

УДК 004.942:528.2/3

ГИС-ПРОЕКТ «ГЕОДИНАМИКА БЕЛАРУСИ»

П.С. ДОЛГИЙ

(Полоцкий государственный университет)

Статья посвящена ГИС-проекту «Геодинамика Беларуси», разрабатываемому в рамках диссертационного исследования с целью представления данных различных наук о Земле (геодезии, геологии, геофизики, сейсмологии) в единую тематическую базу данных. Проект содержит не только сведения о геолого-тектоническом строении территории Беларуси, сейсмичности и деформациях земной коры, вызванных эндогенными процессами, но и отражает влияние на природную геодинамику техногенных факторов: разработка месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатация ГЭС, магистральных трубопроводов (МТ). В проекте представлены также данные дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа, результаты наблюдений со станций спутниковой сети точного позиционирования (ССТП) Республики Беларусь с полигонами интереса, построенными для исследования явлений и объектов, представляющих геологическую опасность с возможными неблагоприятными последствиями для экологии окружающей среды. На примере станций Гомельского полигона продемонстрирована возможность визуализации в ГИС компонентов деформации, расчет которых произведен в интерактивной среде разработки на языке Python jupyter; визуализация характеристик дилатации выполнена с помощью градуированных знаков, а величин максимального и минимального растяжений – с помощью генератора геометрии.

Ключевые слова: ГИС-проект, геодинамика, повторные геодезические измерения, компоненты деформации, представление геодинамических явлений в ГИС, генератор геометрии QGIS.

Перечень принятых сокращений: ГИС – географическая информационная система; СВДЗК – современные вертикальные движения земной коры; ДДЗ – данные дистанционного зондирования; СВДЗК – современные вертикальные движения земной коры; ЦМР – цифровая модель рельефа; ССТП – спутниковая система точного позиционирования; ГНСС – глобальная навигационная спутниковая система; СК – система координат; ITRS – International Terrestrial Reference System; IGS – International GNSS Service; EPN – European Permanent Network.

Введение. Геодинамика – сложная научная дисциплина, требующая междисциплинарного подхода в среде различных наук о Земле [1]. ГИС-технологии могут выступать удобным инструментом для структурирования разнородных данных, планирования исследований. Нами в рамках диссертационного исследования разрабатывается ГИС-проект по тематике геодинамики Беларуси, включающий данные различного рода. В него входят объекты, 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, приуроченные, как правило, к активным тектоническим структурам; ответственные инженерные сооружения (атомные и гидроэлектростанции, магистральные трубопроводы), которые подвержены влиянию движений земной коры и в случае аварии могут нанести серьезный ущерб окружающей среде.

Основная часть. 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 (рисунок 1). 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 [2–4]. В дальнейшем в рамках ГИС-проекта планируется вносить информацию об авариях в отдельный слой «Аварии» с атрибутами даты и краткой характеристикой, указанием объемов разлива. Объекты закоординированы на основе общедоступной информации.

