

**УПРУГО-ПЛОТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД ЗАПАДНОГО  
ПОБЕРЕЖЬЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА РАЙОНА СТАНЦИИ  
АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ**

**В.А.Корчин, П.А.Буртний, Е.Е. Карнаухова, А.С.Нех**

*Институт геофизики НАН Украины; Палладина, 32, Киев-142; [valsolov@igph.kiev.ua](mailto:valsolov@igph.kiev.ua)*

**Реферат.** Обобщена інформація про пружні та щільні властивості, а також деякі особливості мінерального складу гірських порід західної частини узбережжя Антарктичного півострова і прилеглих островів в районі станції Академік Вернадський. Досліджувана колекція представлена трьома групами порід мезозойського та раннькайнозойського віку: комплексами інтрузивних, вулканогенних та жильних утворень. Це переважно граніти, андезити, мікродіорити, базальти, долерити та інші. Найбільш низькими величинами  $V_p$ ,  $V_s$  і  $\rho$  характеризуються інтрузивні породи, серед яких мінімальні значення властиві гранітам, а більш високі – діоритам. Граніти в основному структурно порушені. Можливо це обумовлено довготривалою дією особливих кліматичних умов та наявністю льодового покриву. Діорити виявилися більш стійкими до таких умов. Серед вулканічних утворень зустрілися породи з достатньо високими значеннями вказаних параметрів. У ліпаритів і трахіандезитів спостерігаються мінімальні швидкості і густини, середні значення мають туфи і більш високі властиві дацитам і андезитам. Жильні породи характеризуються широким спектром швидкісних параметрів і густини. Це обумовлено різноманітністю їх мінерального складу і структури. Переважна кількість зразків представлена слабо розкриталізованими мінеральними агрегатами з незначною дефектністю. Основний вплив на розподіл їх швидкісних параметрів чинить дрібнозерниста мінеральна маса, якою заповнена більша частина об'єму. Дослідження пружних і щільнісних параметрів порід при нормальному тиску та кімнатній температурі дозволили виявити ряд регіональних особливостей їх розподілу. Результати досліджень зіставлені з даними для аналогічних порід Гірського Криму і Карпат. Для всіх груп порід спостерігається добра кореляція між пружними параметрами і щільністю.

**Пружно-густинні характеристики гірських порід західного узбережжя Антарктичного півострова району станції Академік Вернадський.** В.О.Корчин, П.О.Буртний, О.Є.Карнаухова, А.С.Нех

**Реферат.** Узагальнено інформацію про пружні та щільні властивості та деякі особливості мінерального складу гірських порід західної частини узбережжя Антарктичного півострова і прилеглих островів в районі станції Академік Вернадський. Досліджувана колекція представлена трьома групами порід мезозойського та раннькайнозойського віку: комплексами інтрузивних, вулканогенних та жильних утворень. Це переважно граніти, андезити, мікродіорити, базальти, долерити та інші. Найбільш низькими величинами  $V_p$ ,  $V_s$  і  $\rho$  характеризуються інтрузивні породи, серед яких мінімальні значення властиві гранітам, а більш високі – діоритам. Граніти в основному структурно порушені. Можливо це обумовлено довготривалою дією особливих кліматичних умов та наявністю льодового покриву. Діорити виявилися більш стійкими до таких умов. Серед вулканічних утворень зустрілися породи з достатньо високими значеннями вказаних параметрів. У ліпаритів і трахіандезитів спостерігаються мінімальні швидкості і густини, середні значення мають туфи і більш високі властиві дацитам і андезитам. Жильні породи характеризуються широким спектром швидкісних параметрів і густини. Це обумовлено різноманітністю їх мінерального складу і структури. Переважна кількість зразків представлена слабо розкриталізованими мінеральними агрегатами з незначною дефектністю. Основний вплив на розподіл їх швидкісних параметрів чинить дрібнозерниста мінеральна маса, якою заповнена більша частина об'єму. Дослідження пружних і щільнісних параметрів порід при нормальному тиску та кімнатній температурі дозволили виявити ряд регіональних особливостей їх розподілу. Результати досліджень зіставлені з даними для аналогічних порід Гірського Криму і Карпат. Для всіх груп порід спостерігається добра кореляція між пружними параметрами і щільністю.

