

Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кіровоградського рудного району Інгульського мегаблока Українського щита. 2

© О. А. Трипільський, О. В. Тополук, В. О. Трипільська, 2013

Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна
Надійшла 25 лютого 2013 р.
Представлено членом редколегії О. Б. Гінтовим

В результате изучения особенностей распределения скоростей распространения сейсмических волн в земной коре Кировоградского рудного района и слагающих его структур выявлены некоторые закономерности скоростных характеристик изучаемых структур. Показано, что эти структуры уверенно выделяются в поле скоростей распространения сейсмических волн. Это открывает новые возможности для тектонического районирования территории Кировоградского рудного района и Украинского щита в целом.

As a result of studying the peculiarities of the seismic waves velocities in the Kirovograd ore district Earth's crust and its structures some regularities of the velocity characteristics of the structures under studying were revealed. It is shown that these structures were confidently marked out in the field of the seismic wave velocities. It opens some new possibilities for tectonic zoning of the Kirovograd ore district and the Ukrainian shield territory.

У праці [Трипільський та ін., 2012] на підставі вивчення особливостей розподілу швидкостей поширення сейсмічних хвиль (скорочено — швидкостей) у земній корі Кіровоградського рудного району (КРР) та структур, що його складають [Трипільський та ін., 2012, рис. 1], виявлено деякі закономірності швидкісних характеристик досліджуваних структур.

У статті дослідження такого характеру продовжені, але вже дещо під іншим кутом.

Наявність великого обсягу високоякісних експериментальних матеріалів створює сприятливий ґрунт для вивчення особливостей зміни швидкостей не лише з глибиною, а й по латералі на площинах горизонтальних перерізів. Фактичним матеріалом для створення таких перерізів були вертикальні графіки ΔV , що характеризували величини відхилення швидкостей, зареєстрованих у фіксованих точках на профілях ГСЗ, від їх нормальних значень. За нормальні приймали значення швидкостей, знятих з осередненого графіка $V=f(H)$ для КРР. Графіки складені вздовж профілів ГСЗ ХХІV, ХХV, ХХХ, ХХХІV та геотраверсу ІV з інтервалом по горизонталі здебільшого 10—20 км (усього 41 графік) (рис. 1).

Аналіз графіків показує, що найбільші і контрастні відхилення від норми фіксуються переважно в межах Корсунь-Новомиргородського плутону (КНП) та Ново-

українського масиву (НУМ) на інтервалі глибин 0—10 км, іноді до 15 км. Глибше 10—15 км, до межі поділу Мохоровичича (М), характер графіків помітно змінюється — тут майже відсутні контрастні відхилення від норми, а величина ΔV з глибиною поволи зменшується.

Дещо інші характеристики має більшість графіків ΔV , що належать до профілів ХХV та ХХХІV (рис. 1, б, д). Складається небезпідставне враження, що на характер графіків впливає геологічна ситуація, в якій перебувають ці профілі. Так, профіль ХХV проходить у межах субширотної Суботсько-Мошоринської зони розломів (СМЗР). Із загальної кількості графіків (10) на семи з них постійно фіксують від'ємні значення ΔV , тобто швидкості у земній корі СМЗР переважно нижчі за нормальні значення.

Найбільший дефіцит швидкостей припадає, як правило, на інтервал 10—20 км. Глибше відхилення від норми поступово зменшуються, та в інтервалі 25—36 км зафіксовано навіть позитивні значення ΔV .

Характер графіків ΔV напевне відбиває вплив СМЗР, що приводить до послаблення геологічного середовища, а це спричиняє помітне зниження швидкостей.

Подібна картина спостерігається на субмеридіональному профілі ХХХІV (рис. 1, д). Тут переважна частина профілю розташована в

