

Особливості розподілу швидкостей поширення сейсмічних хвиль у земній корі Кіровоградського рудного району

© О. А. Трипільський, В. О. Трипільська, О. В. Тополук, 2015

Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна

Надійшла 11 грудня 2014 р.

Представлено членом редколегії О. Б. Гінтовим

Показана принципиальная возможность детального исследования скоростных характеристик кристаллической земной коры в местах расположения месторождений урана. На основании сопоставления с геологическими данными высказано предположение о повышенной концентрации натровых метасоматитов и урановых руд на глубине 0—4 км. Установлены сложные соотношения между скоростями в земной коре месторождений урана и на участках вне их, что свидетельствует об особом распределении скоростей в земной коре месторождений урана.

Ключевые слова: дефицит скорости, земная кора, урановые месторождения, Кіровоградський рудний район.

На території Кіровоградського рудного району (КРР) виконано великий обсяг регіональних геофізичних досліджень методом глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ). Застосування детальної системи спостережень, що складалася з трьох широтних і двох субмеридіональних профілів, створило сприятливі умови для отримання високоякісних геофізичних матеріалів, які у подальшому було використано для побудови глибинних сейсмічних розрізів і для визначення швидкостей поширення сейсмічних хвиль (скорочено швидкостей) у земній корі. Останнім часом при інтерпретації сейсмічних матеріалів особливу увагу було звернено на вивчення особливостей просторового розподілу швидкостей у земній корі КРР із застосуванням нової методики.

Згідно з цією методикою, кожену структуру запропоновано характеризувати вертикальним графіком $\Delta V = f(H)$, де величина ΔV визначає міру відхилення швидкостей у земній корі конкретної структури від нормальних швидкостей. За норму взято осереднений розподіл швидкостей з глибиною ($V = f(H)$) у земній корі КРР. У цьому разі величина ΔV є мірою швидкісної аномалії та визначає особливості її зміни як за глибиною, так і по латералі для кожної із досліджених структур.

У результаті застосування цієї методики показано, що геологічні структури КРР упевнено виокремлюють у полі швидкостей поширення сейсмічних хвиль [Трипільський та ін., 2013]. Так, у районі потовщення земної кори широтного простягання між XXV профілем на півночі та IV геотраверсом на півдні ("мантіїний рів") кору вплетено визначають зоною переважно понижених швидкостей, яка теж має широтне простягання.

Крім того, було встановлено, що земна кора уранових родовищ КРР характеризується переважно від'ємними значеннями ΔV [Трипільський та ін., 2013]. Поглиблене вивчення цього висновку складає предмет дослідження, виконаного у цій статті.

Особливу увагу звернено на територію з від'ємними значеннями ΔV на глибинах 1—4 км, між Суботсько-Мошоринською зоною розломів (СМЗР) на півночі та південною частиною Новоукраїнського масиву на півдні. У межах цієї території залягають родовища урану: Северинське, Мічуринське, Новокостянтинівське, Ватутинське, Партизанське (рис. 1).

Для порівняння на рис. 2 показано перерізи на глибинах 10, 15, 28, 36 км, де характер і знак ізоліній ΔV відмінний від представлених на рис. 1. Це підкреслює особливість поля від'ємних значень ΔV на глибинах 1—4 км.