**Elastic-Plastic Characteristics of Rocks at the Academic Vernadsky Station, the Western Coast of Antarctic Peninsula**

by V.A.Korchin, P.A.Burtny, E.E.Karnaukhova, A.S.Nach

**Abstract.** An unique data on elastic, density properties as well as some features of the mineral composition of rocks of the western Antarctic Peninsula and adjacent isles has been obtained and summarized in the region of Akademik Vernadsky. The collection studied contains three groups of the Mesozoic and early kainozoic rocks: intrusive, volcanic and veinstones, among which granitoids, andesites, basalts, dolerites. The lowest  $V_p$ ,  $V_s$  and  $\sigma$  values are appropriate to intrusive with the minimal values shown by granites and the higher ones by diorites. In general granites are structural damaged. This may be due to the prolonged influence of the specific climatic conditions and ice cover. Diorites appeared to be more stable to these conditions. Among the volcanic formations rocks with rather high values of these parameters occur. Liparites and trachyandesites show minimal density values, tuffs exhibit mean and dacites and andesites high ones. The lode rocks are featured by wide spectrum of

velocity parameters and densities. This is due to their diverse mineral composition and structure. It should be also emphasized that the predominant amount of the samples of the studied mineral formations are represented by slightly decrystallized mineral aggregates with insignificant deficiency. The main effect of the distribution of their velocity parameters is caused by a fine-grained mineral mass that fills the most part of the rock. The results of the study are compared with those for the rocks from Crimea and Carpathians. The studies of the elastic and density parameters of rocks revealed some regional features of their distribution. All rock groups show a good correlation between the elastic parameters of rocks and their densities.

**Key words:** rock, elastic properties, density properties.

## 1. Введение

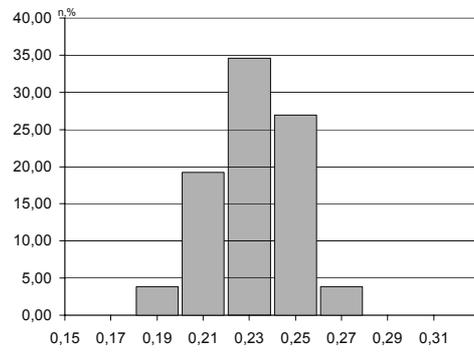
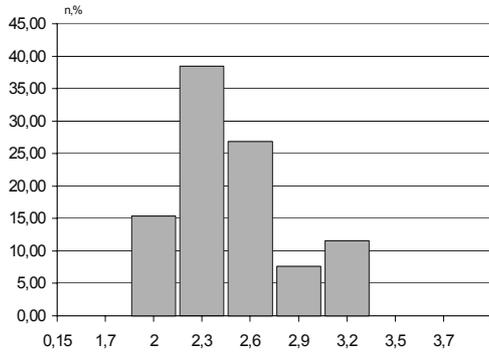
Комплексная интерпретация геофизических материалов при изучении глубинного строения различных горизонтов земной коры и верхней мантии требует широкого использования сведений о физических параметрах горных пород. Корреляционные зависимости между физическими свойствами горных пород расширяют возможности использования петрофизической информации при вещественно-структурных модельных построениях литосферы конкретных регионов Земли, которые не могут быть изучены прямыми геологическими исследованиями. В настоящее время лишь сейсмология и сейсмометрия может дать некоторую дискретную информацию (поинтервальную) о скоростном поле достаточно глубоких горизонтов Земли. Эта информация в некоторых случаях может быть трансформирована в петрофизическую, распределенную по глубине с определенной достоверностью. Для этой цели используются данные об упругих характеристиках пород, формирующих тот или иной блок или участок литосферы, полученные в лабораторных опытах при различных термодинамических воздействиях. Известно также, что большинство других геофизических методов (кроме сейсмологии) – гравиметрия, геотермия, электрометрия и др. фиксируют интегральную информацию на поверхности Земли. В гравиметрии, например, на поверхности наблюдений регистрируется только гравитационное влияние всей совокупности плотностных неоднородностей глубинных толщ. Эта информация не содержит в прямом виде сведения о распределении плотности пород с глубиной. При построении комплексных глубинных петрофизических моделей отдельных участков земной коры, направленных на выявление распределения с глубиной тех или иных плотностных разностей с конкретными упругими параметрами, первостепенное значение имеет выявление связи между плотностью ( $\rho$ ) и скоростями распространения упругих волн  $V_p$ ,  $V_s$ , которые определяются экспериментально на образцах пород, отобранных на территории исследуемого региона. Наиболее актуальным является поиск подобных зависимостей для регионов слабо изученных в геофизическом плане. В частности, таковым является шестой континент планеты – Антарктида, активное изучение которого начато в последние годы.