Профіль ХХХ

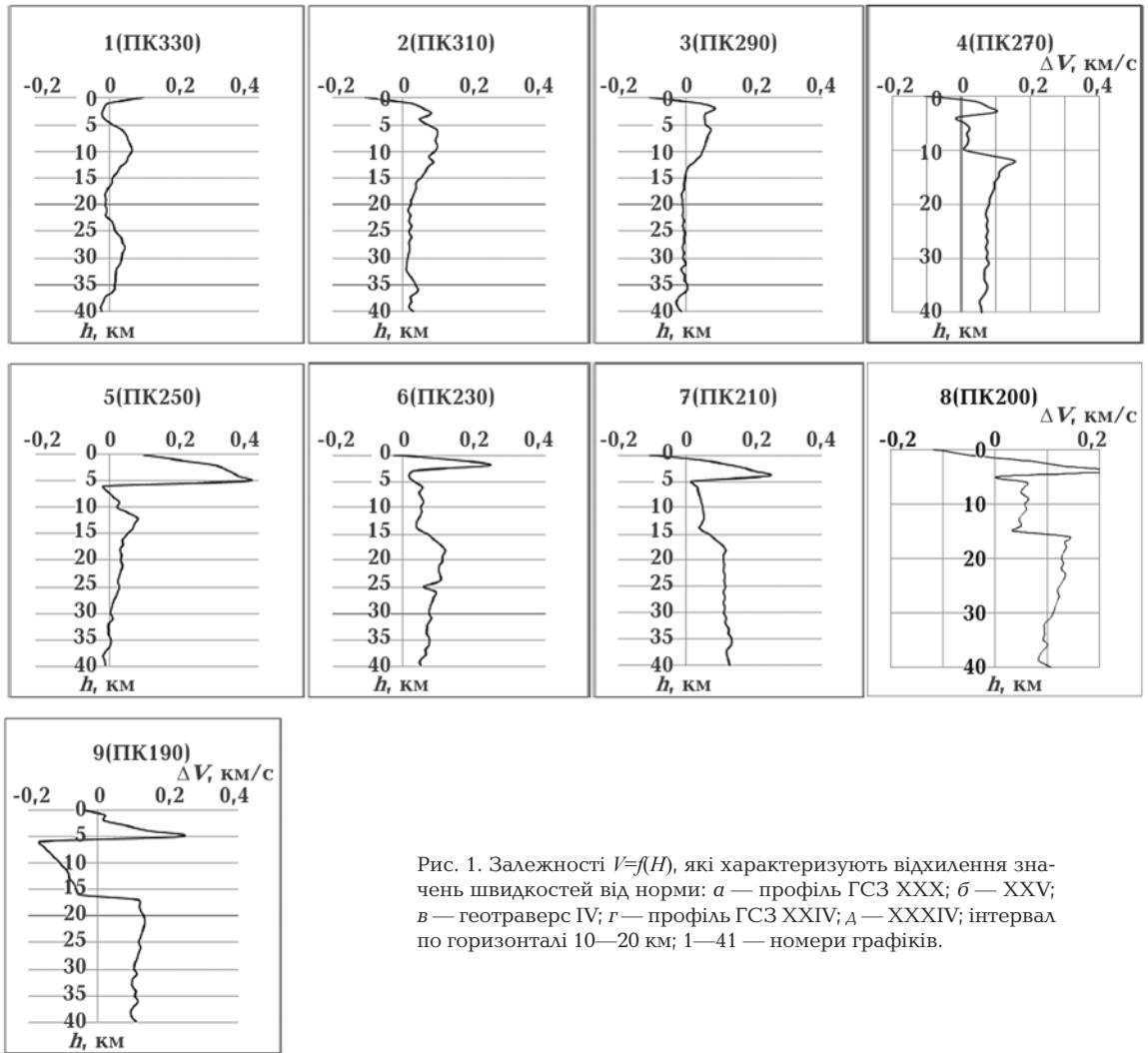


Рис. 1. Залежності $V=f(H)$, які характеризують відхилення значень швидкостей від норми: а — профіль ГСЗ ХХХ; б — ХХV; в — геотраверс ІV; г — профіль ГСЗ ХХІV; д — ХХХІV; інтервал по горизонталі 10—20 км; 1—41 — номери графіків.

а

межах Кіровоградської зони розломів (КЗР) або дещо на схід. На усіх п'яти графіках в інтервалі глибин 10—25 км відзначено контрастні відхилення від норми у бік від'ємних значень ΔV . Не виключено, що й тут, за аналогією з профілем ХХV, спостерігається вплив КЗР. Глибше, у низах кори, ці відхилення поступово зменшуються.

Незважаючи на значні від'ємні відхилення швидкостей від норми, встановлені на профілях ХХV та ХХХІV, на графіках відсутні дуже контрастні зміни значень ΔV , характерні для верхньої частини земної кори (глибини 0—10 км), зафіксовані на профілях ХХІV, ХХХ і геотраверсі ІV (рис. 1, а, в, г).

Вертикальні графіки $\Delta V=f(H)$ у подальшому використовували для побудови 41 горизонтального перерізу земної кори КРР з інтервалом за глибиною у 1 км. На кожному з перерізів

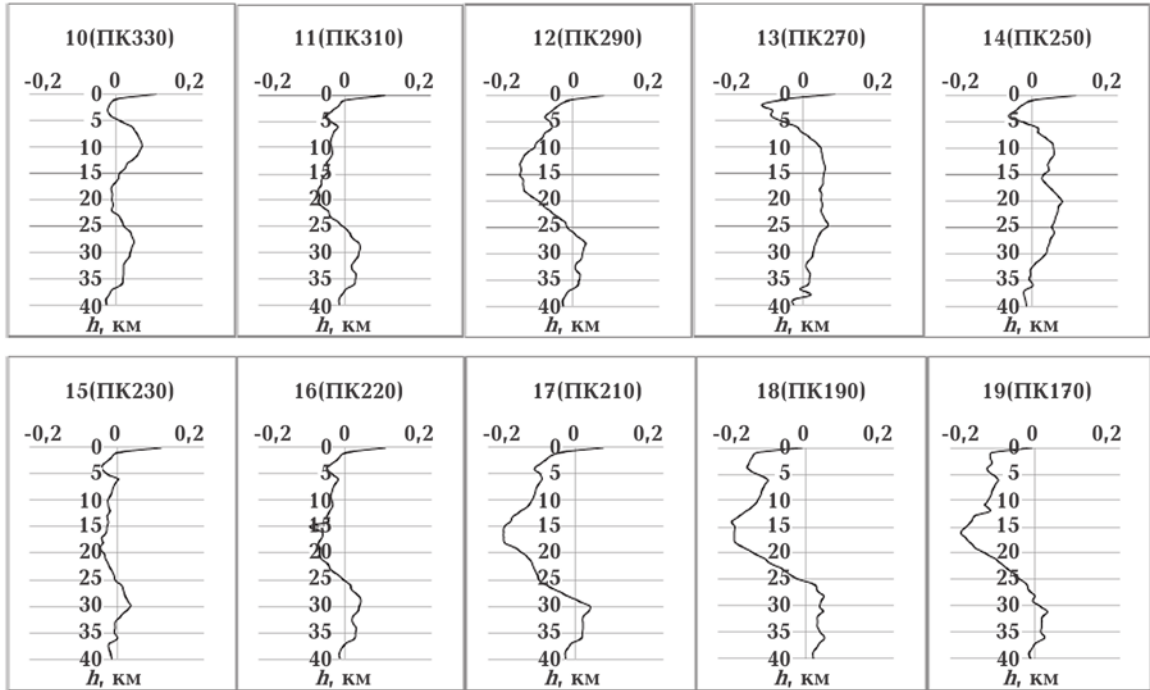
наведено ізолінії ΔV , у км/с, основні геологічні структури, родовища корисних копалин та профілі ГСЗ (рис. 2, а—г).

