

УДК 528.481

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УЧАСТКЕ ПОЛОЦКО-КУРЗЕМСКОЙ ЗОНЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА,  
д-р техн. наук, проф. В.Н. КОРОВКИН, А.Н. СОЛОВЬЕВ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Представлены результаты моделирования геодинамических процессов в земной коре на локальном участке Полоцко-Курземской зоны тектонических разломов, выполненного по данным шести циклов высокоточного повторного нивелирования. Сделан вывод, что применение метода Христового при выделении долгопериодической составляющей современных движений земной коры не должно носить механический характер, а требует выполнения тщательного анализа имеющегося геодезического материала и поиска оптимальных математических моделей исследуемых геодинамических процессов, приводящих к наиболее достоверному результату.*

К настоящему времени в ряде стран, включая и Беларусь, накоплен значительный объем результатов инструментальных исследований современных движений земной коры (СДЗК). Это позволяет приступить к установлению возможных закономерностей проявления геодинамических процессов, происходящих в земной коре: их математическому моделированию, проверке существующих геологических моделей или разработке новых. Сформулированная задача является очень сложной, так как она затрагивает вопросы моделирования физических явлений, обычно приводящих к решению некорректных математических задач. Ее направления обозначены в трудах ряда известных ученых [3, 4, 6], но окончательное решение вопроса требует дальнейших исследований.

Некоторые результаты моделирования геодинамических процессов в земной коре на Полоцком профиле, расположенном на локальном участке Полоцко-Курземской зоны тектонических разломов [1], представлены в работе [7]. Они получены по данным четырех циклов повторного нивелирования. В основу брался алгоритм метода Христового [2, 8] и проверялись следующие модели вертикальных деформаций земной коры в районе исследований:

- деформации обусловлены унаследованными движениями земной коры (длиннопериодическая составляющая);

- деформации обусловлены как унаследованными, так и незакономерными движениями земной коры (длиннопериодическая + короткопериодическая составляющая).

Заметим, что моделирование вертикальных деформаций земной коры в соответствии с алгоритмом Христового при наличии четырех циклов повторного нивелирования можно произвести только для случая аппроксимации этих движений многочленом 1-го порядка. Именно такая аппроксимация дана в работе [7], где моделирование выполняется по результатам шести циклов повторного нивелирования, что позволило усложнить модель движения реперов.

Таким образом, для получения наиболее вероятной модели развития вертикальных деформаций земной коры на Полоцком геодинамическом профиле с использованием алгоритма Христового совместное уравнивание шести циклов измерений (2004 – 2009 гг.) произведено для случаев линейной, квадратичной и кубической аппроксимаций, представленных формулами (1), (2), (3) соответственно:

$$H_A^i = H_A^0 + V_A(T_i - T_0), \quad (1)$$

$$H_A^i = H_A^0 + V_A(T_i - T_0) + A_A(T_i - T_0)^2, \quad (2)$$

$$H_A^i = H_A^0 + V_A(T_i - T_0) + A_A(T_i - T_0)^2 + B_A(T_i - T_0)^3, \quad (3)$$

где  $V_A$  – уравненная величина скорости вертикального движения репера  $A$ ;  $A_A$  – уравненная величина половины ускорения репера  $A$ ;  $B_A$  – коэффициент кубического уравнения;  $T_i$  – эпохи выполнения измерений;  $T_0$  – начальная эпоха, к которой приводятся результаты нивелирования.

В результате этого уравнивания для каждой из аппроксимирующих моделей вертикальных движений реперов на исследуемом профиле были получены соответствующие неизвестные ( $V$ ,  $A$ ,  $B$ ), представленные в таблице 1.

Как известно [2], проверка адекватности используемых моделей выполняется в настоящее время по величине взвешенной суммы квадратов остаточных невязок уравнений погрешностей, т.е.  $[Pv\bar{v}]$ , которая при целесообразном применении усложненной модели должна уменьшаться по мере увеличения степени аппроксимирующего многочлена.

Таблица 1

Результаты уравнивания шести циклов нивелирования по методу Христова для различных моделей вертикальных движений реперов на участке Полоцко-Курземской зоны тектонических разломов

№ реперов	Модели вертикальных движений реперов					
	линейная	квадратичная		кубическая		
	V мм/год	V мм/год	A мм/год <sup>2</sup>	V мм/год	A мм/год <sup>2</sup>	В <sub>A</sub>
1	2	3	4	5	6	7
59	0,0	0,0		0,0		
7130	0,65	1,03	-0,05	-7,36	2,73	-0,26
8372	2,76	6,26	-0,50	-24,54	9,70	-0,97
7701	0,14	-3,75	0,56	-36,84	11,52	-1,04
7873	1,28	1,62	-0,05	-18,62	6,66	-0,64
3895	1,49	1,32	0,02	-26,18	9,13	-0,87
6284	1,52	1,30	0,03	-27,75	9,66	-0,92
6931	1,46	0,80	0,09	-29,28	10,06	-0,95
7100	1,21	-1,49	0,39	-43,08	14,16	-1,31
3902	0,95	-0,96	0,27	-32,70	10,79	-1,00
5960	1,36	2,20	-0,12	-22,83	8,17	-0,79
[P <sub>VV</sub> ]	290,104	227,32		140,89		

Из таблицы 1 видно, что [P<sub>VV</sub>] при линейной аппроксимации оказалась наибольшей, а при кубической аппроксимации наименьшей. Таким образом, данный признак оценки адекватности модели убедительно свидетельствует в пользу модели (3), для которой [P<sub>VV</sub>] оказалась в 2,06 раза меньше, чем для линейной аппроксимирующей модели, и в 1,61 раз меньше, чем для квадратичной модели. Однако значения скоростей вертикальных смещений реперов при кубической аппроксимации резко возросли по величине, изменили знак на противоположный и не соответствуют принятому представлению о СДЗК, которые подразделяются на медленные (с величинами для Беларуси порядка 2 – 3 мм в год), средние или предвестниковые (до см в год) и быстрые или сейсмические (дм и м). Наиболее вероятно, что во всех исследуемых моделях (1) – (3) за медленные СДЗК отвечают скорости вертикальных движений реперов, которые для изучаемого участка Полоцко-Курземской зоны тектонических разломов не могут достигать нескольких сантиметров, как это наблюдается в случае кубической аппроксимации.

