

КОМПЛЕКСНОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СРЕДЕ АВТОРСКОГО ГИС- ПРОЕКТА «ГЕОДИНАМИКА БЕЛАРУСИ»

П. С. Долгий

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

Г. А. Шароглазова

к.т.н., заведующий кафедрой геодезии и геоинформационных систем факультета
информационных технологий Полоцкого государственного университета

В работе описана предлагаемая методика расчета комплексного показателя геологической опасности территорий в среде ГИС. ГИС проект включает различные данные: картографические материалы, данные дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа, результаты повторных ГНСС-исследований и др. В качестве конечных элементов для зонирования приняты треугольники, использовавшиеся при ГНСС-исследованиях. Критерии включают скорости современных движений, вычисленные как по ГНСС-наблюдениям, так и по данным повторного нивелирования, а также густоту линейных элементов, удаленность от очагов современных сейсмических событий и т.д. Комплексный показатель протестирован на примере Полоцкого полигона. Показатель может дополняться новыми критериями по мере появления в ГИС-проекте новых данных.

Ключевые слова: геологическая опасность; комплексный показатель; геодинамика; зонирование.

В рамках диссертационного исследования во время обучения в аспирантуре автором доклада разрабатывался ГИС-проект «Геодинамика Беларуси», объединяющий данные исследований различных наук о Земле, а также позволяющий планировать новые исследования [1].

В качестве платформы выбран свободный ГИС-продукт QGIS. С точки зрения сбора, представления, визуализации геопространственных данных и большинства видов анализа в настоящий момент QGIS ни в чем не уступает коммерческим ГИС-пакетам.

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

- Инженерные объекты (магистральные трубопроводы, электростанции, крупнейшие месторождения полезных ископаемых, а также сведения об авариях на них);
- Разломы (данные о тектонических разломах на территории Беларуси по данным монографии «Геология Беларуси» А.С.Махнач и др. [2]);
- Полоцк (материалы геодинамических исследований в Полоцком регионе проводимых в рамках научной деятельности кафедры геодезии и ГИС Полоцкого

государственного университета [3–5]);

- Кристаллический фундамент (карты, векторные данные и построенные по ним цифровые модели кристаллического фундамента Беларуси);
- Космотектоническая карта (по Гарецкому, Каратаеву и др., в растровом и векторном виде [6]);
- Карта СВДЗК («Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР» 1989 года издания [7]. Растровые и векторные данные);
- ДДЗ (снимки различных космических аппаратов (Landsat 5–8, Sentinel 1–2, Ресурс-П на территорию инженерных объектов и других территорий);
- ЦМР (фрагменты различных свободно распространяемых ЦМР на территорию Беларуси);
- Карты Национального атласа Республики Беларусь [8];
- ССТП (информация о станциях спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь, которая в настоящий момент является наиболее развитой ГНСС-сетью на территории Беларуси с наилучшим закреплением центров пунктов [9–10]);
- Деформации (слой построен на основе анализа измерительной информации со станций ССТП. Данные приобретены на средства аспирантского гранта Министерства образования на 2020 год. Для различных полигонов интереса построены регулярные сетки из треугольников со станциями ССТП в качестве узлов. Для каждого из треугольников рассчитаны компоненты деформаций по формулам Есикова [11]).

Для обобщения разнородных данных нами предложен интегральный индекс геологической опасности территории. Поскольку результаты обработки повторных ГНСС-наблюдений выражены в виде компонентов деформации, относящихся к треугольникам, в качестве конечных элементов для вычисления индекса также примем эти треугольники.

Комплексный индекс геологической опасности для каждого треугольника вычисляется по формуле:

$$P = p_{\text{осн}1} + p_{\text{осн}2} + \dots + p_{\text{осн}i} + p_{\text{доп}1} + p_{\text{доп}2} + \dots + p_{\text{доп}i} \quad (1)$$

где P – комплексный индекс; $p_{\text{осн}i}$ – i -й основной критерий, $p_{\text{доп}i}$ – i -й дополнительный критерий.

Количество основных и дополнительных критериев может меняться в зависимости от наличия тех или иных данных. Все описанные показатели имеют различную величину. Чтобы учесть их вместе, необходимо привести показатели к единой балльной шкале. Для этого будем вычислять долю данного значения от максимального для всех исследуемых треугольников в процентах. В нашем случае имеем следующие основные показатели.

$p_{\text{осн1}}$ – сумма модулей сдвига за рассматриваемый период;

$$p_{\text{осн1}} = \sum_{n=1}^N \gamma_m \quad (2)$$

где n – номер эпохи; m – число эпох, входящих в период.