Перед детальним аналізом цих перерізів наведемо кілька попередніх коментарів і зауважень.

1. Декілька років тому у межах досліджуваної території ми склали схеми розподілу сейсмічних швидкостей для таких глибинних рівнів — 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 та 35 км [Омельченко и др., 2008]. Характерна особливість цих схем — зміна з глибиною конфігурації й напрямку ізоліній швидкостей, а також зміна форми, розмірів і положення ділянок підвищених швидкостей.

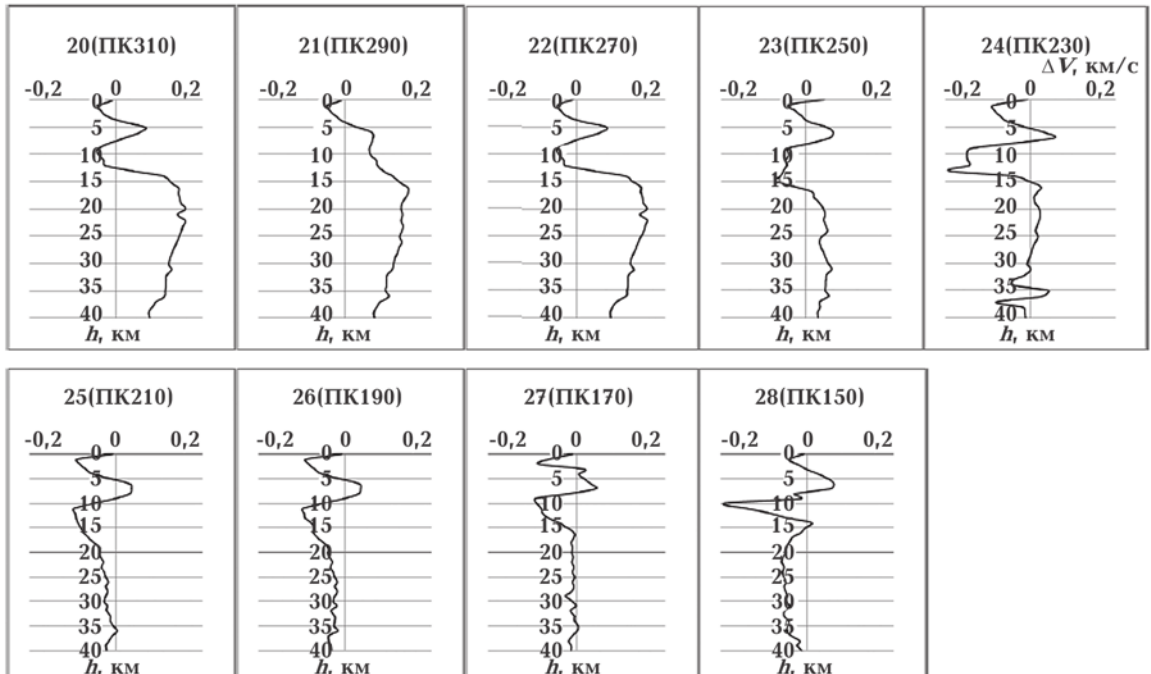
2. У порівнянні з працею [Омельченко и др., 2008], до обробки були залучені додаткові експериментальні дані. Це дало змогу помітно підвищити якість і вірогідність отриманих результатів. Наприклад, якщо раніше відстань між

Профіль XXV



б

IV геотраверс



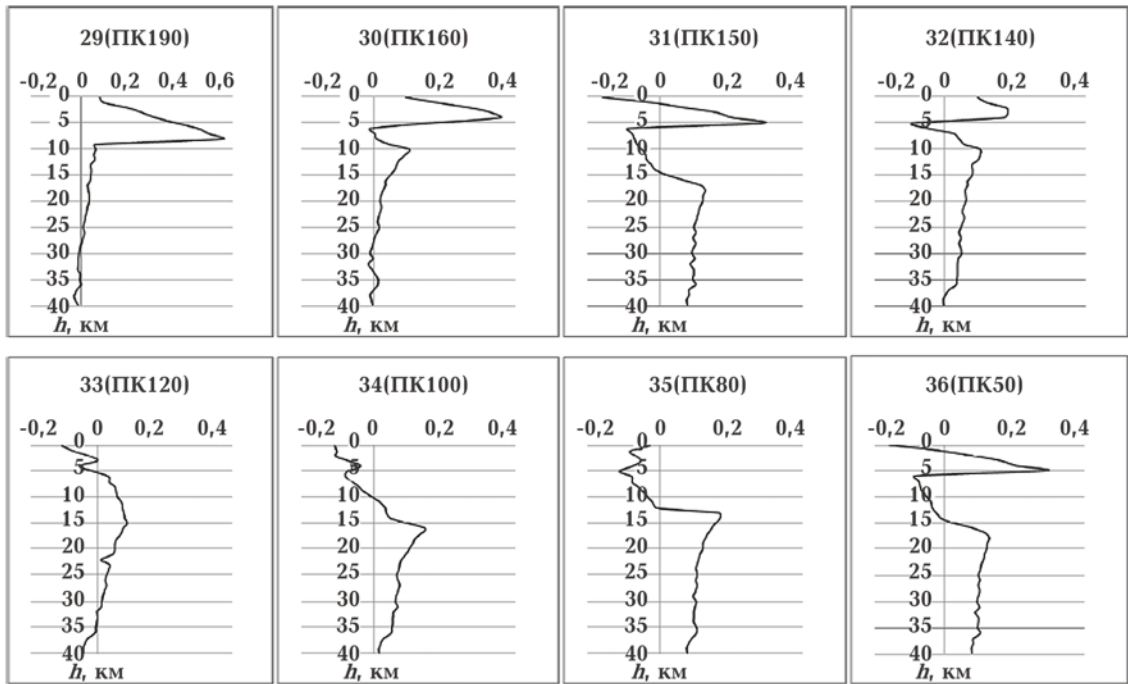
в

ізолініями швидкостей дорівнювала 0,05 км/с, то нині — лише 0,02 км/с.