## 2. Взаимосвязь упруго-плотностных параметров

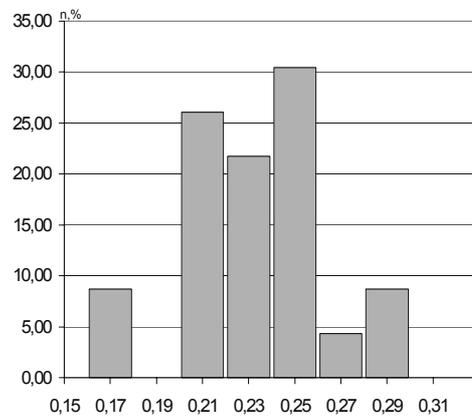
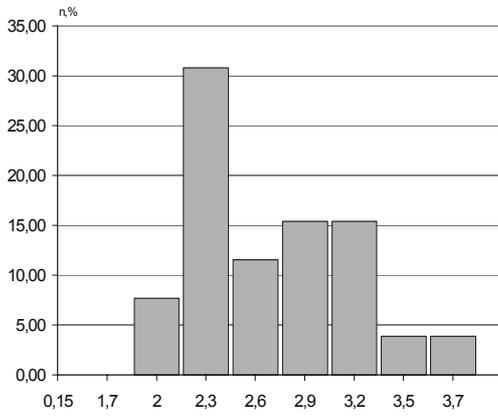
Нами начато широкомасштабное изучение петрофизических особенностей пород западного побережья Антарктического полуострова и прилегающих островов в районе станции Академик Вернадский (Шепель и др., 1998; Лебедев, 2002). В настоящем сообщении представлены результаты обобщения материалов изучения упруго-плотностных параметров пород указанной площади. Анализировались данные для более чем ста образцов пород вулканического, интрузивного и жильного комплексов при нормальном давлении и комнатной температуре (Лебедев и др., 2002). В предшествующих публикациях дано подробное петрографическое описание минеральных образований и их места отбора. По данным геологических исследований, проводимых в пределах Антарктического полуострова (Грикулов, 1971) этот регион рассматривается как составная часть Тихоокеанского подвижного пояса, в котором наиболее сильно тектонические движения и магматизм проявились в мезозое и кайнозое.

Продукты магматизма представлены, главным образом, мезозойским вулканогенным и мезозойско-раннекайнозойским интрузивным комплексами. Преобладающими в составе вулканогенного комплекса являются липариты, дациты, туфы, в меньшей степени развиты

