

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.481

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАДИЕНТОВ СКОРОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ДЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

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

В представленной работе впервые для тектонических структур Беларуси вычислен градиент скоростей вертикальных движений земной коры, являющийся распространенной характеристикой современных движений земной коры при исследовании соотношений между сейсмичностью и тектонической активностью участков земной коры. Полученные значения региональных градиентов оказались сопоставимыми с аналогичными градиентами Финляндии, Германии, Польши, а в отдельных случаях и Кавказа. Локальные градиенты по Полоцкому геодинамическому профилю сравнимы с локальными градиентами, представленными в работе М.В. Гзовского.

При исследовании количественных соотношений между сейсмичностью и тектоническими движениями земной коры широко применяется градиент скорости движения, который может быть вычислен с помощью различных алгоритмов.

В простейшем случае используется гипотеза об однородности и изотропности случайного поля скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК), и градиент скорости рассчитывается по картам современных вертикальных движений земной коры в соответствии с формулой

$$| gradV |_m = \frac{v_A - v_B}{r_{AB}}, \quad (1)$$

где $| gradV |_m$ – градиент скорости; v_A – значение скорости на изолинии A ; v_B – значение скорости на изолинии B ; r_{AB} – расстояние между изолиниями A и B скоростей движений (по нормалям к изолиниям).

При этом раздельно оцениваются региональные и локальные движения. Первые движения относятся к крупным структурным элементам земной коры на платформах и в геосинклиналях, вторые – к глубинным внутрилаковым складкам и разрывам. Градиенты скоростей региональных движений определяются для участков размером в десятки и сотни километров, а локальных – для участков размером в первые километры.

Именно такой подход был осуществлен в работах [7, 8, 12], а вычисленные в них градиенты скоростей региональных движений имеют порядок $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-7}$, локальных – $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-5}$.

В более сложных случаях градиенты скоростей СВДЗК рассчитываются через корреляционные и структурные функции, что соответствует принятию гипотез локально однородного или локально однородного и изотропного случайного поля скоростей движений. Последние основаны на теории случайных функций, описывающих стационарные или нестационарные случайные процессы. Предложенные А.Н. Колмогоровым [10, 11] структурные функции нашли широкое применение для описания природных, обычно нестационарных процессов. Использование структурных и корреляционных функций для описания геодинамических процессов показано в работе В.К. Панкрушина [12], в которой для различных регионов приведены градиенты скоростей СВДЗК, вычисленные по эмпирическим структурным функциям и по корреляционным функциям (табл. 1).

Отметим, что представленные в таблице 1 результаты, полученные по довольно сложным алгоритмам вычислений, хорошо согласуются с данными работ [7, 8], найденными по формуле (1). Поэтому при определении региональных градиентов скоростей вертикальных движений для тектонических структур Беларуси, а также локальных градиентов скоростей для Полоцкого геодинамического профиля [14] мы применили более простой подход. Исходными материалами при расчетах послужили карта скоростей современных вертикальных движений земной коры СССР [9], карта тектонического районирования территории Беларуси (по Р.Г. Гарецкому, Р.Е. Айзбергу) [6] и результаты геодинамических исследований по профилю [16].

Схема выполнения работ по вычислению региональных градиентов заключалась в следующем. В качестве картографической основы применялся фрагмент карты СВДЗК СССР для территории Беларуси, на который в программной среде AutoCad наносились ее тектонические структуры. Далее по формуле (1)

вычислялись градиенты скоростей СВДЗК для каждой тектонической структуры. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 1
Градиенты скоростей СВДЗК [12]

№ п/п	Название региона	$ gradV _m$, радиан	r, км	Азимут, °
1	Прибалтика	$1,5 \cdot 10^{-8}$	100	90
2	Кавказ	$2,1 \cdot 10^{-8}$	100	315
3	Финляндия	$0,4 \cdot 10^{-8}$	100	315
4	Германия, Польша	$0,6 \cdot 10^{-8}$	100	90
5	Чехословакия	$0,9 \cdot 10^{-8}$	100	90
6	Япония(1900 – 1928 гг.) Долгота $130^\circ - 137^\circ$ Долгота $137^\circ - 142^\circ$	$1,5 \cdot 10^{-8}$ $0,9 \cdot 10^{-7}$	100 100	0 0