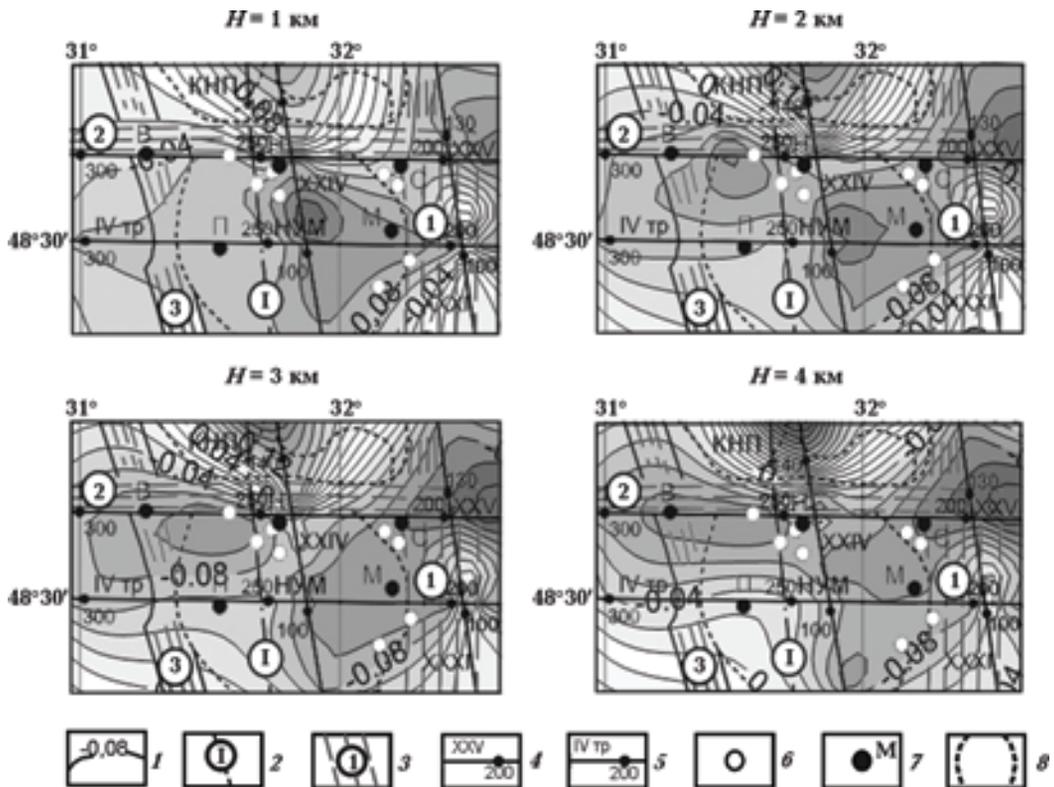


Рис. 1. Карта ізоліній ΔV на глибинних перерізах 1, 2, 3 і 4 км у районі розміщення уранових родовищ: 1 — ізолінії ΔV , км/с; 2 — трансрегіональна зона розтягу Херсон—Смоленськ; 3 — зони розломів (1 — Кіровоградська, 2 — Суботсько-Мошоринська, 3 — Звенигородсько-Братська); 4 — профіль ГСЗ; 5 — геотраверс ГСЗ; 6 — родовища урану; 7 — родовища урану, для яких наведено геологічні розрізи [Старостенко і др., 2010, 2011] (В — Ватутинське, П — Партизанське, Н — Новокостянтинівське, С — Северинське, М — Мічуринське); 8 — контур геологічної структури (КНП — Корсунь-Новомиргородський плутон, НУМ — Новоукраїнський масив).

