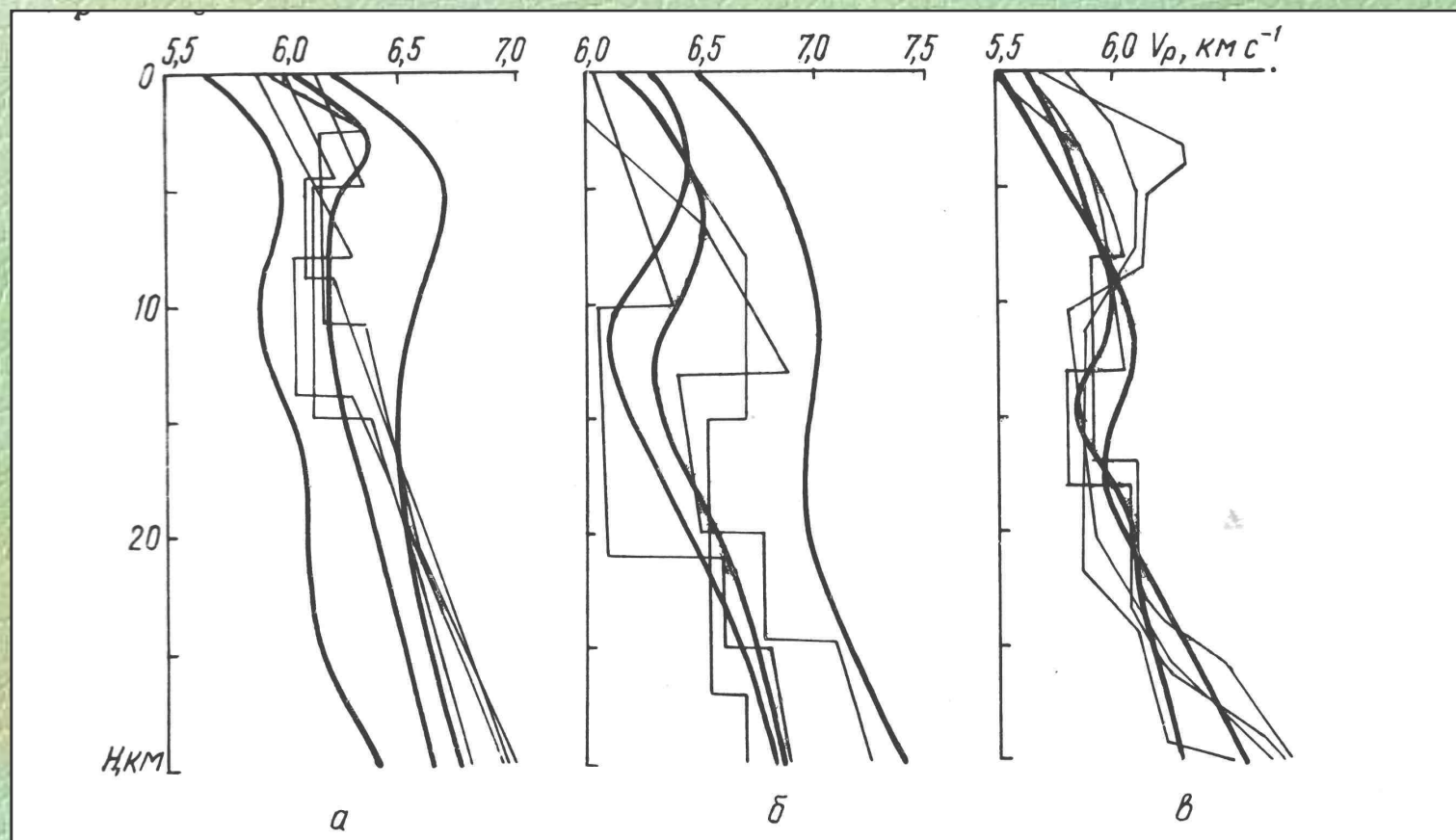


**Институт геофизики НАН Украины им. С.И.Субботина
г. Киев**

Корчин В.А.

**Упруго-плотностное термобарическое
расслоение литосферы, коровые зоны
низких сейсмических скоростей**



Распределение с глубиной скоростей упругих волн в верхних горизонтах литосферы по данным взрывной сейсмологии (ломанные тонкие линии) и результатам лабораторных опытов (плавные толстые кривые) для некоторых регионов: а – Украинский щит, б – Малый Кавказ, в – Рудные горы (Германия).

**Установка гидростатического
давления до 7 000 кг/см² для
исследований упругих
характеристик горных пород
при температурах до 200°C.**



Установка высокого квазигидростатического давления для изучения упругих свойств горных пород при высоких давлениях и температурах ($P=7$ кбар, $T=400^{\circ}\text{C}$, что соответствует глубинам в земной коре 35-45 км).

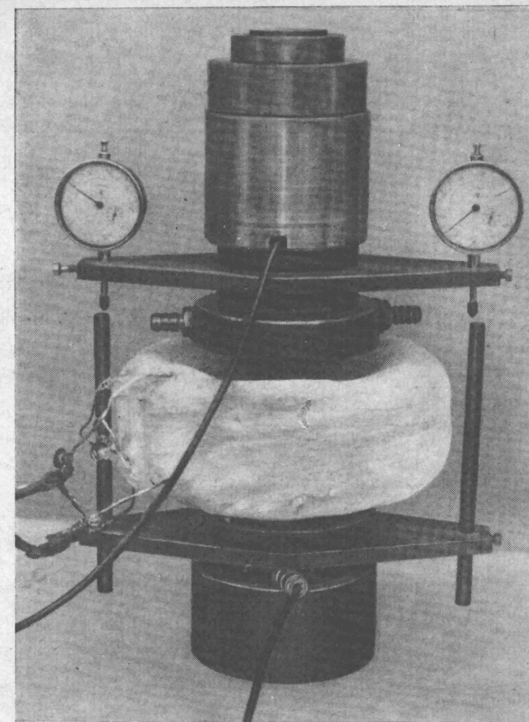


Рис. 75. Общий вид установки высокого давления и повышенной температуры.