Таблица 2
Градиенты скоростей СВДЗК тектонических структур Беларуси

Тектоническая структура	Градиент по меридиану (широта)	r, км	Градиент по параллели (долгота)	r, км
Белорусская антеклиза	$3,8 \cdot 10^{-8}$ ($54^\circ 51' - 55^\circ 07'$)	39	$1,5 \cdot 10^{-8}$ ($24^\circ 28' - 25^\circ 13'$)	64
	$0,2 \cdot 10^{-8}$ ($54^\circ 24' - 55^\circ 01'$)	90	$0,1 \cdot 10^{-8}$ ($24^\circ 02' - 26^\circ 28'$)	209
	$0,2 \cdot 10^{-8}$ ($53^\circ 56' - 54^\circ 18'$)	50	$0,4 \cdot 10^{-8}$ ($26^\circ 05' - 27^\circ 28'$)	120
	$0,08 \cdot 10^{-8}$ ($53^\circ 22' - 55^\circ 02'$)	124	$0,2 \cdot 10^{-8}$ ($25^\circ 12' - 26^\circ 41'$)	126
	$0,6 \cdot 10^{-8}$ ($53^\circ 51' - 54^\circ 13'$)	50	$1,8 \cdot 10^{-8}$ ($26^\circ 06' - 27^\circ 12'$)	93
Латвийская седловина	$1,2 \cdot 10^{-8}$ ($55^\circ 31' - 55^\circ 55'$)	55	$1,0 \cdot 10^{-8}$ ($27^\circ 28' - 28^\circ 52'$)	120
Оршанская впадина	$0,6 \cdot 10^{-8}$ ($54^\circ 35' - 54^\circ 51'$)	86	$0,5 \cdot 10^{-8}$ ($30^\circ 09' - 31^\circ 16'$)	111
	$0,5 \cdot 10^{-8}$ ($54^\circ 51' - 55^\circ 59'$)	112	$0,7 \cdot 10^{-8}$ ($30^\circ 26' - 30^\circ 44'$)	41
	$0,4 \cdot 10^{-8}$ ($53^\circ 43' - 54^\circ 18'$)	46	$0,1 \cdot 10^{-8}$ ($27^\circ 58' - 28^\circ 59'$)	93
Брестская впадина	$3,2 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 31' - 52^\circ 46'$)	31	$1,2 \cdot 10^{-8}$ ($23^\circ 50' - 24^\circ 11'$)	48
	$1,1 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 13' - 52^\circ 28'$)	36	$3,2 \cdot 10^{-8}$ ($23^\circ 45' - 24^\circ 16'$)	31
Полесская седловина	$1,6 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 02' - 52^\circ 29'$)	62	$2,7 \cdot 10^{-8}$ ($24^\circ 57' - 25^\circ 21'$)	37
	$0,5 \cdot 10^{-8}$ ($51^\circ 58' - 52^\circ 43'$)	104	$0,3 \cdot 10^{-8}$ ($25^\circ 16' - 26^\circ 20'$)	92
	$2,7 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 10' - 52^\circ 25'$)	36		
Припятский прогиб	$0,9 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 09' - 52^\circ 27'$)	41	$0,9 \cdot 10^{-8}$ ($27^\circ 08' - 28^\circ 24'$)	108
	$0,2 \cdot 10^{-8}$ ($51^\circ 42' - 52^\circ 32'$)	122	$3,8 \cdot 10^{-8}$ ($26^\circ 43' - 27^\circ 02'$)	26
	$0,16 \cdot 10^{-8}$ ($51^\circ 42' - 52^\circ 08'$)	64	$0,3 \cdot 10^{-8}$ ($28^\circ 36' - 29^\circ 47'$)	101
Жлобинская седловина	–		$0,9 \cdot 10^{-8}$ ($29^\circ 28' - 30^\circ 41'$)	105
Воронежская антеклиза	$0,6 \cdot 10^{-8}$ ($52^\circ 44' - 53^\circ 22'$)	88	$0,4 \cdot 10^{-8}$ ($31^\circ 01' - 32^\circ 06'$)	94

При определении локальных градиентов скоростей СВДЗК на Полоцком геодинамическом профиле [14] входящие в формулу (1) величины скоростей были вычислены по 6 циклам нивелирования (2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009) с использованием методов совместного определения параметров движения и высот реперов [13, 14]. Полученные значения локальных градиентов представлены в таблице 3.