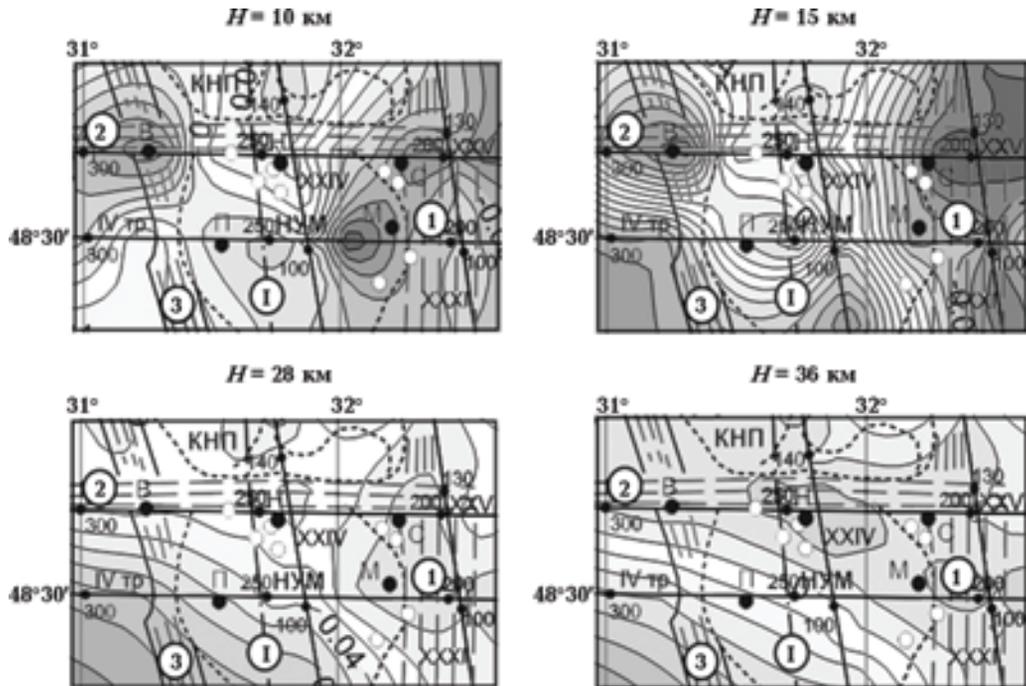


Рис. 2. Карта ізоліній ΔV на глибинних перерізах 10, 15, 28 та 36 км у районі розміщення уранових родовищ. Умовні позначення див. на рис. 1.

Слід зазначити, що у деяких місцях (східніше від перетину СМЗР і Кіровоградської зони розломів та у центральній частині Новоукраїнського масиву поблизу точки перетину XXIV профілю та IV геотраверсу) абсолютні величини негативних аномалій ΔV є більшими, ніж у районі розміщення родовищ урану (див. рис. 1). Це потребує додаткового вивчення, а саме окремого визначення міри відхилення від нормальних швидкостей у бік їх зниження (дефіцит швидкостей) у земній корі як на цих родовищах, так і на ділянках поза ними.

З цього погляду визначено середні швидкості у різних інтервалах починаючи з глибин 0—4 км.

На рис. 3 наведено вертикальні графіки $\Delta V = f(H)$ до глибини 10 км у межах досліджуваної території, складені у місцях розміщення родовищ урану і ділянок поза ними. На усіх без винятку графіках починаючи з глибини 1 км зафіксовано негативні значення ΔV . На багатьох графіках такі значення простежуються до глибини 10 км. На профілі XXV максимальні відхилення ΔV (ПК 190) встановлено східніше від перетину Суботсько-Мошоринської і Кіровоград-

ської зон розломів, мінімальні (ПК 230) — у зоні спряження Корсунь-Новомиргородського плутону та Новоукраїнського масиву.

Рис. 3 доповнений табл. 1, в якій для побудованих вертикальних графіків $\Delta V = f(H)$ наведено значення вертикальних градієнтів G, c^{-1} в інтервалі глибин 0—4 км і відношення G/G_n , де G_n — осереднений градієнт у КРР ($0,0602 c^{-1}$) на цих самих глибинах (0—4 км). Привертають увагу дуже малі значення G для Северинського, Новокосянтинівського та Ватутинського родовищ урану. Дуже малий осереднений градієнт ($0,0248 c^{-1}$) зафіксовано також на профілі XXV, напрямок і положення якого збігаються із такими СМЗР.

Загалом, осереднений градієнт на усіх родовищах урану ($0,0350 c^{-1}$) (глибини 0—4 км) майже удвічі менший за такий самий градієнт у КРР ($0,0602 c^{-1}$), а також помітно менший за осереднений градієнт ($0,0488 c^{-1}$) на усіх ділянках поза цими родовищами.

У табл. 2 наведено сумарний результат визначення дефіциту швидкостей у земній корі території з від'ємними значеннями ΔV на глибинах 1—4 км. Для порівняння на позиціях 18 і 19 наведено приклади додатних значень ΔV на цих

Т а б л и ц я 1. Характеристики швидкості поширення сейсмічних хвиль у межах родовищ урану і поза ними в інтервалі глибин 0—4 км

