеризуется невысокой активностью по сравнению с Гомельским. В эпоху 2015 – 2016 активность проявили треугольнички Лунинец – Старобин – Житковичи и Житковичи – Петриков – Любань (дилатация порядка  $-3,8 \cdot 10^{-8}$ ). В последующие эпохи дилатация постепенно меняет знак и становится положительной. между эпохами 2018 – 2020 дилатация положительна для всей территории полигона.

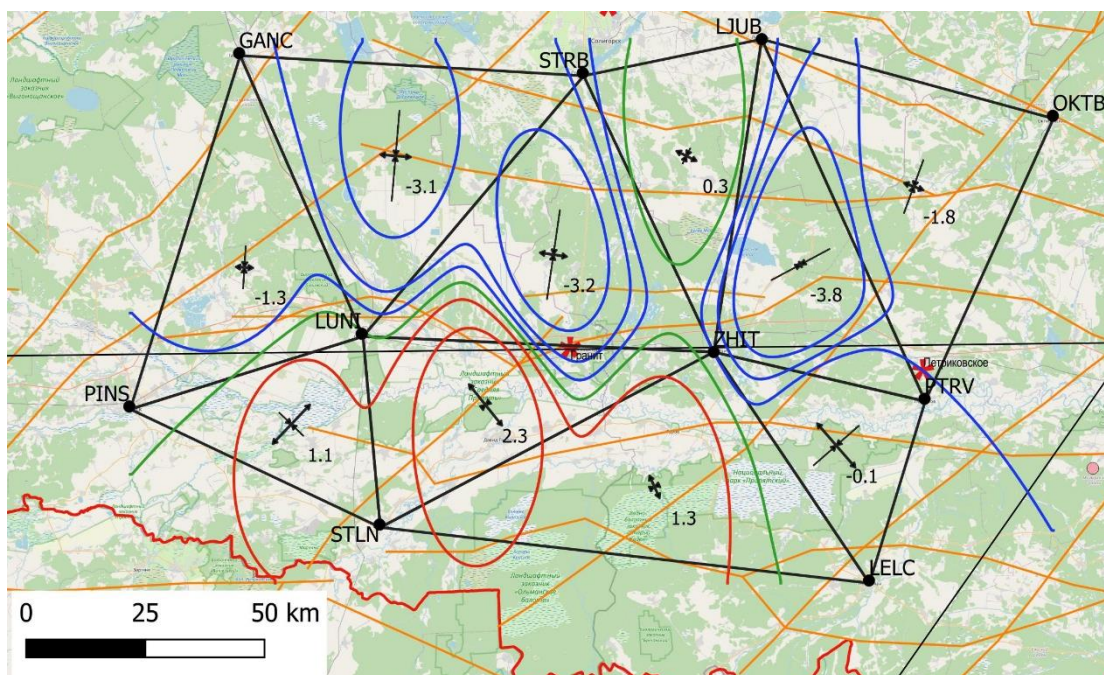


Рис. 3.5 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Житковичского полигона за 2015 – 2016 годы.



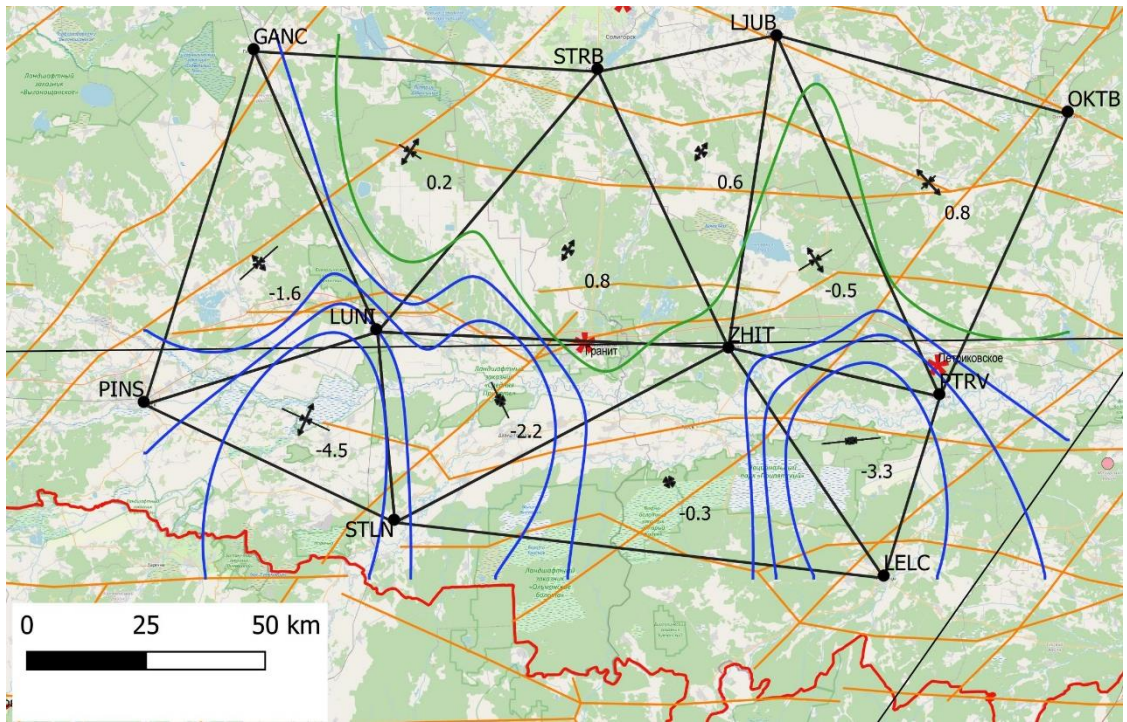


Рис. 3.6 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Житковичского полигона за 2016 – 2017 годы.

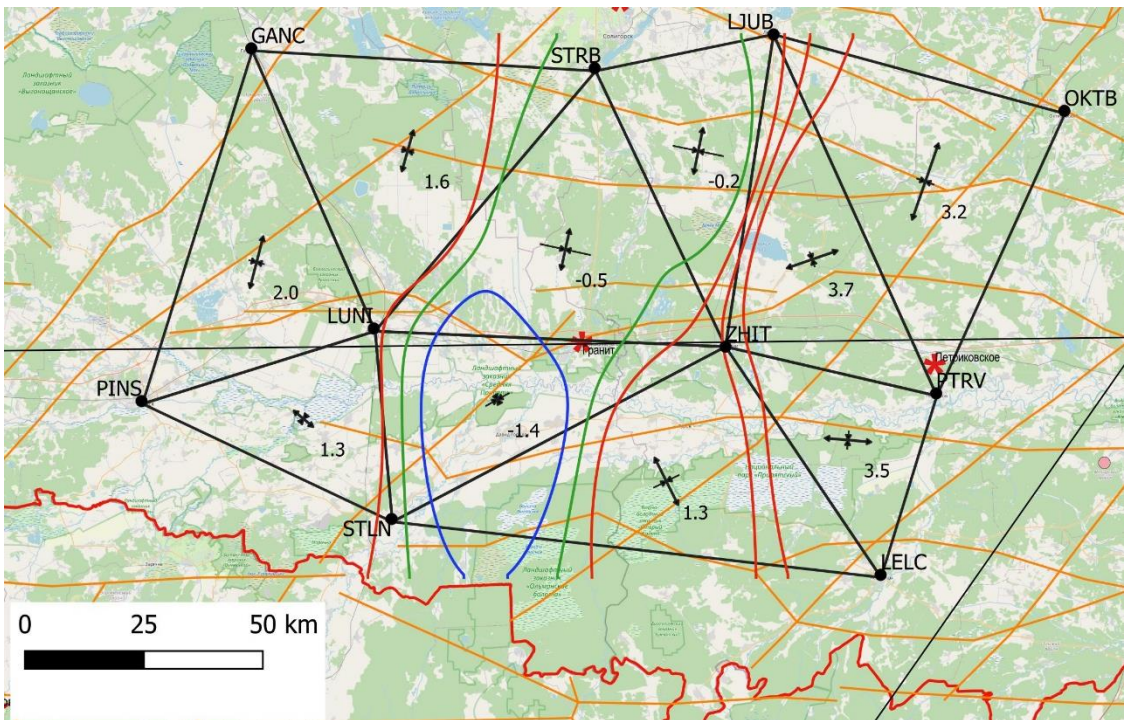


Рис. 3.7 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Житковичского полигона за 2017 – 2018 годы.



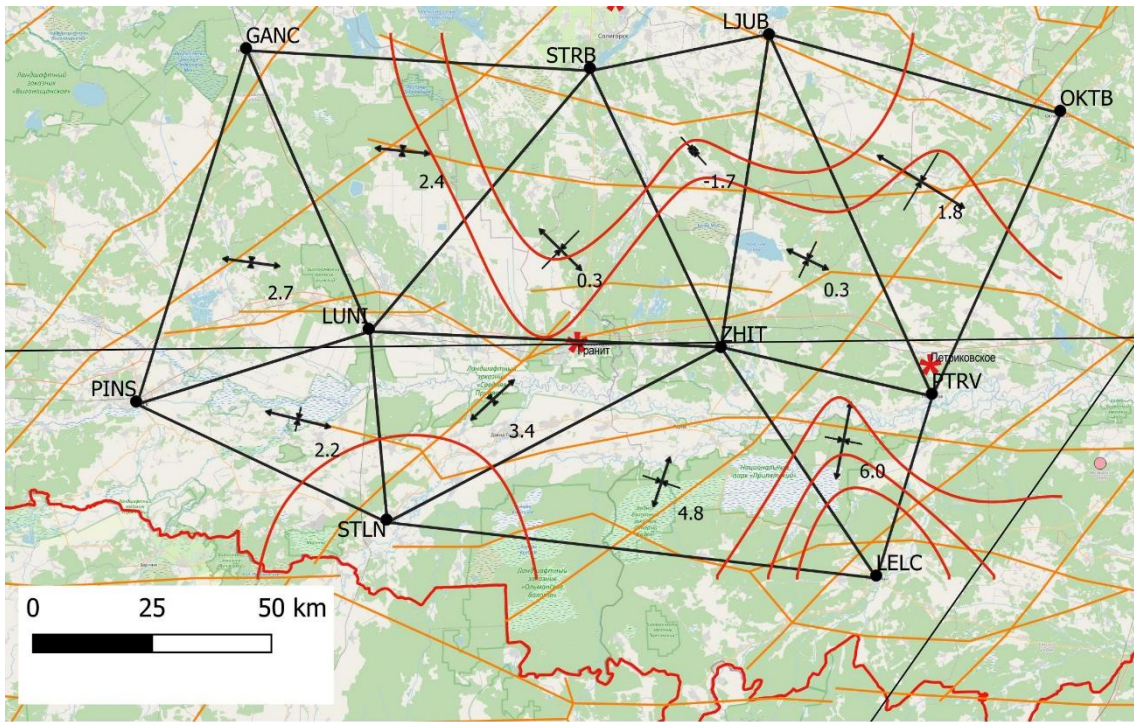


Рис. 3.8 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Житковичского полигона за 2018 – 2020 годы.

### 3.3.3. Брестский полигон

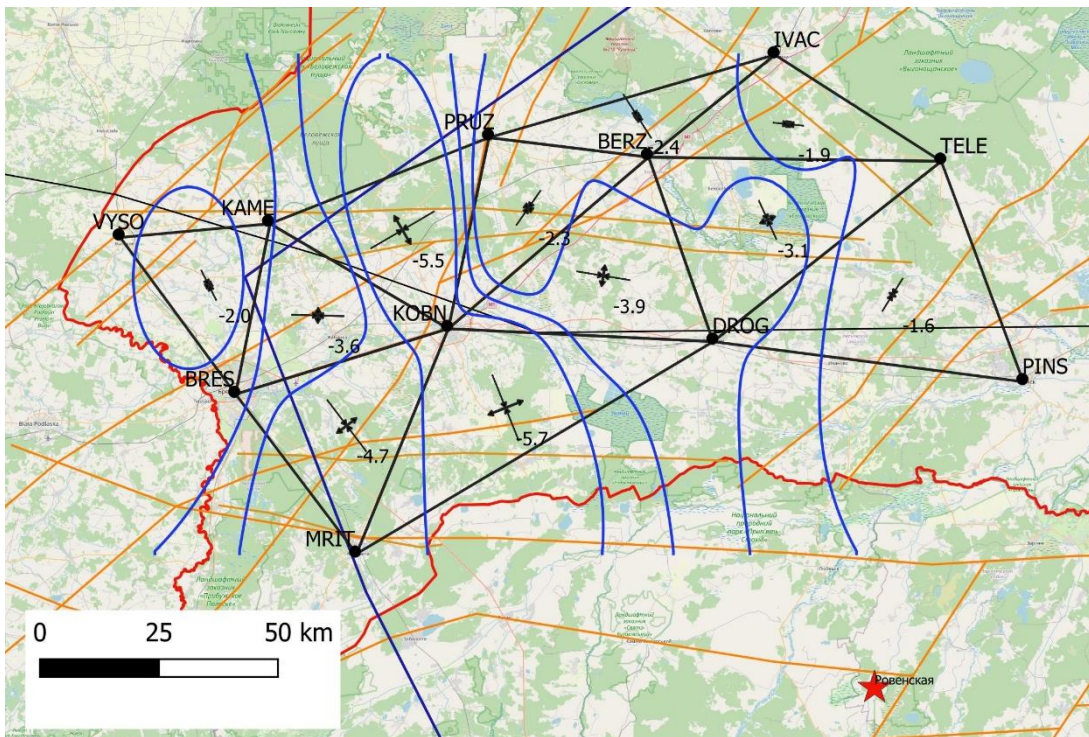


Рис. 3.9 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Брестского полигона за 2016 – 2017 годы.