3. Спираючись на отримані у такий спосіб

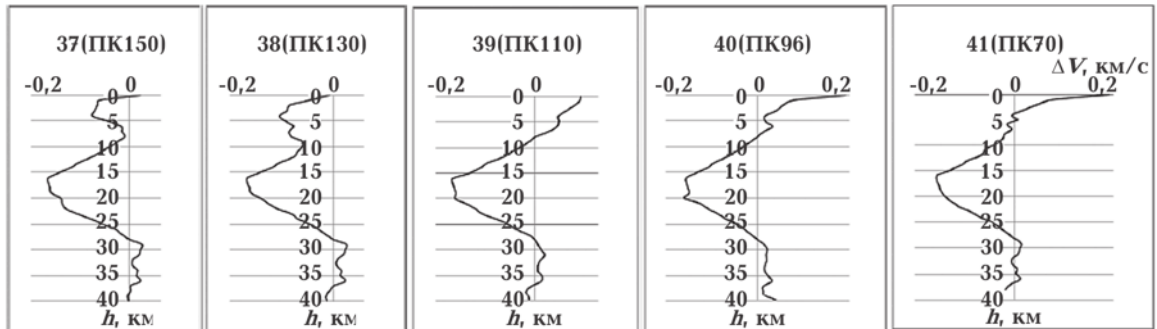
горизонтальні перерізи ΔV , ми маємо можливість детально проаналізувати особливості поведінки ізоліній ΔV у межах основних

Профіль XXIV



г

Профіль XXXIV



а

геологічних структур КРР: КНП, НУМ, КЗР, СМЗР та Звенигородсько-Братської зони розломів.

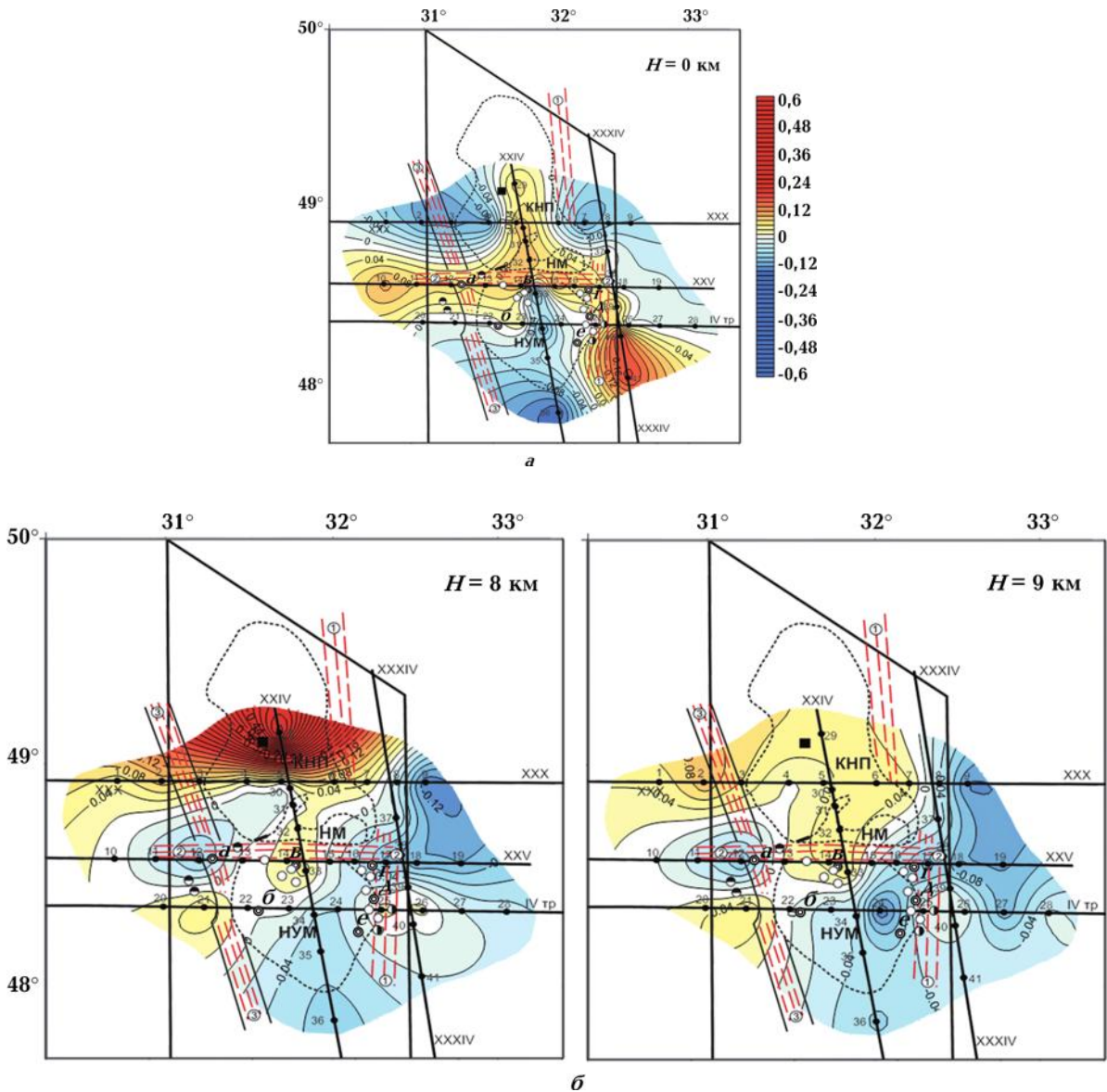
4. Загальна зміна рисунку ізоліній від перерізу до перерізу може відбивати особливості розподілу швидкостей як зі зміною глибини, так і з переміщенням по латералі від структури до структури.