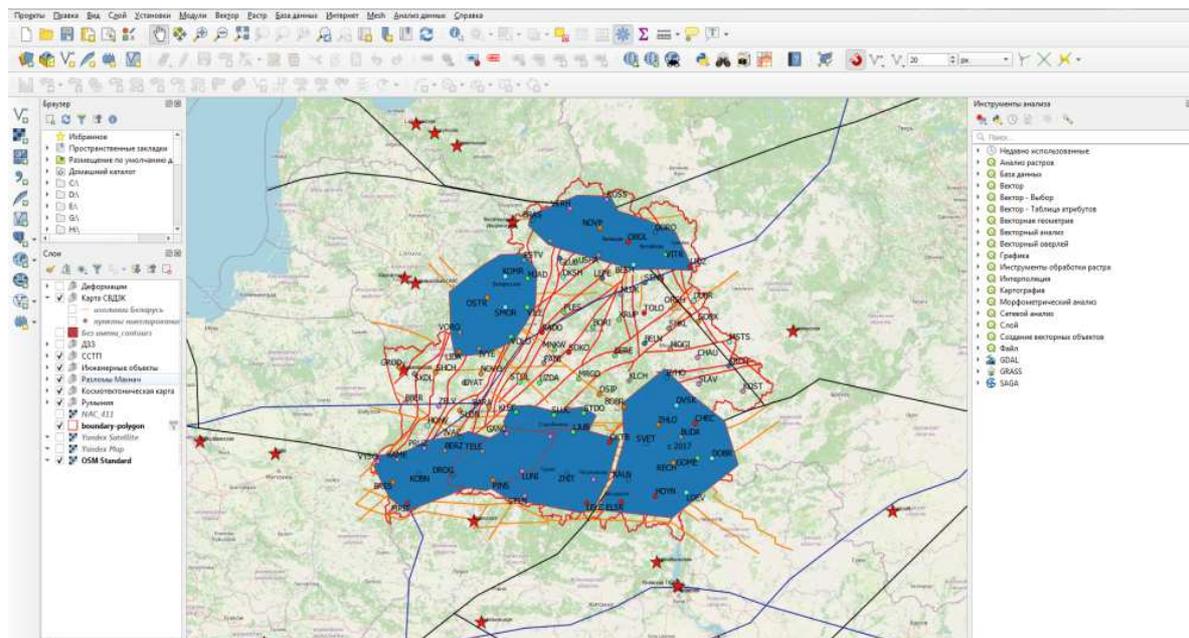


Рисунок 1. – Общий вид ГИС-проекта

Составной слой «Разломы Махнач» включает информацию о разломах земной коры из монографии «Геология Беларуси» [5]. 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 [6] 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 [7]. Включает растровую карту, векторные отметки и изолинии СВДЗК с атрибутами соответствующих величин.

В составной слой «ДЗЗ» 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. Спутниковая сеть точного позиционирования создается в Республике Беларусь с 2010 г. 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 г. система насчитывает 98 постоянно действующих пунктов. Все пункты установлены на зданиях, преимущественно малой этажности. Это допускается согласно рекомендациям к эксплуатации пунктов IGS и EPN [8–10] 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 ар-

мированный железобетонный столб сечением 40 × 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 [11; 12].

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

Во время обучения в аспирантуре автором статьи получен грант Министерства образования, средства которого частично потрачены на приобретение данных для исследований: измерительной информации с постоянно действующих пунктов спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь и данных дистанционного зондирования. 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 7 полигонов интереса, представленных в составном слое «ССТП» в полигональном виде (таблица 1, см. рисунок 1).

Таблица 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, Россонь, Шарковщина, Новополоцк (исходный), Ушачи, Оболь, Бешенковичи, Городок, Витебск, Лиозно	2016 – 2020 гг.	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 гг.	Ошмянский, Мядельский, Налибокский разломы, Белорусская АЭС
Брестский	Высокое, Брест (исходный), Каменец, Малорита, Кобрин, Пружаны, Берёза, Дрогичин, Ивацевичи, Телеханы, Пинск	2016 – 2020 гг.	Каменецкий, Ореховский, Пружанский, Северо-Ратновский разломы, участок нефтепровода «Дружба»
Пинский	Пинск (исходный), Дрогичин, Телеханы, Лунинец, Ганцевичи, Старобин	2015 – 2020 гг.	Стоходско-Могилёвский разлом
Житковичский	Пинск, Телеханы, Ганцевичи, Старобин, Лунинец, Столин, Житковичи, Любань (исходный), Октябрьский, Петриков, Лельчицы	2015 – 2020 гг.	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 гг.	Участок нефтепровода «Дружба», разломы Припятского прогиба, Мозырьское месторождение каменной соли, нефтяные месторождения
Слуцкий	Ганцевичи, Клецк, Слуцк, Старобин, Любань (исходный), Старые Дороги	2014 – 2020 гг.	Стоходско-Могилёвский разлом, Старобинское месторождение калийных солей

Для указанных в таблице 1 станций закуплены (договор № 12747/ПДП/20 от 24.04.2020 г. между РУП «Белгеодезия» и Полоцким государственным университетом) файлы наблюдений в формате RINEX 2.10 продолжительностью 6 ч и с дискретностью в 15 с на дату 30 сентября соответствующего года.

Формат RINEX (Receiver INdependent EXchange format – обменный формат, независимый от приёмника) является общим форматом для хранения данных ГНСС-измерений. Удобство использования состоит также в том, что формат является текстовым, а значит, файлы 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 [12], поэтому, каждый набор данных в нашем случае состоит из трех файлов.