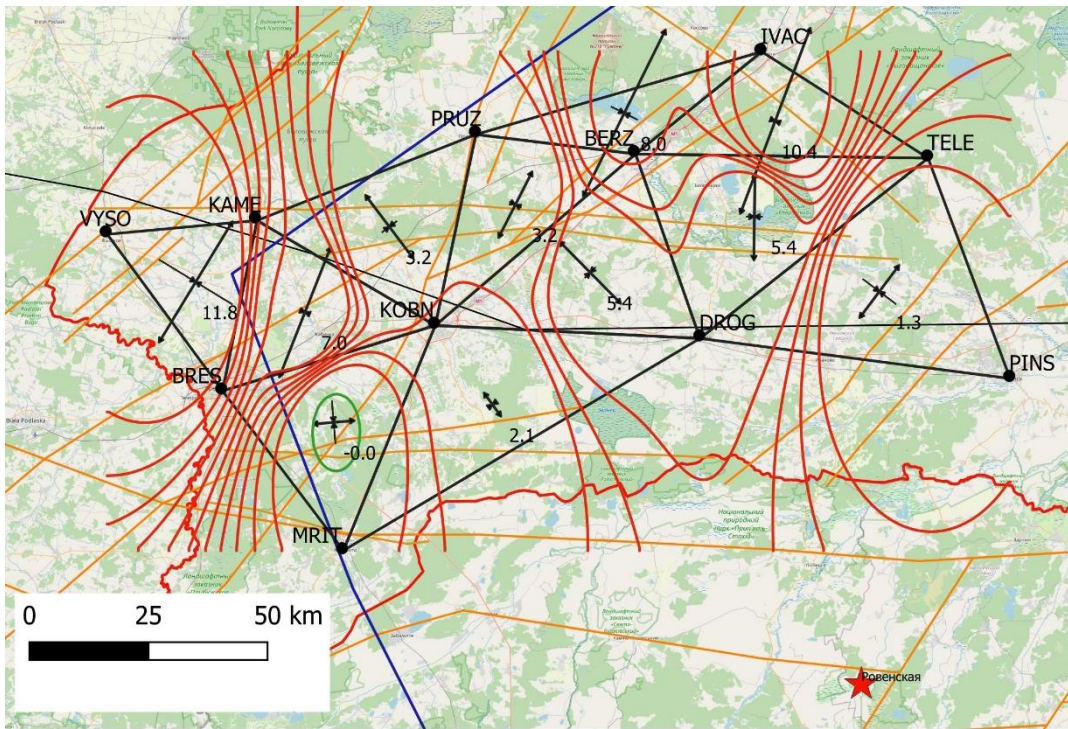


Рис. 3.10 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Брестского полигона за 2017 – 2018 годы.

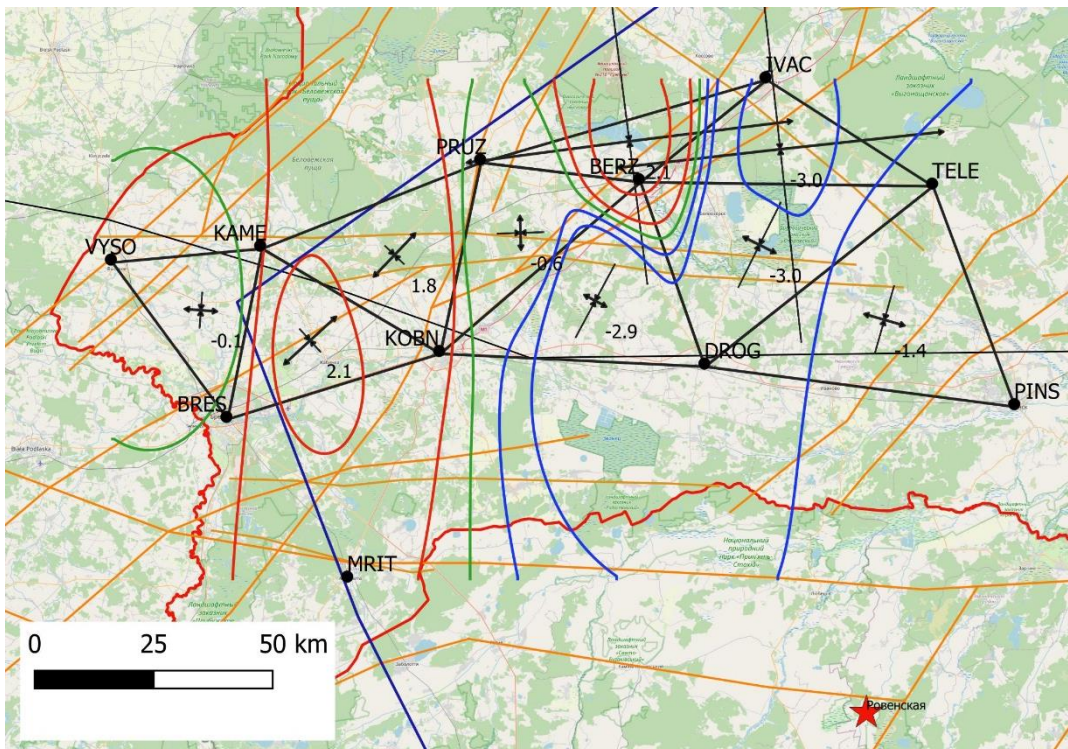


Рис. 3.11 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Брестского полигона за 2018 – 2020 годы.

Брестский полигон (рис. 3.9 – 3.11) характеризуется достаточно высокой активностью. Дилатация меняет знак для всех треугольников в 2017 – 2018 годы, а для



восточных треугольников (Кобрин – Берёза – Дрогичин, Берёза – Дрогичин – Телеханы, Берёза - Ивацевичи – Телеханы, Дрогичин – Телеханы – Пинск) – в эпоху 2018 – 2020 знак меняется обратно на отрицательный во второй раз. Полагаем, что активность приурочена к Каменецкому, Ляховичскому, Берестовицкому разломам.

### 3.3.4. Островецкий полигон

Островецкий полигон (рис. 3.12 – 3.13) получился наиболее активным из рассмотренных. Величина дилатации треугольников, пересекаемых Ошмянским разломом, в эпоху 2017 – 2019 достигает  $2 \cdot 10^{-7}$ . Белорусская АЭС находится в зоне действия этих деформаций и это может вызывать беспокойство. Однако, следует учесть, что, во-первых, на рисунках изолинии, проходящие в районе АЭС, показывают смоделированные интерполяцией модельные значения дилатации, а реальные значения могут отличаться; во-вторых, АЭС лежит в стороне от разрывных структур. В случае движения активных блоков земной коры, площадка АЭС будет двигаться вся целиком, что не вызовет её разрушений. Более того, АЭС спроектирована с большим запасом сейсмической прочности.

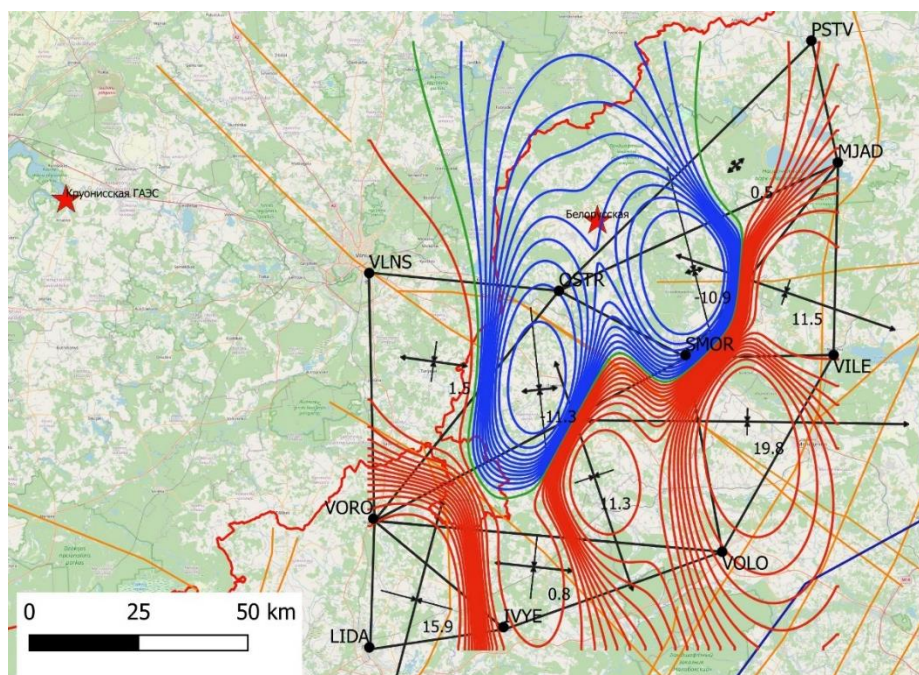


Рис. 3.12 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Островецкого полигона за 2017 – 2019 годы.



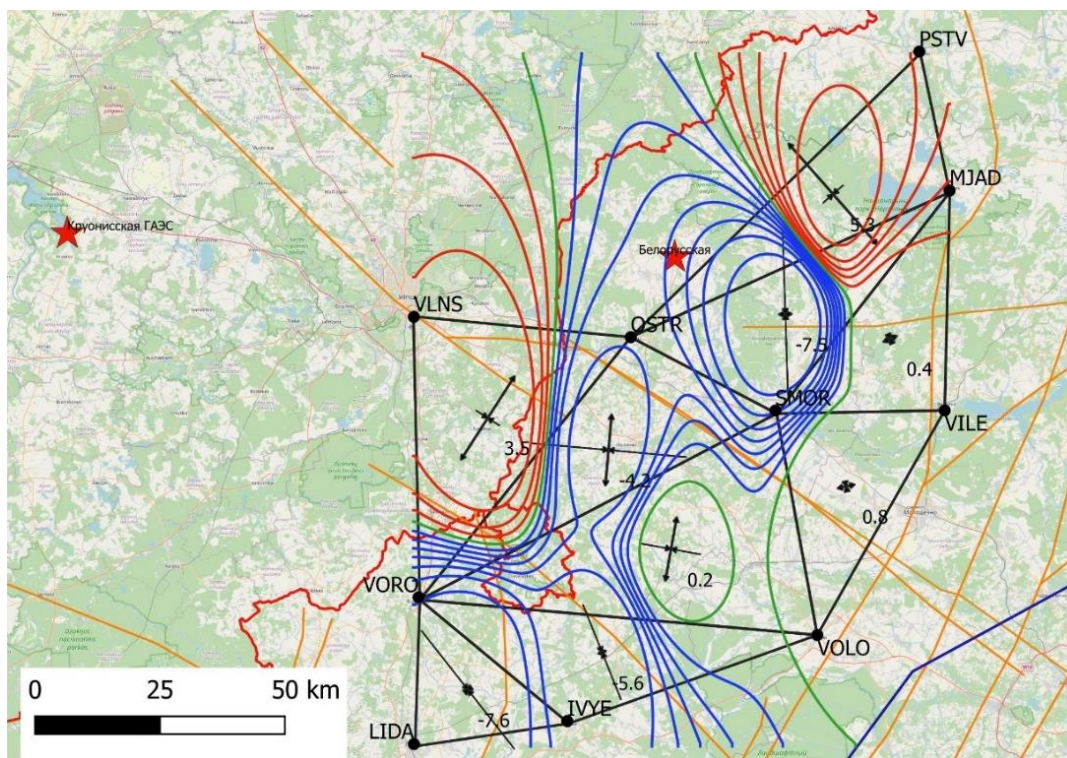


Рис. 3.13 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Островецкого полигона за 2019 – 2020 годы.

### 3.3.5. Полоцкий полигон

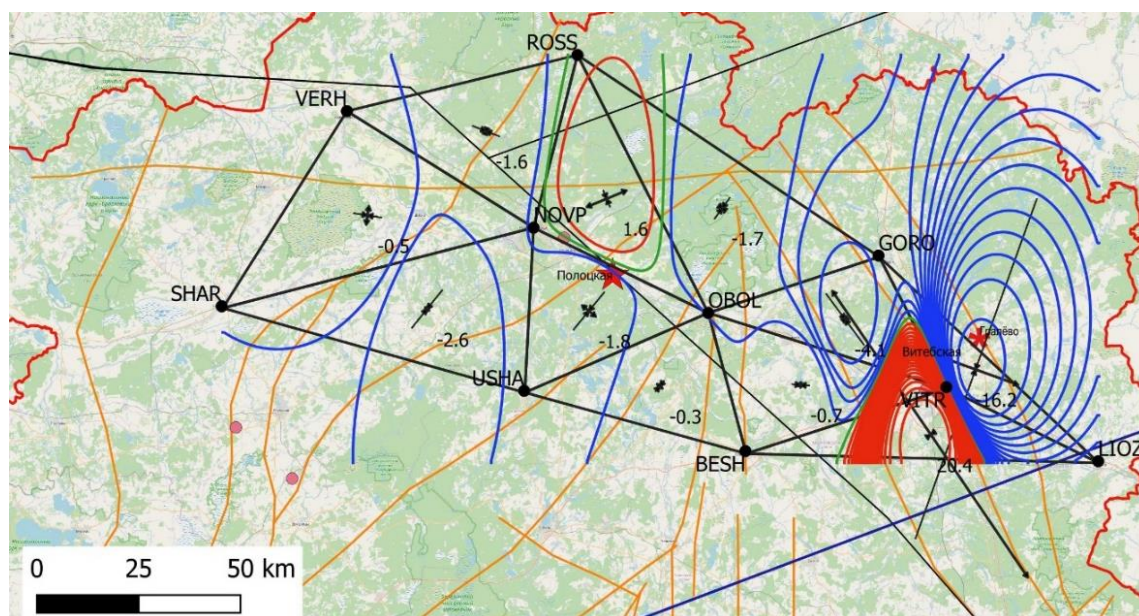


Рис. 3.14 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Полоцкого полигона за 2016 – 2017 годы.