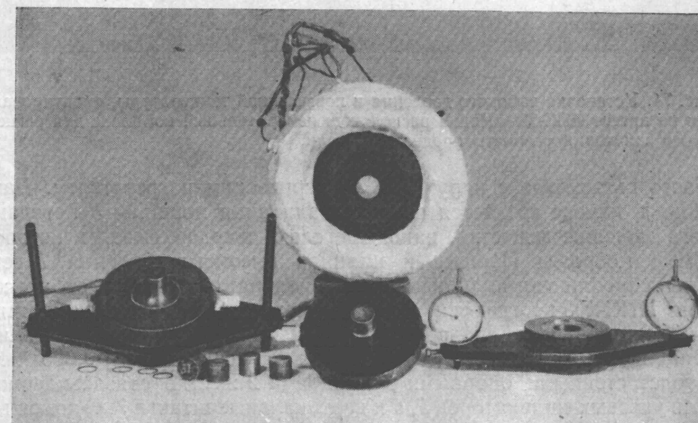
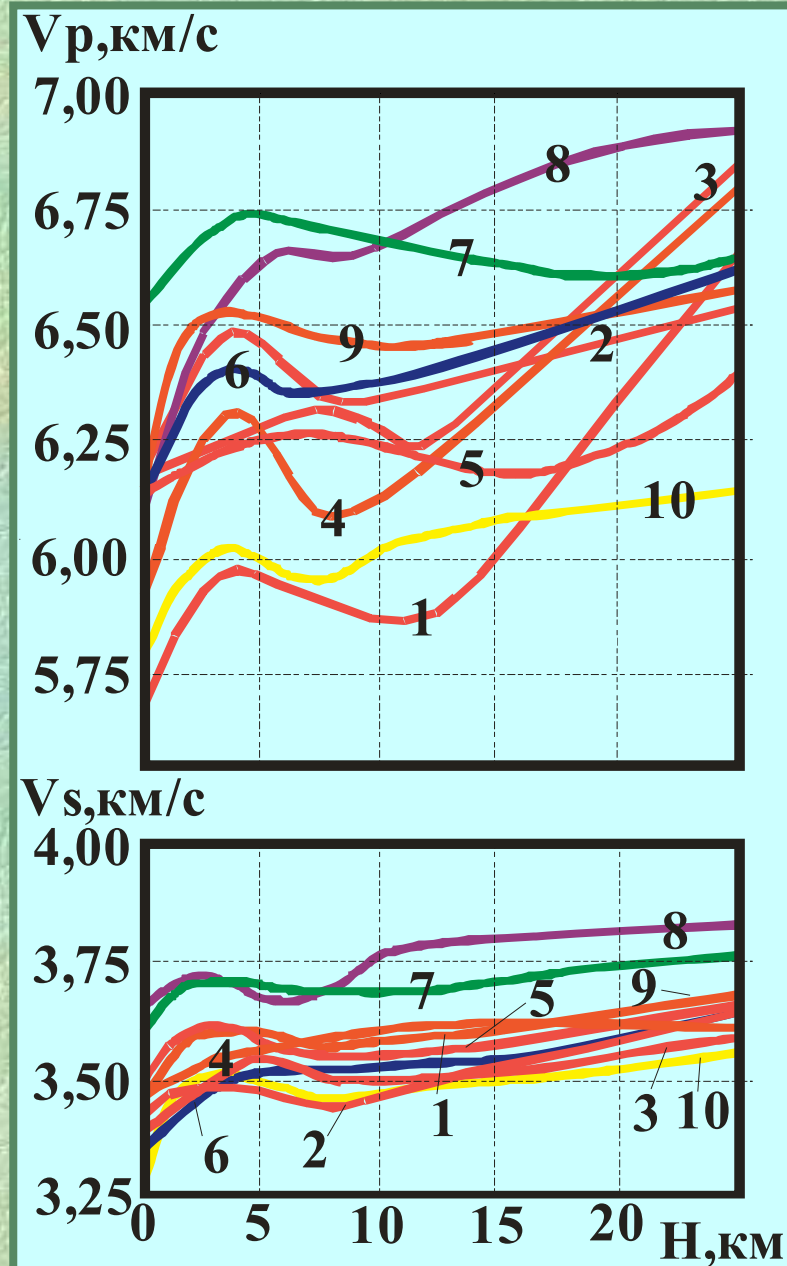