Проаналізуємо матеріали горизонтальних перерізів.

Загалом контури основних геологічних структур КРР просторово відображуються у характері ізоліній ΔV . Це спостерігається у певних інтервалах глибин, причому розміри та глибина цих інтервалів можуть змінюватися від структури

до структури. Деякі з досліджуваних структур характеризуються аномаліями ΔV одного знака (наприклад, лише позитивними), деякі — як позитивними, так і негативними аномаліями.

Корсунь-Новомиргородський плутон майже повністю (за винятком перерізу на $H=0$ км) характеризується позитивними аномаліями швидкостей, особливо в інтервалі глибин 0—8 км, де значна частина кристалічної кори (до 20 % об'єму) складена породами основного складу. У цьому інтервалі позитивні аномалії швидкості простежуються також на схід від КНП до Кіровоградської зони розломів і до XXXIV профілю ГСЗ (рис. 2, б). На заході, півдні та частково на сході ця аномалія з пе-



реходом до суміжних з КНП структур досить швидко змінює свій знак на протилежний.

Глибше, починаючи з 9 км, контраст швидкостей зменшується у кілька разів, але незначні позитивні відхилення від нормальних швидкостей зберігаються майже до самих низів кори (рис. 2, в, г).

Беручи до уваги, що основні породи характеризуються підвищеними швидкостями щодо порід кислого та середнього складу, можна припустити, що, починаючи з глибини 9 км ступінь насиченості земної кори інтрузивними породами основного складу суттєво зменшується.

На відміну від КНП, НУМ характеризується, по-перше, змінним полем значень ΔV — від додатних до від'ємних, по-друге, контури НУМ далеко не завжди збігаються з формою ізоліній ΔV .

На земній поверхні ($H=0$ км) НУМ відмежовується від КНП невеликою позитивною аномалією ΔV широтного простягання. Просторово ця аномалія повністю збігається із СМЗР такого самого простягання (рис. 2, а).

Глибше (1—4 км) поле значень ΔV характеризується переважно від'ємними значеннями, причому в зоні спряження з КНП відзначається різке зростання швидкостей у північному напрямку.

На глибині 2—6 км простежується негативна аномалія ΔV , яка значною мірою збігається з позитивною аномалією ΔV на глибині 0 км. Це можна пояснити розташуванням у межах СМЗР південної частини Новоукраїнського масиву габро-анортозитів.