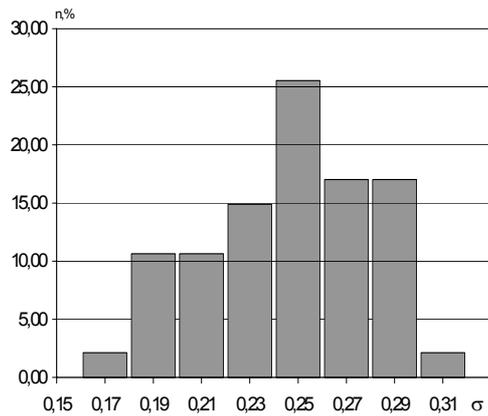
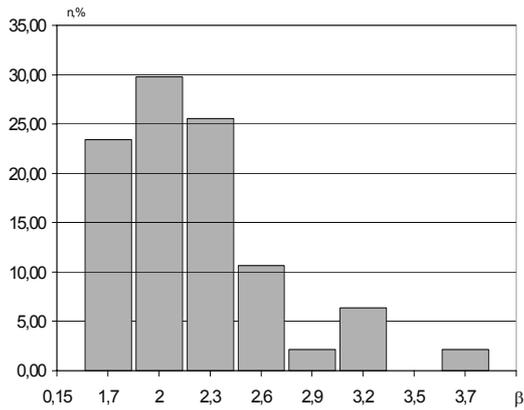
андезиты. Интрузивный комплекс представлен диоритами, гранодиоритами, гранитами, редко габброидами. Среди жильных образований встречались диоритовые порфириды, микродиориты, базальты, долериты (Лебедев и др., 2002). Исследования упругих параметров ( $V_p$ ,  $V_s$  – скорости распространения в образцах упругих волн соответственно продольной и поперечной поляризации) и плотности позволили выявить первостепенную зависимость этих параметров



а)