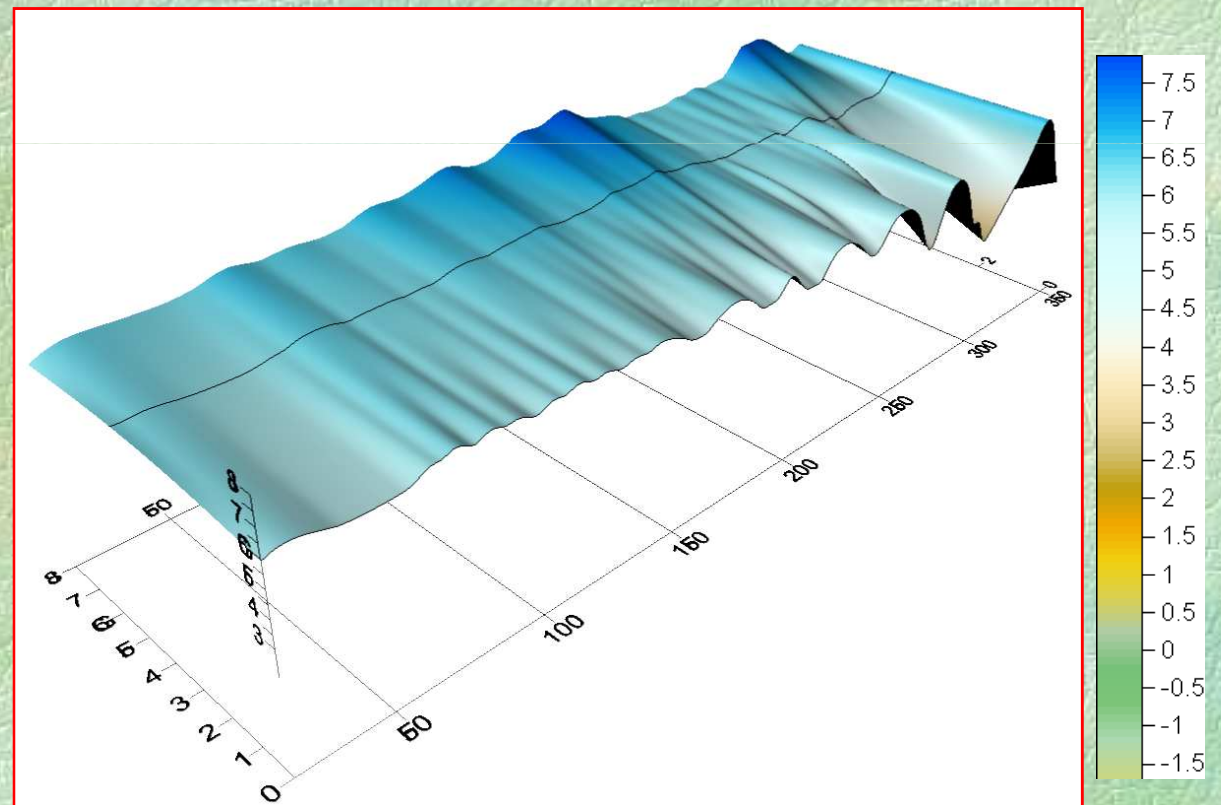
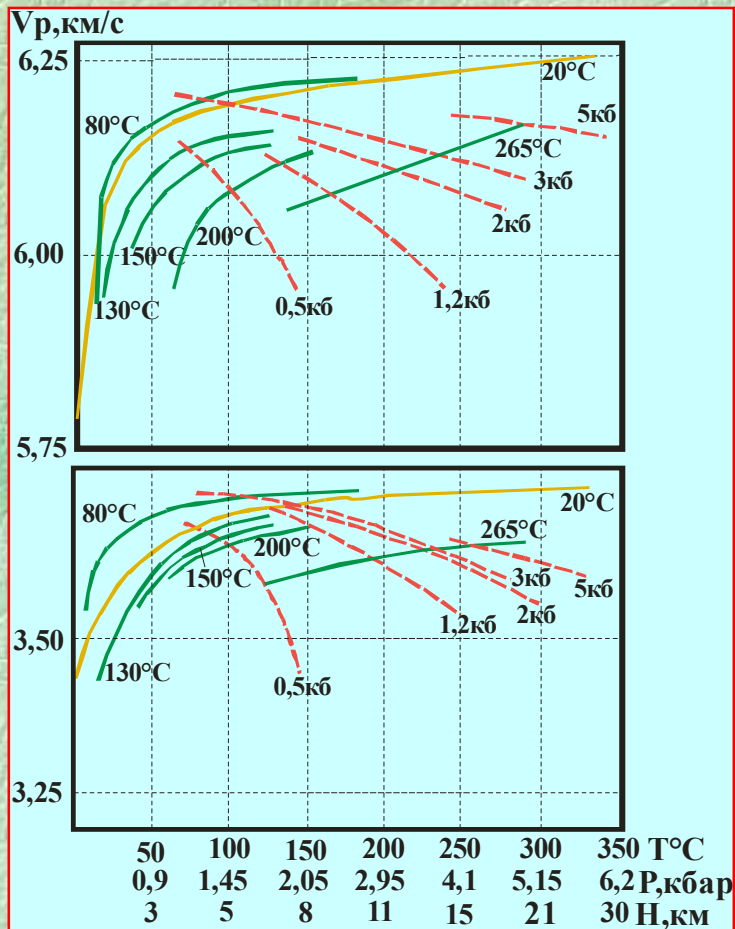
Рис. 76. Установка (рис. 75) в разобранном виде.

Изменение $V_{P,S}=f(PT)=f(H)$ с глубиной: 1 – граниты равномернозернистые, 2 – граниты порфировидные, 3 – граниты рапакиви, 4 – плагиограниты, 5 – граниты трахитоидные, 6 – средние породы, 7 – основные породы, 8 – ультраосновные породы, 9 – чарнокитоиды, 10 – гнейсы



Изобары и изотермы изменения скорости V_p в граните

■ Визуализация наборов двумерных данных $V_p=f(P)$, $V_p=f(T)$ и построение трехмерной модели в виде поверхности VPT с использованием геоинформационной системы Golden Software Surfer 8



Изменения с глубиной скорости распространения упругих волн (V_p) в породе постоянного минерального состава может быть рассчитано по соотношению:

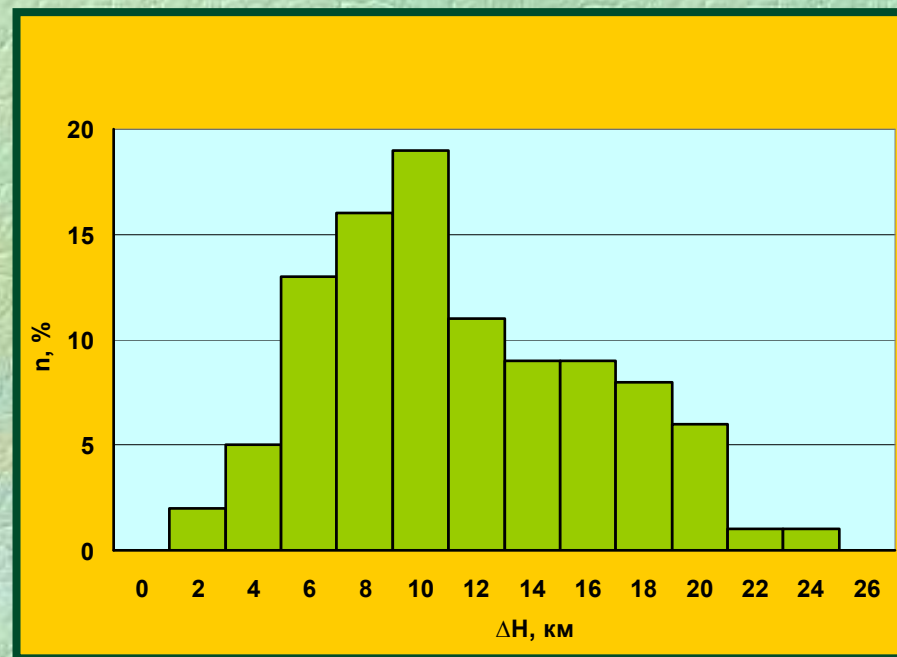
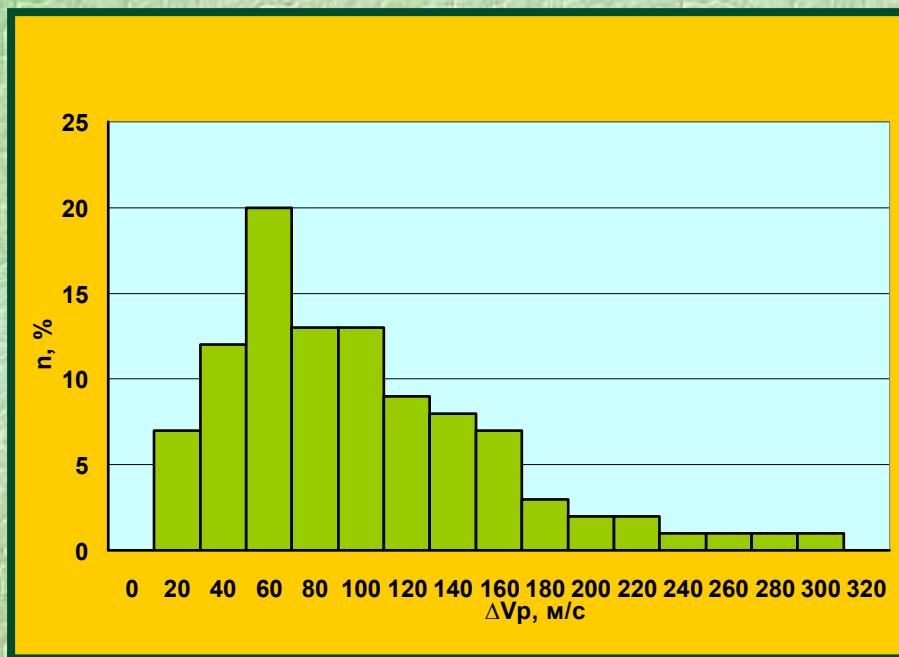
$$\frac{\partial V}{\partial H} = \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \frac{\partial P}{\partial H} + \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \cdot \frac{\partial T}{\partial H}$$

Зоны низкой скорости в земной коре определяются условием: $\frac{\partial V}{\partial H} < 0$

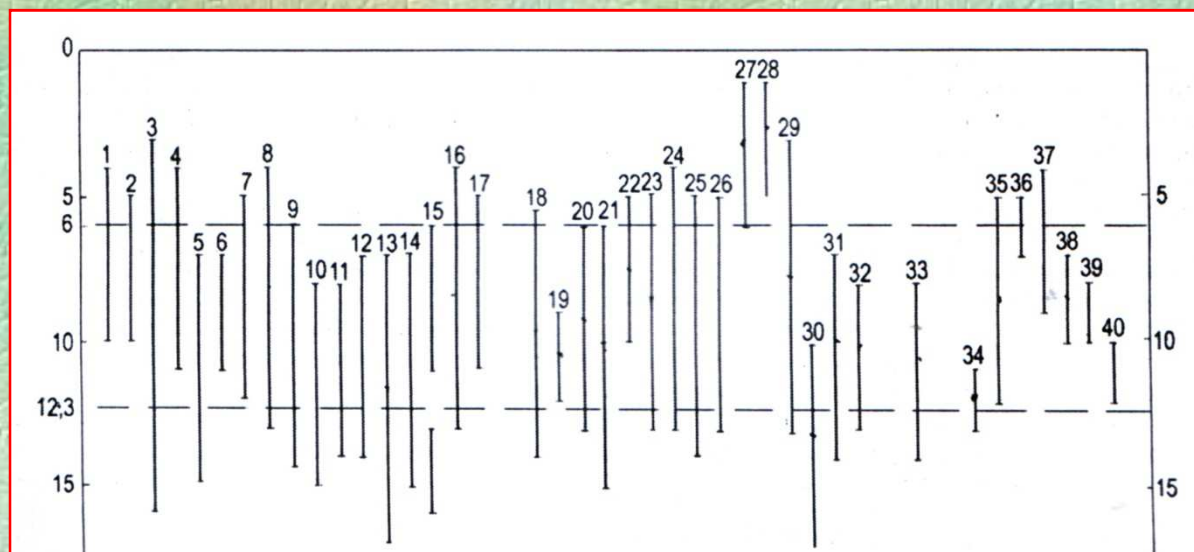
Поскольку $\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \cdot \frac{\partial P}{\partial H} \cdot \frac{\partial T}{\partial H}$ положительны, а $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P < 0$, то для образования зоны необходимо выполнение условия для абсолютных величин:

$$\left| \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \cdot \frac{\partial P}{\partial H} \right| < \left| \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \cdot \frac{\partial T}{\partial H} \right|$$

В земной коре, в большинстве случаев, изменение литостатического давления с глубиной можно считать постоянной величиной. Так, на глубинах от 3 до 40 км для древних щитов $\left(\frac{\partial P}{\partial H} \right) \approx 0,24 \div 0,32 \text{ кбар / км}$. Градиент изменения температуры на этих глубинах варьирует в широких пределах – от 5 до 25 °С/км. В этом интервале давлений и температур ($P \approx 1,2\text{--}3,5$ кбар; $T \approx 110\text{--}250^\circ\text{C}$) наблюдаются наибольшие отрицательные изменения скорости распространения упругих волн в породах и обнаруживаются зоны низких скоростей. Экспериментальными исследованиями установлен: $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = -2,7 \pm 0,5$ ($P \approx 0,5$ кбар); $-0,7 \pm 0,3$ ($P = 2$ кбар); $-0,33 \pm 0,1$ м/с·°С ($P = 5$ кбар) и V_p от давления при различных постоянных температурах $\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = 0,8 \pm 0,3$ (интервал давления 0–2 кбар, температура 20–80°С); $0,01 \pm 0,005$ (при $P \approx 2\text{--}5$ кбар, $T \approx 20\text{--}80^\circ\text{C}$); $0,04 \pm 0,01$ (при $P \approx 2\text{--}5$ кбар, $T \approx 265^\circ\text{C}$). На основании этих данных и опытов, выполненных по программам (низко и высокотемпературным режимам), расчетами установлено, что в случае реализации низкотемпературного режима опытов $\left(\frac{\partial T}{\partial H} < 9\text{--}11 \frac{^\circ\text{C}}{\text{км}} \right)$ зоны инверсии скоростей на зависимостях $V_p = f(P, T) = f(H)$ не проявляются. Если температурный градиент $\frac{\partial T}{\partial H} > 15 \div 20 \frac{^\circ\text{C}}{\text{км}}$ в интервале давлений 1,8–3,5 кбар на зависимостях $V_p = f(P, T)$ зоны низких скоростей проявляются четко. Уменьшение скоростей в этих зонах для различных образцов пород варьируют от -10 до -250 м/с.



