

НОВІТНЯ ТЕКТОНІКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБІТ З ВИЗНАЧЕННЯ СУЧАСНОЇ АКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕНИХ ЛІНІЙНИХ СТРУКТУР ЗА ТЕКТОНОФІЗИЧНИМИ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ СЕЙСМОЛОГІЧНИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ

© В.Г. Верховцев, Ю.М. Вольфман, Г.В. Лисиченко, А.М. Скляр, Ю.В. Юськів,
В.Г. Швайко, 2011

*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, Київ, Україна
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, відділ сейсмології, Сімферополь, Україна*

Considered in the article are the results of large scale mapping (1:10 000) of recent region tectonics. Those were obtained on the base of morphographic, morphometric and aerospace methods. Active linear structures at the recent stage are recognized and analyzed as well as the total amplitudes of vertical movements of the Quaternary. Safety of the district is evaluated from the viewpoint of neotectonic criteria.

Keywords: Dnieper hydropower station, newest tectonics, tectonic activization, seismicity, the linear geostructure (lineament), lineament zone, structural geological interpretation, rupture, fracture zone, tectonophysics, instrumental seismological study.

Великі гідротехнічні споруди належать до категорії особливо важливих об'єктів, руйнування яких може спричинити важкі соціально-економічні та екологічні наслідки. До факторів потенційної загрози для спорудження каскаду Дніпровських ГЕС (створених, відповідно до нормативної бази того часу, без застосування антисейсмічних заходів) відносять сейсмічні та інші впливи тектонічної і техногенно-індукованої природи, а також тектонічні порушення, які перетинають територію об'єктів розташування і проявляють активність на сучасному етапі розвитку. В зв'язку з цим актуальним є питанням про геодинамічні умови та сейсмічну безпеку однієї з найдавніших споруд – Дніпровської ГЕС (м. Запоріжжя), що знаходиться в складних структурно-геологічних умовах.

Стислі відомості з геології та тектоніки району досліджень. Дніпровський гідровузол розташований у кінці 60-кілометрової порожистої частини р. Дніпро, трохи вище о-ва Хортиця. По лінії Великого і Малого островів скелите дно річки підіймається до найвищих позначок, утворюючи поріг, де і споруджена Дніпровська ГЕС. Основою споруд напірного фронту ГЕС є мігматити і біотит-плагіоклазові граніти північно-західного простягання, які перетинаються зонами молодших інтрузій сірих мігматитів, плагіоклазових та біотит-плагіоклазових гранітів масивної і порфіроподібної текстур. Рідше трапляються гнейси та граніто-гнейси під загальною назвою “гранітоїди” дніпровського ультраметаморфічного комплексу архею.

В структурному відношенні це так званий Запорізький блок – давня структура дорифейської

складчастості, яка зазнала протягом свого розвитку кілька фаз активізацій. Основне річище Дніпра та його рукави на ділянці греблі закладені по тектонічних порушеннях – Дніпровському (Стародніпровському), Миколаївському та Хортицькому розломах [1–4].

Основні результати дослідження. Для оцінки безпеки району розташування Дніпровської ГЕС з неотектонічного погляду на регіональному рівні проаналізовано побудовану нами карту новітньої тектоніки Українського щита (УЩ) та його схилів масштабу 1 : 500 000 (рис. 1) і спеціально здійснено структурне дешифрування космічних знімків (рис. 2–4). Аналіз цієї карти показав, що досліджуваний район розміщується у вузлі перетину трьох активних на новітньому етапі розвитку регіональних 1-го порядку лінеаментних зон (ЛЗ): субмеридіональної Карловсько-Малоутлюкської (ЛЗ 17 на рис. 1), субширотної Криворізько-Амвросієвської (ЛЗ 30) та північно-східної Цюрупинсько-Орельської (ЛЗ 46). Район займає східну частину великої за розмірами (150×14 км) Нікопольської кільцевої макроструктури успадкованого морфогенетичного типу (ЛЗ 59). Основні відомості про ці структури наведені у роботі [2]. За сумарними амплітудами пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної поверхні район збігається з одноманітним полем зі значеннями ізобаз від +25 до +50 м (див. рис. 1).