Таблица 3
Градиенты скоростей СВДЗК на Полоцком геодинамическом профиле

№ репера	l_k , км	V , мм/год	$ gradV _m$
59		0,0	
	1,8		$5,7 \cdot 10^{-7}$
7130		1,03	
	1,0		$5,2 \cdot 10^{-6}$
8372		6,26	
	2,5		$4,0 \cdot 10^{-6}$

Окончание таблицы 3

№ репера	l_k , км	V_t , мм/год	$ gradV _m$
7701		-3,75	
	0,8		$6,7 \cdot 10^{-6}$
7873		1,62	
	0,6		$5,0 \cdot 10^{-7}$
3895		1,32	
	0,1		$2,0 \cdot 10^{-7}$
6284		1,30	
	0,5		$1,0 \cdot 10^{-6}$
6931		0,80	
	2,3		$1,0 \cdot 10^{-7}$
7100		-1,49	
	2,1		$2,5 \cdot 10^{-7}$
3902		-0,96	
	1,8		$1,8 \cdot 10^{-6}$
5960		2,20	

Анализ полученных результатов. Территория Беларуси расположена на западе древней Восточно-Европейской платформы, которая состоит из Балтийского и Украинского щитов, Русской и Волыно-Азовской плит и в соответствии с сейсмотектоническим районированием [1, 5] относится к слабоактивной зоне. Существенное влияние на такой вывод оказало сложившееся мнение о практической асейсмичности древних платформ, которое возникло из-за общих тектонических представлений о слабой современной подвижности этого класса структур.

В последнее десятилетие появились новые данные инструментальных геодинамических исследований [2, 3, 13, 14], позволяющие несколько изменить представления о слабой подвижности белорусских тектонических структур, из которых наиболее активным является Припятский прогиб. Уровень максимально возможной сейсмичности в районе города Солигорска, расположенном на этой тектонической структуре, в настоящее время оценивается в 7 баллов.

Большой интерес в плане оценки тектонической активности представляет и Полоцко-Курземская зона разломов, обнаруженная по данным геофизических исследований [4].

В процессе выполнения предпроектных геодинамических исследований в районе строящейся Полоцкой ГЭС центром геофизического мониторинга НАН Беларуси [2] в 2007 году была установлена специальная автономная сейсмостанция западнее Полоцка, которая в течение месяца фиксировала там рой землетрясений силой до 3 баллов (через каждые 5 дней). По результатам всего комплекса геодинамических исследований в этом районе [13] сделан вывод, что для площадки строительства ГЭС потенциально возможно возникновение местных землетрясений с магнитудой не выше 4,5 и глубиной очага 5 – 10 км и максимальным эффектом сотрясаемости поверхности 6 баллов по 12-балльной шкале MSK-64 для средних грунтов II категории. В местах неблагоприятных грунтовых условий максимальная интенсивность потенциальной сотрясаемости оценивается в 7 баллов.

В Полоцко-Курземскую зону тектонических разломов входит и Полоцкий геодинамический профиль, на котором с 2004 года ведутся комплексные геодинамические исследования в рамках ГПОФИ «Недра Беларусь» Полоцким государственным университетом и Институтом геохимии и геофизики НАН Беларуси. Полученные в ходе исследований результаты геодезических, геофизических и магнитометрических наблюдений в целом хорошо согласуются между собой и свидетельствуют о тектонической активности района.

Анализируя вычисленные региональные градиенты для территории Беларуси (см. табл. 2), можно сказать, что в среднем они сравнимы с градиентами Финляндии, ГДР, Польши (см. табл. 1), но в отдельных случаях: участки Белорусской антеклизы $3,8 \cdot 10^{-8}$ (широта $54^{\circ}51'$ – $55^{\circ}07'$), Брестской впадины $3,2 \cdot 10^{-8}$ (широта $52^{\circ}31'$ – $52^{\circ}46'$, долгота $23^{\circ}45'$ – $24^{\circ}11'$); Полесская седловина $2,7 \cdot 10^{-8}$ (широта $52^{\circ}10'$ – $52^{\circ}25'$, долгота $24^{\circ}57'$ – $25^{\circ}21'$) и Припятский прогиб $3,8 \cdot 10^{-8}$ (долгота $27^{\circ}08'$ – $28^{\circ}24'$), значительно превосходят их, достигая и даже несколько превосходя уровня градиента на Кавказе ($2,1 \cdot 10^{-8}$).

