

ГИС-ПРОЕКТ «ГЕОДИНАМИКА БЕЛАРУСИ»

П. С. Долгий

кафедра геодезии и ГИС факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, p.dolgi@psu.by

Г. А. Шароглазова

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой геодезии и ГИС факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета, g.sharoglazova@psu.by

Статья посвящена ГИС-проекту по тематике геодинамики Беларуси, разрабатываемому в рамках диссертационного исследования. В проект включены данные различных источников: строение земной коры Беларуси и разломная сеть, ответственные инженерные сооружения, станции ССТП РБ и полигоны интереса, построенные для исследования геодинамически опасных явлений и объектов. На примере шести станций Старобинского полигона показан результат вычисления разностей наклонных дальностей по данным повторных ГНСС-наблюдений; с использованием интерактивной среды программирования на языке python и библиотек, работающих с форматами ГИС-данных, показан пример вычисления компонентов деформации, таких как дилатация, сдвиг, направление смещений и их визуализация в ГИС.

Ключевые слова: ГИС-проект; геодинамика; повторные наблюдения; компоненты деформации; представление геодинамических явлений в ГИС

Геодинамика – сложная научная дисциплина, требующая междисциплинарного подхода различных наук о Земле. ГИС-технологии могут выступать удобным инструментом для структурирования разнородных данных, планирования исследований. Нами в рамках работы над кандидатской диссертацией разрабатывается ГИС-проект по тематике геодинамики Беларуси, включающий данные различного рода (рисунок 1). 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.

Разломы земной коры нанесены по данным карт из монографии «Геология Беларуси» [4] и разделены на различные слои в зависимости от возраста заложения.

Космотектонические структуры нанесены по данным космотектонической карты Беларуси [2].

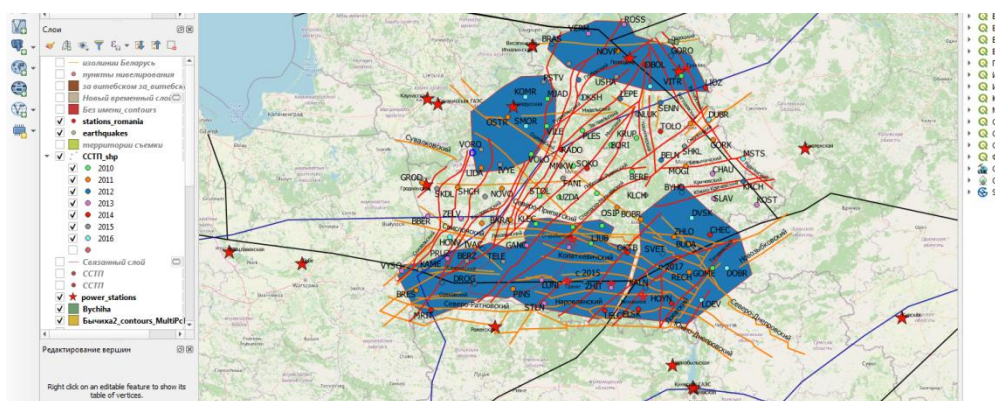


Рисунок 1 – Общий вид ГИС-проекта в среде QGIS

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 охватить активные тектонические структуры и другие объекты интереса. В итоге выделено 7 полигонов интереса (таблица 1).

Для указанных в таблице 1 станций получены файлы наблюдений в формате RINEX продолжительностью 6 часов на дату 30 сентября соответствующего года. Для 2016–2017 годов, а также для станций, включенных в европейскую сеть EUREF [1] (Новополоцк, Брест, Гомель, Лида, Поставы, Вильнюс) доступны суточные измерения. Расчеты выполняются в программном продукте Trimble Business Center.