К исследованию дополнительно привлекаются данные станций, включенных в европейскую сеть EUREF (суточные наблюдения с дискретностью 30 с) [14].

Обработка измерений выполняются в программном продукте Trimble Business Center (далее – ТВС).

После импорта данных выбираем интересующие нас векторы, создавая сеть из треугольников. При этом предпочтение отдается более коротким векторам и треугольникам с формой, максимально приближенной к правильной. После вычисления базовых линий и уравнивания сети получаем отчет в формате .html. В отчете представлены уравненные плоские координаты, координаты в общеземной системе и геодезические координаты. Такой формат вывода неудобен для анализа стандартными программными продуктами, поэтому для дальнейшего анализа используем скрипты на языке Python (версия 3.8, интерактивная среда разработчика jupyter). Среди преимуществ среды jupyter можно выделить то, что её интерфейс строится на основе веб-браузера, позволяющего осуществлять вывод результатов в удобочитаемом виде. Программный код записывается в ячейки (cells), и каждая из них 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 к 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.

В исходном отчете ТВС не представлено деление сети на треугольники, поэтому далее в скрипте реализован алгоритм поиска треугольников по известным базовым линиям. Вначале 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 следует 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 $E1$ и минимального $E2$ растяжения, максимального сдвига γ_m , направлений максимального и минимального растяжений φ_{E1} , φ_{E2} следующим образом.

Нам известны плоские координаты станций, образующих треугольник: X_i , Y_i а также их изменения ΔX_i , ΔY_i в последующую эпоху. Рассматривая деформацию в пределах треугольника как однородную, выразим величины ΔX_i , ΔY_i в виде системы линейных уравнений [15]:

$$\begin{cases} \Delta X_1 = X_1 e_{11} + Y_1 e_{12} + a \\ \Delta Y_1 = X_1 e_{21} + Y_1 e_{22} + b \\ \Delta X_2 = X_2 e_{11} + Y_2 e_{12} + a \\ \Delta Y_2 = X_2 e_{21} + Y_2 e_{22} + b \\ \Delta X_3 = X_3 e_{11} + Y_3 e_{12} + a \\ \Delta Y_3 = X_3 e_{21} + Y_3 e_{22} + b \end{cases} \quad (1)$$

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:

$$|T_{ij}| = \begin{vmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Таким образом, имеем 6 уравнений с 6 неизвестными, значит, если определитель матрицы коэффициентов не равен нулю, система совместна и может быть решена.

Для реализации решения на языке python составляем матрицу (объект класса `numpy.matrix`) коэффициентов размерностью 6 на 6 и вектор свободных членов $\Delta X_i, \Delta Y_i$. Решаем систему с помощью функции `numpy.linalg.solve` и в результате получаем вектор решения в виде списка (объект встроеного класса `list`) вида $[e_{11}, e_{12}, e_{21}, e_{22}, a, b]$. Имея значения элементов тензора, вычисляем компоненты деформаций:

$$Q = \frac{e_{11} + e_{22}}{2}. \quad (3)$$

$$E1 = Q + \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2}. \quad (4)$$

$$E2 = Q - \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2}. \quad (5)$$

$$\gamma_m = E1 - E2 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}, \quad (6)$$

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

$$\varphi_{E1, E2} = \frac{1}{2} \arctg\left(-\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right) + A^\circ \quad (7)$$

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

Вычисленное направление может быть как направлением максимального φ_{E1} , так и минимального растяжения φ_{E2} . Чтобы однозначно определить смысл полученного по формуле (7) значения, выполним проверку условия: если $Q > 0$ и $|Q| > \gamma_m$, то полученное значение является направлением минимального растяжения, иначе – максимального [16]. Направления максимального и минимального растяжений взаимно перпендикулярны.

Используя Python-библиотеку `Pyshp`, которая позволяет записывать шейп-файлы – векторный формат геоданных, поддерживаемый 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 φ : «max» либо «min». Добавляем полученные треугольники в ГИС-проект и помещаем в новый составной слой «Деформации», где создаем составные подслои для каждого исследуемого полигона. Применяем к слою метод отображения Градуированный знак по значениям дилатации. Выбираем двухцветный цветовой градиент: оттенки синего для отрицательных значений, оттенки красного – для положительных. Количество классов – 8. Применим полупрозрачность для слоя треугольников, чтобы можно было видеть подложку и разломную сеть сквозь этот слой.