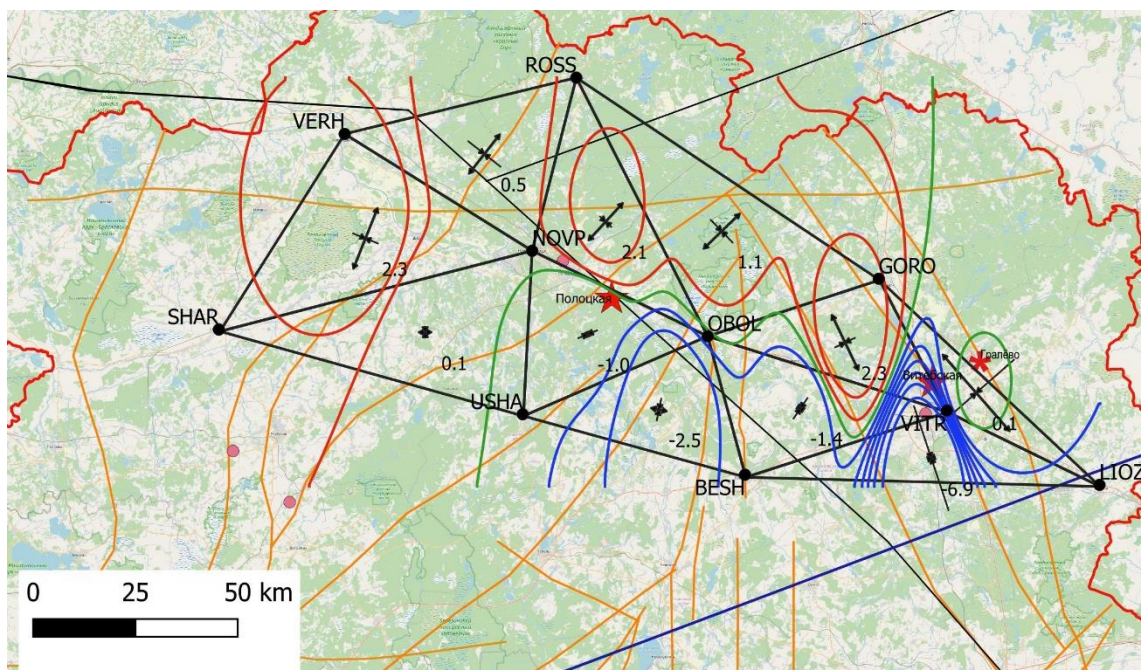


Рис. 3.15 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Полоцкого полигона за 2017 – 2018 годы.

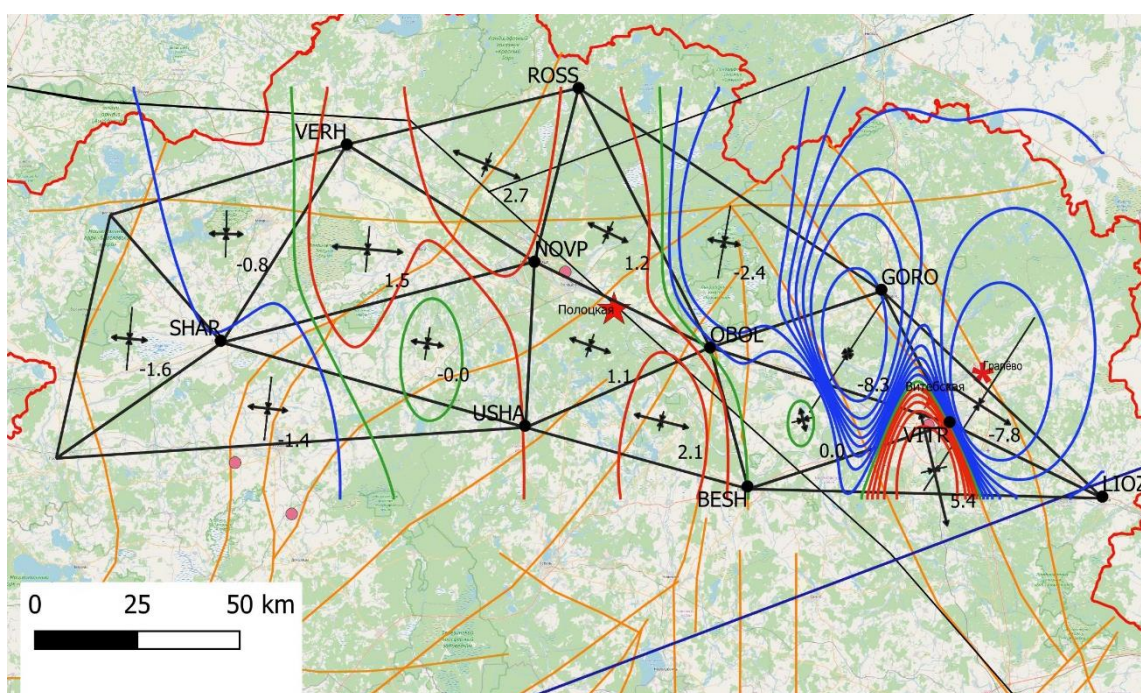


Рис. 3.16 – карта распределения дилатации, максимального и минимального растяжений для Полоцкого полигона за 2018 – 2019 годы.

В целом Полоцкий полигон (рис. 3.14 – 3.16) характеризуется невысокой активностью, выделяются только треугольники Бешенковичи – Витебск – Лиозно, Лиозно

– Витебск – Городок, Городок – Витебск – Оболь. Считаем активность связанной с Руднянским и Витебским разломами.

Из литературы [23] известно, что геодезические методы позволяют определить компоненты деформаций величиной более  $1 \cdot 10^{-6}$ . В нашем случае все величины получились порядка  $10^{-7} - 10^{-8}$ . Как можно увидеть из таблиц разностей наклонных дальностей, величины деформаций гораздо меньше точности измерения расстояний методом ГНСС-наблюдений. Однако, в целом можно заметить, что исследование отражает реальную картину современных движений земной коры на территории Беларуси. Гомельский полигон, испещренный молодыми разломами центральной части Припятского прогиба, показал более высокую активность, чем Житковичский, Полоцкий, Брестский полигоны. Выбивается из общей картины Островецкий полигон, на котором получились самые большие абсолютные значения дилатации. Для проверки этих значений необходимо продолжить исследования в следующие эпохи, а также более глубоко проработать вопрос оценки точности исходных данных.

В Приложении приведены таблицы со значениями наклонных дальностей и их разностями по эпохам.

Оценка точности (поля с префиксом \_m) выполнена по следующей формуле:

$$m_D = \sqrt{m_{D_1}^2 + m_{D_2}^2} \quad (3.3)$$

$m_{D_1}$ ,  $m_{D_2}$  - СКО вычисления наклонной дальности в первую и вторую эпохи соответственно.

### 3.4. Анализ данных дистанционного зондирования

Для первоначальной обработки космического снимка будем использовать программный продукт Multispec. Multispec является свободно распространяемым ПО для обработки ДДЗ. Позволяет осуществлять синтез каналов изображения, классификацию с обучением и без обучения, сохранение в форматы, пригодные для обработки в других программных продуктах.

Произведем синтез ближнего инфракрасного, зеленого и синего каналов. Получаем изображение в цветах, близких к натуральным. Такая комбинация каналов позволяет увеличить контраст изображения, четко отобразить покрытые и непокрытые растительностью участки.



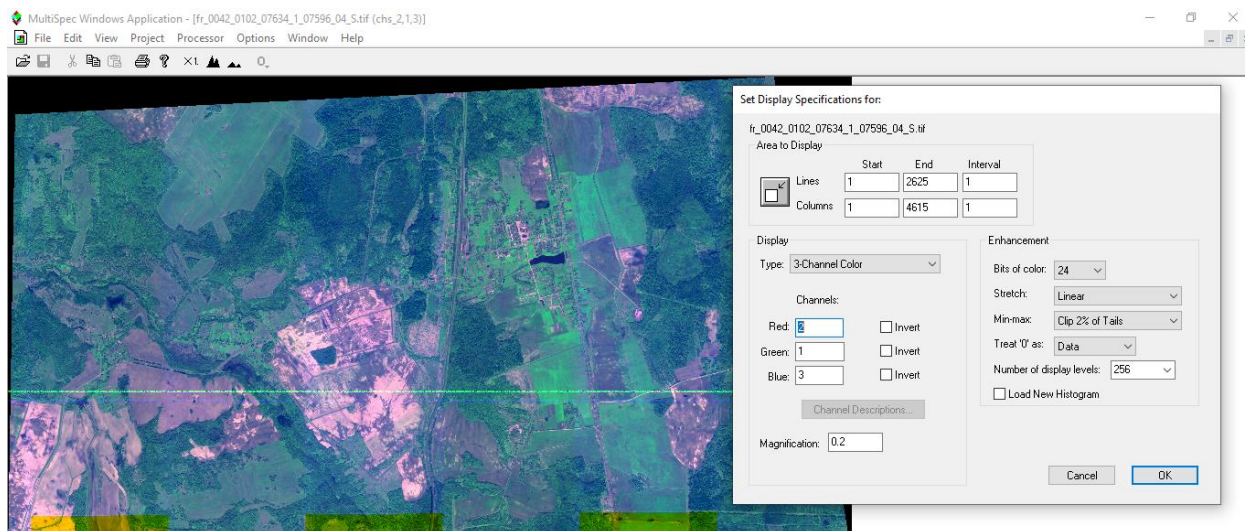


Рис. 3.17 – синтез каналов космического снимка с аппарата Ресурс-П в MultiSpec (Ближний инфракрасный, синий, зеленый каналы)

Далее сохраняем синтезированное изображение в формат TIFF, загружаем его в QGIS и с помощью модуля пространственной привязки растров задаем ему систему координат.

Затем выполняем визуальное дешифрирование линейных тектонических структур. При дешифрировании обращаем внимание на характерные протяженные объекты: вытянутые водоемы, спрямленные участки рек, линейно вытянутые участки растительности, приуроченные к долинам рек либо протяженным формам рельефа. Инженерные объекты, такие как автомобильные и железные дороги, также могут выступать в качестве дешифровочных признаков, так как зачастую проектируются с учетом существующего рельефа однако, их следует рассматривать в совокупности с другими признаками.

На рис. 3.18 можно увидеть выявленные по снимку линейные тектонические структуры. Теперь сравним полученные нами в результате визуального дешифрирования структуры с разломами, нанесенными по материалам монографии Махнача, а также космогенной карты Гарецкого-Каратаева (рис. 3.19).

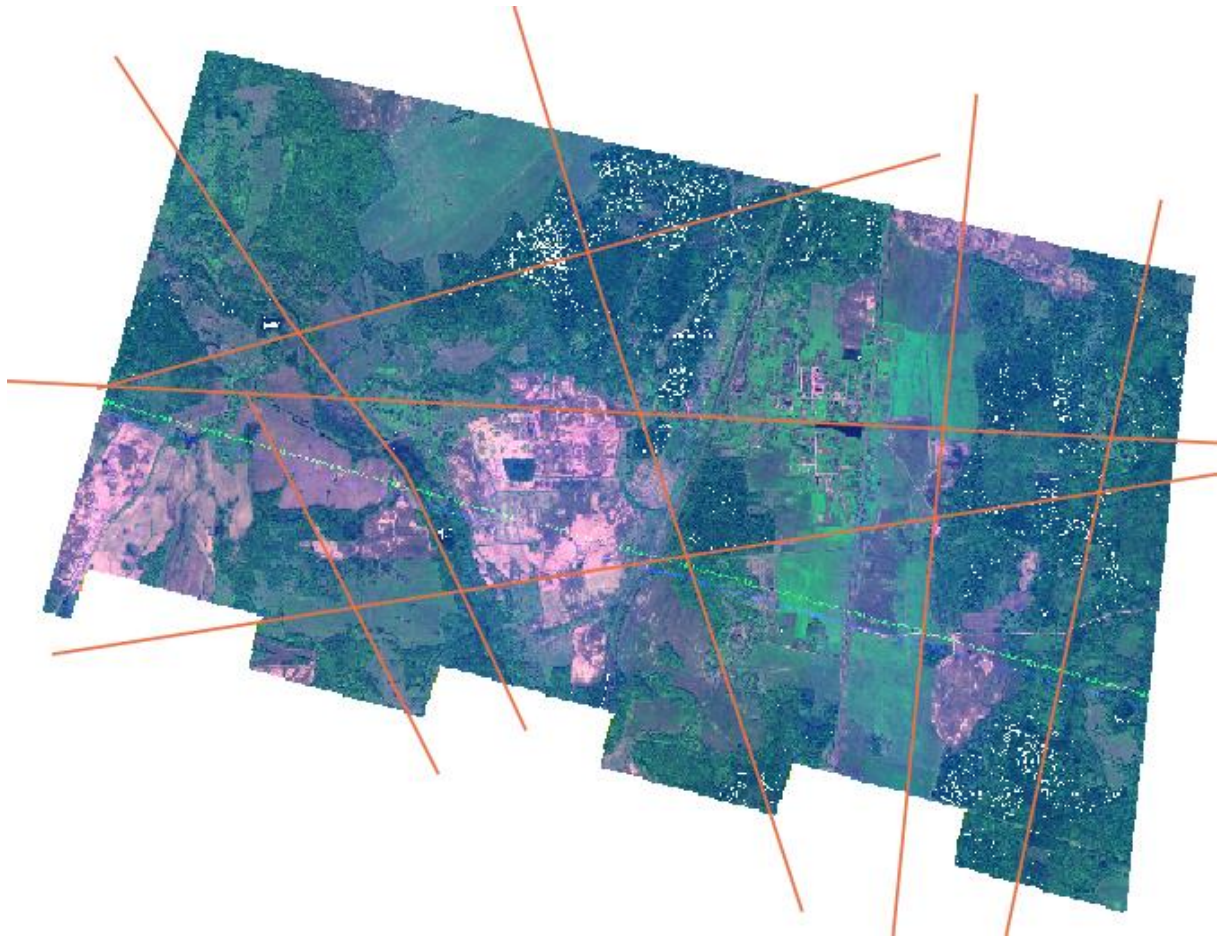


Рис. 3.18 – результат линеаментного дешифрирования космического снимка

Можно заметить, что путем визуального дешифрирования удалось достаточно точно нанести существующие разломы. Руднянскому разлому субмеридионального простирания на данном космоснимке соответствует спрямленный участок русла реки Чарнуйка, а Полоцкий субширотного простирания прослеживается в очертаниях участков пашни и лесных массивов. По центру снимка нами нанесен широтный разлом, соответствующий вытянутому водоёму в п. Бычиха и участку русла реки Симаниха, который можно считать частью структуры Полоцкого разлома. Таким образом, мы подтвердили, что тектонические разломы достаточно хорошо дешифрируются на космических снимках в видимом диапазоне по косвенным признакам. Для структурного дешифрирования хорошо подходят данные, содержащие инфракрасный или ближний инфракрасный спектральный канал.