Починаючи з 10 км і до глибини 27 км схід-

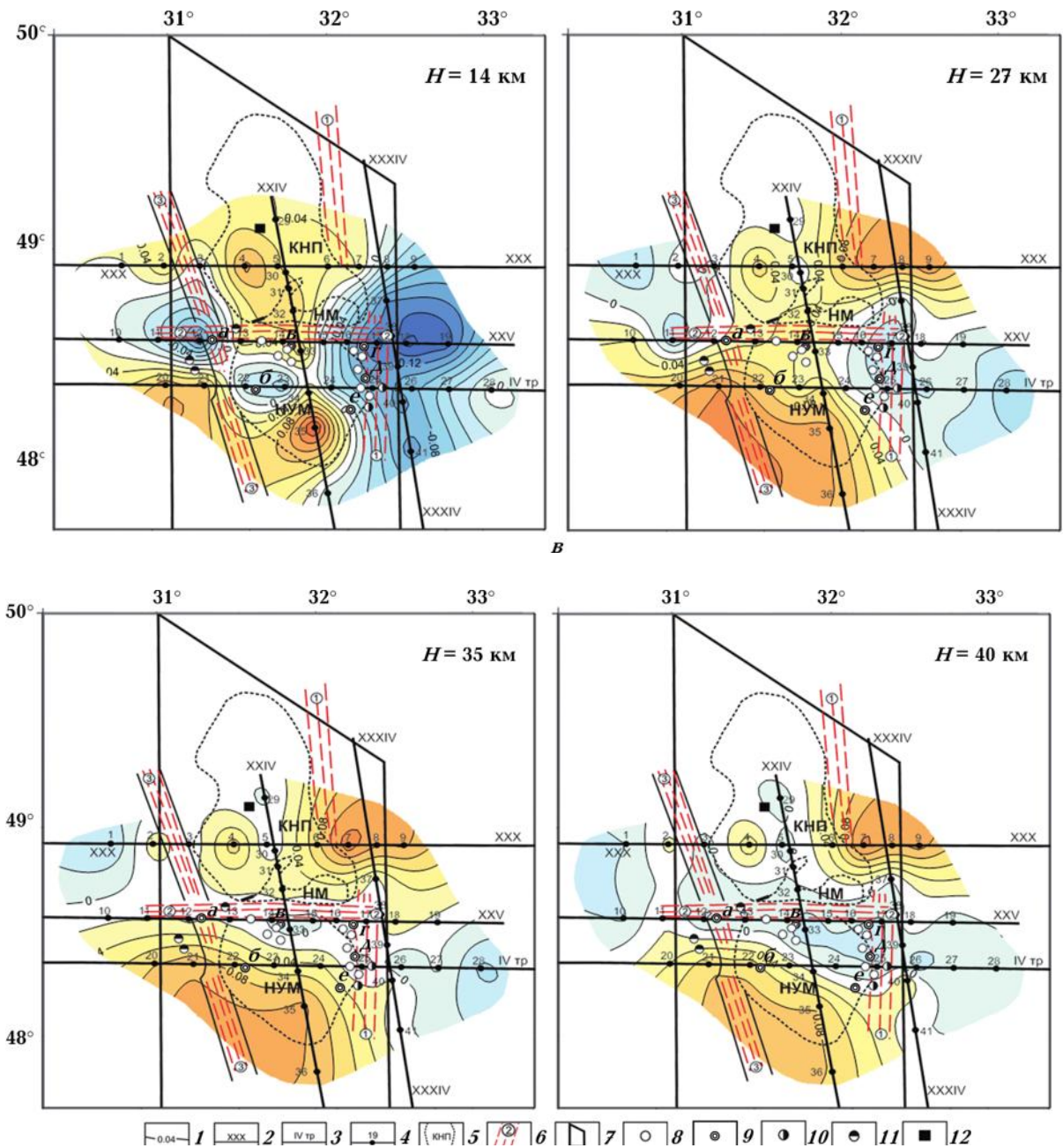


Рис. 2. Розташування Кіровоградського рудного району у тектонічних структурах центральної частини Українського щита. Ізолінії ΔV : а — при $H=0$ км; б — при $H=8$ та $H=9$ км; в — при $H=14$ та $H=27$ км; г — при $H=35$ та $H=40$ км; 1 — ізолінії ΔV , км/с; 2 — профіль ГСЗ; 3 — геотраверс IV; 4 — точки на профілях, де розраховано графіки $V=f(H)$ (див. на рис. 1); 5 — контури геологічних структур (КНП — Корсунь-Новомиргородський плутон, НУМ — Новоукраїнський масив); 6 — зони розломів (цифри у кружках: 1 — Кіровоградська, 2 — Суботсько-Мошоринська, 3 — Звенигородсько-Братська); 7 — контур Кіровоградського рудного району; 8 — родовища урану; 9 — родовища урану, на яких наведено геологічні розрізи [Старостенко і др., 2010, 2011] (а — Ватутинське, б — Партизанське, в — Новокосятинівське, г — Северинське, д — Мічуринське, е — Юріївське); родовища та рудо прояви: 10 — золота, 11 — літію; 12 — титану.

на і центральна частини НУМ характеризуються меридіональною та субмеридіональною формою численних ізоліній ΔV . Це означає, що в інтервалі глибин 10—28 км (майже половина товщини земної кори) швидкості помітно

зменшуються у східному напрямку (рис. 2, в).

Слід зауважити, що у цю смугу значної зміни швидкостей потрапляє низка уранових родовищ, зокрема, Северинське, Мічуринське та Юріївське (рис. 2, в).

В інтервалі глибин 14—27 км земна кора КНП і НУМ відзначається переважно підвищеними швидкостями (рис. 2, в). Смуга підвищених швидкостей у межах південної частини КНП і більшої частини НУМ завширшки близько 40—70 км простежується у субмеридіональному напрямку протягом 150 км та просторово приурочена до трансрегіональної зони розтягу Херсон—Смоленськ [Гинтов, 2012]. Указана зона розділяє смугу підвищених швидкостей на дві майже однакові частини. Зі сходу і заходу смуга обмежується серіями ізоліній ΔV субмеридіонального простягання, що свідчить про значний горизонтальний градієнт швидкостей.

Глибше (36—40 км) розглядувана смуга поділяється субширотною зоною знижених швидкостей на дві частини. У плані ця зона, контури якої визначаються ізолініями ΔV субширотною простягання, збігається із СМЗР (рис. 2, г).

Ця зона розломів, як визначалося раніше, просторово збігається також з негативною аномалією ΔV на глибинах 2—6 і 30—40 км. Не виключено, що СМЗР могла б супроводжуватись негативною аномалією ΔV на інших глибинах, якби не субмеридіональна смуга підвищених швидкостей у межах південної частини КНП і більшої частини НУМ, вплив якої на розподіл швидкостей перевищує вплив субширотної аномалії ΔV . На захід і схід від смуги підвищених швидкостей в інтервалі глибин 1—27 км СМЗР неперервно позначається негативними аномаліями ΔV .

Звенигородсько-Братська зона розломів характеризується переважно підвищеними швидкостями, причому ізолінії ΔV часто простягаються перпендикулярно до неї, що свідчить про зміни швидкостей уздовж зони (рис. 2, б—г).

Підвищену увагу привертає негативна аномалія швидкостей у місці перетину Суботсько-Мошоринської і Звенигородсько-Братської зони розломів (рис. 2, б, в). Майже у центрі аномалії розміщується Ватутинське уранове родовище, а сама аномалія неперервно простежується у великому інтервалі глибин — від 1 до 22 км.

У ширшому інтервалі (1—27 км) в районі розміщення уранових родовищ Северинського, Мічуринаського та Юрїївського [Старостенко і др., 2010, 2011] на площі близько 40×40 км² зареєстровано негативну аномалію ΔV (рис. 2, б, в).

З урахуванням Ватутинського родовища у нас є підстави дійти попереднього висновку щодо приуроченості деяких родовищ урану до негативних аномалій ΔV , які неперервно простежуються на глибини, що перевищують

половину товщини земної кори.

Порівняння з результатами інших геофізичних методів (гравіметрії, магнітометрії, термометрії) та з деякими геологічними даними може дати відповідь на запитання: понижені швидкості — проста випадковість, чи це є певна ознака для пошуку уранових родовищ.

Слід зазначити, що земна кора зони спряження НУМ та Кіровоградської зони розломів, де розміщується група уранових родовищ, в тому числі Северинське, Мічуринаське та Юрїївське, має особливі геолого-геофізичні характеристики, що відрізняють її від суміжних структур.

1. Як наголошено раніше, у земній корі на глибині 1—27 км неперервно простежується негативна аномалія ΔV .