Величины максимального и минимального растяжения отобразим стрелками с помощью встроеного генератора геометрии QGIS (Geometry generator) (рисунок 2). Geometry generator предоставляет широкие возможности для визуализации данных и построения нестандартных условных знаков. Он работает на основе специального языка выражений, близкого к функциональному языку программирования. Язык располагает большим набором стандартных функций для различных операций с пространственными

ми и атрибутивными данными, а кроме того, стандартный набор функций может быть дополнен пользовательскими функциями на языке Python [17].

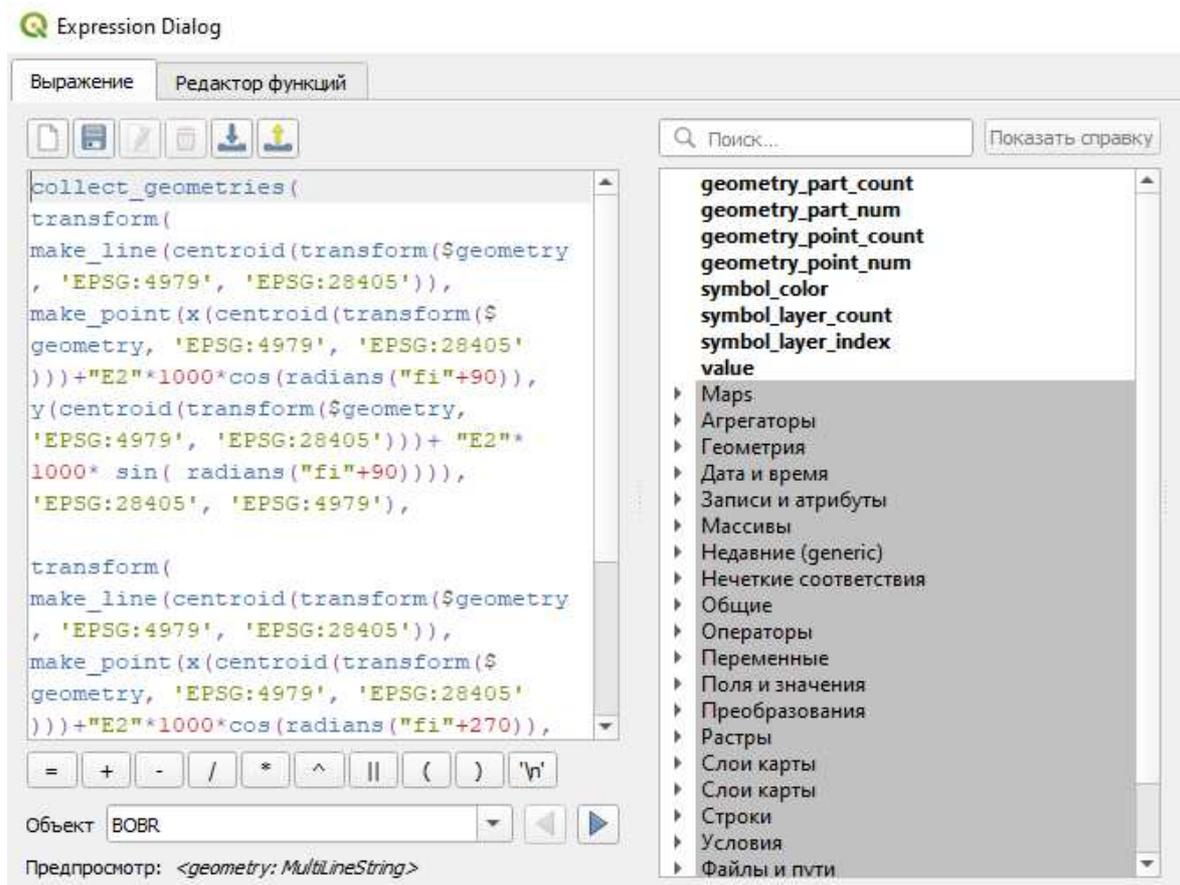


Рисунок 2. – Генератор геометрии QGIS

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:

$$x = x_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

$$y = y_{\text{ц}} \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

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

На рисунке 3 приведен пример визуализации компонент деформации в ГИС. Стили отображения сохраняем в файл стилей с расширением *.QML, чтобы впоследствии можно было применить аналогичный стиль для других полигонов и эпох.