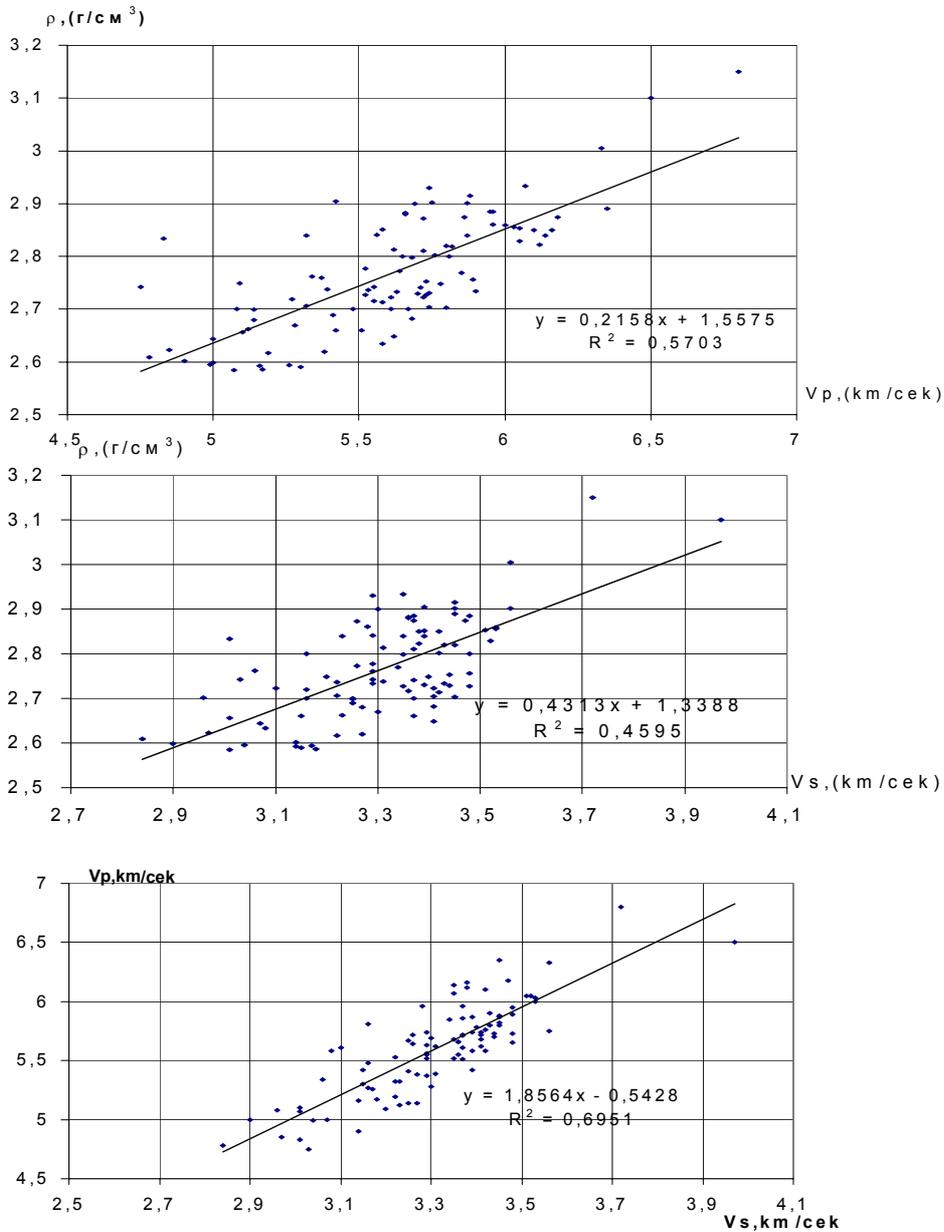


б)



в)

Рис.1 Гистограммы распределения значений сжимаемости ( $\beta \cdot 10^{-2} \text{ ГПа}^{-1}$ ) и коэффициента Пуассона  $\sigma$  для пород: а) - интрузивных, б) - вулканических, в) - жильных. от минерального состава и некоторые региональные особенности их распределения. Установлено, что основная масса образцов характеризуется скоростями  $V_p$  в интервале 5,0-6,2,  $V_s - 3,0-3,5 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$  и плотностями 2,55-3,0  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$  (рис.1,2). Причем породы интрузивного



комплекса имеют более низкие значения измеренных параметров, жильные – более высокие.

Рис.2 Регрессии  $\rho=f(V_p)$ ,  $\rho=f(V_s)$ ,  $V_p=f(V_s)$  для всего изученного комплекса пород Антарктического полуострова.

Основная масса пород представляет собой раскристаллизованный минеральный агрегат с незначительной дефектностью. Мелкозернистая минеральная масса, которая заполняет

большую часть образца, оказывает преобладающее влияние на упругие характеристики пород. С этим связана достаточно высокая степень однородности  $V_p$ ,  $V_s$  на различных участках образцов. Средняя неоднородность  $V_p$  составляет не более 2%, а  $V_s$  – менее 2,5%. Исследования шлифов показали, что в основном псевдоанизотропия упругих параметров исследованных пород обусловлена неоднородным распределением структурных дефектов, а не преобладающей ориентацией минеральных компонентов. Полагаем, что эта региональная особенность пород – результат своеобразного пути их возникновения и развития. К региональным особенностям пород можно отнести и тот факт, что они характеризуются достаточно высокими плотностями при умеренных значениях  $V_p$ ,  $V_s$ . Это также связано с высокой степенью “упаковки” породы за счет мелкозернистой массы. Как следствие, породы характеризуются невысокой сжимаемостью  $\beta$  и могут быть отнесены к достаточно пластичным рядам (на что указывают высокие значения коэффициента Пуассона (рис.1))

Таблица. **Корреляционные зависимости упругих параметров пород от плотности.**

Комплекс пород	$V_p=f(\rho)$			$V_s=f(\rho)$			$\beta=f(\rho)$			$\sigma=f(\rho)$		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Вулканический	-4,32	3,66	0,82	1,11	1,65	0,82	14,71	-4,58	0,77	-0,17	0,14	0,39
Интрузивный	-4,58	3,69	0,77	1,58	1,77	0,69	16,64	-5,24	0,75	-0,12	0,12	0,28
Жильный	-2,24	2,81	0,71	0,004	1,18	0,73	10,99	-3,15	0,67	-0,08	0,11	0,33
Все вместе	-1,70	2,64	0,75	0,36	1,06	0,67	11,37	-3,30	0,74	-0,09	0,11	0,41