Рис. 3.19 – разломы по данным монографии Махнача (оранжевый цвет) и космотектонической карты (красный цвет).

## ГЛАВА 4. СОСТАВЛЕНИЕ ГИС-ПРОЕКТА (ОКОНЧАНИЕ). РАЗРАБОТКА ТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ОКОНЧАНИЕ). КОМАНДИРОВКА ПО БЕЛАРУСИ

### 4.1 Завершение ГИС-проекта

На территории Беларуси достаточно широко представлены конусовидные формы антропогенного рельефа: отвалы породы, карьеры. Как мы знаем из гравиметрии, все перераспределения масс оказывают влияние на результаты повторных геодезических измерений. Конусовидные формы рельефа на территории Беларуси недостаточно изучены, трудно найти описания породного состава и детальные карты. Однако, нам необходимо сделать задел на перспективу использования данных о таких формах рельефа в рамках нашего ГИС-проекта. Для выполнения анализа воспользуемся доступными данными по Большому трещинному Толбачинскому извержению на полуострове Камчатка.

Как известно, метод повторного нивелирования широко используется при определении деформаций различных объектов: земной коры, грунта, инженерных сооружений, территорий шахтных разработок и т.д. По данным повторного нивелирования построены, например, карты скоростей современных вертикальных движений земной коры (ССВДЗК), во всем мире результаты повторного нивелирования активно применяются при поиске предвестников землетрясений и извержений вулканов, а также при определении количественных характеристик деформаций, сопровождающих эти события. Однако не следует забывать, что геометрическое нивелирование дает расстояния между уровенными поверхностями, проходящими через нивелирные репера и характеризующимися потенциалами силы тяжести. Сравнение результатов повторного нивелирования несет информацию об изменении этих потенциалов между эпохами наблюдений относительно потенциала силы тяжести на исходной точке (начало счета высот, стабильный репер на исследуемой линии, соседний репер, если анализ деформаций выполняется по превышениям, или задняя рейка, если оценивается влияние ВГП на превышение на станции), то есть по формуле (1) [5].

$$\delta(W_0 - W_i) = \int_{0_i} (\delta g \cdot dh + g \cdot \delta dh) \approx \sum_{0_i} (\delta g \cdot \Delta h + g \cdot \delta \Delta h) \quad (4.1)$$

где  $W_0, W_i$  – потенциалы силы тяжести на исходном и текущем реперах соответственно;

$\delta(W_0 - W_i)$  – изменение разностей потенциалов силы тяжести ( $W_0 - W_i$ ) между сравниваемыми эпохами нивелирования;

$g, \delta g$  – сила тяжести и её изменение между эпохами;

$dh$  – элементарное превышение;

$\Delta h, \delta \Delta h$  - превышение между некоторыми промежуточными реперами на пути от точки 0 к точке  $i$  и его изменение между эпохами.

Как следует из формулы (1), если гравитационное поле непостоянно, в результатах сравнения данных повторного нивелирования будет присутствовать гравитационный эффект, искажающий величину вертикальных деформаций исследуемого объекта.

В реальных условиях на Земле непрерывно происходят эндогенные, экзогенные и техногенные процессы, перераспределяющие вещество земной поверхности и недр, а значит, гравитационное поле меняется с течением времени.

Среди процессов, вызывающих вариации гравитационного поля (ВГП) Земли, могут быть как природного происхождения (вулканизм, землетрясения и т.д.), так и техногенные вмешательства, которые на сегодня характеризуются объемами перераспределенных масс в миллиарды кубических метров переработанной горной породы в местах шахтных разработок или водных масс в районах водохранилищ крупных ГЭС. Этот факт особенно актуален при анализе повторных геодезических измерений на геодинимических полигонах (ГДП). Строго говоря, каждая эпоха геодезических наблюдений на ГДП должна сопровождаться высокоточными гравиметрическими измерениями с тем, чтобы при вычислении параметров деформаций оказалось возможным определение и введение поправок за изменение гравитационного поля в результаты сравниваемых геодезических измерений. На эту тему в научных статьях приводятся довольно впечатляющие результаты. Так, например, половина величины подъема Большого Кавказского хребта, выявляемого повторными нивелировками, объясняется ВГП [24], а изменения нивелирных превышений, достигшие 10 см при землетрясении 1971 г. в Сан-Фернандо, завышены примерно на 3 см из-за неучета ВГП [25]. Повышение уровня воды в водохранилище Токтогульской ГЭС на 25 м приводит к смещению уровенной поверхности для ряда реперов ГДП этой ГЭС на (1,6-4,9) мм.

Как известно, смещение уровенной поверхности в точке земной поверхности за изменение гравитационного поля выражается формулой

$$\delta_u = \frac{\Delta V}{\gamma} \quad , \quad (4.2)$$

где  $\delta_u$ ,  $\Delta V$  - смещение уровенной поверхности и изменение потенциала тяготения, соответственно, в исследуемой точке за ВГП;

$\gamma$  – нормальная сила тяжести в точке, определяемая по формуле (4.3).

$$\gamma = \gamma_0 - 0,3086 * H \quad (4.3)$$

$\gamma_0$  вычисляется по формуле Гельмерта по широте  $B$  исследуемой точки,

$H$  – высота точки.

$$\gamma_0 = 978030(1 + 0,005302\sin^2 B - 0,000007\sin^2 2B) \quad (4.4)$$

Изменение потенциала тяготения  $\Delta V$  находят по известной формуле (4.5) вычисления потенциала тяготения объемных масс (масс воды в случае оценки влияния на смещение уровенной поверхности водохранилища, масс горной породы - при оценке влияния ландшафтных изменений при вулканических извержениях или образования отвалов и конусов при разработке месторождений полезных ископаемых), вызывающих ВГП:

$$\Delta V = G * \rho \iiint_{\tau} \frac{d\tau}{r} \quad (4.5)$$

где  $G \approx 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$  – гравитационная постоянная;

$\rho$  – плотность масс, вызывающих ВГП;

$\tau$  – объем масс;

$r$  – расстояние от оцениваемой точки до текущего объема.

Решение по формуле (4.5) выполняют методом численного интегрирования, для чего вызывающий ВГП объем  $\tau$  разбивают на элементарные объемы (массы), вычисляют вклад каждого такого элементарного объема (массы) в изменение потенциала тяготения ( $\Delta V_i$ ), а затем суммируют, то есть

$$\Delta V = \sum_1^n \Delta V_i = G * \rho \sum_1^n \frac{\Delta \tau_i}{r_i} \quad (4.6)$$

где  $\Delta\tau_i$  – текущий элементарный объем,  $r_i$  – текущее расстояние или расстояние от исследуемой точки до текущего объема,  $n$  – число элементарных объемов (масс) и соответственно число вызванных ими элементарных изменений потенциала тяготения  $\Delta V_i$ .

С учетом (6) перепишем формулу (2) для любой исследуемой точки  $k$  (репера, точки стояния нивелирной рейки и т.д.) в виде

$$\delta_u(k) = \frac{G * \rho \sum_1^n \frac{\Delta\tau_i}{r_{ik}}}{\gamma_k}, \quad (4.7)$$

где  $\Delta\tau_i$  – элементарный объем,  $r_{ik}$  – текущее расстояние от исследуемой точки  $k$  до элементарного объема,  $\gamma_k$  – нормальная сила тяжести в исследуемой точке.

Как следует из (4.7), задача сводится к оптимальному разбиению вызывающего ВГП объема масс на элементарные объемы и грамотному оцениванию вклада каждой элементарной массы (объема) в изменение потенциала тяготения на исследуемой точке.

Анализ показывает [26], что при всех особенностях протекания у природных и техногенных процессов, связанных с перераспределением масс, вызывающих ВГП, обнаруживаются общие черты. Например, в сходстве форм рельефа: терриконы и отвалы пород напоминают конуса вулканов, а просадки поверхности техногенного характера часто бывает непросто отличить от карстовых и суффозионных просядок естественного характера. Все эти формы рельефа характеризуют геометрические тела схожей формы, близкие к конусу и усеченному конусу.

Традиционно применяемые алгоритмы разбиения вызывающих ВГП масс, такие как основанные на круговой палетке Еремеева [Остач, 1984; [27]], а также алгоритм аппроксимации конусовидных тел, представленный Б.Т.Мазуровым в статье [28], работающий для конусов с формой основания, близкой к правильному кругу, не предполагают использование ГИС-технологий, возможности которых могут существенно повысить точность конечного результата.

Для реализации в ГИС выберем прямоугольную модель разбиения основания конуса (квазиконуса).

Предлагаемая технология применения современных средств геопространственного анализа для учета влияния вариаций гравитационного поля на результаты повторного нивелирования при исследовании деформаций природных и инженерных объектов была апробирована нами на вулканических конусах Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) (полуостров Камчатка, 1975-76 гг.).

За исходные данные к расчетам взяты карта вулканических конусов Северного прорыва БТТИ, представленная в изопахитах накопления породы, сведения о режиме извержения [29], и схемы линий выполняемого здесь повторного нивелирования (рис. 2).

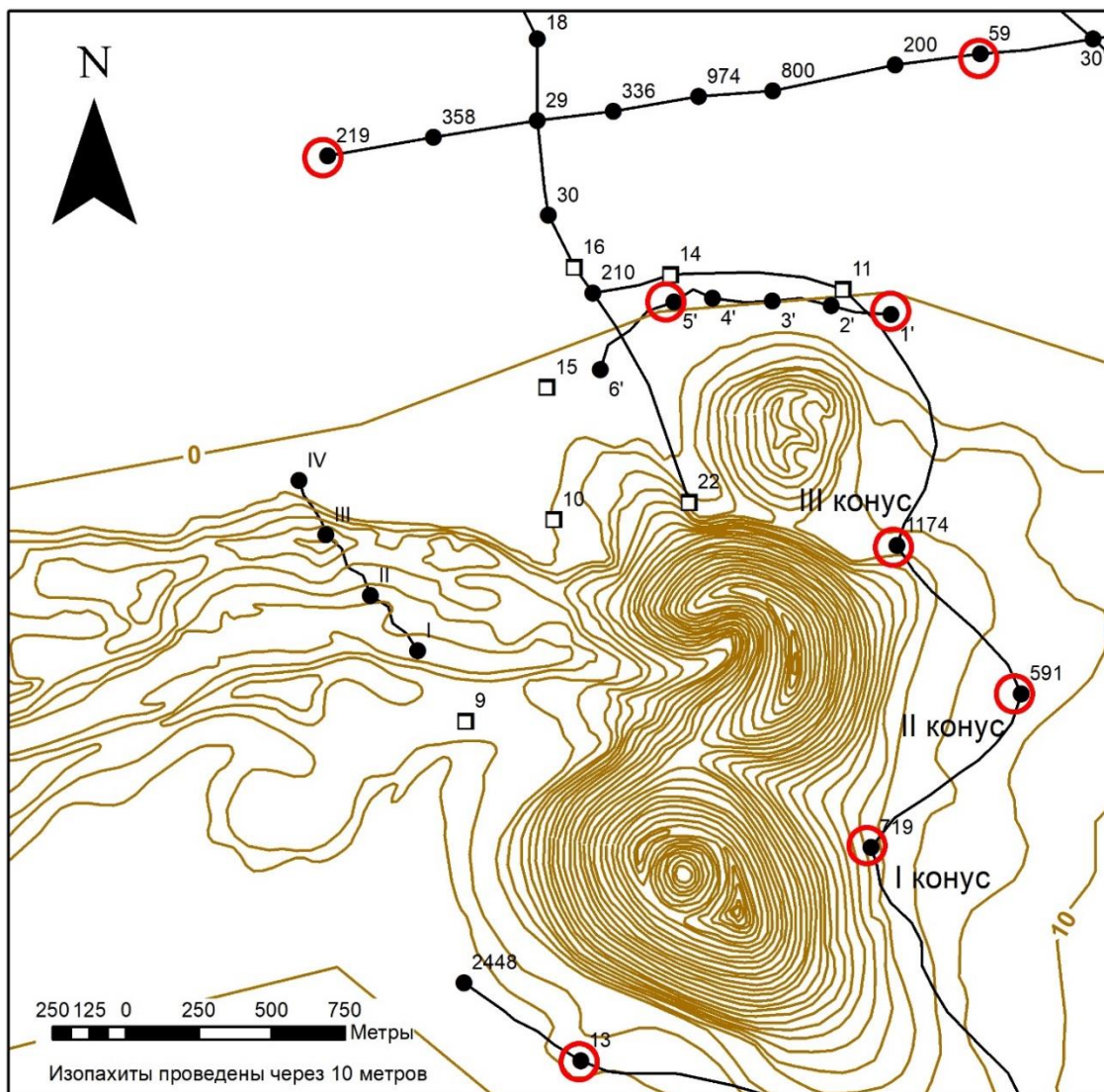


Рис. 4.1 – схема расположения конусов Северного прорыва БТТИ и нивелирных реперов, заложенных для изучения деформаций земной коры в результате извержения, построенная в изопахитах мощности изверженных пород. Красным обведены реперы, использованные для сравнения двух моделей разбегания в данной статье

В качестве программной среды для производства необходимых вычислений выбран программный продукт ESRI ArcScene версии 10.6.1 с модулем 3D Analyst, который имеет наиболее совершенные на сегодняшний день инструменты трехмерного геопространственного анализа.

