

ВИВЧЕННЯ РУХІВ ЗЕМНОЇ КОРИ ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ В РАЙОНІ ЧИРКЕЙСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Ю. Дейнека, Б. Волоसेцький

(Державний університет "Львівська політехніка")

Чиркейське водосховище розташоване на північно-східному крилі Кавказької складчастої структури в межах Дагестанського клину, який контрастно зчленовується з Терсько-Сулавською низовиною [1]. На рис.1 показано район досліджень та поперечний переріз водосховища Чиркейської ГЕС на р.Сулак (потужність ГЕС - 1000 Мвт, висота греблі - 232 м, об'єм води - 2,9 км³). Дзеркало водосховища знаходиться в районі інтенсивно піднятої структури (відмітки досягають 2700 м), в зоні переходу передгір'я в гірську частину Дагестану. Основна приплотинна його частина розташована в полосі третинного передгір'я, хвоста - в зоні головного Сулакського каньйону глибиною 1200 м.

Тектонічна будова регіону, виходячи з уявлень про ступеневу-блокову структуру надр в гірсько-складчастих областях, сформувалася в результаті переміщень по системі глибинних розломів різного залягання. Виділяють [1] розломи трьох основних напрямів (рис.2.). 1. Широтного (загальнокавказького): Пшениш-Тирнаузський і Середній (найбільші розломи Кавказу). 2. Північно-західного (діагонального): Ахатли-Зубутлінський. 3. Північно-східного (антикавказького): Старий Чиркей - Екібулакський і Ахатли-Кумторкалінський.

Дана територія є однією з найбільш сейсмоактивних регіонів Кавказу, де відбувалися руйнівні землетруси. Так, 14.05.1970 р. в початковий період будівництва Чиркейської ГЕС відбувався сильний землетрус з магнітудою $M=6.6$, який призвів до зруйнування 11-ти і часткового пошкодження 157-ми населених пунктів [7].

Для вивчення сучасної геодинаміки земної кори і виявлення взаємозв'язку геофізичних полів в районі Чиркейського водосховища створено локальний геодинамічний полігон. На протязі 1975-

1978 років виконано 4 цикли геодезичних вимірювань в плановій та висотній мережах.

Планова мережа (рис.3) утворена триангуляцією та трилатерацією. В основі цієї мережі лежить лінійно-кутова побудова 1-го класу у вигляді трьох геодезичних чотирикутників з довжинами сторін від 1,5 до 9,1 км. На двох вихідних пунктах триангуляції № 9 та № 10 (Аччі) виконані астрономічні спостереження - визначені широта, довгота і азимут сторони № 9 - № 10 (Аччі). На пунктах Надирбек Нов., Чем-Аул, а також № 9, № 10 (Аччі) встановлені піраміди. Всі інші пункти мережі закріплені турами. З метою спостереження за розходженням берегів водосховища в трьох місцях на віддалі 1,0 км, 6,0 км і 6,8 км від створу плотини розбиті три поперечники, на яких виконані вимірювання ліній за програмою 1-го класу. В цих місцях пункти встановлені куцями - в кожному по 2-4 тури.

В мережі виконано 4 цикли кутових і лінійних вимірювань за програмою 1-го класу: кути вимірювались теодолітом Т-05 з точністю 0,5" лінії - світловідалеміром «Кварш» з точністю не нижче 1 см. Кількість прийомів при кутових вимірюваннях бралась такою, щоб забезпечити значення середньої квадратичної помилки

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{k(k-1)}}$$

яка характеризує внутрішню сходиність прийомів і яка дорівнює не більше $\mu \cdot \sqrt{2}$, де μ - задана характеристика точності вимірювання кута ($\pm 0,5''$), k - кількість прийомів.