Для вирішення поставлених завдань на детальному (локальному) рівні нами побудовано такі карти масштабу 1 : 10 000: порядків долин і вододілів; ландшафтних індикаторів лінійних структур; базисної та вершинної поверхонь 4 порядків і різниці між ними; результуюча карта активних

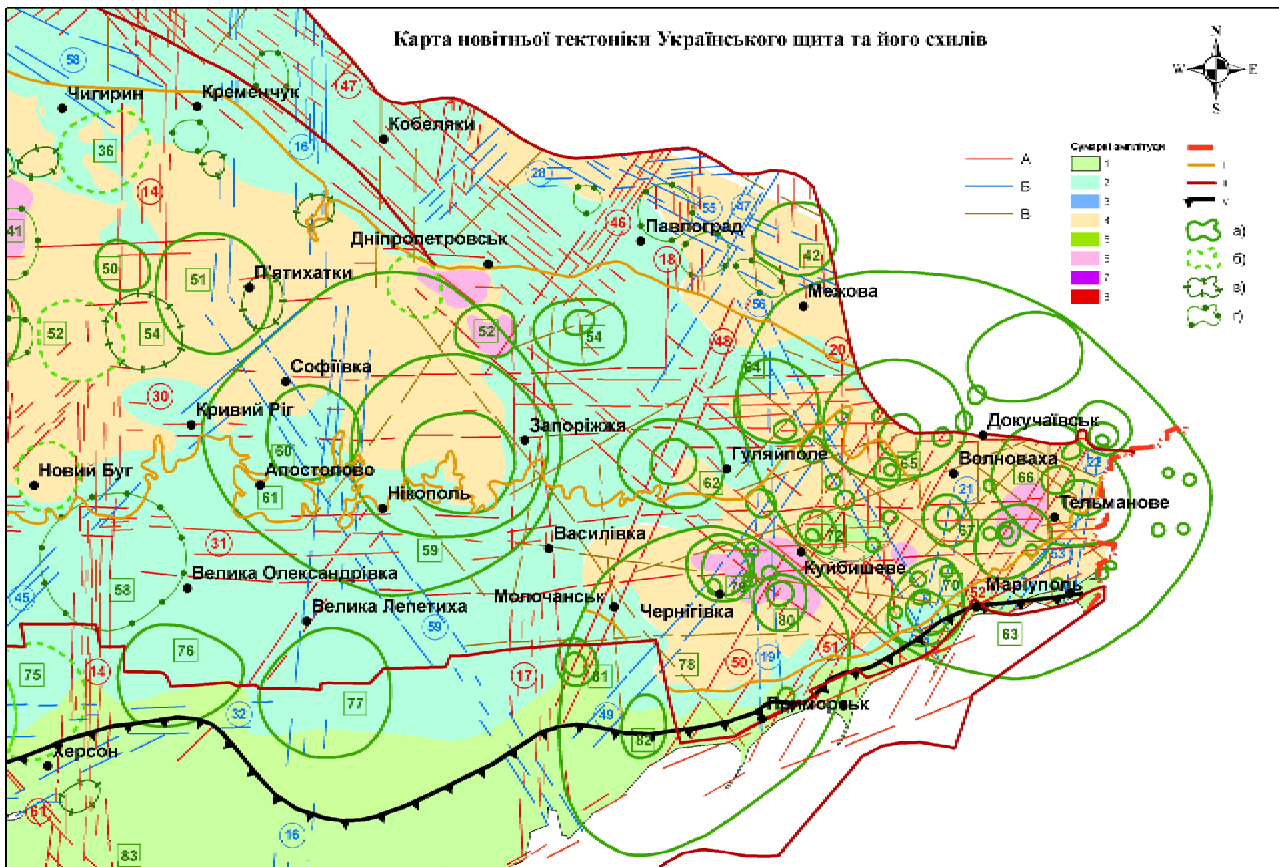


Рис. 1. Карта новітньої тектоніки Українського щита та його схилів масштабу 1 : 500 000. Аркуш 4 (зменшено). Склад В.Г. Верховцев: I – державний кордон України; II – нульова ізогіпа поверхні кристалічного фундаменту; III – тектонічні межі, за “Тектоническая карта нефтегазоносных областей юго-запада СССР (с использованием материалов космических съемок) масштаба 1 : 500 000 / Под ред. Н.А. Крылова. – К.: Мингео УССР, АН УССР, Киев, 1987”; IV – межа, південніше якої за детальніших досліджень можливе знаходження невеликих за розміром локальних контурів з від’ємними значеннями сумарних амплітуд пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної кори; сумарні амплітуди пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної кори за морфометричними даними, в метрах: 1 – 0–25; 2 – 25–50; 3 – 50–75; 4 – 50–100; 5 – 75–100; 6 – 100–150; 7 – 150–200; 8 – > 200; лінеаментні зони: А – трансрегіональні і регіональні 1-го порядку; Б – регіональні 2-го порядку; В – поодинокі лінеаменти; кільцеві структури, морфогенетичний тип: а – успадкований, б – неуспадкований, в – проміжний, з – безкореневий