После импорта данных выбираем интересующие нас векторы, создавая сеть из треугольников. При этом предпочтение отдается более коротким векторам и треугольникам с максимально приближенной к правильной формой. 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. Для дальнейшего анализа используем скрипты на языке Python (версия 3.8, интерактивная среда разработчика Jupyter). Используя прямоугольные координаты, вычислим горизонтальные длины линий, а по координатам в общеземной системе – наклонные дальности. Остановимся подробнее на результатах, полученных для Старобинского полигона интереса (таблица 2).

Наиболее значимые изменения наклонных дальностей отмечены в 2014–2015 годах по линиям Ганцевичи – Клецк, Старые дороги – Любань; 2016–2017 гг. по линиям Старые Дороги – Любань, Слуцк – Старые дороги; 2018–2019 годах по линиям Ганцевичи – Старобин, Клецк – Слуцк, Клецк – Старобин.

Таблица 1 – Полигоны интереса

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, Черчерск, Жлобин, Буда-Кошелево, Светлогорск, Октябрьский, Петриков, Лельчицы, Ельск, Калинковичи, Хойники, Лоев, Речица, Гомель (исходный), Добруш.	2017–2020	Участок нефтепровода Дружба, разломы Припятского прогиба, Мозырское месторождение каменной соли, нефтяные месторождения.
Слуцкий	Ганцевичи, Клецк, Слуцк, Старобин, Любань (исходный), Старые Дороги	2014–2020	Стоходско-Могилёвский разлом, Старобинское месторождение калийных солей.

Таблица 2 – Разности наклонных дальностей по годам для Старобинского полигона, м

Базовая линия		2015–2014	2016–2015	2017–2016	2018–2017	2019–2018
GANC	KLEC	-0,0052	-0,0006	0,0000	0,0012	-0,0013
GANC	STRB	-0,0016	-0,0003	-0,0019	-0,0004	0,0037
KLEC	SLUC	-0,0006	-0,0005	-0,0007	-0,0008	0,0028
KLEC	STRB	-0,0003	0,0005	-0,0010	0,0001	0,0041
SLUC	LJUB	-0,0016	0,0008	-0,0017	0,0005	0,0008
STDO	LJUB	-0,0039	0,0010	-0,0021	0,0019	-0,0018
STRB	LJUB	-0,0025	0,0007	-0,0005	0,0002	0,0009
SLUC	STDO	-0,0017	-0,0001	-0,0028	0,0008	0,0021
SLUC	STRB	-0,0033	0,0023	-0,0010	0,0029	-0,0003

Используя библиотеку `pyshp`, по урвненным координатам получены линейные шейп-файлы базовых линий и полигональные шейп-файлы треугольников. В атрибуты прописаны длины линий.

Рассчитаем компоненты деформации для треугольников (таблица 3): дилатацию Q , максимальный сдвиг γ_m , направление главной оси деформации φ_{E1} по трилатерацинным формулам Н.П.Есикова [3]:

$$Q = \frac{P_2(P_2 - a_2)(P_2 - b_2)(P_2 - c_2)}{P_1(P_1 - a_1)(P_1 - b_1)(P_1 - c_1)} - 1 \quad (1)$$

$$\gamma_1 = \frac{2\Delta b}{b} - Q - 1 \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \frac{\left(1 + \frac{\Delta c}{c_1}\right)\left(\frac{b_2^2 + c_2^2 - a_2^2}{2c_2b_2}\right) - \left(1 + \frac{\Delta b}{b_1}\right)\left(\frac{b_1^2 + c_1^2 - a_1^2}{2c_1b_1}\right)}{1 - \left(\frac{b_1^2 + c_1^2 - a_1^2}{2c_1b_1}\right)^2} \quad (3)$$

$$\gamma_m = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} \quad (4)$$

$$\varphi_{E1} = \frac{1}{2} \arctg \frac{\left(1 + \frac{\Delta c}{c_1}\right)\left(\frac{b_2^2 + c_2^2 - a_2^2}{2c_2b_2}\right) - \left(1 + \frac{\Delta b}{b_1}\right)\left(\frac{b_1^2 + c_1^2 - a_1^2}{2c_1b_1}\right)}{\left(2\frac{\Delta b}{b_1} - Q - 1\right)\left(1 - \frac{b_1^2 + c_1^2 - a_1^2}{2c_1b_1}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

где $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, \Delta a, \Delta b, \Delta c$ – стороны треугольника для первой и второй эпох и их изменения; P_1, P_2 – полупериметр треугольника в первую и вторую эпохи измерений.