Прив'язка, параметр	Система спостережень						
	XXV профіль						
ПК	290 (В)	270	250 (Н)	230	220	215 (С)	190
G, c^{-1}	0,0275	0,0250	0,0225	0,0275	0,0225	0,0225	0,0260
$G/G_n, c^{-1}$	0,46	0,42	0,37	0,46	0,37	0,37	0,43
	IV геотраверс						
ПК	290	270 (П)	250	230	210 (М)	190	
G, c^{-1}	0,0625	0,0525	0,0525	0,0500	0,0500	0,0500	
$G/G_n, c^{-1}$	1,04	0,87	0,87	0,83	0,83	0,83	
	XXIV профіль			XXXIV профіль			
ПК	80	100	120	130	150		
G, c^{-1}	0,0500	0,0800	0,0750	0,0375	0,0375		
$G/G_n, c^{-1}$	0,83	1,33	1,25	0,62	0,62		

Примітка: G — вертикальний градієнт, G_n — нормальний градієнт КРР ($0,0602 c^{-1}$). Родовища урану: В — Ватутинське, П — Партизанське, Н — Новокосянтинівське, С — Северинське, М — Мічуринське.

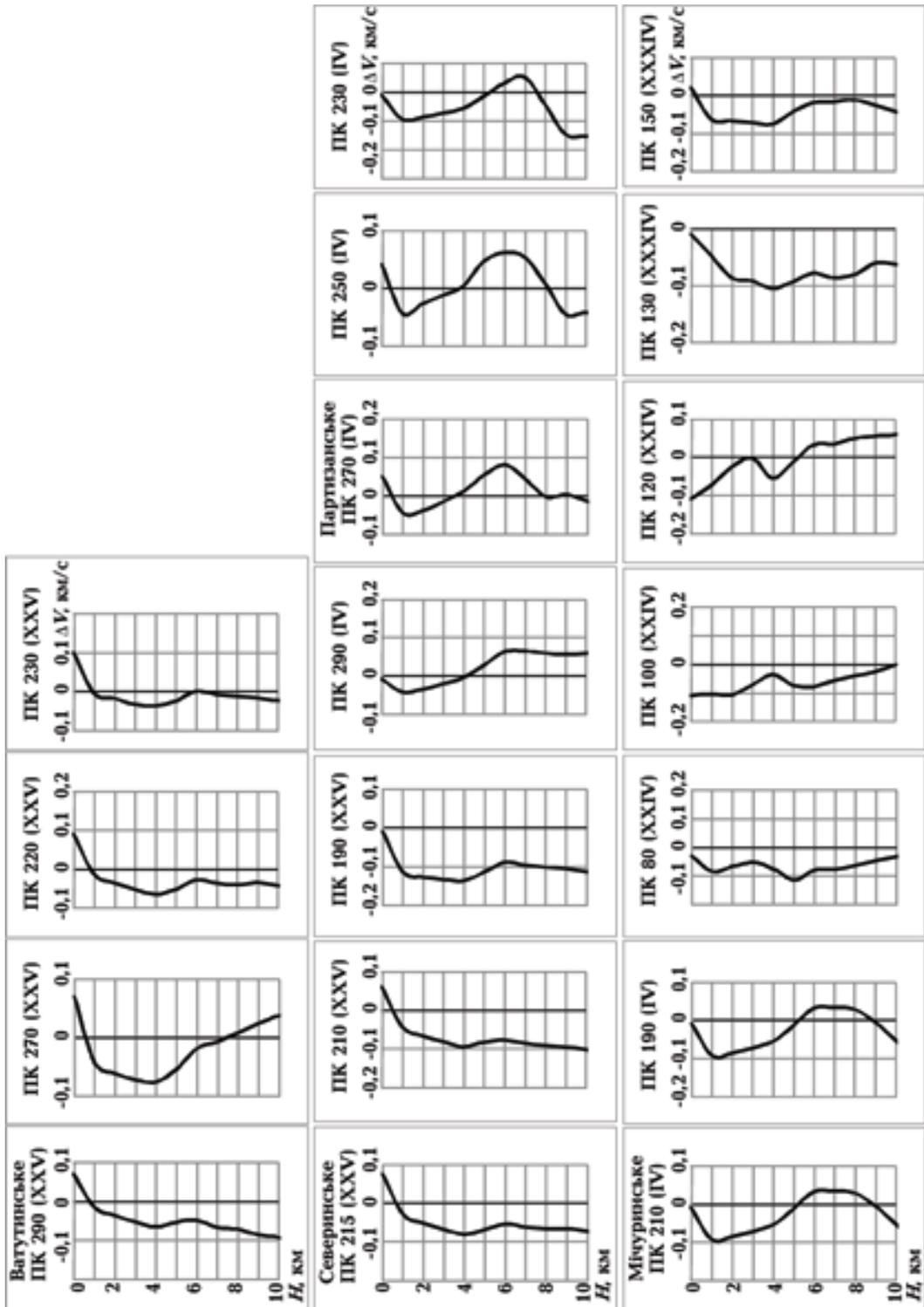


Рис. 3. Вертикальні графіки $\Delta V = f(H)$, що характеризують величини відхилення швидкостей від нормальних значень $V = f(H)$ у районі розміщення уранових родовищ.

самих глибинах (Корсунь-Новомиргородський плутон).

Слід підкреслити, що середнє значення сумарного дефіциту швидкостей на родовищах урану ($-0,188$ км/с) суттєво менше за те саме значення на ділянках поза родовищами ($-0,235$ км/с). Це — непрямий доказ того, що на родовищах урану швидкості у земній корі на глибинах 0—4 км дещо вищі, ніж поза ними.

На родовищах урану дефіцит швидкостей з глибиною розподілений таким чином: максимальне значення ($-0,058$ км/с) припадає на глиби-

ну 3 км, мінімальне ($-0,035$ км/с) — на глибину 1 км.