Исходная бумажная карта с расположением конусов и исследуемых нивелировок переведена в цифровой вид с помощью сканера, привязана в прямоугольной системе координат проекции Гаусса-Крюгера 27-й зоны при помощи космического ортофотоплана (источник – Яндекс-карты). Изопахиты переведены в векторный вид с добавлением атрибутов высоты.

Вычисление элементарных объемов производилось по замкнутым объектам типа Multipatch, а их построение - с помощью инструмента Extrude Between модуля 3D Analyst. В этом случае инструмент принимает на вход две поверхности, то есть два сечения квазиконуса изопахитами, и полигональный набор данных в виде координат сетки нижней поверхности, который вытягивается (экструдировается) между выбранными поверхностями. При этом важно, чтобы верхний, нижний и боковые края полученного объекта (вытягиваемой призмы) в точности повторили форму поверхности каждого участка квазиконуса, выраженного координатами вершин изопахиты.

В расчетах шаг аппроксимирующей сетки был принят равным 50 м как в плане, так и по высоте. Далее по имеющимся изопахитам был создан набор TIN-моделей с шагом 50 м: для высот 0 – 50 м, 50 – 100 м, 100 – 150 м и т.д.

Для построения радиальной регулярной сетки разработан скрипт на языке python с использованием библиотек rushr и numru. Шаг сетки вдоль радиуса выбран равным 50 м, угловой размер сектора – 5°. Построено три фрагмента сетки, по одному для каждого из конусов.

Для разбиения прямоугольной моделью построена регулярная сетка квадратных полигонов с шагом 50 м.

Замкнутые изопахиты для высот, кратных 50, преобразуем в полигоны. Обрезаем сетку каждым из полигонов, чтобы сгладить края будущей модели, создавая тем самым набор данных для вытягивания между поверхностями. Применяем инструмент Extrude Between для каждой пары TIN-моделей и полигонального набора, соответствующего нижней модели (для слоя 0 и 50 м берем полигоны для 0 м, для 50 и 100 – 50 м и т.д.). Полученные наборы объектов Multipatch для разных высот объединяем в один общий набор с помощью инструмента Merge набора инструментов Geoprocessing.

Объем объекта Multipatch в ArcGIS может быть вычислен только для замкнутого объекта, поэтому необходимо контролировать замкнутость с помощью инструмента Is Closed 3D. При этом в атрибутивной таблице создается поле IsClosed (рис 4). При обнаружении незамкнутых объектов следует произвести их замыкание инструментом Enclose Multipatch. Параметр Grid size при этом выбираем 0,05: при больших значениях



инструмент искажает объем мультипатча на величину нескольких кубических метров, а при меньших значениях наблюдается крайне низкая скорость выполнения.

Объемы полученных объектов вычисляем инструментом Add Z Information (поле Volume на рис. 3).

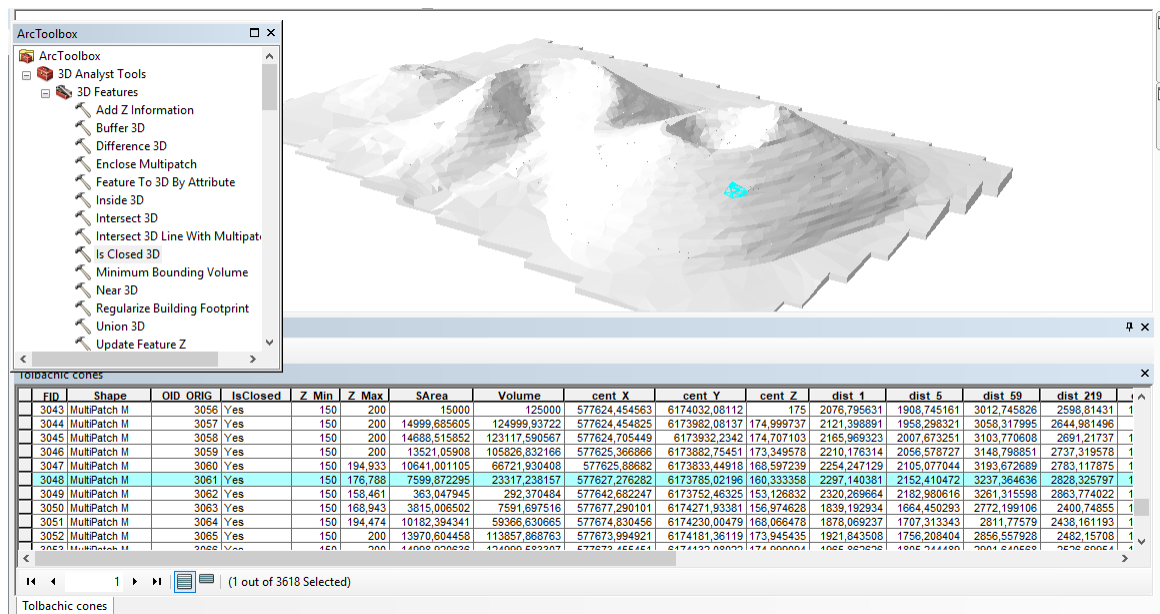


Рис. 4.2 – прямоугольная модель разбиения конусов Северного прорыва БТТИ и фрагмент атрибутивной таблицы (выделен один из элементарных объемов)

Наклонное расстояние от пункта нивелирования до центра масс каждого элементарного объема определялось по формуле (4.8)

$$r = \sqrt{(X_{\text{цмэо}} - X_p)^2 + (Y_{\text{цмэо}} - Y_p)^2 + (Z_{\text{цмэо}} - Z_p)^2} \quad (4.8)$$

где  $X_{\text{цмэо}}$ ,  $Y_{\text{цмэо}}$ ,  $Z_{\text{цмэо}}$  – координаты центра масс элементарного объема;  
 $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$  – координаты репера (или любой оцениваемой точки).

Координаты центров масс рассчитаны при помощи инструмента «Вычислить геометрию» в атрибутивной таблице с предварительным созданием соответствующего координатного поля (cent\_X, cent\_Y, cent\_Z).

Для удобства в атрибутивной таблице элементарных объемов создавалось отдельное поле для расстояния до каждого из реперов, затем – для влияния каждого элементарного объема на потенциал тяготения для каждого из реперов, заданного координатами.



Таким образом, выполнив разбиение конусов на элементарные объемы с применением прямоугольной модели, в соответствии с изложенной технологией можно определить величину смещения уровенной поверхности не только для отдельного интересующего нас репера, но и по превышениям на каждой станции нивелирных секций по профилям повторного нивелирования (рис. 4.2).

Расчеты по превышениям на каждой станции нивелирных секций произведены только для прямоугольной модели разбиения для профилей I-IV и 1'-6' (рис. 2) и даны в таблице 3. Результаты этого расчета нам представляются более строгими как максимально соответствующие природе влияния ВГП согласно методике геометрического нивелирования. Ведь в данном случае оценивается влияние ВГП отдельно на отсчеты по задней и передней рейкам, а их разности, соответственно, - как влияние на превышение на станции. Суммарное влияние ВГП на превышения по секции будет складываться из накопления влияний на превышения по станциям, а затем в каждый репер - как накопление влияний в превышения по секциям относительно начального репера профиля, принятого за исходный. Кроме того, в представленных в таблице 3 расчетах по превышениям учтено перераспределение масс за счет провала кальдеры вулкана Плоский Толбачик, произошедшего после образования первых двух Толбачинских конусов Северного прорыва [29].

Таблица 4.1 –Влияние ВГП на нивелирные профили I-IV и 1'-6', рассчитанные по превышениям на станции (прямоугольная модель)

№ репера	Поправка $\delta_n$ за ВГП в превышение в мм	$\delta_n$	Поправка $\delta_n$ за ВГП в превышение в мм (провал)	$\delta_n$ (провал)	Суммарное влияние
1	2	3	4	5	6
<b>Профиль I - IV</b>					
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС</b>					
I		0,0		0,000	0
	0,442		-0,001		
II		0,442		-0,001	0,441
	0,315		-0,001		
III		0,757		-0,002	0,755
	0,185		-0,001		
IV		0,941		-0,003	0,938
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС+ВТОРОЙ КОНУС</b>					
I		0,000		0,000	0,000
	0,689		-0,001		
II		0,689		-0,001	0,688
	0,522		-0,002		
III		1,211		-0,003	1,208
	0,309		-0,002		
IV		1,520		-0,005	1,515
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС+ВТОРОЙ КОНУС+ТРЕТИЙ КОНУС</b>					

Продолжение таблицы 4.1

№ репера	Поправка $\delta_h$ за ВГП в превышение в мм	$\delta_H$	Поправка $\delta_h$ за ВГП в превышение в мм (провал)	$\delta_H$ (провал)	Суммарное влияние
1	2	3	4	5	6
I		0,0		0,0	0,000
	0,698		-0,002		
II		0,698		-0,002	0,696
	0,533		-0,002		
III		1,231		-0,004	1,227
	0,317		-0,003		
IV		1,548		-0,007	1,541
<b>Профиль 1' – 6'</b>					
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС</b>					
1`		0,0		0,000	0
	-0,020		0,001		
2`		-0,020		0,001	-0,019
	-0,016		0,001		
3`		-0,036		0,002	-0,034
1	2	3	4	5	6
	-0,006		0,002		
4`		-0,042		0,004	-0,038
	-0,009		0,001		
5`		-0,051		0,005	-0,046
	-0,179		0,004		
6`		-0,230		0,009	-0,221
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС+ВТОРОЙ КОНУС</b>					
1`		0,000		0,000	0,000
	-0,068		0,001		
2`		-0,068		0,001	-0,067
	-0,038		0,002		
3`		-0,106		0,003	-0,0103
	0,013		0,002		
4`		-0,093		0,005	-0,088
	0,002		0,001		
5`		-0,091		0,006	-0,085
	-0,420		0,008		
6`		-0,510		0,014	-0,496
<b>ПЕРВЫЙ КОНУС+ВТОРОЙ КОНУС+ТРЕТИЙ КОНУС</b>					
1`		0,0		0,0	0,000
	-0,186		0,001		
2`		-0,186		0,001	-0,185
	-0,058		0,002		
3`		-0,244		0,003	-0,241
	0,112		0,002		
4`		-0,132		0,005	-0,127
	0,075		0,002		
5`		-0,057		0,007	-0,050
	-0,350		0,007		
6`		-0,407		0,014	-0,393

Анализ данных таблицы 4.1 позволил сделать следующие выводы:

- 1) приведенные в ней поправки следует действительно воспринимать как влияние ВГП за счет перераспределения масс (образование конусов и

провалов в районе БТТИ) в отметки реперов относительно исходного репера профиля; их значения меньше, чем в таблице 2, хотя оцениваемые репера профилей I-IV и 1'-6' находятся значительно ближе к конусам, чем в предыдущем случае;

- 2) влияние перераспределения масс в районе БТТИ за счет провала кальдеры вулкана Плоский Толбачик на результаты нивелирования незначительно из-за удаленности провала от нивелирных реперов;
- 3) расчет влияния ВГП за счет перераспределения масс на результаты высокоточного повторного нивелирования по превышениям на станции, который оказался возможным в среде arcgis, максимально согласуется с методикой геометрического нивелирования и, на наш взгляд, приводит к наиболее достоверным результатам.

#### **4.2. Командировка по Беларуси**

Командировка по гранту была разбита на два этапа:

- УП «ГИС» Национальной академии наук (10-13 ноября 2020)
- Национальная библиотека Республики Беларусь с целью сбора материалов для подготовки данного отчета и дальнейшего использования в диссертации (17-19 ноября 2020)

Унитарное предприятие «Геоинформационные системы» основано в 1996 году на базе лабораторий и отделов Института технической кибернетики Академии наук Беларуси, которые занимались разработками в области цифровой картографии и ГИС-технологий. Основные направления деятельности: эксплуатация Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли, проведение научных исследований в области дистанционного зондирования Земли, информационных и телекоммуникационных технологий, проектирования, разработки и создания геоинформационных систем.

Началом новой вехи в истории белорусской науки о Земле стал успешный запуск Белорусского космического аппарата дистанционного зондирования в 2012 году.

Космический аппарат оснащен панхроматической съемочной системой (ПСС), позволяющей получать черно-белые снимки с разрешением 2,1 м, и мультиспектральной съемочной системой (МСС) для получения цветных снимков с разрешением 10,5 м в четырех спектральных диапазонах длин волн от 0,45 до 0,86 мкм.