Гистограммы распределения ΔV_p (уменьшение скорости в зоне) и ΔH (мощность слоя зоны низких скоростей) по данным эксперимента



Распределение волноводов в земной коре Украинского (1-17), Балтийского (18-32), Индийского (33), Канадского (34-40) щитов (А.А.Трипольский, В.Н.Шаров, 2004).

$\Delta V_b = 0,1-0,7$ км/с (0,1-0,22 км/с)

$\Delta H_b = 3-15$ км

$H_{min} = 5-12$ км

Микроструктурных преобразований горных пород в различных РТ

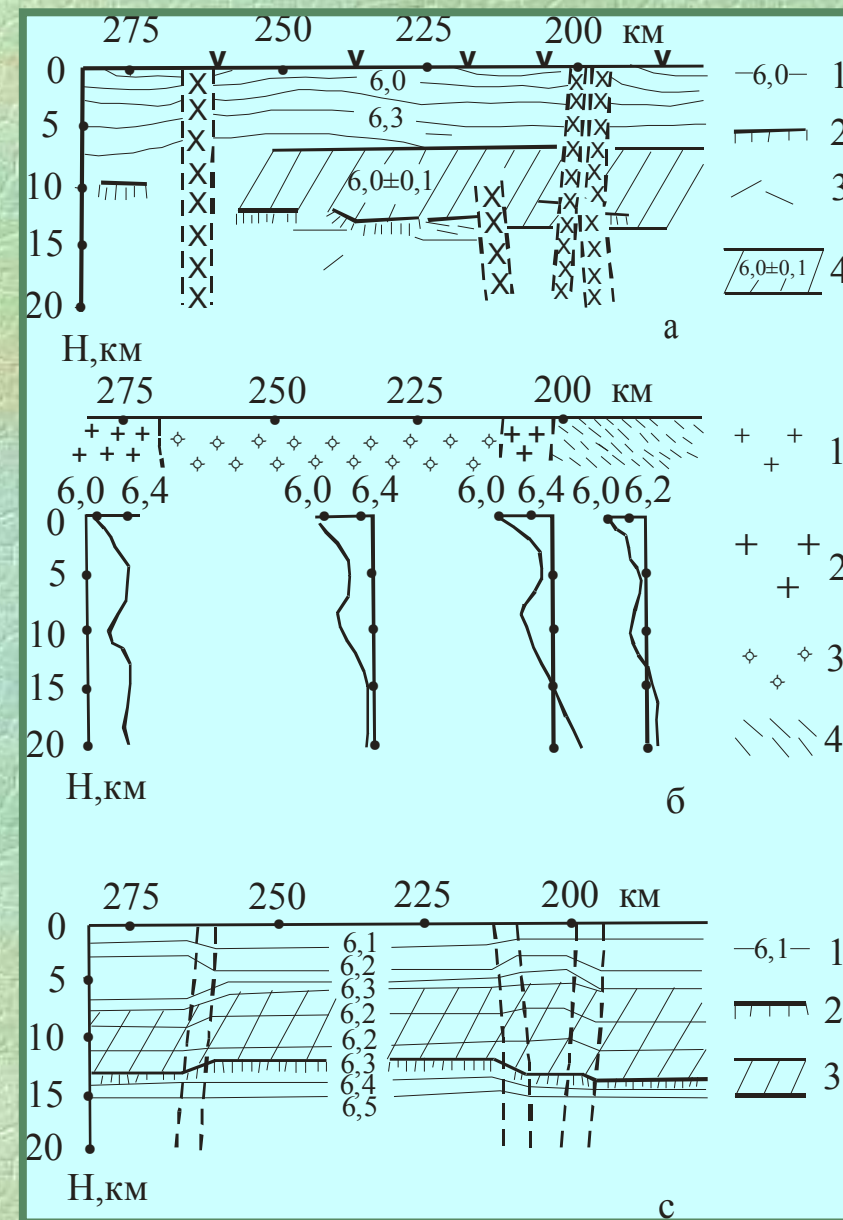
Параметры и характеристики	2-3 кб, 160-220°C Зона инверсии скорости	5,5-6,5 кб, 300-350°C Область возрастания скорости
$V_p, V_s, E, G, \sigma, K, \rho, 1/\beta$	Уменьшаются	Увеличиваются
Двойникование и милонитизация	Значительно	Мало уменьш.
Разуплотнение межзерновых границ	Значительно	Уплотнение
Магистральные микротрещины	Увеличение	Снижение
Искривление пласт.(в Bi), двойниковых полос (Pl)	-	Выявлено
Переориентация кристаллов Q, Bi, Pl	-	Выявлена
Линии скольжения в Bi	Выявлено	Уменьшение
Изменение формы зерен Q	Растрескивание	Разворот, перекристаллизация
Оптическая анизотропия	Увеличилась	Уменьшилась
Поляризационная оптическая неоднородность	Увеличилась	Уменьшилась
Блоки мозаики (Д)	Уменьшение	Увеличение
Плотность дислок. В блоках	Увеличение	Уменьшение
Плотность дислок. В межзерновых границах	Уменьшение	Увеличение
Относительная деформация зерен	Увеличение	Уменьшение, изменение знака
Дефекты упаковки, двойники	Увеличение	Уменьшение
Плотности дислок.отдельных зерен	Увеличение	Уменьшение
Характер дислокационного поля, динамика	Увеличение центров образования	Переползание, анигеляция, локализация, увеличение дислок. полос скольжения
Характер деформации	Низкотемпературное упругое упрочнение, хрупкое разрушение	Упруго-пластические высокотемпературные (термические)