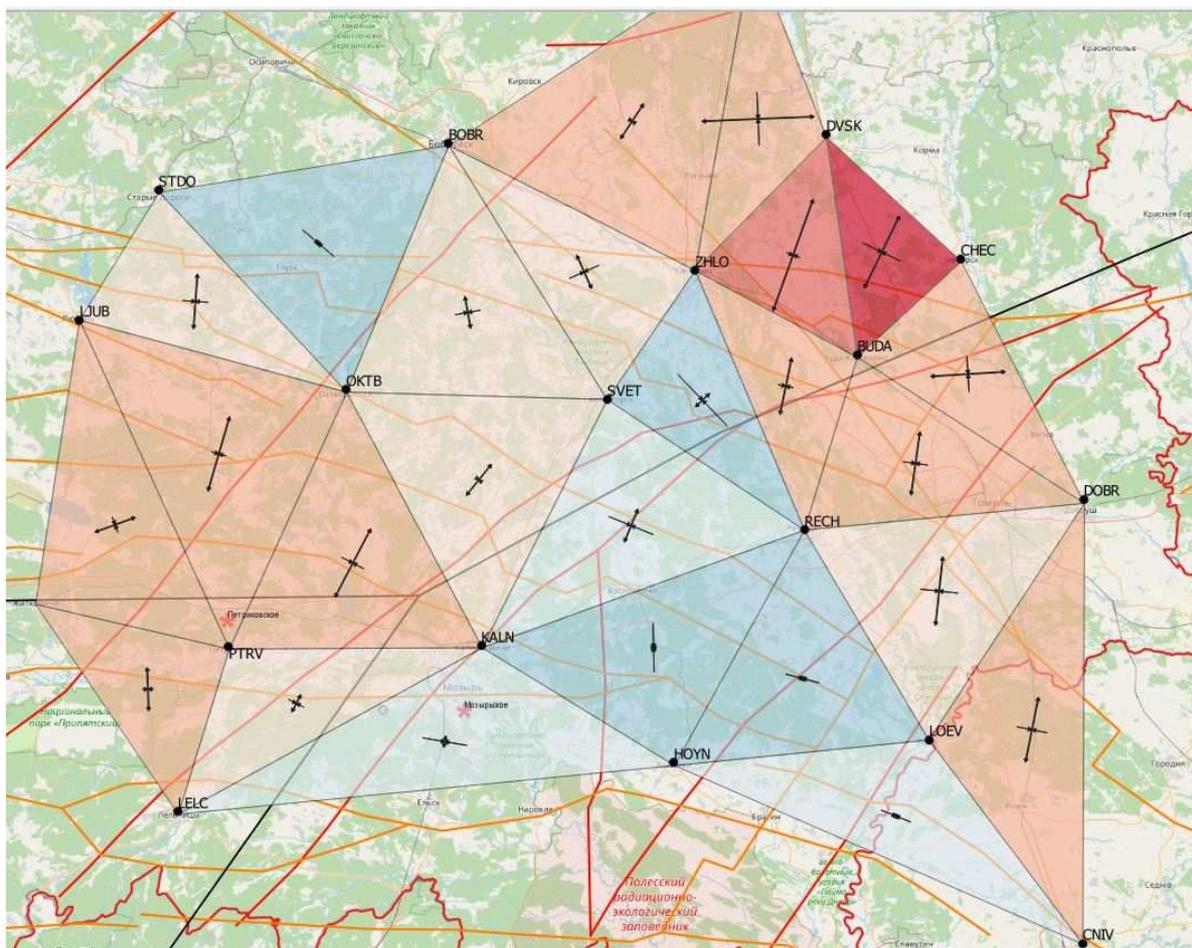


Рисунок 3. – Пример визуализации компонент деформации в QGIS для Гомельского полигона за 2017 – 2018 гг. Масштаб стрелок растяжения и сжатия условный