Висотна мережа утворена лініями нівелювання 1-го класу: одним замкнутим полігоном навкруги водосховища периметром 68,7 км та трьома окремими ходами довжиною 14,8 км, 7,9 км і 4,9 км (рис.4). Траса нівелювання навкруги

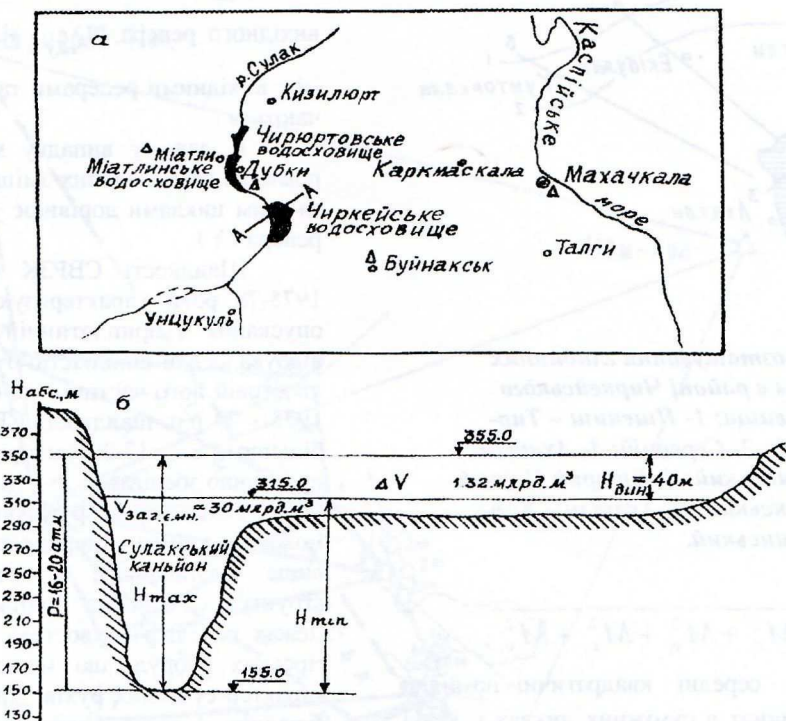


Рис. 1. Район досліджень: а- схема розташування основних об'єктів (Δ- сейсмостанція); б- профільний розріз по лінії А-А ложка Чиркейського водосховища.

водосховища проходить в гірській місцевості з густою мережею каньйонів та ярів. На окремих ділянках місцевості зустрічаються зсуви. Лінії нівелювання закріплені 69-ма пунктами - фундаментальними, ґрунтовими, скельними реперами та пунктами триангуляції 1-го класу.

Для визначення величини вертикальної компоненти рухів земної кори виконано 4 цикли нівелювання високоточним нівеліром Ні - 004. При цьому за вихідні приймалися фундаментальні репери № 1 і № 25, які знаходяться відповідно в південно-східній та північно-західній частинах замкнутого нівелірного полігону.

За результатами обробки матеріалів спостережень значення векторів планових зміщень пунктів за період між 1-им та 4-им циклами вимірювання лежать в межах від 3,2 мм до 53,9 мм, причому вектори орієнтовані в напрямку від водосховища. Вектори зміщень пунктів, які розташовані на правому березі водосховища, спрямовані на схід, пунктів у приплотинній

частині - на північний схід, а пунктів у хвостовій частині - на південний схід. Вектори зміщень пунктів, розташованих на лівому березі у приплотинній частині, спрямовані на південний захід, пунктів у хвостовій частині - на захід і південний захід. Слід зазначити, що всі вектори направлені, в основному, від водосховища.

Зміщення планових пунктів від водосховища підтверджується переважним збільшенням довжин ліній як вздовж берегів, так і впоперек водосховища (див. таблицю). Максимальне значення видовження ліній досягає 39 мм у приплотинній частині. Скорочення ліній (зближення пунктів) досягає значень 20-23 мм і спостерігається у хвостовій частині.

Подібна спрямованість рухів земної поверхні підтверджується результатами вимірювань і в триангуляції, хоча характер рухів окремих пунктів дещо складніший.