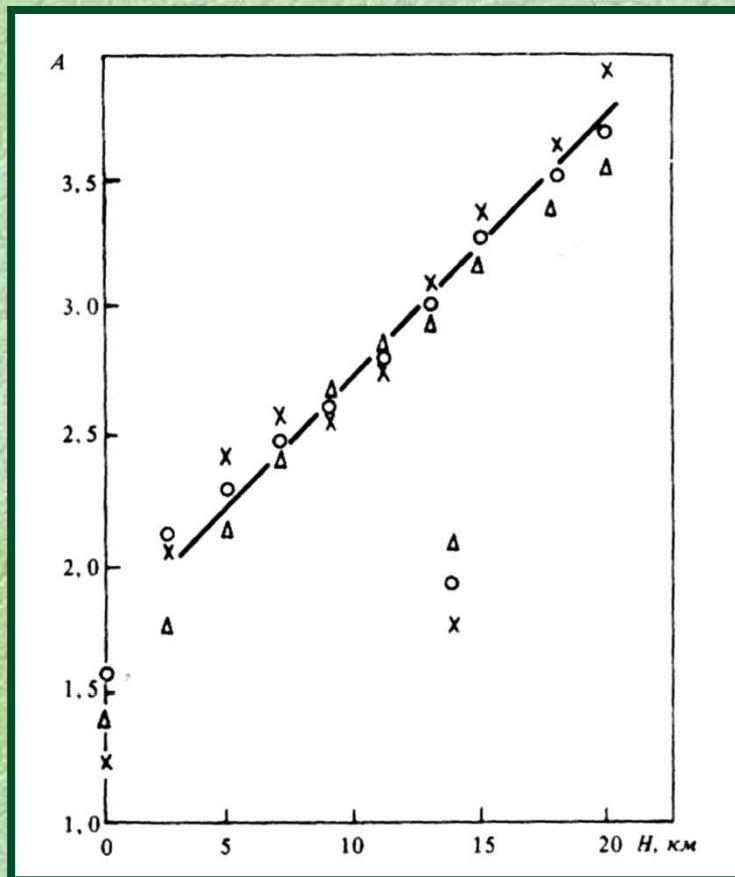
Участок VIII профиля ГСЗ Могилев-Подольск-Таганрог (центральная часть Ингуло-Ингулецкого района):

а). 1-изолинии скорости, 2-протяженные отражающие горизонты, 3-отражающие площадки, 4-зона с пониженными значениями скорости.

б). Экспериментальные зависимости $V_p=f(PT)=f(H)$ для соответствующих пород геологического разреза вдоль профиля ГСЗ: 1-граниты житомирские, 2-кировоградские, 3-новоукраинские, 4-гнейсы ингуло-ингулецкие.

в). Синтетический скоростной разрез, построенный по материалам РТ-исследований: 1-ізолінії швидкості, 2-границя К2, 3-зона низьких швидкостей.