Заключение. Таким образом, ГИС-проект позволяет объединить данные различного рода, полученные из различных источников, помогает наиболее эффективно реализовать междисциплинарный подход. Можно выделить две главные функции ГИС-проекта: с одной стороны, он помогает планировать исследования, помогает в подборе необходимых данных; с другой – позволяет представить результаты в удобочитаемом виде, помогает в их интерпретации. Использование программного продукта QGIS и языка программирования Python дает широкие возможности для интеграции с другими программными продуктами. Генератор геометрии QGIS позволяет разрабатывать новые, нестандартные условные обозначения. ГИС-проект нельзя считать законченным: он будет непрерывно пополняться по мере проведения новых исследований по данной теме и получения новых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шароглазова, Г.А. Многодисциплинарный подход к моделированию геодинамических процессов / Г.А. Шароглазова, П.С. Долгий // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 179–183.
2. Геолого-тектонические условия возникновения аварийности на магистральных нефтепроводах Белоруссии / Г.А. Шароглазова [и др.] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2008. – № 1. – С. 58–60.
3. Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского Приуралья / В.В. Михалев [и др.] // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2005. – № 1. – С. 75–77.
4. Ульмасвай, Ф.С. Геологические условия возникновения зон потенциальной аварийности магистральных газопроводов на севере Западной Сибири / Ф.С. Ульмасвай // Газовая промышленность – 1997 – № 7. – С. 37–38

5. Махнач, А.С. Геология Беларуси / А.С. Махнач, Р.Г. Гарецкий, А.В. Матвеев – Минск : Ин-т геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
6. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Літасфера. – 2013. – № 1. – С. 3–30.
7. 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.
8. 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>. – Date of access: 01.05.2020.
9. Monumentation Recommendations, August 31, 2015 [Electronic resource] // International GNSS Service. – 2015. – Mode of access: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816>. – Date of access: 01.05.2020.
10. Guidelines for EPN Stations&Operatiojnal Centres, last updates 26-10-2015 [Electronic resource] / C.Bruyninx // Munich, EPN Central Bureau.– 2015. – Mode of access: http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_stations_operationalcentre.pdf. – Date of access: 01.05.2020.
11. Рудницкая, Н.А. Спутниковая система точного позиционирования как часть государственной геодезической инфраструктуры Республики Беларусь / Н.А. Рудницкая // Земля Беларуси – 2016. – № 3 – С. 40 – 46.
12. ССТП РБ [Электронный ресурс] // Белгеодезия. – Режим доступа: <https://geo.by/sstp/>. – Дата доступа: 01.05.2020.
13. Общий формат ГНСС-данных RINEX [Электронный ресурс] // Ориент Системс. – Режим доступа: <https://orsyst.ru/blog15>. – Дата доступа: 15.11.2020.
14. EUREF Permanent GNSS Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://epncb.oma.be/_networkdata/stationlist.php. – Дата доступа: 20.10.2020 г.
15. Есиков, Н.П. Определение деформаций земной поверхности по непосредственно измеренным элементам геодезических сетей / Н.П. Есиков // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. – М. : Наука, 1979. – 152 с.
16. Остач, О.М. Методическое руководство по геодезическим работам на геодинамических полигонах / О.М. Остач, В.Н. Дмитроиченков. – М. : ЦНИИГАиК, 1984.
17. 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.

Поступила 10.12.2020

GIS-PROJECT “GEODYNAMICS IN BELARUS”

P. DOLHI

The article is devoted to the GIS project "Geodynamics in Belarus", developed within the framework of a dissertation research in order to present data from various Earth Sciences (geodesy, Geology, Geophysics, seismology) in a single thematic database. The project contains not only information about the geological and tectonic structure of the territory of Belarus, seismicity and deformations of the earth's crust caused by endogenous processes, but also the influence of technogenic factors on natural geodynamics: development of mineral deposits, construction and operation of hydroelectric power stations, main pipelines (MP). The project also presents remote sensing data, digital terrain models, and results of observations from the stations of the satellite network of precise positioning (SNPP) of the Republic of Belarus with polygons of interest built for the study of phenomena and objects that pose a geological hazard with possible adverse consequences for the environment. Using the example of the stations of the Gomel polygon, the possibility of visualization of deformation components in GIS is demonstrated, the calculation of which is performed in an interactive development environment in python jupyter; visualization of dilation characteristics is performed using graduated signs, and the values of maximum and minimum extensions are performed using a geometry generator.

Keywords: GIS project, geodynamics, repeated observations, deformation components, GIS- representation of geodynamic phenomena, QGIS geometry generator.