Максимальний дефіцит швидкостей на родовищах урану ($-0,302$ км/с) зафіксовано на Мічуринському родовищі, мінімальний ($-0,082$ км/с) — на Партизанському. Максимальний дефіцит швидкостей на усій досліджуваній території ($-0,502$ км/с) встановлено східніше від перетину Суботсько-Мошоринської і Кіровоградської зон розломів.

У табл. 3 підсумовувано результати вивчення швидкостей та вертикальних градієнтів швид-

Т а б л и ц я 2. Дефіцит швидкостей поширення сейсмічних хвиль у земній корі території з від'ємними значеннями ΔV на глибинах 1—4 км

Но- мер	Розташування точок виміру	Розподіл дефіциту швидкостей з глибиною, км/с				Сумарний дефіцит швидко- стей, км/с
		1 км	2 км	3 км	4 км	
1	Профіль XXV, ПК 190	-0,112	-0,125	-0,131	-0,134	-0,502
2	XXV, ПК 215 (С)	-0,027	-0,090	-0,066	-0,079	-0,262
3	XXV, ПК 220	-0,012	-0,035	-0,051	-0,064	-0,162
4	XXV, ПК 230	-0,002	-0,015	-0,031	-0,034	-0,082
5	XXV, ПК 250 (Н)	-0,002	-0,025	-0,041	-0,054	-0,122
6	XXV, ПК 270	-0,042	-0,060	-0,071	-0,074	-0,247
7	XXV, ПК 290 (В)	-0,012	-0,015	-0,051	-0,064	-0,142
8	Геотраверс IV, ПК 190	-0,092	-0,085	-0,071	-0,054	-0,302
9	IV, ПК 210 (М)	-0,092	-0,085	-0,071	-0,054	-0,302
10	IV, ПК 230	-0,092	-0,085	-0,071	-0,054	-0,302
11	IV, ПК 250	-0,042	-0,025	-0,011	0,006	-0,072
12	IV, ПК 270 (П)	-0,042	-0,035	-0,021	0,016	-0,082
13	IV, ПК 290	-0,042	-0,035	-0,021	-0,004	-0,102
14	Профіль XXIV, ПК 120	-0,072	-0,025	-0,001	-0,054	-0,152
15	XXIV, ПК 100	-0,102	-0,105	-0,071	-0,034	-0,312
16	XXIV, ПК 80	-0,082	-0,065	-0,051	-0,074	-0,272
17	Профіль XXXIV, ПК 150	-0,062	-0,065	-0,071	-0,074	-0,272
18	XXXIV, ПК 130	-0,047	-0,085	-0,091	-0,104	-0,327
19	Профіль XXIV, ПК 140 (КНП)	0,118	0,175	0,179	0,166	0,638
20	Профіль XXX, ПК 250 (КНП)	0,188	0,285	0,319	0,346	1,138