Середня квадратична помилка планових зміщень векторів обчислювалась за формулою



Рис.2. Схема розташування глибинних розломів в районі Чиркейського водосховища: 1- Пшениш – Тирнаузкий; 2- Середній; 3- Ахатли-Зубутлинський; 4- Старий Чиркей-Екібулакський; 5- Ахатли – Кумторкалинський.

$$m_r = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2 + M_{y_j}^2},$$

де M_x, M_y - середні квадратичні помилки визначення координат в суміжних циклах i, j , які брались з матеріалів вирівнювання планової мережі.

Для всіх планових пунктів ця помилка лежить в межах від 0 до 27,7 мм.

Максимальні значення вертикальних зміщень пунктів нівелірної лінії, прокладеної навкруги водосховища, за період між 1-им та 4-им циклами досягають 15-18 мм, причому за знаком чітко розрізняються опускання земної поверхні у приплотинній частині та підняття її у хвостовій частині. По лініях нівелювання, що проходять вздовж структур загальнокавказького простягання, спостерігається підняття земної поверхні (максимальне значення 37 мм), а по лінії субмеридіонального напрямку у приплотинній частині - опускання поверхні (14 мм).

Середня квадратична помилка вертикальних зміщень векторів знаходилась за формулою

$$m_{\Delta H_{i-k}} = \pm \sqrt{m_{H_i}^2 + m_{H_k}^2},$$

де m_{H_i}, m_{H_k} - середні квадратичні помилки висот пунктів в суміжних циклах i, k , які обчислювались згідно формули

$$m_{H_{i(k)}} = \pm \sqrt{m_{H_{вих}}^2 + m_{h_{вих,j}}^2},$$

де $m_{H_{вих}}$ - середня квадратична помилка висоти вихідного репера, $m_{h_{вих,j}}$ - помилка перевищення між вихідними реперами та реперами, які визначаються.

В даному випадку максимальне значення помилки вертикальних зміщень векторів між 1-им та 4-им циклами дорівнює $\pm 8,9$ мм для скельного репера № 1.

Швидкості СВРЗК (див.рис.4) за період 1975-78 роки характеризуються такими даними: опускання в приплотинній частині водосховища відбувалося зі швидкістю 6 -7 мм/рік, а підняття у хвостовій його частині - до 6,2 мм/рік. В інтервалі 1975 - 77 р.р. швидкості СВРЗК по модулю були більшими - 17-20 мм/рік і характер рухів практично зберігався.

Такий характер деформацій земної поверхні можна пояснити, в першу чергу, тим, що водосховище розташоване в різних геотектонічних структурах: основна приплотинна частина - в межах передгір'я, хвостова - в зоні складчастих гірських споруд, що може відображати різний характер сучасних рухів. Другий аспект динаміки сучасних рухів визначається заповненням Чиркейського водосховища об'ємом 2,9 км³ з висотою водного стовпа у приплотинній частині понад 200 м. Згідно розрахунків, наведених в [3,6], гірські породи під дією маси води $m = 3 \cdot 10^9$ т прогинаються, причому не тільки безпосередньо під водосховищем, але й на значних глибинах і віддалях від нього. Модельні дослідження цього питання показують, що максимальний прогин гірських порід під ложем водосховища може досягати 8 см і поширюватись до глибини 1 км, причому деформація прогину охоплює значну площу - до 1000 км². Спостерігається також збільшення амплітуди прогину під краєвими ділянками водного навантаження в порівнянні з центральною частиною. Найбільший градієнт деформації має місце у прибережній зоні. В центральній зоні відбувається деформація стиснення, в прибережній - деформація розтягу.

Зміна характеру напруженого стану гірських надр в процесі заповнення водосховища призводить до перерозподілу напруг і часткового їх вивільнення у вигляді сейсмічної активності. Безпосередньо з початком заповнення водосховища і досягненням критичного об'єму та висоти стовпа води, яка дорівнює 100 м, за даними досліджень [2,5] спостерігається різке підвищення сейсмічної активності. Так, згідно досліджень [4],