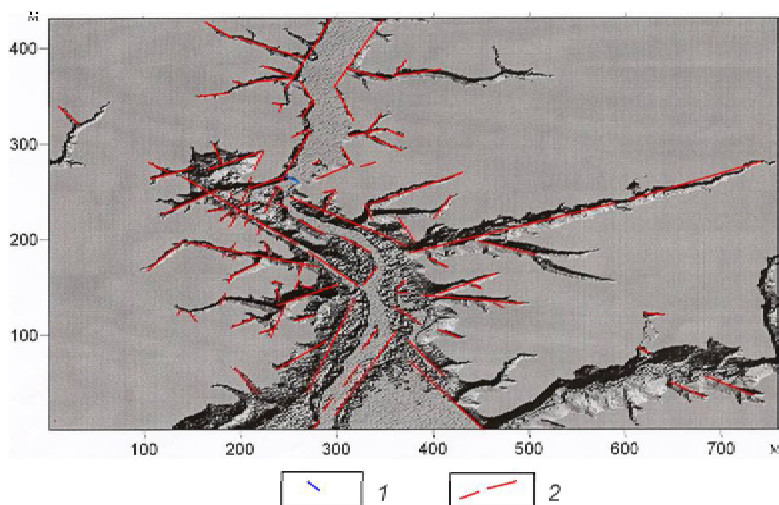


Рис. 2. Результати структурного дешифрування космічних знімків “Ландсат” (первинну підготовку знімку до аналізу виконав В.І. Шульга). Аркуш 1: 1 – гребля Дніпровської ГЕС; 2 – “ерозійні” ландшафтні індикатори лінійних структур

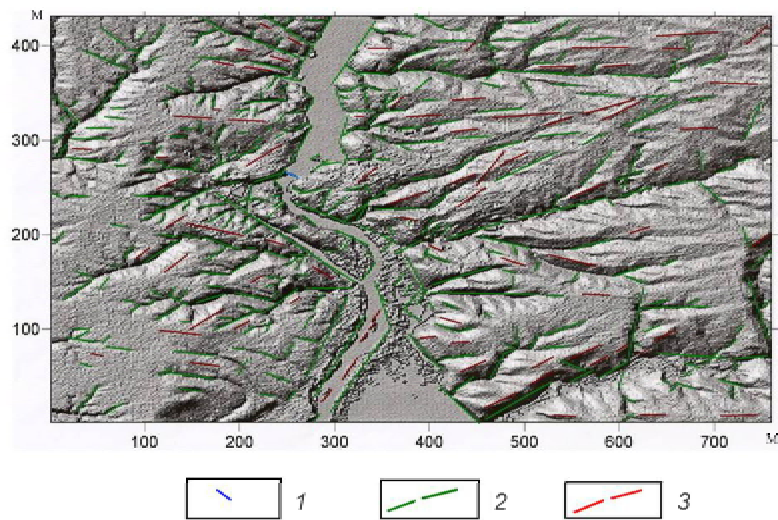


Рис. 3. Результати структурного дешифрування космічних знімків “Ландсат” (первинну підготовку знімку до аналізу виконав В.І. Шульга). Аркуш 2: 1 – гребля Дніпровської ГЕС; 2 – “ерозійні” ландшафтні індикатори лінійних структур; 3 – так само “вододільні”

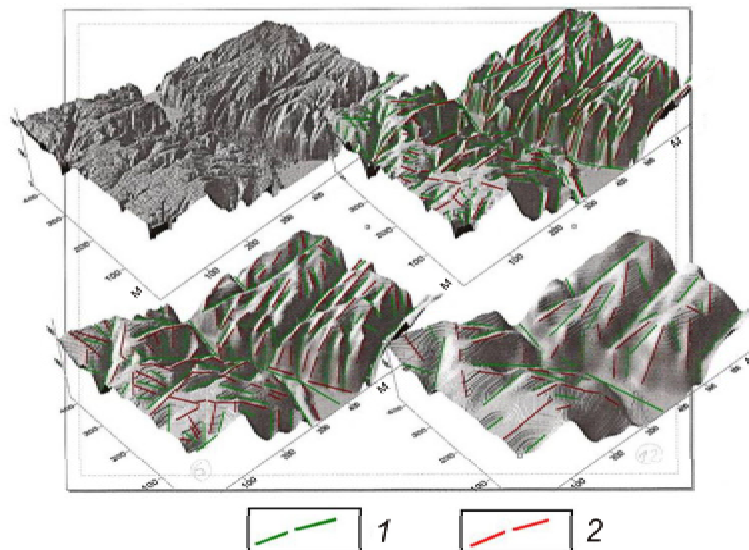


Рис. 4. Результати структурного дешифрування космічних знімків “Ландсат” (первинну підготовку знімку до аналізу виконав В.І. Шульга). Аркуш 3: 1 – “ерозійні” ландшафтні індикатори лінійних структур; 2 – так само “вододільні”

на новітньому етапі розвитку лінійних структур (рис. 5).