Данные спутника могут применяться для следующих целей:

1. Мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в т. ч. стихийных гидрометеорологических явлений: пожаров, паводков и наводнений;
2. создание и обновление топографических и навигационных карт масштаба 1:25 000 – 1: 100 000;
3. контроль за землепользованием и сельскохозяйственным производством;
4. мониторинг изменений в лесном фонде, выполнение лесоустроительных работ, автоматизированная инвентаризация, контроль лесовосстановительных работ;
5. мониторинг объектов мелиоративного фонда;
6. инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры, добычи полезных ископаемых;
7. наблюдение за объектами нефтегазового комплекса;
8. выявление площадей, перспективных на поиск полезных ископаемых;
9. контроль природных ресурсов и экологии шельфа;
10. контроль естественных и возобновляемых природных ресурсов;
11. экологический контроль окружающей среды [32].

Управление спутником осуществляет Центр управления полетами. Передающее оборудование наземного сегмента системы дистанционного зондирования располагается в поселке Плещеницы Логойского района Минской области. Принимающее оборудование находится непосредственно на крыше объединенного института проблем информатики Академии наук. Помимо Белорусского космического аппарата, оборудование получает данные с метеорологических спутников TERRA (США), AQUA (США – Япония – Бразилия), SUOMI-NPP (США), NOAA-20 (США – Япония – Бразилия), MetOp (Европейский союз). Данные, предоставляемые этими спутниками, доступны для скачивания на бесплатной основе на сайте [meteoeye.gis.by](http://meteoeye.gis.by). Подробную информацию об используемых на спутниках сенсорах и форматах данных можно получить в телеграм-канале сервиса [t.me/meteoeye](https://t.me/meteoeye) [33].

С точки зрения геодинамики наиболее интересны данные радарной съемки с сантиметрового диапазона длин волн. В результате совместной обработки разновременных данных методом радиоинтерферометрии можно определить величины вертикальных деформаций поверхностей, не покрытых растительностью, с точностью до 4 мм. На территории Беларуси это особенно актуально для районов разработки месторождений полезных ископаемых – калийных солей в районе Старобина, нефти в районе Речицы. Использование

радарной съемки высокого разрешения позволяет оценивать деформации относительно небольших инженерных объектов – мостов, дорожного полотна, отдельных зданий.

Наиболее доступны бесплатные радарные данные низкого разрешения Sentinel, которые доступны на сайте <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Базовую обработку (получение интерферограммы без количественной оценки смещений можно выполнить в свободном ПО SNAP [35]).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках нашей работы мы проанализировали программное обеспечение для обработки геопространственных данных. Были проанализированы такие продукты для обработки ГНСС-наблюдений как Trimble Business Center, Leica Intinity, Кредо ГНСС; такие ГИС-пакеты, как QGIS, ArcGIS. В итоге было принято решение проводить обработку ГНСС-наблюдений в Trimble Business Center, а разрабатывать ГИС-проект в QGIS.

При разработке ГИС-проекта использованы данные из различных источников, полученные разными методами. Данные объединены в составные тематические слои. С помощью ГИС-проекта произведено планирование исследований и выполнена закупка данных Спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь, данных дистанционного зондирования с космического аппарата Ресурс-П.

В результате анализа повторных ГНСС-наблюдений с помощью программного модуля на языке python построены карты деформаций для шести полигонов, расположенных в различных регионах Беларуси. Результаты согласуются с расположением активных структур на территории страны и в целом соответствуют стабильному режиму Восточно-Европейской платформы. Гомельский регион характеризуется наибольшей изрезанностью тектоническими разломами, а Припятский прогиб является самой молодой структурой на территории страны. Неожиданно большими получились деформации для Островецкого полигона. Вместе с тем, учитывая малый порядок величин деформаций, который не превышает точность измерений, а также запас сейсмической прочности Белорусской АЭС, полученные результаты не должны вызывать беспокойства.

В результате дешифрирования космического снимка получены линеаменты, которые хорошо согласуются с разломами по данным космотектонической карты и монографии «Геология Беларуси».

Разработанный в рамках работы ГИС-проект позволит эффективно планировать исследования геодинамики Беларуси, основанные на междисциплинарном подходе, а также представлять их результаты. Прделанная работа дает новые знания о геодинамике Беларуси. В работе приведены фрагменты кода программ для визуализации компонентов деформаций в ГИС, учета гравитационного влияния конусовидных форм рельефа.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. Геология Беларуси. Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. Гарецкий Р.Г., Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты / Р.Г.Гарецкий, Г.И. Каратаев, Р.Е.Айзберг, А.К.Карабанов, А.А.Святогоров // Літасфера. – 2013. – № 1. – С. 3–30.
3. Губин В.Н., Ковалёв А.А. Космическая геология Беларуси. Мн: Лазурак, 2008. – 120 с.
4. Шароглазова Г.А. [и др.] Инструментальные исследования современной геодинамики в Полоцком регионе // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. - 2015. - № 16. - С. 153-155.
5. Шароглазова Г.А., Маркович К.И., Результаты исследований деформаций земной коры в районе каскада гидроэлектростанций на р. Западной Двине // Геодезия и картография. – 2018. – № 10. – С. 7-15.
6. Маркович К.И. Оценка изменения ускорения силы тяжести, вызванная колебаниями уровенных поверхностей вследствие заполнения водохранилища Полоцкой ГЭС // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. - 2016. - № 8. - С.156 – 159
7. Шароглазова Г.А. [и др.] Организация геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС» // Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / М-во образования РБ, Полоцкий гос. ун-т ; редкол.: Г. А. Шароглазова [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – Ч. 1. – С. 90
8. Есиков Н.П. Определение деформаций земной поверхности по непосредственно измеренным элементам геодезических сетей. – В кн.: Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. – М.: Наука, 1979. – 152 с.
9. LESSA – автоматизированный линеаментный анализ [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.lineament.ru/index.htm> - дата доступа: 15.11.2020
10. Current IGS Site Guidelines, August 05, 2016 [Electronic resource] / International GNSS Service. – 2016. Mode of access: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202011433-Current-IGS-Site-Guidelines>.
11. Monumentation Recommendations, August 31, 2015 [Electronic resource] / International GNSS Service. – 2015. Mode of access: [http:// kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816](http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816).
12. Guidelines for EPN Stations&Operatiojnal Centres, last updates 26-10-2015 [Electronic resource] / С.Bruyninx // Munich, EPN Central Bureau.– 2015. Mo de of access: [http://www.epncb.oma.be/\\_documentation/guidelines/guidelines\\_stations\\_operationalcentre.pdf](http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_stations_operationalcentre.pdf)

13. Рудницкая Н.А. Спутниковая система точного позиционирования как часть государственной геодезической инфраструктуры Республики Беларусь // Земля Беларуси – 2016. - № 3 – С. 40 – 46.
14. ССТП РБ [Электронный ресурс]: Белгеодезия. – Режим доступа: <https://geo.by/sstp/> - дата доступа: 01.05.2020.
15. Общий формат ГНСС-данных RINEX [электронный ресурс] : Ориент Системс. – Режим доступа: <https://orsyst.ru/blog15> - дата доступа: 15.11.2020.
16. EUREF Permanent GNSS Network [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://epncb.oma.be/networkdata/stationlist.php> - дата доступа: 20.10.2020 г.
17. Ресурс-П №1, №2, №3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> - дата доступа: 15.11.2020
18. Геолого-тектонические условия возникновения аварийности на магистральных нефтепроводах Белоруссии / Г.А. Шароглазова [и др.] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – СПб., 2008. – № 1. – С. 58–60.
19. Михалев, В.В. Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского Приуралья / В.В. Михалев, И.С. Копылов, Е.А. Аристов, А.В. Коноплев // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – М.: ВНИИСТ. – 2005.- № 1.– С.75-77.
20. Ульмасвай, Ф.С. Геологические условия возникновения зон потенциальной аварийности магистральных газопроводов на севере Западной Сибири / Ф.С. Ульмасвай // Газовая промышленность - 1997- №7.
21. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР [Карты]: карта / сост. и подгот. к печати Главным управлением по геодезии и картографии СССР в 1989 г. – 1:5000000, 50 км в 1 см. - М. : гл. управление по геодезии и картографии СССР, 1989. – 4 л.
22. Жесткий цигун с условными знаками или зачем нужен geometry generator [Электронный ресурс] : Хабр. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/504986/> - дата доступа: 15.11.2020.
23. Шароглазова, Г.А. Применение геодезических методов в геодинимике : учеб. пособие / Галина Александровна Шароглазова. - Новополоцк : ПГУ, 2002. - 192 с. : ил.
24. Юркина М.И. Об интерпретации результатов повторного геометрического нивелирования, - Геодезия и картография, 1976, № 10, с.15-19.
25. Whitcomb J.H. New vertical geodesy. Contribution N 2655/ Division of Geological and Planetary Sciences. Seismological Laboratory. California 91125, 27 p.
26. Мазуров Б. Т., Некрасова О. И. Аппроксимация гравитационного влияния



- локального рельефа по его цифровым моделям // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 2–4.
27. Остач О.М., Дмитроиченков В.Н. Методическое руководство по геодезическим работам на геодинамических полигонах. – М.: ЦНИИГАиК, 1984.
28. Мазуров Б. Т., Некрасова О. И. Конечно-элементная модель конусообразных форм рельефа для учета их гравитирующего влияния на результаты геодезических измерений // Геодезия и картография. – 2013. - № 6. – с. 42 – 45.
29. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка 1975 – 1976. – Кн. под редакцией С.А.Федотова, М., Наука, 1984, 637 с.
30. Шароглазова Г.А., Готовко А.К. Выявление вариаций гравитационного поля на результаты геодезических измерений в районе активного вулканизма // Геодезия, картография, кадастры и экология. Труды международной научно-практической конференции г. Новополоцк 25 - 27 октября 2000 г. под общей редакцией д.т.н., профессора В.П. Подшивалова. - Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2001. - С. 251-256.
31. Шароглазова Г.А., Долгий П.С. Многодисциплинарный подход к моделированию геодинамических процессов / Шароглазова Г.А. и др. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. - 2018. - № 8. - С. 179-183
32. Белорусский космический аппарат (БКА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis.by/ru/tech/bka> - Дата доступа: 01.12.2020.
33. Метоеуе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoeye.gis.by/> - Дата доступа: 01.12.2020
34. Dolhi P. GIS-modelling of the crystalline basement of the territory of Belarus in different geological ages / Материалы Международной конференции молодых исследователей «European & national dimension in research», серия Technology, Новополоцк, 13-14 мая 2020, с. 107 – 110.
35. Scihub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> - дата доступа: 20.11.2020

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Наклонные дальности и их разности для Гомельского полигона