Примітка: $-0,188$ — середнє значення сумарного дефіциту швидкостей в інтервалі глибин 1—4 км на родовищах урану, км/с; $-0,235$ — те саме в межах ділянки зі зниженими швидкостями поза родовищами урану, км/с. Родовища урану: С — Северинське, Н — Новокостянтинівське, В — Ватутинське, М — Мічуринське, П — Партизанське. КНП — Корсунь-Новомиргородський плутон.

костей G у земній корі Українського щита (УЩ), КРР, родовищ урану та на ділянках поза ними. Виявлено складні співвідношення між швидкостями у земній корі родовищ урану та на ділянках поза ними. Так, на глибинах 0—4 км швидкості на родовищах урану вищі, ніж поза ними, на 0,012 км/с. Це становить 0,22 % від 6,038 км/с (швидкість у земній корі родовищ урану). Глибше (5—10 км) порівнювані швидкості однакові (6,194 км/с), ще глибше (11—15 км) спостерігається вже значне перевищення швидкості на ділянках поза родовищами урану (6,336 км/с проти 6,297 км/с). Це становить 0,6 % від 6,336 км/с. Глибше (16—20 км) перевищення швидкості зменшується більш ніж удвічі, глибше (до самих низів земної кори) воно ще спостерігається, але набуває мінімальних значень (0,002—0,005 км/с).

Загалом, земна кора родовищ урану (інтервал глибин 0—40 км) менш швидкісна, ніж поза родовищами (6,531 км/с проти 6,540 км/с). Це становить 0,14 % від 6,540 км/с. У тому самому інтервалі глибин земна кора родовищ урану ще менш швидкісна, ніж у межах УЩ чи КРР. У першому випадку дефіцит швидкостей дорівнює – 0,038 км/с, або 0,60 %, у другому — – 0,014 км/с, або 0,22 %.

Такі невеликі відсотки характерні для кристалічної земної кори докембрійських щитів загалом та для УЩ зокрема, де, на відміну від ре-

гіонів з потужними осадовими відкладами, швидкість по латералі (або від структури до структури), як правило, змінюється дуже незначно. Винятком є суттєва зміна швидкостей за переходу від плутонів, складених породами інтрузивного генезису (наприклад КНП), до вмисних порід.

Висновки. 1. Показано принципову можливість детального дослідження швидкісних характеристик кристалічної земної кори в родовищах урану.

2. У публікації [Старостенко, Гинтов, 2013] висловлено думку, що діапазон розвитку натрових метасоматитових уранових руд є максимальним у середовищі, однорідному по вертикалі. З цим визначенням певною мірою узгоджується встановлений нами аномально малий вертикальний градієнт швидкості в інтервалі глибин 0—4 км у районі уранових родовищ, що розміщуються у межах СМЗР (Северинське, Новокостянтинівське та Ватуїнське). За такого малого вертикального градієнта припускаємо, що геологічне середовище на цих глибинах є достатньо однорідним по вертикалі, що може вказувати на підвищену концентрацію натрових метасоматитів та уранових руд до глибини 4 км.

3. Установлено складні співвідношення між швидкостями у земній корі родовищ урану та на ділянках поза ними. На глибинах 0—4 км швидкості в межах родовища урану вищі, а по-

Т а б л и ц я 3 . Швидкості поширення сейсмічних хвиль V^* та вертикальні градієнти швидкостей G^* у земній корі УЩ, КРР, родовищ урану та поза ними