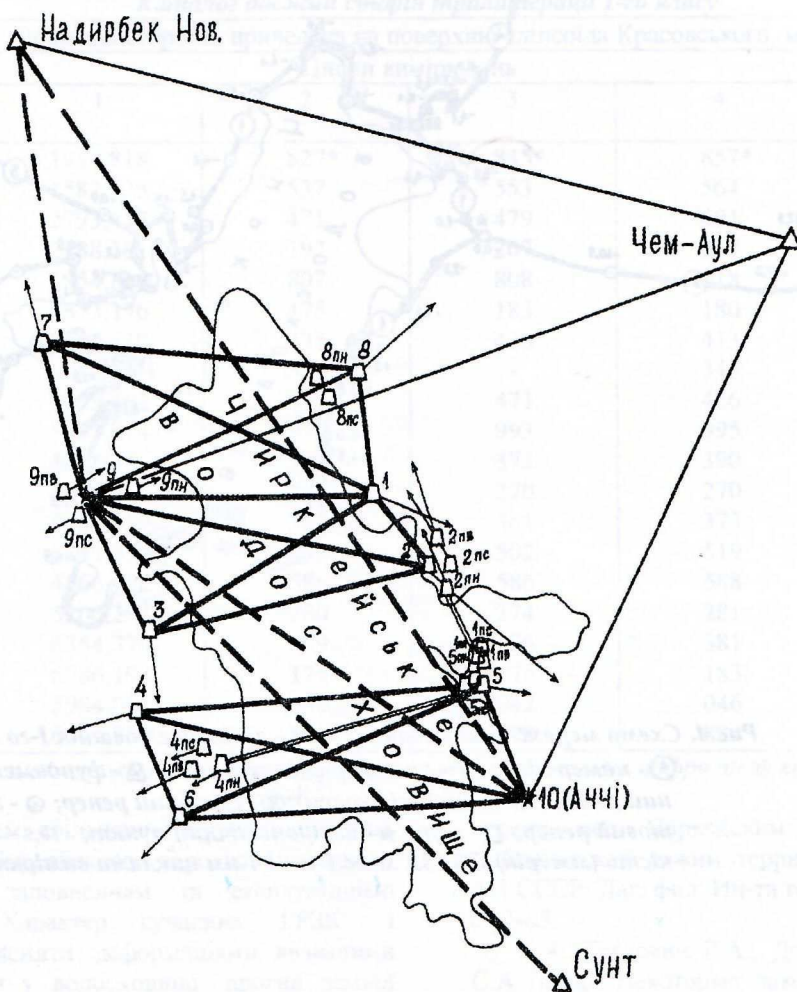


Рис.3. *Схема мережі триангуляції і трилатерації та векторів зміщень планових пунктів: — - сторона триангуляції і трилатерації 1-го класу; - - - сторона трилатерації 2-го класу; ——— - сторона триангуляції 2-го класу; ——— - сторона поперечника; Δ - пункт триангуляції (піраміда); □ - тур; ★ - астрономічний пункт; 9 пс - пункт поперечника; → - вектор зміщення планового пункту.*

у другій половині 1974 р., після досягнення висоти стовпа води більше 100 м в районі Чиркейського водосховища спостерігається різкий сплеск сейсмічної активності (див.рис.5). Стабілізація рівня води у водосховищі супроводжується відносним спадом сейсмічної активності, а потім на протязі 1975-78 р.р. - відносним збільшенням її,

що, очевидно, пов'язано з режимом експлуатації водосховища.

Зміна характеру тектонічної активності може бути проілюстрована зміною характеру конфігурації ізольованого розподілу епіцентрів землетрусів в районі Чиркейського водосховища (рис.6), які за даними [4] змінили витягнутість із субкавказького орієнтування на напрямок вздовж водосховища.