В дальнейшем возможно визуализировать компоненты деформаций в ГИС. На рисунке 2 показан пример визуализации дилатации методом количественного фона.

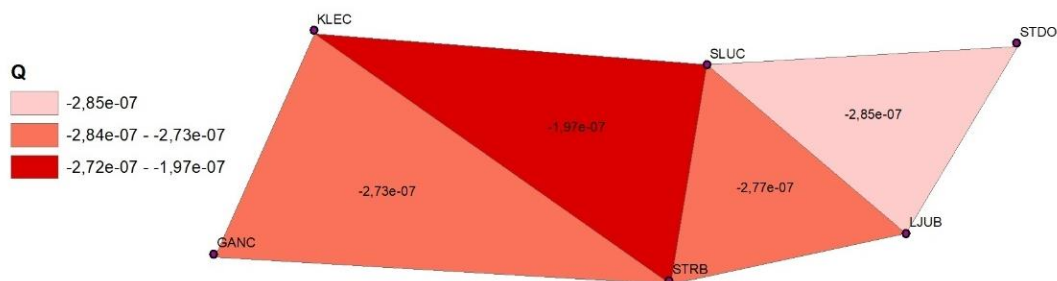


Рисунок 2 – Пример визуализации величины дилатации для Старобинского полигона за 2014–2015 гг.

Таблица 3 – Компоненты деформации для Старобинского полигона

Треугольник	Величина	2014–2015	2015–2016	2016–2017	2017–2018	2018–2019
Ганцевичи Клецк Старобин	Q	-2,73E-07	-2,12E-08	-4,22E-08	5,64E-08	6,28E-08
	γ_1	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00
	γ_2	1,89E-07	5,02E-08	7,71E-09	-1,44E-08	1,20E-07
	γ_m	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	φ_{E1}	-3,87E-06	-1,03E-06	-1,58E-07	2,96E-07	-2,47E-06
Клецк Слуцк Старобин	Q	-1,97E-07	1,22E-07	-8,22E-08	1,46E-07	8,12E-08
	γ_1	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00
	γ_2	4,96E-08	-5,18E-10	4,82E-10	-1,10E-08	5,97E-08
	γ_m	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	φ_{E1}	-1,53E-06	1,60E-08	-1,49E-08	3,40E-07	-1,85E-06
Слуцк Любань Старобин	Q	-2,77E-07	1,54E-07	-1,14E-07	1,61E-07	3,54E-08
	γ_1	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00
	γ_2	-4,66E-08	7,67E-09	3,84E-08	6,26E-09	3,23E-09
	γ_m	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	φ_{E1}	1,45E-06	-2,39E-07	-1,20E-06	-1,95E-07	-1,01E-07
Старые дороги Слуцк Любань	Q	-2,85E-07	7,85E-08	-2,14E-07	1,37E-07	-5,20E-08
	γ_1	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00	-1,00E+00
	γ_2	9,27E-08	6,58E-09	2,95E-08	-5,18E-08	8,07E-08
	γ_m	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	φ_{E1}	-2,41E-06	-1,71E-07	-7,65E-07	1,35E-06	-2,09E-06

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. EUREF Permanent GNSS Network [Electronic resources]. Mode of access: https://epncb.oma.be/_networkdata/stationlist.php.
2. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Святогоров А.А. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000: создание и результаты // Літасфера. 2013. № 1. С. 3–30.
3. Есиков Н.П. Определение деформаций земной поверхности по непосредственно измеренным элементам геодезических сетей // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. М.: Наука, 1983. С. 135–138.
4. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. Геология Беларуси. Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.