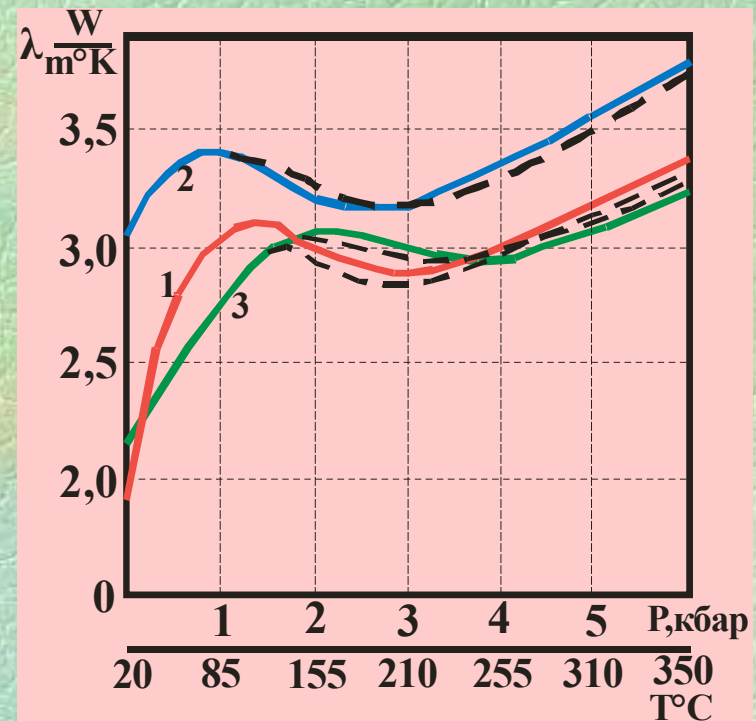




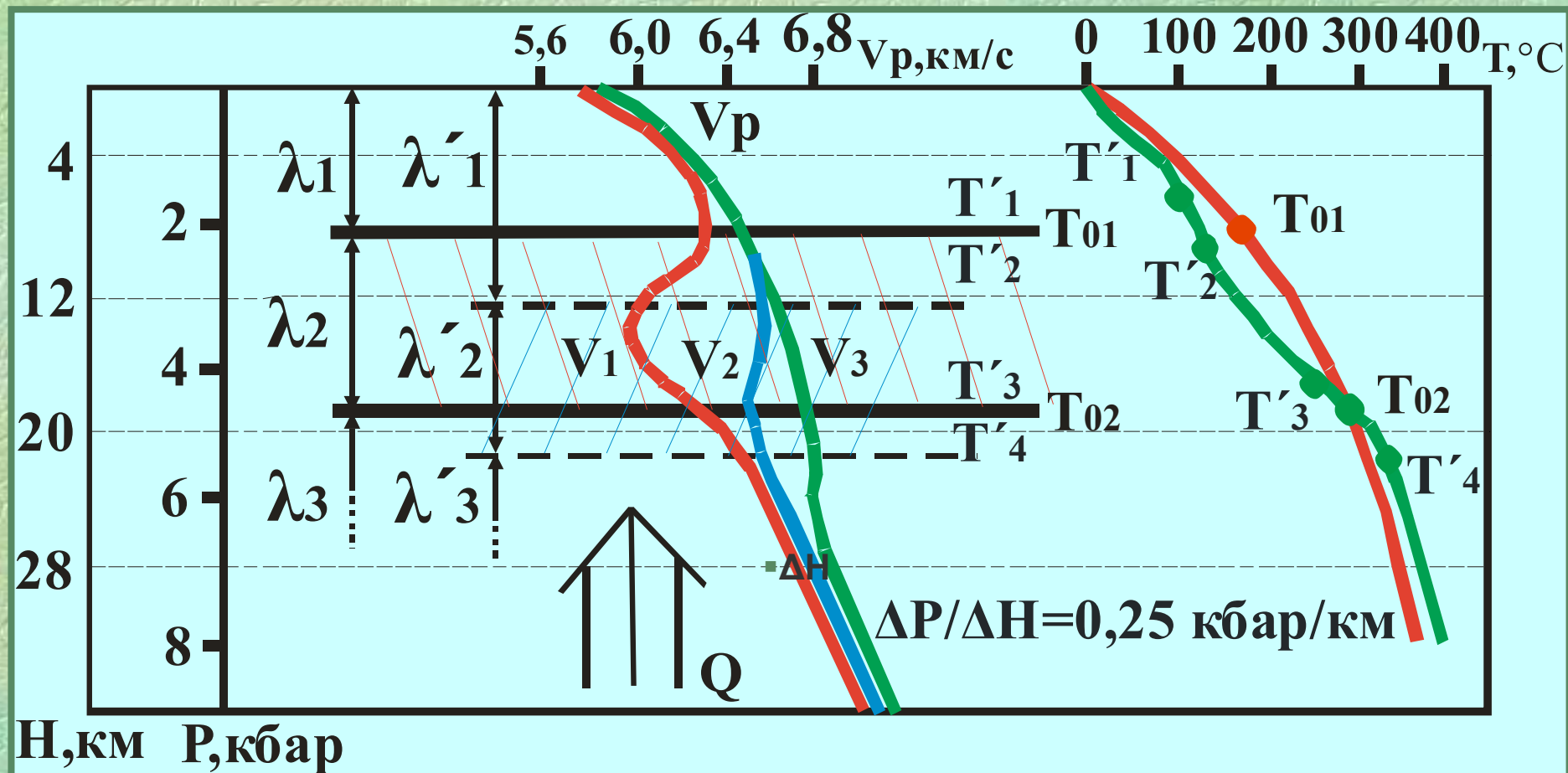
Зависимость коэффициента пропорциональности A в уравнении

$$\lambda_{\phi} = \frac{1}{3} C_{yo} \rho V_{\phi} l_{\phi} = \frac{\delta_0 \beta V_{cp} \rho}{3 \mu \gamma^2 T} \approx B \frac{V_m \rho^{-1/3}}{T} \approx A \frac{\theta}{T}$$

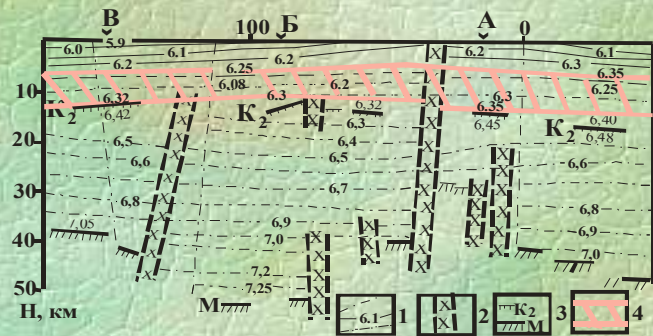
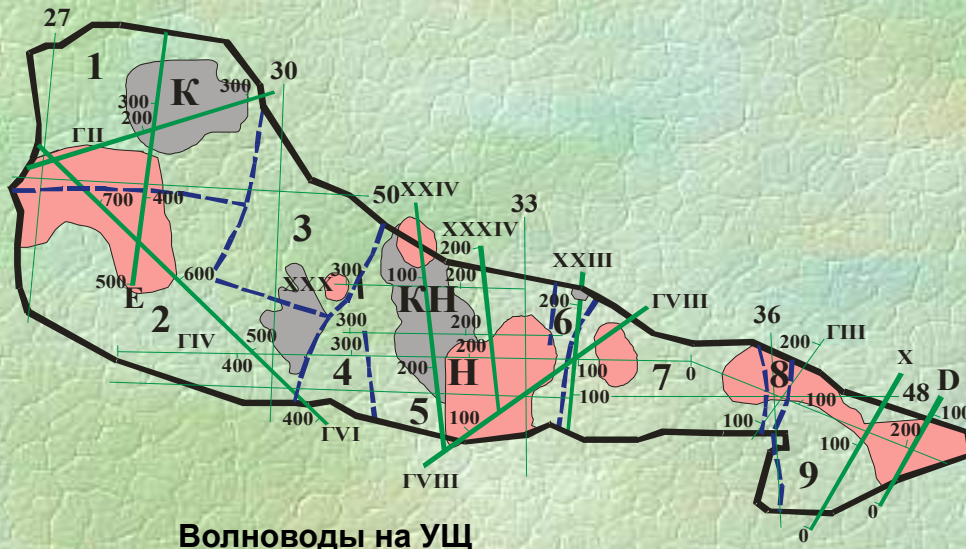
от глубины (H).



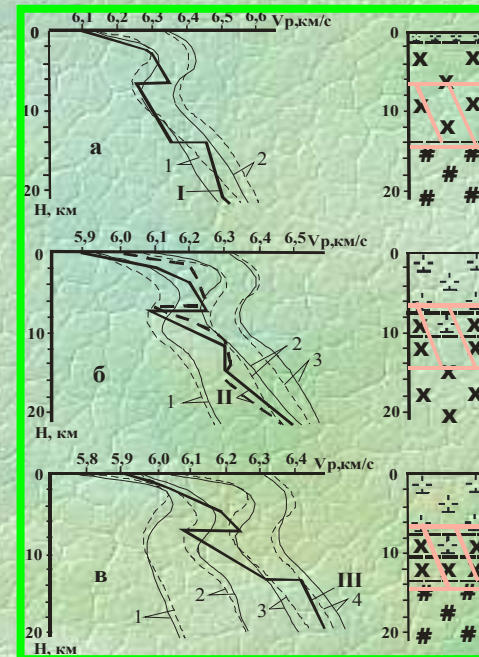
Теплопроводность горных пород при различных термобарических условиях. 1 – гранит, 2 – кварцит, 3 – чарнокит. Сплошные линии – по данным экспериментальных измерений, пунктирные – вычисленные по упругим параметрам.