У межах досліджуваної території виявлені локальні лінементи утворюють дві домінуючі системи, представлені прямолінійними сполученими і взаємно перпендикулярними ЛЗ домінуючих напрямків ($0^\circ \perp 90^\circ (\pm 5^\circ)$, $40-45^\circ \perp 310-315^\circ$).

ЛЗ домінуючої ортогональної системи $0 \perp 90^\circ$.

На досліджуваній площі система представлена трьома субмеридіональними і двома субширотними ЛЗ. Крім того, виявлено ряд поодиноких лінементів цих самих напрямків (рис. 5). Зближене між собою просторове розміщення субмеридіональних ЛЗ 1–3 та субширотних ЛЗ 4 і 5 дає змогу припустити, що вони утворюють разом відповідні дві більші лінійні структури (регіональні?). Відстань між субдовготними зонами дорівнює 0,6–0,8, субширотними – 1–1,1 км. Зони ортогональної системи строго витримані за напрямком (крім ЛЗ 5).

У цілому для зон субмеридіонального напрямку характерна перевага ерозійних індикаторів, для субширотних – вододільних, унаслідок чого практично всі субдовготні зони інтерпретовані нами як скиди або зсуво-скиди, більшість субширотних – як підкиди (зсуво-підкиди).

ЛЗ домінуючої системи $40-45^\circ \perp 310-315^\circ$.

Система представлена трьома ЛЗ північно-східного напрямку і двома – північно-західного орієнтування. Близько розміщені одна від одної ЛЗ 6–8 можна розглядати як єдину регіональну лінійну систему, що за шириною сягає 2,8 км, перетинає всю ділянку і займає її центральну частину. Відстань між ЛЗ північно-східного орієнтування 1,0–1,5, північно-західного – 2,7–3,0 км. Система характеризується достатньою витриманістю за напрямком. За морфологією всі зони віднесені нами до зсувів.

ЛЗ пригніченого напрямку $55-60^\circ$. Представлений всього однією локальною ЛЗ (див. рис. 5).