Второй из основных критериев – разность максимального и минимального значений современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК), определенных методом повторного высокоточного нивелирования для территории треугольника.

$$p_{\text{осн2}} = v_{\text{max}} - v_{\text{min}} \quad (3)$$

где $V_{\text{max}}, V_{\text{min}}$ – максимальное значение скорости СДЗК для данного треугольника;

Другой способ измерения СВДЗК, однако, уступающий по точности геометрическому нивелированию и сильно зависящий от характера отражающей поверхности – радарная интерферометрическая съемка. Критерий ($p_{\text{осн3}}$) для данного способа вычисляется аналогично третьему.

Линеаментный анализ не дает количественной характеристики геодинамических явлений, но, выявленные в его результате линейные (кольцевые) структуры могут косвенно свидетельствовать о геодинамической опасности активных разломов. Критерий $p_{\text{осн4}}$ будем рассчитывать как отношение суммарной длины штрихов, выявленных в результате анализа, к площади треугольника:

$$p_{\text{осн4}} = \frac{\sum l}{S_{\text{тр}}} \quad (4)$$

Аналогично вычисляется $p_{\text{осн5}}$ для разломов, выявленных по геофизическим данным (по монографии Махнача и т.п.).

В качестве первого дополнительного критерия $p_{\text{доп1}}$ введем сумму магнитуд сейсмических событий, произошедших на исследуемой территории в прошлом. При этом, события, происходившие в прошлые эпохи, в меньшей степени представляют опасность, чем события, регулярно наблюдаемые в современную эпоху. Так же, как и более удаленные события менее опасны, чем происходящие в непосредственной близости. Поэтому, для данного критерия введем коэффициенты. Первый из них обратно зависит от количества лет, прошедших со времени события. Второй – учитывает расстояние до очага события. В результате получится малая величина, поэтому, чтобы привести показатель к общей шкале, изначальное значение магнитуды умножим на 100.

$$p_{\text{доп1}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{T} \frac{1}{D} M_i \cdot 100 \quad (5)$$

где $\frac{1}{T}$ – коэффициент, где T – число лет, прошедших со времени сейсмического события; $\frac{1}{D}$ – коэффициент, где D – расстояние от центра данного треугольника до очага события в км.; M – магнитуа события; N – суммарное количество событий, произошедших в пределах рассматриваемого треугольника.

И, наконец, второй дополнительный критерий $p_{\text{доп2}}$ учитывает количество действующих месторождений полезных ископаемых в пределах треугольника.

Введем относительную оценку. Приняв максимальное значение критерия за 100%, вычислим балл для остальных значений в процентах относительно максимального для всех критериев, кроме $p_{\text{доп1}}$.

Данные по радарной интерферометрии на данный момент в нашем ГИС-проекте не представлены, поэтому критерий $p_{\text{осн3}}$ вычислять не будем. Рассмотрим для примера зонирование по Полоцкому полигону.

Шесть треугольников из 11 имеют низкую степень геологической опасности. Наиболее опасными признаны треугольники Новополоцк – Ушачи – Оболь, Городок – Витебск – Лиозно и Новополоцк – Россоны – Оболь. Окрестности крупных городов – Полоцка Новополоцка, Витебска характеризуются высокой степенью промышленной освоенности, поэтому для соответствующих треугольников характерна высокая степень геологической опасности (рисунок, таблица).

Таблица – Показатели геологической опасности для Полоцкого полигона

Треугольник	$p_{\text{осн1}}$	Ранг $p_{\text{осн1}}$	$p_{\text{осн3}}$	$p_{\text{осн5}} \cdot 10^{-3}$	Ранг $p_{\text{осн5}}$	$p_{\text{осн6}} \cdot 10^{-3}$	Ранг $p_{\text{осн6}}$	$p_{\text{доп2}}$	Сумма
Оболь-Бешенковичи - Ушачи	4,95	15	-1	4,1	78	7,3	41	-	134
Шарковщина – Ушачи – Новополоцк	2,65	8	-1	5,0	94	6,0	33	-	135
Верхнедвинск – Шарковщина - Новополоцк	4,33	13	-1	4,5	84	7,8	43	-	140
Россоны – Верхнедвинск – Новополоцк	4,83	15	-1	4,2	79	8,2	45	-	139
Оболь – Витебск – Бешенковичи	2,04	6	-1	3,5	66	10,0	55	-	127
Россоны – Городок – Оболь	5,22	16	-1	3,7	70	15,4	85	-	171
Лиозно – Витебск - Бешенковичи	32,64	100	-1	3,1	59	5,0	27	-	186
Городок – Оболь – Витебск	14,83	45	-1	3,1	59	13,5	75	-	179
Россоны – Оболь – Новополоцк	4,84	15	-1	4,6	88	9,3	52	90	245
Городок – Витебск – Лиозно	24,08	74	-1	3,0	57	18,1	100	-	231
Оболь – Ушачи - Новополоцк	3,90	12	-1	5,3	100	8,6	48	100	260

Предложенная методика использует данные, имеющиеся в ГИС-проекте на данный момент. Набор показателей будет пополняться по мере привлечения в ГИС-проект других данных.