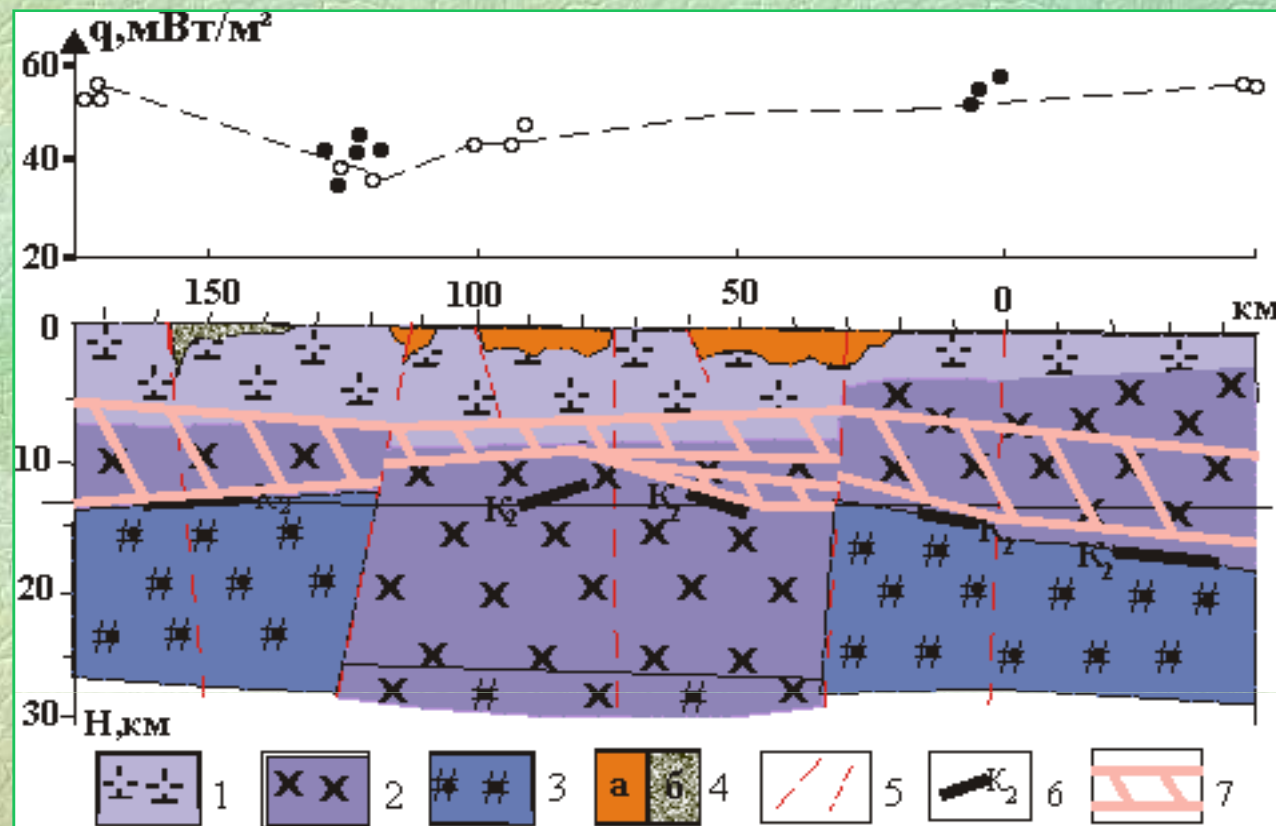
Зона низких скоростей в земной коре характеризуется пониженными значениями λ и является отражающим горизонтом для теплового потока, источником которого являются термоактивные процессы на больших глубинах. По классическим законам термодинамики и теплофизики наличие слоя с пониженной теплопроводностью на пути распространения тепловой энергии, приводит к повышению температуры на нижнем участке слоя и понижению ее на верхнем. Таким образом, нарушается равновесное РТ-условие существования зоны низких скоростей. С понижением температуры в верхней области зоны нарушается термобарическое условие ее существования.



■ Фрагмент схематичного розріза земної кори вздовж геотрансверса IV. 1-ізолінії швидкостей, 2-зони розломів, 3-границя «М» і K_2 , 4 – ЗНС



■ Співставлення графіків зміни $V_p=f(H)$ (криві I, II, III) за даними ГСЗ з матеріалами експериментальних досліджень: а – східний блок: діорити (1), ендербіти (2); б – центральний блок: плагіограніти (1, 2), діорити (3); в – західний блок: плагіограніти (1, 2), діорити (3), ендербіти (4). В літологічних колонках приведений прогнозний склад земної кори. Зони низьких швидкостей на колонках штриховані.



- Фрагмент схематического разреза вещественного состава земной коры участка геотраверса IV. 1 — плагиограниты, 2 — диориты, 3 — эндербиты, 4 — осадочно-вулканогенные породы зеленокаменных структур (а) и гранитоиды кировоградско-житомирского комплекса (б), 5 — зоны разломов, 6 — граница K_2 , 7 — зона низких скоростей, q — тепловой поток вдоль профиля.
- В зависимости от величины теплового потока (суммарного ТП) меняются температуры в литосфере, а, следовательно, и физические свойства слагающих ее пород. Так на глубине 25 км рассчитываются следующие зависимости T от ТП: $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ при ТП = 30 мВт/м^2 ; $T \approx 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ при ТП = 40 ; $T \approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ при ТП = 60 мВт/м^2 . Таким образом, поскольку тепловые потоки на исследуемом участке УЩ варьируют от 30 до 55 мВт/м^2 , то различные блоки вдоль участка профиля имеют различные температурные градиенты с глубиной, а следовательно, характеризуются различной конфигурацией зоны низких сейсмических скоростей.

Спасибо за внимание!