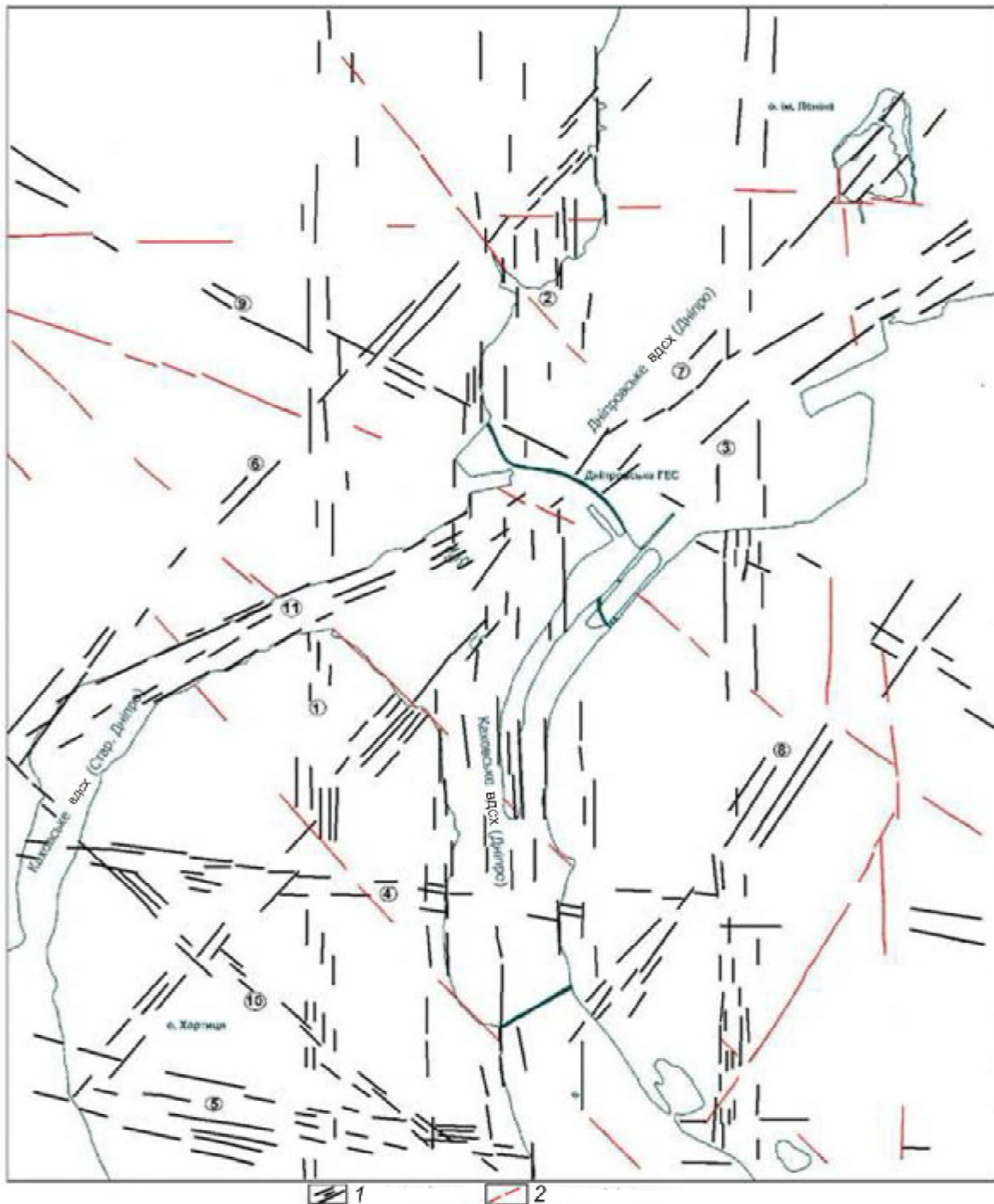


Рис. 5. Карта активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур району розташування Дніпровської ГЕС масштабу 1 : 10 000 (зменшено). Склад В.Г. Верховцев (дешифрування за приблизно однакової кількості ерозійних і вододільних індикаторів)

ЛЗ 11 простежена на протязі 5 км (в обох напрямках виходить за межі ділянки), має ширину 0,25–0,4 км, складається із 48 лінеаментів завдовжки від 0,1 до 0,5 км, виражених у вигляді прямолінійних відрізків переважно підводних (русло Дніпра) негативних (умовно “ерозійні” індикатори) та позитивних (“вододільні”) елементів рельєфу. Співвідношення $K_{ер}/K_{вод} = 23/29$, тобто у морфокінематичному відношенні цю зону інтерпретовано як передбачуваний зсуво-скід.

У стислому виді основні відомості про виділені ЛЗ наведено у таблиці.

Отже, виявлені ЛЗ умовно зараховані нами до розряду локальних, але в деяких випадках, особливо за зближеного розміщення декількох субпаралельних ЛЗ, можливе їх входження до складу регіональних, не виключено, що і до транс-регіональних систем. Однозначне вирішення цього питання можливе тільки у разі постановки досліджень з охопленням великих за площею територій. За ступенем насиченості ЛЗ досліджувана територія істотно не відрізняється від інших раніше вивчених нами регіонів (Волино-Поділля, УЩ, Причорноморська западина, Прип'ятсько-

Відомості про активні на новітньому етапі розвитку лінеаментні зони локального рангу в районі розташування Дніпровської ГЕС (див. рис. 5)