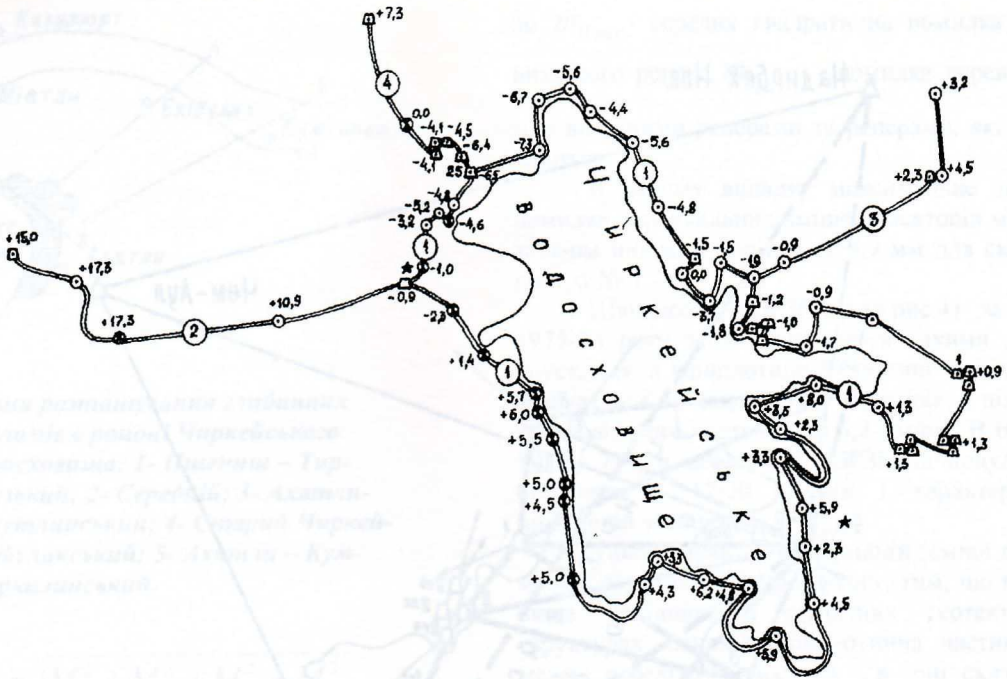


Рис.4. Схема мережі нівелювання: — - лінія нівелювання I-го класу; ① - номер ліній; ~ - контур водосховища; ▫ - фундаментальний репер (1;25 - вихідні репери); ● - скельний репер; ⊙ - ґрунтовий репер; ▴ - тур; ★ - астрономічний пункт; +10,9 - швидкість (мм/рік) СВРЗК між 1-им і 4-им циклами вимірювань.

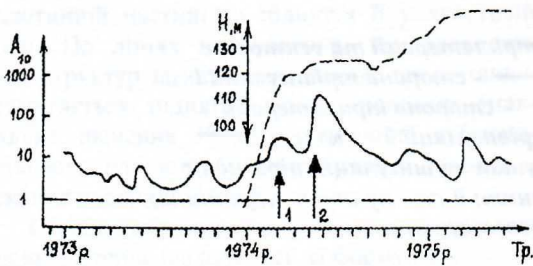


Рис.5. Зміна сейсмічної активності в часі: ~ - середнє багаторічне значення A_{10} ; ↑ - моменти виникнення основних поштовхів Верхньо-каранайського (1) і Салаутського (2) землетрусів; --- - крива наповнення водосховища.

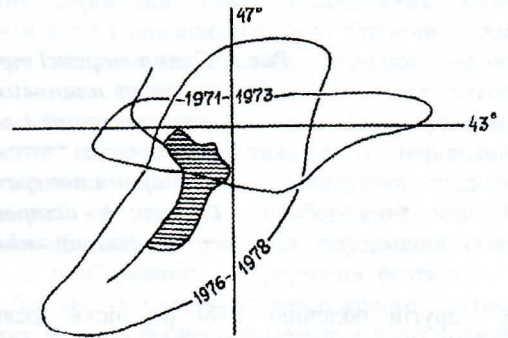


Рис.6. Розподіл епіцентрів землетрусів в районі Чиркейського водосховища до і після його наповнення.