2. Акустична модель горизонту K_2 являє собою серію, що складається з 10 високо- та низькошвидкісних шарів, які чергуються між собою, завтовшки по 0,9 км кожен. Серія залягає в інтервалі глибин 10—19 км, швидкості у її товщі нижчі, ніж у вмисних породах [Трипольський, Харитонов, 1984а].

3. Перехідна зона кора—мантія має тонкошарувату структуру та складена 15 тонкими прошарками завтовшки 0,4—0,6 км кожен загальною потужністю до 9 км [Трипольський, Харитонов, 1984б].

4. Від межі поділу М зареєстровано аномалії відбиваючих властивостей цієї межі — інтенсивні субвертикальні та дуже інтенсивні за критичні відбиття [Трипольський, Шаров, 2004].

5. За геологічними даними виокремлено площу високого потенціалу алмазонасності [Федоришин та ін., 2006], а також поле з підвищеними значеннями коефіцієнта лейкокративності [Федоришин та ін., 2006].

Підкреслимо, що у подальшому слід проаналізувати можливі зв'язки між переліченими геолого-геофізичними характеристиками та з'ясувати їх можливий зв'язок з генезисом уранових родовищ.

Північна частина субмеридіональної Кіровоградської зони розломів (КЗР), яка прилягає зі сходу до КНП, майже повністю, крім земної поверхні ($H=0$), перебуває у позитивному швидкісному полі — ΔV мають позитивні значення (рис. 2, б—г). З глибиною характер швидкісного поля зазнає значних змін. Якщо в інтервалі 2—13 км земної кори КЗР швидкості переважно нижчі, ніж у КНП, то глибше — від 15 км до самих низів кори — швидкості у КЗР вже вищі, що супроводжується тенденцією до зростання перепаду їх значень з глибиною.

На відміну від північної південна частина КЗР перебуває переважно у негативному швидкісному полі. Як зазначалося раніше, в інтервалі глибин 10—27 км у зоні спряження КЗР і НУМ швидкості значно зменшуються у східному напрямку. Це позначається субмеридіональним напрямком ізолій ΔV (рис. 2, в, г).

У самих низах кори ізолії ΔV позначають зону знижених швидкостей субширотного простягання, яка просторово зіставляється з СМЗР та з ділянкою потовщеної кори, в межах якої межа поділу М залягає на глибинах 44—46 км [Соллогуб, 1986] (рис. 2, г).

Загалом, швидкості у західній частині КРР дещо вищі, ніж у його східній частині [Трипільський та ін., 2012]. Особливо яскраво це виявляється на глибинах 7—26 км. Межею між цими частинами приблизно слугує трансрегіональна зона розтягу Херсон—Смоленськ.

У зв'язку з тим, що швидкості на площинах горизонтальних перерізів змінюються у значних межах, з'явилася можливість визначити горизонтальний градієнт швидкості залежно від глибини [$G=f(H)$] при переході від одного перерізу до наступного (рис. 3). З цією метою було вибрано два напрямки, що характеризують максимальні зміни швидкостей по латералі: 1) центральна частина КНП (профіль ХХХ, точка 5) — зона спряження НУМ та КЗР (профіль ХХV, точка 17), відстань 55 км; 2) уздовж субширотної СМЗР (профіль ХХV, точка 14; профіль ХХV, точка 17), відстань 40 км.

Згідно з розрахунками горизонтальний градієнт G змінюється від 0 до $0,0084 \text{ c}^{-1}$. Уздовж першого напрямку G досягає максимального значення $0,0084 \text{ c}^{-1}$ на глибині 5 км (максимальна глибина поширення порід основного складу) (рис. 3, графік 1), після чого на глибині 6 км G швидко зменшується до $0,001 \text{ c}^{-1}$. Далі з глибиною G поступово зростає до $0,0038 \text{ c}^{-1}$ (14 км), після чого також поступово зменшується до нуля на глибині 29 км. За винятком інтервалу 0—5 км, характер графіка $G=f(H)$, складеного вздовж другого напрямку (рис. 3, графік 2), дуже близький до попереднього. Максимальне значення G ($0,0053 \text{ c}^{-1}$) зафіксовано на глибині 18 км, після чого зменшується до мінімального значення (0) на глибині 30 км.

У інтервалі 6—14 км градієнт, розрахований уздовж першого напрямку, зростає з глибиною у 3,8 раза; градієнт, розрахований уздовж другого напрямку, в інтервалі глибин 5—18 км, — у 2,3 раза. Градієнт, розрахований уздовж обох цих напрямків, має від'ємний знак у південно-східному та східному напрям-

ках, тобто швидкість у земній корі на різних глибинах (1—30 км) поступово зменшується указаних напрямках.

Вище зазначалося, що на глибинах 14—27 км у межах південної частини КНП і більшої частини НУМ виокремлюється смуга підвищених швидкостей субмеридіонального простягання. Із заходу та зі сходу смуга обмежена серіями ізолій ΔV субмеридіонального простягання, які у плані майже збігаються із Звенигородсько-Братською та Кіровоградською зонами розломів відповідно. У межах цих зон розломів, уздовж широтного профілю ХХV були розраховані горизонтальні градієнти швидкості G (рис. 3, графіки 3, 4). З'ясувалося, що характер графіків $G=f(H)$ та раніше отриманих графіків дуже близькі між собою. Таким чином, градієнт G у межах значної частини КРР змінюється з глибиною за одним і тим самим законом — максимальні значення відповідають глибинам 14—18 км (тут залягає поверхня K_2), мінімальні — 28—30 км. Глибше 30 км градієнт G майже дорівнює нулю.