Но- мер	ΔH , км	$V^*_{\text{КРР}}$, км/с	$G^*_{\text{КРР}}$, с ⁻¹	$V^*_{\text{ур}}$, км/с	$G^*_{\text{ур}}$, с ⁻¹	$V^*_{\text{п}}$, км/с	$G^*_{\text{п}}$, с ⁻¹	$V^*_{\text{УЩ}}$, км/с	$G^*_{\text{УЩ}}$, с ⁻¹
1	0—4	6,062	0,0602	6,038	0,0350	6,025	0,0488	6,103	0,0578
2	5—10	6,210	0,0220	6,194	0,0186	6,194	0,0254	6,229	0,0164
3	11—15	6,360	0,0310	6,297	0,0280	6,134	0,0318	6,365	0,0268
4	16—20	6,510	0,0263	6,482	0,0278	6,498	0,0280	6,509	0,0298
5	21—25	6,635	0,0243	6,636	0,0270	6,638	0,0290	6,643	0,0265
6	26—30	6,759	0,0248	6,782	0,0273	6,787	0,0275	6,795	0,0265
7	31—35	6,882	0,0238	6,899	0,0215	6,904	0,0223	6,908	0,0283
8	36—40	7,012	0,0285	7,014	0,0225	7,017	0,0223	7,051	0,0275
9	0—40	6,545	0,0289	6,531	0,0273	6,540	0,0285	6,569	0,0284

Примітка: $V^*_{\text{ур}}$, $G^*_{\text{ур}}$ — швидкість і градієнт у земній корі родовищ урану; $V^*_{\text{п}}$ — швидкість поширення сейсмічних хвиль у земній корі поза родовищами урану; $G^*_{\text{п}}$ — вертикальний градієнт швидкості у земній корі поза родовищами урану.

чинаючи з глибин 11—15 км уже нижчі. Це свідчить про особливий розподіл швидкостей у земній корі родовищ урану, чому слід приділити особливу увагу під час подальших досліджень.

Висловлюємо щире подяку члену-кореспонденту НАН України О. Б. Гінтову за всебічне обговорення матеріалів статті, важливі побажання та критичні зауваження, які було взято до уваги під час підготовки статті до друку.

Список літератури

Старостенко В. И., Гинтов О. Б. Заключение. Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. Киев: Прастыи луды, 2013. С. 464—469.

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. Т. 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. Т. 33. № 5. С. 3—16.

Трипільський О. А., Тополіюк О. В., Трипільська В. О. Особливості розподілу сейсмічних швидкостей у земній корі Кіровоградського рудного району (КРР) Інгільського мегаблоку Українського щита. 2. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 4. С. 161—169.

Special features of distribution of seismic waves propagation velocity in the Earth crust Kirovograd ore area

© О. А. Tripolskiy, V. O. Tripolskaya, O. V. Topolyuk, 2015

Principal possibility of detailed study of velocity characteristics of crystalline Earth's crust in the areas of uranium deposits has been shown. By comparison with geologic data an assumption has been expressed on increased concentration of sodium metasomatites and uranium ores at a depth of 0—4 km. Complicated correlations have been revealed between the velocities in the Earth's crust of uranium deposits and in the areas outside them that is an evidence of special features of velocity distribution in the Earth's crust of uranium deposits.

Key words: velocity deficit, Earth's crust, uranium deposits, Kirovograd ore area.

References

Starostenko V. I., Gintov O. B., 2013. Conclusion. Kirovograd ore area. Deep structure. Tectonophysical analysis. Ore deposits. Kiev: Prastyi ludy, 464—469 (in Russian).

Starostenko V. I., Kazanskiy V. I., Popov N. I., Drogitskaya G. M., Zayats V. B., Makivchuk O. F., Tripolskiy A. A., Chicherov M. V., 2010. From surface structures to integral deep model of the Kirovograd ore area (Ukrainian Shield). 1. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (1), 3—33 (in Russian).

Starostenko V.I., Kazanskiy V.I., Popov N.I., Drogitskaya G.M., Zayats V.B., Makivchuk O.F., Tripolskiy A.A., Chicherov M.V., 2011. From surface structures to integral deep model of the Kirovograd ore area (Ukrainian Shield). 2. *Geofizicheskiy zhurnal* 33 (5), 3—16 (in Russian).

Tripolskiy O.A., Topolyuk O.V., Tripolskaya V.O., 2013. Peculiarities of distributions of the seismic velocities in the Earth's crust Kirovograd ore district of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield. 2. *Geofizicheskiy zhurnal* 35 (4), 161—169 (in Ukrainian).