Номер на рис. 5	Аз	$\frac{Д}{Ш}$	$\frac{К}{Д_1-Д_2}$	$\frac{K_{ер}}{K_{вод}}$	Збіг з відомим розломом	Передбачуваний морфотип
<i>Лінеаментні зони домінуючої ортогональної системи 0° ± 90° (±5)</i>						
1	0-1	$\frac{6^{*2}}{0,2-0,25}$	$\frac{35}{0,05-0,4}$	$\frac{23}{14}$	-	С
2	359-1	$\frac{6^{*2}}{0,6-0,8}$	$\frac{77}{0,05-0,5}$	$\frac{44}{35}$	+	З-С
3	0-1	$\frac{6^{*2}}{0,2-0,25}$	$\frac{44}{0,05-0,5}$	$\frac{27}{18}$	+	З-С
4	90-92	$\frac{5^{*2}}{0,1-0,15}$	$\frac{30}{0,05-0,4}$	$\frac{10}{22}$	-	П
5	90-95	$\frac{5^{*1}}{0,3-0,4}$	$\frac{34}{0,05-0,4}$	$\frac{14}{21}$	+	З-П
<i>Лінеаментні зони домінуючої діагональної системи 40-45° ± 310-315°</i>						
6	40-45	$\frac{5^{*1}}{0,1-0,2}$	$\frac{22}{0,05-0,7}$	$\frac{10}{14}$	-	З
7	40-45	$\frac{7^{*2}}{0,15-0,2}$	$\frac{37}{0,05-0,4}$	$\frac{22}{17}$	+	З
8	40-45	$\frac{3^{*1}}{0,2-0,22}$	$\frac{18}{0,06-0,7}$	$\frac{8}{11}$	+	З
9	310-315	$\frac{6^{*2}}{0,1-0,15}$	$\frac{22}{0,06-0,4}$	$\frac{10}{12}$	-	З
10	310-315	$\frac{5^{*2}}{0,1-0,15}$	$\frac{20}{0,05-0,5}$	$\frac{9}{11}$	-	З
<i>Лінеаментна зона пригніченого діагонального напрямку ПнСх 55-60°</i>						
11	55-60	$\frac{5^{*2}}{0,25-0,4}$	$\frac{48}{0,1-0,5}$	$\frac{23}{29}$	++	З-С

Примітка. Аз – генеральний напрямок простягання (в градусах); Д – довжина; Ш – ширина ЛЗ (в км); К – кількість елементарних лінеаментів, що входять до складу ЛЗ; Д₁ – мінімальна, Д₂ – максимальна довжина цих лінеаментів; K_{ер} – кількість ерозійних, K_{вод} – кількість вододільних ландшафтних індикаторів лінеаментів; С – скид; П – підкид; З – зсув; знак “+++” – ЛЗ повністю збігається з відомим розломом; “+” – так само, але частково (фрагментарно); “-” – ЛЗ не зафіксовано у показниках, що аналізуються; *¹ – ЛЗ виходить за межі району в одному напрямку; *² – те саме, але в обох напрямках

Донецько-Дніпровська западина, Донбас). Це підтверджує, що дрібноблокова будова земної кори є глобальним явищем, а не чимось аномальним. ЛЗ, що входять в одну систему (мережу), очевидно, одновікові і характеризуються спільним розвитком (парагенезисом). Самі ж системи мають різний час закладення, і періоди активізацій не збігаються у часі (але час закладення останньої системи укладається в неотектонічний етап).

Висновки. *Можливий вплив виявлених активних на новітньому етапі розвитку лінійних структур на безпеку скельної основи греблі Дніпровської ГЕС та прилеглої території.* Безпосередньо через греблю ДніпроГЕСу проходять чотири виявлені нами активні на новітньому етапі розвитку зони: субмеридіональна (ЛЗ 2), північно-східні (ЛЗ 7 і 11), північно-західна (ЛЗ 9), які до того ж утворюють тут вузол перетину (див. рис. 5). Вони, безсумнівно, впливають на стан греблі Дніпровської ГЕС і прилеглої території, але конкретний його ступінь можливо визначити тільки у разі виконання по цих ЛЗ відповідного комплексу

спеціальних досліджень – геохімічних (визначення вмісту радону, гелію тощо), тепловізирних (інфрачервоне сканування), геофізичних (сейсмічних, тектонофізичних) тощо. Значною мірою ці роботи вже виконані. Їх комплексний аналіз разом з даними щодо новітньої тектоніки завершується, але вже можна стверджувати, що виділені ЛЗ дійсно існують і є активними на новітньому етапі розвитку.

Нижче викладено основні результати тектонофізичного вивчення тектонічної тріщинуватості та зон розломів у відслоненнях і інструментальних сейсмологічних робіт (рис. 6).

1. Структурний рисунок району розміщення Дніпровської ГЕС визначають насамперед тектонічні розриви двох систем: полігенетичні (з точки зору кінематичних умов їхнього формування) порушення північно-східного орієнтування у широкому діапазоні азимутів простягання та субширотні структури, що належать до одного структурно-кінематичного парагенезису. До першої з цих систем належить Старо-