Отметим, что локальные градиенты по Полоцкому геодинамическому профилю колеблются от $1 \cdot 10^{-7}$ между реперами 6931 и 7100 до $6,7 \cdot 10^{-6}$ между реперами 7701 и 7873 и сопоставимы с локальными градиентами, полученными в работе [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмотектоника Беларуси и Прибалтики / Р.Е. Айсберг [и др.] // Літасфера. – 1997. – № 7. – С. 5 – 17.

2. Оценка сейсмогеодинамических условий в районе площадки строительства Полоцкой ГЭС: отчет о результатах НИР / Центр геофизического мониторинга НАНБ; А.Г. Аронов [и др.]. – Минск, 2006. – 36 с.
3. Аронова, Т.И. Особенности проявления сейсмотектонических процессов на территории Беларуси / Т.И. Аронова // Литосфера. – 2006. – № 2(25). – С. 103 – 110.
4. Полоцко-Курземский пояс разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 6. – С. 85 – 89.
5. Общее сейсмическое районирование Белорусско-Прибалтийского региона / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 1997. – Т. 41, № 4. – С. 98 – 102.
6. Геология Беларуси / под ред. А.С. Махнча [и др.]. – Минск, 2001. – 815 с.
7. Гзовский, М.В. Геофизическая интерпретация данных о новейших и современных глубинных тектонических движениях / М.В. Гзовский // Современные движения земной коры. – 1963. – № 1. – С. 37 – 63.
8. Гзовский, М.В. Тектонофизическая интерпретация современных движений земной коры / М.В. Гзовский, А.А. Никонов // Геотектоника. – 1973. – № 3. – С. 45 – 58.
9. Карта современных вертикальных движений земной коры СССР. – М.: ГУГК СССР, 1988.
10. Колмогоров, А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А.Н. Колмогоров // ДАН СССР. – 1941. – Т. 30, № 4. – С. 299 – 304.
11. Колмогоров, А.Н. Рассеяние энергии при локально изотропной турбулентности / А.Н. Колмогоров // ДАН СССР. – 1941. – Т. 32, № 1. – С. 19 – 22.
12. Панкрушин, В.К. Математическое моделирование и идентификация геодинамических систем / В.К. Панкрушин. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 423 с.
13. Выполнение предпроектных геодинамических исследований в районе предполагаемого строительства Полоцкой ГЭС: научно-технический отчет / Г.А. Шароглазова [и др.]. – Новополоцк, 2006. – 64 с. – ХД НИР № 6-1153/26552.
14. Результаты инструментальных исследований 2004 – 2007 годов на Полоцком геодинамическом профиле / Г.А. Шароглазова [и др.] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – СПб., 2008. – № 3. – С. 57 – 61.
15. Применение метода Христова к исследованию вертикальных движений земной коры / Г.А. Шароглазова [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2008. – № 12. – С. 99 – 105.
16. Диагностика современных движений земной коры Беларуси по результатам геодезических и геолого-геофизических исследований: научно-технический отчет о выполнении работ за 2009 г. / ГПОФИ «Недра Беларуси 13», ГБ 4026; Г.А. Шароглазова, В.Н. Коровкин, С.К. Товбас. – Новополоцк, 2009. – 54 с. – № 20062107.

Поступила 07.09.2010

**DEFINITION OF GRADIENTS OF SPEEDS OF VERTICAL MOVEMENTS OF EARTH CRUST
FOR TECTONIC STRUCTURES OF BELARUS
ACCORDING TO REPEATED LEVELLING SURVEY**

G. SHAROGLAZOVA, V. KOROVKIN, A. KIRPICHENOK

In the present work for the first time for tectonic structures of Belarus the gradient of speeds of vertical movements of the earth crust, being the widespread characteristic of modern movements of earth crust is computed at research of relationships between seismicity and tectonic activity of lots of earth crust. The gained values of regional gradients have appeared comparable to analogous gradients of Finland, Germany, Poland, and on occasion and caucasus. Local gradients on Polotsk geodynamic to a profile are comparable with the local gradients presented in-process.