Полученные результаты моделирования СДЗК дополнительно были проверены путем сравнения отметок для всех шести эпох, вычисленных согласно формулам (1) – (3) по найденным из уравнивания для каждой модели неизвестным (см. табл. 1), с измеренными значениями этих отметок. Последние могут быть легко определены по измеренным превышениям во все участвующие в моделировании эпохи нивелирования (2004 – 2009 гг.), и при оценке адекватности моделей должны приниматься за эталон. По результатам сравнения была выполнена оценка каждой модели по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{i(\text{выч.})} - H_{i(\text{изм.})})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

В формуле (4)  $n$  – общее число разностей для шести эпох наблюдений по каждой исследуемой модели, равное 60;  $i$  – номер репера.

Результаты сравнения даны в таблице 2, которая вновь, хотя не так убедительно, как в предыдущем случае, свидетельствует в пользу кубической аппроксимации.

Таблица 2

Оценка моделей СДЗК на участке Полоцко-Курземской зоны разломов по отклонениям вычисленных для каждой модели отметок реперов от их измеренных значений

Средние квадратические ошибки $m$ , найденные по формуле (4) для исследуемых моделей, мм		
линейная	квадратичная	кубическая
4,96	4,91	3,86

Таким образом, проведенные исследования показали, что по формальным признакам фоновая компонента современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) на исследуемом участке Полоцко-Курземской зоны разломов существует, так как  $[P_{vv}]$  для линейной модели уменьшилась по сравнению с суммой квадратов свободных членов уравнений погрешностей. Дальнейшее усложнение моделей оправдывается, так как сумма квадратов остаточных невязок последовательно уменьшалась от линейной к квадратичной и кубической аппроксимациям, а средние квадратические ошибки, найденные по отклонениям вычисленных отметок реперов от их измеренных значений, также уменьшались по мере усложнения модели. Однако скорости СВДЗК, прежде всего для кубической модели развития вертикальных деформаций, оказались абсолютно нереальными, что еще раз подтверждает вывод, данный в работе [7], согласно которому применение метода Христова при изучении СДЗК не должно носить механический характер, а требует выполнения тщательного анализа имеющегося геодезического материала и поиска оптимальных математических моделей исследуемых геодинамических процессов, приводящих к наиболее достоверному выделению фоновой или долгопериодической компоненты вертикальных движений реперов по нескольким циклам повторного нивелирования. Это особенно важно, так как при выполнении предпроектных геодинамических исследований по поиску площадки под строительство АЭС действующие нормативные документы [5] требуют определения долгопериодической компоненты движений в соответствии с методом Христова и представленному в таблице 1 критерию  $[P_{vv}]$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полоцко-Курземский пояс разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 6. – С. 85 – 89.
2. Остач, О.М. Методическое руководство по геодезическим работам на геодинамических полигонах / О.М. Остач, В.Н. Дмитроиченков. – М.: ЦНИИГАиК, 1984.
3. Полищук, Ю.М. Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами / Ю.М. Полищук. – Новосибирск: Наука, 1992.
4. Панкрушин, В.К. Математическое моделирование и идентификация геодинамических систем / В.К. Панкрушин. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 424 с.
5. Руководящий технический материал по изучению деформаций земной поверхности геодезическими методами на полигонах атомных электростанций. ГКИНП-10-186-84. – М.: ЦНИИГАиК, 1984.
6. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям / В.А. Середович [и др.]. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 356 с.
7. Применение метода Христова к исследованию вертикальных движений земной коры / Г.А. Шароглазова [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Прикладные науки. Строительство. – 2008. – № 12. – С. 99 – 105.
8. Hristov, W.K. Gemeinsame Ausgleichung von Höhen und Vertikalgeschwindigkeiten einets Nivellierungsnetzes / W.K. Hristov // Acta Geodaet., Geophys. et Montanist., Acad. Sci. Hung. Tomus 9 (1 – 2), 1974. – P. 147 – 151.

*Поступила 01.11.2010*

#### **MODELLING OF GEODYNAMIC PROCESSES ON THE AREA OF THE POLOTSKO-KURZEMSKY WORKING AREA OF TECTONIC FRACTURES ACCORDING TO THE INSTRUMENTAL RESEARCHES**

**G. SHAROGLAZOVA, V. KOROVKIN, A. SOLOVJEV**

*Results of modelling of geodynamic processes in an earth's crust on local site of the Polotsk-Kurzemskaï zone of the tectonic breaks, the precision repeated levelling executed according to six cycles are presented. It is drawn a conclusion, that application of Hristov method at allocation long-period a component of modern movements of an earth's crust should not have mechanical character, and demands performance of the careful analysis of an available geodetic material and search of optimum mathematical models of the researched geodynamic processes leading the most authentic result.*