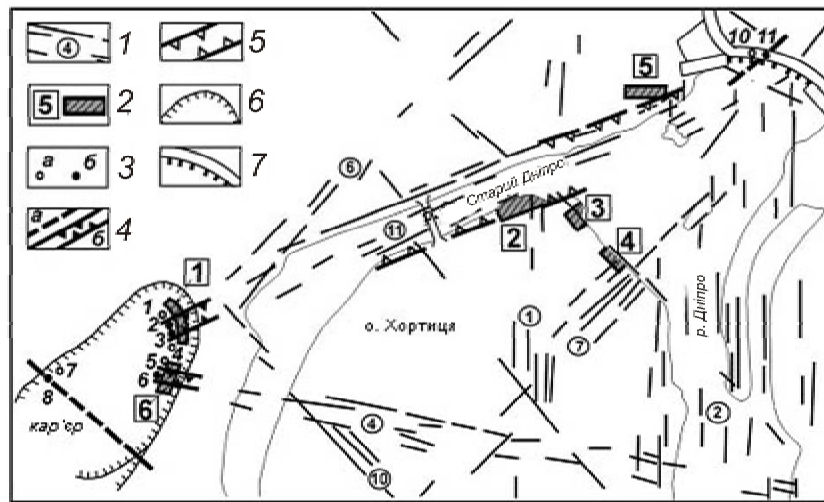


Рис. 6. Схема розміщення пунктів тектонофізичних і сейсмологічних спостережень та основні результати цих досліджень у районі Дніпровської ГЕС: 1 – зони лінементів та їх номери; 2 – пункти тектонофізичних спостережень та їх номери; 3 – пункти інструментальних сейсмологічних спостережень та їх номери: а – у межах зон тектонічних порушень, б – у відносно непорушених породах (еталонні); 4 – вивчені розломно-тріщинні зони: а – позамасштабні, б – у масштабі схеми; 5 – передбачувані межі Стародніпровської зони; 6 – контур гранітного кар'єру; 7 – гребля Дніпровської ГЕС

дніпровське тектонічне порушення (ЛЗ 11), фрагменти якої зафіксовано в основі греблі під час побудови ГЕС, в гранітному кар'єрі та на лівому березі о-ва Хортиця – під час виконання цих досліджень.

2. Перевага крутопадаючих, закономірно орієнтованих тектонічних розривів і наявність дзеркал сковзання виключно зсувного і (у меншій кількості) скидо-зсувного типів свідчить про домінуючу структуроутворювальну роль у регіоні зсувних деформаційних режимів, зумовлених субгоризонтальним стиском–розтяганням. Структурно-кінематична ідентифікація розривів і характер вторинних зміщень, які впевнено встановлюються по дзеркалах сковзання, засвідчують перевагу умов субширотного стиску–субмеридіонального розтягання.
3. Аналогічні кінематичні умови визначають особливості прояву сейсмогенезу в межах УЩ, про що свідчать параметри механізму осередку Криворізького землетрусу 25.12.2007 р. З цієї причини північно-східні правозсувні парагенезиси розривів і зміщень, які встановлені в районі Дніпровської ГЕС, та лівозсувний (підкидо-зсувний) сейсмогенний розрив північно-західного орієнтування в осередку Криворізького землетрусу можна розглядати як результат дії однотипного регіонального (або мегарегіонального) поля напружень, яке проявляється у різні періоди тектонічного розвитку УЩ.
4. У зазначених кінематичних умовах тектонічна активізація Стародніпровського розлому у новітній час цілком імовірна, але його просторові параметри (довжина, потужність зони впливу) не дають змоги зарахувати це порушення до розряду потенційно сейсмогенуючих

структур. Тому основним фактором, який може суттєво впливати на безпеку функціонування Дніпровської ГЕС, є перерозподіл сейсмічної енергії в зонах порушень, що може обумовити збільшення рівня сейсмічної дії на ділянках дезінтеграції та підвищеної тріщинуватості порід.

5. Інструментальні сейсмологічні спостереження в межах зон різного орієнтування (які, відповідно, сформувалися у різних кінематичних умовах) показали, що основним фактором, який впливає на рівень прирощення сейсмічної інтенсивності в цих зонах, є ступінь дезінтеграції порід і зміни їх фізико-механічних властивостей.
6. Беручи до уваги результати сейсмологічних досліджень в зоні І гранітного кар'єру та дані тектонофізичних робіт, що підтверджують належність системи порушень під тілом греблі Дніпровської ГЕС до Стародніпровського розлому, ділянку основи греблі в межах цього порушення слід зарахувати до зони з прирощенням +1 бал відносно ґрунтів І категорії за сейсмічними властивостями, тобто до зони з нульовим прирощенням сейсмічної інтенсивності відносно ґрунтів ІІ категорії за сейсмічними властивостями.
7. Зважаючи на вищевикладене, розрахункові значення сейсмічної дії з урахуванням локальних інженерно-геологічних і тектонічних умов становитимуть:
 - для основи греблі Дніпровської ГЕС в цілому для проектного землетрусу (ПЗ) $I_0 = 4,0$ бала за шкалою MSK-64 з періодом повторення $T = 500$ років і сейсмічним ризиком $P = 10\%$; максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ) $I_0 = 5,0$ балів за шкалою