Каталог довжин сторін трилатерації 1-го класу

Назва лінії	Довжина сторони, приведена на поверхню еліпсоїда Красовського, м				Різниця між довжинами сторін в циклах 4 і 1, мм
	Цикли вимірювань				
	1	2	3	4	
1-8	1941,818	827*	845*	857*	+39
1-2	1582,525	537	553	564	+39
9-7	2793,474	471	479	491	+17
9-3	2288,181	192	207	217	+36
6-4	1854,826	807	808	818	- 8
5-10	1873,176	175	183	180	+ 4
9-Н/бек Нов.	7345,440	435	436	413	-27
10-Н/бек Нов.	14825,364	332	-	345	-19
9-10	9029,462	473	471	486	+24
7-8	5691,974	970	993	995	+21
1-7	6395,376	366	373	390	+14
9-8	5344,265	253	270	270	+ 5
9-1	5133,359	353	361	373	+14
9-2	6294,492	497	502	519	+27
1-3	4566,572	586	586	588	+16
3-2	5206,268	280	274	281	+13
5-4	6354,374	369	376	381	+ 7
10-4	6986,198	175	175	183	-15
6-5	5984,064	036	042	046	-18
6-10	6111,883	869	878	884	+ 1

* В циклах 2-4 не наводиться повне значення сторін, а тільки відповідні цифри після коми.

Таким чином, збільшення тектонічної активності в районі Чиркейського водосховища можна пов'язувати з заповненням та експлуатацією водосховища. Характер сучасних ГРЗК і ВРЗК можна пояснити деформаціями, визваними дією маси води у водосховищі: прогин земної поверхні у приплотинній частині і «розходження» берегів водосховища; відносно підняття у хвостовій частині можна пов'язувати з диференційованими рухами блоків земної кори різних тектонічних структур.

Література

1. Бражкин В.М. О методике геологической интерпретации гравиметрических данных при изучении глубинного строения Дагестанского клина // Сейсмичность и гидрогазогеохимия территории Дагестана: Тр.АН СССР, Даг. фил. Ин-та геол. - 1978. Вып. 2(17), с.195-201.
2. Гупта Х., Растиги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979, 251 с.
3. Идармачев Ш.Г., Левкович Р.А., Омаров Г.Н. Гравитационное воздействие воды на горный

массив под Чиркейским водохранилищем // Сейсмический режим территории Дагестана: Тр. АН СССР, Даг. фил. Ин-та геол. - 1977. Вып.1(13), с.63-65.

4. Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А. и др. Некоторые закономерности геодинамического режима района Чиркейской ГЭС в связи с проблемой возбужденной сейсмичности // Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана: Тр.АН СССР, Даг. фил. Ин-та геол. - 1979. Вып.3(21), с.139-159.

5. Николаев Н.И. О состоянии изучения проблемы возбужденных землетрясений, связанных с инженерной деятельностью, на сейсмический режим // Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука, 1977, с.8-20.

6. Саидов О.А. Деформация прогибания и возбуждения землетрясения // Сов.геол.-1984, №1, с.120-126.

7. Шебалин Н.В., Крестников П.И. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970г. // Землетрясения в СССР, 1970 г., М.: Наука, 1973, с.28-49.

J. Dejneka, B. Volosetskiy

THE INVESTIGATION OF THE EARTH'S CRUST MOVEMENTS BY GEODETIC METHODS IN
CHERKEYSK RESERVOIR REGION

Summary

On the basis of the processing results of four cycles of geodetic measurements in the plane- and high- altitude nets on the geodynamic polygon in Cherkeysk reservoir region the vertical and gorizontal displacements of the Earth's crust surface are revealed. The values of that confirm the display of the recent geodynamic in the called region. The correlation between the values and character of the resent movements and higher seismic activity and process of filling in reservoir too is observed.

Ю. Дейнека, Б. Волосецкий

ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ В РАЙОНЕ
ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Резюме

На основании результатов обработки четырех циклов геодезических измерений в плановой и высотной сетях на геодинамическом полигоне в районе Чиркейского водохранилища выявлены вертикальные и горизонтальные смещения поверхности земной коры, величины которых подтверждают проявления современной геодинамики данного региона. Наблюдается корреляция величин и характера современных движений, а также повышенной сейсмотектонической активности с процессом заполнения водохранилища.