			Метры								Миллиметры					
	begin	end	2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	20-19	m_20-19
0	BOBR	DVSK	83415,05143	0,0075	83415,05287	0,0072	83415,05371	0,0084	83415,05626	0,0106	1,43	10,35	0,84	11,02	2,55	13,53
1	BOBR	OKTB	59576,23477	0,0066	59576,23434	0,0065	59576,23488	0,0076	59576,23447	0,0099	-0,43	9,30	0,54	10,03	-0,41	12,50
2	BOBR	STDO	64915,002	0,0077	64914,999	0,0076	64915,001	0,0088	64915,002	0,0114	-2,69	10,85	1,55	11,68	1,63	14,43
3	BOBR	SVET	66758,96027	0,0047	66758,96272	0,0046	66758,96614	0,0054	66758,96297	0,0070	2,45	6,58	3,42	7,09	-3,17	8,84
4	BOBR	ZHLO	61237,00926	0,0065	61237,0093	0,0062	61237,01289	0,0072	61237,01104	0,0092	0,04	9,01	3,59	9,54	-1,85	11,71
5	CHEC	DVSK	40673,42009	0,0080	40673,42234	0,0076	40673,42327	0,0089	40673,42195	0,0113	2,25	11,06	0,93	11,74	-1,32	14,40
6	CNIV	DOBR	100435,1258	0,0095	100435,13	0,0097	100435,1295	0,0112	100435,126	0,0142	4,19	13,57	-0,45	14,78	-3,54	18,07
7	CHEC	DOBR	60874,22266	0,0082	60874,22127	0,0080	60874,2212	0,0094	60874,22235	0,0120	-1,39	11,47	-0,08	12,31	1,15	15,25
8	CNIV	HOYN	101740,7849	0,0092	101740,7824	0,0094	101740,7843	0,0108	101740,7855	0,0136	-2,50	13,14	1,92	14,31	1,22	17,37
9	HOYN	KALN	51194,61148	0,0073	51194,60919	0,0072	51194,6135	0,0084	51194,61179	0,0106	-2,29	10,29	4,31	11,12	-1,71	13,57
10	HOYN	LELC	113485,931	0,0084	113485,9293	0,0087	113485,9318	0,0100	113485,934	0,0128	-1,70	12,09	2,50	13,24	2,15	16,26
11	HOYN	LOEV	58028,23843	0,0083	58028,23762	0,0081	58028,23886	0,0094	58028,23826	0,0113	-0,81	11,56	1,24	12,39	-0,60	14,72
12	HOYN	RECH	60989,33071	0,0072	60989,331	0,0070	60989,3356	0,0082	60989,32894	0,0100	0,29	10,02	4,60	10,76	-6,66	12,92
13	LELC	KALN	78761,65982	0,0079	78761,66075	0,0082	78761,66079	0,0095	78761,66231	0,0122	0,92	11,35	0,04	12,51	1,52	15,44
14	OKTB	KALN	65237,20105	0,0066	65237,20323	0,0066	65237,20097	0,0077	65237,20135	0,0099	2,18	9,35	-2,25	10,13	0,38	12,55
15	RECH	KALN	77342,18336	0,0065	77342,18343	0,0064	77342,17701	0,0075	77342,18512	0,0092	0,07	9,11	-6,42	9,84	8,11	11,89
16	SVET	KALN	62675,63709	0,0047	62675,64016	0,0047	62675,63403	0,0055	62675,63835	0,0070	3,07	6,65	-6,13	7,23	4,32	8,90
17	LJUB	LELC	114011,3317	0,0091	114011,3363	0,0093	114011,3346	0,0107	114011,3355	0,0135	4,52	12,95	-1,67	14,19	0,96	17,22
18	LJUB	OKTB	61734,37289	0,0080	61734,37241	0,0079	61734,37682	0,0092	61734,37812	0,0114	-0,48	11,25	4,41	12,15	1,30	14,68
19	LJUB	STDO	33520,60856	0,0089	33520,61063	0,0088	33520,60841	0,0103	33520,60955	0,0127	2,07	12,56	-2,22	13,54	1,14	16,35
20	CNIV	LOEV	58496,15716	0,0095	58496,1562	0,0096	58496,15611	0,0111	58496,15382	0,0136	-0,96	13,53	-0,09	14,69	-2,29	17,56
21	DOBR	LOEV	64142,8594	0,0086	64142,86464	0,0084	64142,86214	0,0098	64142,86541	0,0120	5,24	12,05	-2,50	12,94	3,27	15,54
22	LOEV	RECH	55299,36906	0,0076	55299,36777	0,0073	55299,38546	0,0086	55299,36917	0,0100	-1,29	10,52	17,69	11,27	-16,29	13,18
23	OKTB	LELC	102943,0742	0,0079	102943,0819	0,0081	102943,075	0,0094	102943,0785	0,0122	7,70	11,31	-6,90	12,43	3,52	15,41
24	OKTB	STDO	61094,10646	0,0077	61094,10492	0,0076	61094,10821	0,0088	61094,10897	0,0114	-1,54	10,85	3,29	11,68	0,75	14,43
25	OKTB	SVET	58244,237	0,0047	58244,23673	0,0046	58244,23702	0,0054	58244,23662	0,0070	-0,27	6,58	0,30	7,09	-0,40	8,84
26	CHEC	RECH	69787,85892	0,0071	69787,86403	0,0068	69787,85523	0,0080	69787,86323	0,0100	5,11	9,85	-8,80	10,54	8,00	12,82
27	DOBR	RECH	63218,77808	0,0076	63218,78016	0,0074	63218,78711	0,0087	63218,78007	0,0108	2,08	10,58	6,95	11,38	-7,04	13,86
28	RECH	SVET	53078,06814	0,0045	53078,06562	0,0043	53078,05437	0,0051	53078,0706	0,0060	-2,52	6,22	-11,26	6,67	16,23	7,87
29	RECH	ZHLO	63207,37501	0,0064	63207,37579	0,0060	63207,3634	0,0070	63207,38165	0,0085	0,79	8,75	-12,39	9,23	18,25	11,00
30	SVET	ZHLO	34905,80038	0,0045	34905,801	0,0042	34905,802	0,0048	34905,804	0,0060	0,13	6,16	1,03	6,38	2,89	7,68
31	CHEC	ZHLO	59158,12472	0,0071	59158,12673	0,0068	59158,12721	0,0078	59158,12652	0,0100	2,02	9,81	0,48	10,35	-0,69	12,71
32	DVSK	ZHLO	41566,42957	0,0073	41566,43459	0,0069	41566,42936	0,0080	41566,42989	0,0100	5,02	10,09	-5,22	10,58	0,53	12,81

## Наклонные дальности и их разности для Житковичского полигона

			Метры											Миллиметры										
	begin	end	2015	m_2015	2016	m_2016	2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	16-15	m_16-15	17-16	m_17-16	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	20-19	m_20-19
0	GANC	LUNI	62770,3096	0,0071	62770,3100	0,0162	62770,3107	0,0124	62770,3112	0,0107	62770,31496	0,0188	62770,31	0,01562	0,330004	17,64993	0,704385	20,37572	0,489239	16,38841	3,808692	21,64209	-1,39471	24,44934
1	GANC	PINS	75915,5392	0,0077	75915,5366	0,0175	75915,5375	0,0134	75915,5414	0,0116	-	-	75915,54	0,016971	-2,59047	19,09188	0,919545	22,03656	3,907418	17,7488	-	-	-	-
2	GANC	STRB	70262,7208	0,0065	70262,7198	0,0151	70262,7180	0,0117	70262,7178	0,0098	70262,72106	0,0171	70262,72	0,014422	-0,97167	16,45904	-1,77745	19,07931	-0,24416	15,22596	3,272771	19,74107	-1,07026	22,40201
3	LELC	PTRV	39415,493	0,0062	39415,4950	0,0140	39415,4934	0,0107	39415,4945	0,0093	-	-	39415,5	0,014213	2,017486	15,2951	-1,63368	17,63463	1,184469	14,19648	-	-	-	-
4	LELC	STLN	102554,408	0,0069	102554,4086	0,0156	102554,4079	0,0120	102554,4064	0,0103	102554,4106	0,0203	102554,4	0,015556	0,505695	17,005	-0,69996	19,61963	-1,4932	15,79589	4,247429	22,80241	0,1252	25,59863
5	LELC	ZHIT	57717,7199	0,0060	57717,7214	0,0137	57717,7210	0,0105	57717,7241	0,0090	57717,72604	0,0181	57717,73	0,013601	1,547167	14,93251	-0,38536	17,27252	3,057063	13,84919	1,956559	20,19257	0,420514	22,62918
6	LJUB	OKTB	61734,3719	0,0046	61734,3732	0,0103	61734,3721	0,0079	61734,3714	0,0069	61734,37518	0,0118	61734,38	0,01	1,26631	11,28051	-1,03584	12,98075	-0,75753	10,48904	3,811798	13,66931	2,621325	15,46739
7	LJUB	PTRV	81410,1909	0,0040	81410,1902	0,0089	81410,1923	0,0068	81410,1938	0,0060	-	-	81410,19	0,009	-0,67767	9,757561	2,123658	11,20045	1,482921	9,068627	-	-	-	-
8	LJUB	STRB	37086,132	0,0037	37086,1324	0,0089	37086,1321	0,0069	37086,1323	0,0055	37086,13265	0,0093	37086,13	0,008	0,432059	9,638465	-0,24231	11,26144	0,132833	8,823831	0,365707	10,80463	-0,29621	12,26744
9	LJUB	ZHIT	64764,6144	0,0037	64764,6132	0,0084	64764,6148	0,0065	64764,6166	0,0055	64764,61413	0,0098	64764,61	0,008	-1,13284	9,17878	1,560135	10,62121	1,818237	8,514693	-2,49151	11,23788	0,111503	12,65069
10	LUNI	PINS	50427,6162	0,0072	50427,6150	0,0164	50427,6126	0,0126	50427,6139	0,0109	-	-	50427,61	0,01562	-1,21384	17,8891	-2,37847	20,64897	1,306739	16,60301	-	-	-	-
11	LUNI	STLN	39616,1918	0,0068	39616,1940	0,0154	39616,1925	0,0118	39616,1926	0,0103	39616,19121	0,0181	39616,19	0,014866	2,250699	16,85111	-1,52362	19,42601	0,131272	15,64672	-1,4037	20,83051	2,399601	23,44483
12	LUNI	STRB	70002,5864	0,0059	70002,5797	0,0138	70002,5811	0,0106	70002,5841	0,0089	70002,58045	0,0153	70002,58	0,012806	-6,70628	15,04726	1,387902	17,45824	3,010105	13,87336	-3,67494	17,66777	3,171499	19,92235
13	LUNI	ZHIT	72493,8729	0,0059	72493,8722	0,0135	72493,8718	0,0104	72493,8700	0,0089	72493,87111	0,0156	72493,87	0,012806	-0,71477	14,75703	-0,43317	17,05227	-1,7635	13,67882	1,093358	17,936	3,150163	20,16061
14	OKTB	PTRV	63717,0854	0,0061	63717,0819	0,0136	63717,0835	0,0104	63717,0891	0,0091	-	-	63717,08	0,013454	-3,53292	14,91509	1,675303	17,14497	5,531114	13,86579	-	-	-	-
15	STLN	PINS	57392,3522	0,0074	57392,3509	0,0168	57392,3479	0,0129	57392,3495	0,0112	-	-	57392,35	0,016279	-1,23081	18,35593	-3,07897	21,16152	1,671103	17,06634	-	-	-	-
16	ZHIT	PTRV	44903,235	0,0054	44903,2326	0,0122	44903,2313	0,0094	44903,2333	0,0081	-	-	44903,24	0,012042	-2,47641	13,39627	-1,25185	15,43567	2,030849	12,43945	-	-	-	-
17	STLN	ZHIT	78059,8129	0,0062	78059,8130	0,0140	78059,8127	0,0108	78059,8108	0,0093	78059,81069	0,0167	78059,81	0,013601	0,07693	15,3196	-0,27657	17,66947	-1,92219	14,23763	-0,0682	19,09948	3,607625	21,52417
18	STRB	ZHIT	62544,7980	0,0052	62544,7982	0,0122	62544,7990	0,0095	62544,7972	0,0078	62544,79635	0,0135	62544,8	0,011314	0,208061	13,30977	0,82632	15,47999	-1,87227	12,26214	-0,8271	15,58942	-0,13031	17,62186

### Наклонные дальности и их разности по эпохам для Брестского полигона

	begin	end	Метры										Миллиметры							
			2016	m_2016	2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	17-16	m_17-16	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	20-19	m_20-19
0	BERZ	DROG	40131,02	0,017607	40131,02	0,003324	40131,02	0,010042	40131,02	0,008485	40131,02	0,012042	-1,72	17,92	3,55	10,58	-2,17	13,15	0,58	14,73
1	BERZ	IVAC	33220,53	0,018852	33220,53	0,003471	33220,53	0,01063	33220,54	0,00922	33220,54	0,012042	-0,21	19,17	4,65	11,18	6,18	14,07	4,70	15,17
2	BERZ	KOBN	54215,07	0,015621	54215,07	0,00286	54215,07	0,00878	54215,07	0,00781	54215,07	0,01	-1,22	15,88	1,84	9,23	-2,31	11,75	0,20	12,69
3	BERZ	PRUZ	32979,9	0,017117	32979,9	0,003114	32979,9	0,009621	32979,9	0,008485	32979,9	0,01063	0,05	17,40	-0,51	10,11	1,84	12,83	-0,73	13,60
4	BERZ	TELE	60014,86	0,018852	60014,85	0,003547	60014,86	0,010706	60014,86	0,00922	60014,86	0,012042	-1,36	19,18	1,33	11,28	0,71	14,13	0,49	15,17
5	KAME	BRTS	35807,71	0,0095	35807,71	0,0016	35807,72	0,0052	35807,71	0,005	35807,72	0,006	-0,86	9,63	5,08	5,44	-4,09	7,21	3,31	7,81
6	KOBN	BRTS	46026,46	0,0095	46026,46	0,0017	46026,46	0,0053	46026,46	0,005	46026,47	0,006	-1,25	9,65	1,28	5,57	0,50	7,29	3,18	7,81
7	BRTS	MRIT	41532,92	0,0108	41532,91	0,002	41532,91	0,0061	41532,91	0,005	-	-	-2,54	10,98	-1,73	6,42	0,00	7,89	-	-
8	VYSO	BRTS	40087,3	0,0112	40087,3	0,0019	40087,3	0,0061	40087,3	0,005	40087,3	0,006	-1,37	11,36	4,13	6,39	-0,93	7,89	1,76	7,81
9	DROG	KOBN	54771,78	0,0157	54771,78	0,002941	54771,78	0,00894	54771,78	0,00781	54771,78	0,010817	-2,44	15,97	0,99	9,41	1,72	11,87	-0,28	13,34
10	DROG	MRIT	86072,04	0,016519	86072,04	0,003124	86072,04	0,009437	86072,04	0,00781	-	-	-3,47	16,81	2,74	9,94	-2,07	12,25	-	-
11	DROG	PINS	64681,3	0,02078	64681,3	0,004	64681,3	0,01208	-	-	64681,3	0,014213	0,60	21,16	-2,38	12,73	-	-	-	-
12	DROG	TELE	59809,25	0,018918	59809,25	0,003612	59809,25	0,010837	59809,25	0,00922	59809,25	0,012728	-1,10	19,26	2,12	11,42	-2,92	14,23	0,10	15,72
13	IVAC	PRUZ	60880,69	0,018463	60880,69	0,003342	60880,69	0,010371	60880,71	0,00922	60880,71	0,011402	0,42	18,76	3,35	10,90	12,91	13,88	2,11	14,66
14	IVAC	TELE	40386,13	0,020082	40386,13	0,003748	40386,13	0,011385	40386,11	0,009899	40386,11	0,012728	-1,32	20,43	0,84	11,99	-14,29	15,09	1,09	16,12
15	KAME	KOBN	42606,49	0,013435	42606,49	0,002335	42606,49	0,007425	42606,49	0,007071	42606,49	0,008485	-2,21	13,64	0,46	7,78	-0,33	10,25	0,93	11,05
16	KAME	PRUZ	48259,51	0,015149	48259,51	0,00264	48259,51	0,008402	48259,51	0,00781	48259,51	0,00922	-3,60	15,38	-0,51	8,81	0,93	11,47	0,85	12,08
17	KAME	VYSO	30933,21	0,014686	30933,21	0,002484	30933,22	0,008016	30933,22	0,007071	30933,22	0,008485	-0,24	14,89	2,84	8,39	1,18	10,69	-0,58	11,05
18	KOBN	MRIT	50331,34	0,014384	50331,33	0,002625	50331,34	0,008081	50331,33	0,007071	-	-	-2,92	14,62	1,59	8,50	-2,39	10,74	-	-
19	TELE	PINS	48360,93	0,021845	48360,93	0,004187	48360,93	0,012637	-	-	48360,93	0,014213	-1,24	22,24	1,32	13,31	-	-	-	-
20	KOBN	PRUZ	40082,44	0,015149	40082,44	0,002702	40082,44	0,008465	40082,43	0,00781	40082,44	0,00922	-1,81	15,39	3,05	8,89	-3,89	11,52	2,62	12,08