- MSK-64 з періодом повторення $T=5000$ років і сейсмічним ризиком $P=1\%$;
- для зон порушень, що перетинають ділянку розташування греблі, ПЗ $I_0 = 5,0$ бала за шкалою MSK-64 з періодом повторення $T=500$ років і сейсмічним ризиком $P=10\%$; МРЗ $I_0 = 6,0$ балів за шкалою MSK-64 з періодом повторення $T = 5000$ років і сейсмічним ризиком $P = 1\%$.
1. *Державна* геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Геологічна карта і карта корисних копалин кристалічного фундаменту. Центральнотрапезна серія. L-36-VI (Запоріжжя) / В.О. Шпильчак, А.І. Некрич. – К.: Держ. геол. служба України, 2003.
 2. *Звіт* про науково-дослідну роботу “Розломні геоструктури Українського щита та його схилів, їх просторово-часові співвідношення і новітня активізація” / В.Г. Верховцев, І.С. Потапчук, М.М. Шаталов. – К.: Ін-т геол. наук НАН України, 2009. – 250 с.
 3. *Звіт* на тему: “Проведення комплексного обстеження та оцінка геодинамічних умов в зоні розташування греблі Дніпровської ГЕС з урахуванням тектонічної активності та сейсмічних впливів”. Етап 1: “Збір та аналіз матеріалів з питань сучасної геодинаміки району Дніпровської ГЕС та його рекогносцировочне структурно-тектонічне обстеження” / В.Г. Верховцев, Г.В. Лисиченко, В.В. Ковалевський та ін. – К.: ДП НАН України “Екоінформ”, 2009. – 114 с.
 4. *Филь В.Н., Богоявленская Т.Ф.* Краткое обобщение результатов предыдущих инженерно-геологических изысканий и исследований, а также выполненных и выполняемых в 2008–2009 годах, с целью оценки надежности скального основания плотины Днепровской ГЭС. – Харьков: УкрГИДРОПРОЕКТ, 2009. – 6 с.

Надійшла до редакції 17.05.2011 р.

В.Г. Верховцев, Ю.М. Вольфман, Г.В. Лисиченко, А.М. Скляр, Ю.В. Юськів, В.Г. Швайко

НОВІТНЯ ТЕКТОНІКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБІТ З ВИЗНАЧЕННЯ СУЧАСНОЇ АКТИВНОСТІ ВИЯВЛЕНИХ ЛІНІЙНИХ СТРУКТУР ЗА ТЕКТОНОФІЗИЧНИМИ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ СЕЙСМОЛОГІЧНИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ

Викладено результати великомасштабного (1 : 10 000) картування новітньої тектоніки регіону, виконаного на основі морфографічних, морфометричних і аерокосмічних методів дослідження. Виділено та схарактеризовано активні на новітньому етапі розвитку лінійні структури, а також сумарні амплітуди вертикальних рухів у четвертинному періоді. Оцінено безпеку району розміщення Дніпровської ГЕС з погляду неотектонічних критеріїв.

Ключові слова: Дніпровська ГЕС, новітня тектоніка, тектонічна активізація, сейсмічність, лінеамент, лінеаментна зона, структурно-геологічна інтерпретація, розлом, зона тріщинуватості, тектонофізика, інструментальні сейсмологічні дослідження.

В.Г. Верховцев, Ю.М. Вольфман, Г.В. Лисиченко, А.М. Скляр, Ю.В. Юськів, В.Г. Швайко

НОВЕЙШАЯ ТЕКТОНИКА РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ ДНЕПРОВСКОЙ ГЭС И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВНОСТИ ВЫЯВЛЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ СТРУКТУР ПО ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИМ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Изложены результаты крупномасштабного (1 : 10 000) картирования новейшей тектоники региона, выполненного на основе морфографических, морфометрических и аэрокосмических методов исследования. Выделены и охарактеризованы активные на новейшем этапе развития линейные структуры, а также суммарные амплитуды вертикальных движений в четвертичном периоде. Оценена безопасность района размещения Днепровской ГЭС с точки зрения неотектонических критериев.

Ключевые слова: Днепровская ГЭС, новейшая тектоника, тектоническая активизация, сейсмичность, линеамент, линеаментная зона, структурно-геологическая интерпретация, разлом, зона трещиноватости, тектонофизика, инструментальные сейсмологические исследования.