Висновки. 1. Основні геологічні структури Кіровоградського рудного району — Корсунь-

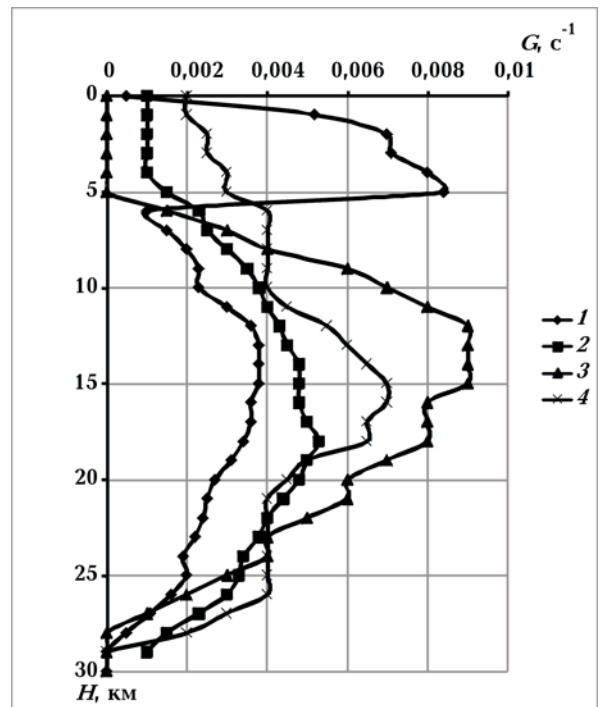


Рис. 3. Зміна горизонтальних градієнтів швидкості $G=f(H)$, розрахованих уздовж різних напрямків: 1 — центральна частина Корсунь-Новомиргородського плутону — зона спряження Новоукраїнського масиву та Кіровоградської зони розломів; 2 — вздовж простягання Суботсько-Мошоринської зони розломів; 3 — поперек простягання Звенигородсько-Братської зони розломів; 4 — поперек простягання Кіровоградської зони розломів.

Новомиргородський плутон, Новоукраїнський масив, Кіровоградська, Суботсько-Мошоринська та Звенигородсько-Братська зони розломів — упевнено виокремлюються у полі швидкостей поширення сейсмічних хвиль. Це відкриває нові можливості для тектонічного районування території Інгульського мегаблока та Українського щита в цілому.

2. Одна з головних закономірностей, виявлених за матеріалами ГСЗ, — це зв'язок між переважною більшістю виявлених родовищ урану і рідкісноземельних металів та зонами знижених швидкостей V_p .

Це впливає з порівняльного аналізу карт рельєфу поверхні K_2 , межі поділу M та ізоліній ΔV , де відомі родовища та рудопрояви розташовуються у мінімумах ΔV на глибинах 27, 35 і 40 км, а також у прогинах згаданих поверхонь. Цю закономірність можна розглядати як зв'язок указаних родовищ з Суботсько-Мошоринською, Кіровоградською, Звенигородсько-Братською та Новокостянтинівською зонами розломів тому, що мінімуми ΔV та прояви поверхонь K_2 та M скрізь збігаються з цими зонами.

3. Земна кора зони спряження Новоукраїнського масиву та Кіровоградської зони розломів, де розміщується група уранових родовищ, в тому числі Северинське, Мічуринське та Юрїївське, має особливі геолого-геофізичні характеристики, що відрізняють її від суміжних структур.

4. Горизонтальний градієнт швидкості G у межах значної частини КРР, розрахований у різних напрямках, з глибиною змінюється за одним і тим самим законом — максимальні значення відповідають глибинам 14—18 км, що просторово відповідає поверхні K_2 , мінімальні — глибинам 28—30 км. Глибше 30 км градієнт майже дорівнює нулю.

Висловлюємо щирі подяку члену-кореспонденту НАН України О. Б. Гінтову за побажання та зауваження, які були прийняті до уваги при підготовці цієї статті до друку.

Висловлюємо щирі подяку члену-кореспонденту НАН України О. Б. Гінтову за побажання та зауваження, які були прийняті до уваги при підготовці цієї статті до друку.

Список літератури

- Гинтов О. Б. Докембрий Украинского щита и тектоника плит // Геофиз. журн. — 2012. — **34**, № 6. — С. 3—21.
- Омельченко В. Д., Трипольский А. А., Носенко А. Б. Скоростные неоднородности и рельеф раздела Мохоровичича Украинского щита // Геофиз. журн. — 2008. — **30**, № 6. — С. 113—126.
- Соллогуб В. Б. Литосфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1986. — 184 с.
- Старостенко В. И., Казанский В. И., Попов Н. И., Дрогицкая Г. М., Заяц В. Б., Макивчук О. Ф., Трипольский А. А., Чичеров М. В. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). 1 // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 1. — С. 3—33.
- Старостенко В. И., Казанский В. И., Попов Н. И., Дрогицкая Г. М., Заяц В. Б., Макивчук О. Ф., Трипольский А. А., Чичеров М. В. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит). 2 // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 5. — С. 3—16.
- Трипольский О. А., Тополук О. В., Трипольська В. О. Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кіровоградського рудного району Інгульського мегаблока Українського щита. 1 // Геофиз. журн. — 2012. — **34**, № 6. — С. 68—78.
- Трипольский А. А., Харитонов О. М. Исследование тонкослоистой структуры переходной зоны корамантия на примере Украинского щита // Геофиз. журн. — 1984б. — **6**, № 2. — С. 43—48.
- Трипольский А. А., Харитонов О. М. Тонкослоистая структура горизонта K_2 в верхней части консолидированной коры Украинского щита // Геофиз. журн. — 1984а. — **6**, № 6. — С. 19—24.
- Трипольский А. А., Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов Северного полушария Земли по сейсмическим данным. — Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2004. — 159 с.
- Федоришин Ю. І., Макивчук О. Ф., Фесенко О. В., Деніга О. Б. Перспективи корінної алмазонасності Кіровоградського мегаблока Українського щита (Висновки за результатами прогнозних досліджень) // Мінер. ресурси України. — 2006. — № 1. — С. 13—17.