## Наклонные дальности и их разности для Островецкого полигона

	begin	end	Метры								Миллиметры							
			2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	19-17	m_19-17	20-19	m_20-19
0	IVYE	LIDA	31053,35	0,010132	31053,35	0,010132	31053,36	0,010555	31053,36	0,012042	2,07	14,33	2,49	14,63	4,56	14,63	-0,88	16,01
1	IVYE	VOLO	52506,34	0,00842	52506,34	0,00836	52506,34	0,008841	52506,34	0,01	-0,26	11,87	-0,91	12,17	-1,17	12,21	-0,47	13,35
2	IVYE	VORO	38506,82	0,008543	38506,82	0,008927	38506,82	0,009155	38506,82	0,01063	0,95	12,36	2,46	12,79	3,40	12,52	-3,69	14,03
3	LIDA	VORO	29111,91	0,009266	29111,91	0,009621	29111,91	0,00986	29111,91	0,011402	5,85	13,36	-0,05	13,78	5,81	13,53	-4,33	15,07
4	MJAD	PSTV	27529,99	0,009184	27529,99	0,00814	27529,99	0,009405	27529,99	0,010817	0,20	12,27	-0,45	12,44	-0,26	13,14	3,58	14,33
5	MJAD	OSTR	68530,35	0,007286	-	-	68530,35	0,007428	68530,35	0,008485	-	-	-	-	1,33	10,40	0,45	11,28
6	OSTR	PSTV	79001,33	0,009014	-	-	79001,33	0,009236	79001,33	0,010817	-	-	-	-	0,75	12,91	3,24	14,22
7	OSTR	SMOR	32351,28	0,005	-	-	32351,27	0,0051	32351,27	0,006	-	-	-	-	-5,33	7,14	-3,48	7,87
8	OSTR	VLNS	42848,83	0,008766	-	-	42848,83	0,00907	42848,83	0,010817	-	-	-	-	2,08	12,61	-2,40	14,12
9	OSTR	VORO	66389,72	0,007286	-	-	66389,72	0,007799	66389,72	0,00922	-	-	-	-	-2,94	10,67	4,41	12,08
10	MJAD	SMOR	54992,17	0,0053	54992,17	0,0049	54992,17	0,0054	54992,17	0,006	4,11	7,22	-4,95	7,29	-0,84	7,57	0,51	8,07
11	SMOR	VILE	33103,1	0,0051	33103,11	0,0047	33103,11	0,0051	33103,11	0,006	6,92	6,94	-0,17	6,94	6,75	7,21	0,05	7,87
12	SMOR	VOLO	44449,48	0,0051	44449,49	0,005	44449,49	0,0054	44449,49	0,006	7,44	7,14	3,87	7,36	11,30	7,43	-0,85	8,07
13	SMOR	VORO	79529,99	0,0053	79529,99	0,0059	79529,99	0,0059	79529,99	0,007	-5,32	7,93	1,67	8,34	-3,65	7,93	3,47	9,15
14	MJAD	VILE	42668,41	0,007355	42668,4	0,00679	42668,41	0,007428	42668,41	0,008485	-0,63	10,01	1,72	10,06	1,08	10,45	0,00	11,28
15	VILE	VOLO	50992,42	0,007212	50992,43	0,006862	50992,43	0,007428	50992,43	0,008485	3,51	9,96	-0,77	10,11	2,74	10,35	0,57	11,28
16	VLNS	VORO	55796,6	0,00894	55796,6	0,008631	55796,6	0,009543	55796,61	0,011402	0,75	12,43	-0,93	12,87	-0,18	13,08	5,45	14,87
17	VOLO	VORO	79268,97	0,007355	79268,97	0,007734	79268,97	0,007998	79268,97	0,00922	-0,35	10,67	3,86	11,13	3,51	10,87	-3,02	12,21

## Наклонные дальности и их разности для Полоцкого полигона

		Метры										Миллиметры								
	begin	end	2016	m_2016	2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	17-16	m_17-16	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	20-19	m_20-19
0	VITR	BESH	51196,90313	0,01280	51196,9	0,0123	51196,90291	0,0141	51196,90257	0,0092	-	-	-0,09	17,76	-0,13	18,70	-0,34	16,83	-	-
1	BRAS	PSTV	59492,71429	0,01372	-	-	59492,7175	0,0159	59492,7143	0,0106	59492,7190	0,014866	-	-	-	-	-3,20	19,09	4,68	18,28
2	GORO	LIOZ	72606,64572	0,01397	72606,65	0,0133	72606,65055	0,0157	72606,65141	0,0106	72606,65536	0,016401	5,31	19,31	-0,48	20,58	0,86	18,95	3,95	19,54
3	GORO	OBOL	43299,58788	0,01148	43299,59	0,0110	43299,58642	0,0127	43299,58531	0,0086	43299,58663	0,012806	-0,38	15,89	-1,08	16,79	-1,11	15,34	1,32	15,43
4	GORO	ROSS	86655,74966	0,01160	86655,75	0,0111	86655,74821	0,0128	86655,75209	0,0086	86655,75173	0,012806	-0,65	16,06	-0,80	16,96	3,88	15,44	-0,36	15,43
5	GORO	VITR	35640,7295	0,01301	35640,73	0,0124	35640,72959	0,0144	35640,72648	0,0099	35640,72917	0,014866	-2,55	18,01	2,64	19,05	-3,10	17,50	2,68	17,86
6	LIOZ	BESH	85683,7158	0,01378	85683,72	0,0132	85683,71332	0,0154	85683,71409	0,0100	-	-	-0,65	19,08	-1,82	20,26	0,77	18,33	-	-
7	LIOZ	VITR	40896,73712	0,01410	40896,74	0,0135	40896,73866	0,0158	40896,74138	0,0106	40896,74303	0,017029	4,53	19,50	-2,98	20,77	2,72	19,05	1,65	20,07
8	NOVP	OBOL	46701,96877	0,00700	46701,97	0,0067	46701,96876	0,0077	46701,97115	0,0050	46701,96866	0,008	0,42	9,69	-0,43	10,21	2,39	9,18	-2,49	9,43
9	NOVP	ROSS	42393,25027	0,00720	42393,25	0,0069	42393,25281	0,0079	42393,25144	0,0050	42393,25445	0,008	0,10	9,97	2,44	10,49	-1,37	9,35	3,01	9,43
10	NOVP	SHAR	77135,18593	0,00770	77135,19	0,0079	77135,18652	0,0090	77135,1863	0,0060	77135,18714	0,009	0,01	11,03	0,58	11,98	-0,23	10,82	0,85	10,82
11	NOVP	USHA	39607,22496	0,00700	39607,22	0,0068	39607,22258	0,0077	39607,22215	0,0050	39607,22425	0,008	-2,44	9,76	0,06	10,27	-0,43	9,18	2,10	9,43
12	NOVP	VERH	52551,26691	0,00740	52551,27	0,0073	52551,26342	0,0083	52551,26751	0,0060	52551,26683	0,008	-1,85	10,39	-1,64	11,05	4,09	10,24	-0,67	10,00
13	OBOL	BESH	35121,9219	0,01124	35121,92	0,0108	35121,92064	0,0123	35121,92185	0,0078	-	-	-0,46	15,61	-0,80	16,39	1,21	14,58	-	-
14	OBOL	ROSS	68991,59035	0,01004	68991,59	0,0096	68991,5914	0,0110	68991,59235	0,0071	68991,59121	0,011314	-1,60	13,90	2,66	14,64	0,95	13,10	-1,14	13,34
15	OBOL	USHA	48252,28205	0,00990	48252,28	0,0095	48252,28075	0,0109	48252,28098	0,0071	48252,28376	0,011314	-0,08	13,75	-1,23	14,48	0,23	12,98	2,78	13,34
16	OBOL	VITR	60524,50177	0,01164	60524,5	0,0111	60524,50109	0,0129	60524,50114	0,0086	60524,505	0,013601	-1,06	16,11	0,38	17,01	0,06	15,47	3,86	16,09
17	ROSS	VERH	56459,40016	0,01032	56459,4	0,0100	56459,39683	0,0115	56459,39896	0,0078	56459,40034	0,011314	-1,24	14,40	-2,10	15,24	2,14	13,87	1,37	13,75
18	BRAS	SHAR	40394,03892	0,01215	-	-	40394,03652	0,0140	40394,03865	0,0092	40394,03578	0,013454	-	-	-	-	2,13	16,75	-2,88	16,31
19	PSTV	SHAR	48537,27127	0,01262	-	-	48537,2727	0,0148	48537,26917	0,0100	48537,27524	0,014213	-	-	-	-	-3,53	17,83	6,07	17,38
20	SHAR	USHA	75705,64442	0,01041	75705,64	0,0104	75705,64423	0,0118	75705,64672	0,0078	75705,64682	0,012042	0,45	14,73	-0,64	15,78	2,49	14,19	0,10	14,35
21	SHAR	VERH	55625,02759	0,01068	55625,03	0,0108	55625,03296	0,0122	55625,03068	0,0085	55625,02991	0,012042	1,32	15,16	4,06	16,30	-2,28	14,90	-0,77	14,73
22	USHA	BESH	55664,14723	0,01124	55664,15	0,0109	55664,14651	0,0123	55664,1488	0,0078	-	-	0,38	15,65	-1,09	16,43	2,29	14,58	-	-
23	PSTV	USHA	113331,9212	0,01221	-	-	113331,9224	0,0140	113331,922	0,0094	113331,9253	0,013601	-	-	-	-	-0,43	16,89	3,29	16,55
24	BRAS	VERH	58581,33621	0,01196	-	-	58581,33856	0,0135	58581,33742	0,0092	58581,33637	0,012806	-	-	-	-	-1,14	16,38	-1,05	15,78

## Наклонные дальности и их разности для Старобинского полигона

			Метры														Миллиметры													
	begin	end	2014	m_2014	2015	m_2015	2016	m_2016	2017	m_2017	2018	m_2018	2019	m_2019	2020	m_2020	15-14	m_15-14	16-15	m_16-15	17-16	m_17-16	18-17	m_18-17	19-18	m_19-18	20-19	m_20-19		
0	GANC	KLEC	37676,7242	0,0050	37676,7190	0,0058	37676,7185	0,0055	37676,7184	0,0057	37676,7196	0,0038	37676,7183	0,0059	37676,7201	0,0071	-5,20	7,97	-0,56	7,97	-0,04	7,92	1,19	6,90	-1,33	7,02	1,78	9,20		
1	GANC	STRB	70262,7219	0,0045	70262,7204	0,0052	70262,7201	0,0050	70262,7183	0,0052	70262,7178	0,0034	70262,7215	0,0052	70262,7204	0,0058	-1,56	7,20	-0,27	7,20	-1,85	7,22	-0,42	6,26	3,68	6,23	-1,09	7,82		
2	KLEC	SLUC	60614,2786	0,0040	60614,2781	0,0046	60614,2776	0,0044	60614,2770	0,0047	60614,2761	0,0030	60614,2789	0,0047	60614,2779	0,0058	-0,55	6,40	-0,46	6,40	-0,67	6,44	-0,83	5,56	2,76	5,58	-0,97	7,48		
3	KLEC	STRB	66997,9334	0,0041	66997,9331	0,0047	66997,9336	0,0046	66997,9325	0,0048	66997,9326	0,0031	66997,9367	0,0048	66997,9376	0,0058	-0,30	6,56	0,47	6,56	-1,04	6,65	0,06	5,74	4,10	5,70	0,93	7,55		
4	LJUB	SLUC	40113,8078	0,0022	40113,8062	0,0026	40113,8071	0,0026	40113,8054	0,0027	40113,8059	0,0017	40113,8067	0,0026	40113,8080	0,0030	-1,59	3,68	0,85	3,68	-1,74	3,75	0,53	3,19	0,83	3,11	1,28	3,97		
5	LJUB	STDO	33520,6139	0,0025	33520,6100	0,0030	33520,6110	0,0029	33520,6088	0,0031	33520,6107	0,0019	33520,6090	0,0030	33520,6109	0,0040	-3,94	4,17	0,98	4,17	-2,12	4,24	1,91	3,64	-1,78	3,55	1,95	5,00		
6	LJUB	STRB	37086,1347	0,0024	37086,1321	0,0028	37086,1328	0,0028	37086,1324	0,0030	37086,1326	0,0018	37086,1335	0,0028	37086,1329	0,0030	-2,53	3,96	0,70	3,96	-0,46	4,10	0,25	3,50	0,87	3,33	-0,55	4,10		
7	SLUC	STDO	47912,3616	0,0033	47912,3599	0,0040	47912,3599	0,0039	47912,3571	0,0041	47912,3579	0,0025	47912,3600	0,0040	47912,3599	0,0050	-1,67	5,56	-0,06	5,56	-2,80	5,66	0,82	4,84	2,05	4,72	-0,09	6,38		
8	SLUC	STRB	34219,2212	0,0033	34219,2178	0,0038	34219,2201	0,0038	34219,2191	0,0040	34219,2221	0,0025	34219,2217	0,0038	34219,2244	0,0042	-3,34	5,40	2,31	5,40	-1,00	5,56	2,92	4,73	-0,31	4,55	2,63	5,71		