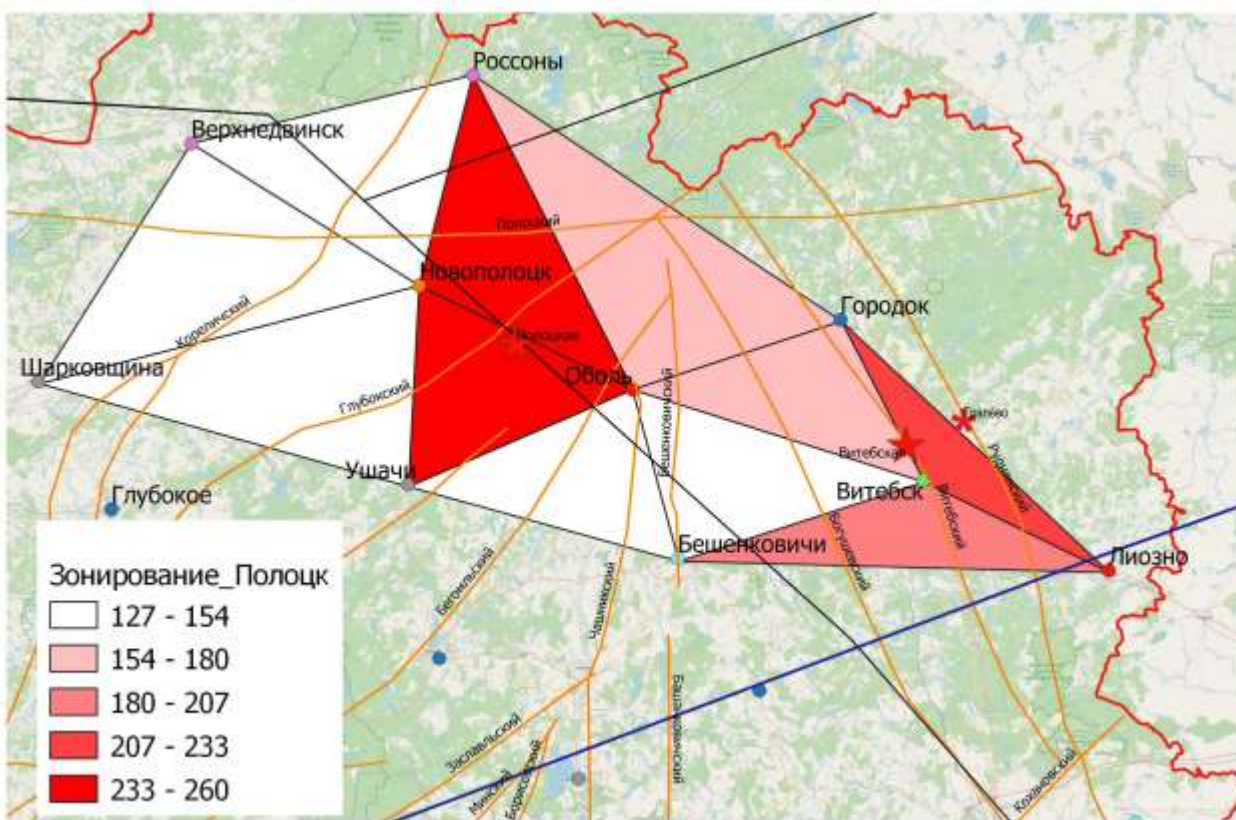


Рисунок – зонирование территории Полоцкого полигона по комплексному показателю геологической опасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Долгий П.С. ГИС-проект «Геодинамика Беларуси» // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2020. № 16. С. 8–15.
2. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. Геология Беларуси. Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
3. Инструментальные исследования современной геодинамики в Полоцком регионе/ Шароглазова Г.А. [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 153–155.
4. 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.
5. Анализ применения метода Христова к исследованию вертикальных движений земной коры. / Г.А. Шароглазова [и др.]// Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Строительство. 2008. №12. С.99–105.
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. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры савеце міністраў Рэспублікі Беларусь. Мінск: РУП “Белкартаграфія”, 2002. 292 с.
9. Рудницкая Н.А. Спутниковая система точного позиционирования как часть государственной геодезической инфраструктуры Республики Беларусь // Земля Беларуси. 2016. № 3. С. 40–46.
10. ССТП РБ // Белгеодезия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geo.by/sstp/>. Дата доступа: 01.05.2020.
11. Есиков Н.П. Определение деформаций земной поверхности по непосредственно измеренным элементам геодезических сетей // Современные движения и деформации земной коры на геодинамических полигонах. М.: Наука, 1979. 152 с.