Второй задачей проведенных нами обобщений и анализа является определение возможности использования данных о значениях скорости продольных волн, полученных экспериментально на образцах и методом сейсмометрии в исследуемом регионе, для оценки плотностной дифференциации глубинных зон земной коры. С этой целью рассмотрим взаимозависимость скоростных параметров изученных пород с их плотностями. Результаты обработки данных для  $V_p$ ,  $V_s$  и  $\rho$  представлены в виде линейных регрессий для отдельных групп пород (см. таблицу) и всего массива данных на рис. 2. В таблице приведены постоянные коэффициенты  $a$  и  $b$  уравнения  $y=a+bx$  для соответствующих зависимостей и коэффициенты корреляции  $R$ . Как видно из рис. 2, нами получены высококоррелируемые зависимости для вычисления, например, плотности пород по скоростям. Кроме того, при наличии данных о сейсмических скоростях волн продольной поляризации на различных глубинах, можно оценить для соответствующих горизонтов значения  $V_s$  и далее рассчитать упругие параметры отдельных блоков и горизонтов (Лебедев, 1986; Лебедев и др., 1995). Необходимо отметить, что подобные определения несут лишь качественный характер и могут быть использованы для построения первичных моделей. Более детальные построения делаются с использованием петрофизической информации, полученной в экспериментах при высоких давлениях и температурах.

### 3. Сопоставление данных для различных регионов

Сопоставляя полученные нами уравнения регрессий  $\rho=f(V_p)$  для всего изученного комплекса антарктических пород с подобными материалами для других регионов (Красовский, 1981) было обнаружено, что полученная нами регрессия смещена в правую сторону от известной общей регрессии и описывается формулой  $\rho_{\Sigma}=0,7269+0,3209V_p$ . Сдвиг по плотности в области  $V_p \approx 5,0 \text{ км с}^{-1} - 0,15 \text{ г см}^{-3}$ , а при  $V_p \approx 6,5 \text{ км с}^{-1} - 0,1 \text{ г см}^{-3}$ . Причем регрессия для пород Антарктического полуострова расположена вблизи таковых для пород Японии и Гавайских островов, пересекая первую регрессию на уровне  $V_p=5,4 \text{ км с}^{-1}$ ,  $\rho=2,75 \text{ г см}^{-3}$  и

вторую – на уровне  $V_p=6,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ ,  $\rho=2,90 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ . Этот факт может служить некоторой ориентировкой в вопросе о генетической идентичности трех регионов.

Несомненный интерес представляет сравнение полученных данных с данными для пород других регионов, близких по составу, условиям и времени образования.

Аналогичный структурный элемент с наиболее сильным проявлением мезокайнозойской складчатости и магматизма – Средиземноморский подвижный пояс (Средиземноморская геосинклиналь), в состав которой входят Горный Крым и Карпаты. Магматическая деятельность в Крыму проявилась в образовании интрузивных и эффузивных пород в период поздний триас - ранний мел. Интрузивные образования представлены в основном породами габбро-диоритового, диоритового, реже гранитного ряда. Среди эффузивных пород присутствуют базальты, андезиты-базальты, андезиты, липариты, дациты, туфы. Жильная фация представлена фельзитами, порфиритами, микродиоритами, микродиабазовыми порфиритами, диабазами. Для этих комплексов пород в свое время были определены некоторые физические свойства, результаты которых приведены в опубликованных ранее работах (Лебедев и др., 1967; Физические свойства, 1969).

Физические параметры указанных магматических образований, также как и отобранных в районе станции, в зависимости от состава пород колеблются в широких пределах. Наиболее высокие величины плотности присущи интрузивным породам габбро-диоритового ряда. Средние их значения составляют  $2,75 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$  ( $2,56-2,84 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ). Плотность пород гранитного ряда составляет  $2,56 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$  ( $2,52-2,64 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ). Породы жильной фации основного состава характеризуются плотностью  $2,76 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$  ( $2,71-2,78 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ), кислого –  $2,66 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$  ( $2,61-2,72 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ). Наиболее низкие плотности имеют эффузивные образования. Их значения для пород основного, среднего и кислого состава составляют соответственно  $2,59$  ( $2,41-2,73$ )  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ ,  $2,59$  ( $2,35-2,79$ )  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ ,  $2,47$  ( $2,20-2,65$ )  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ .

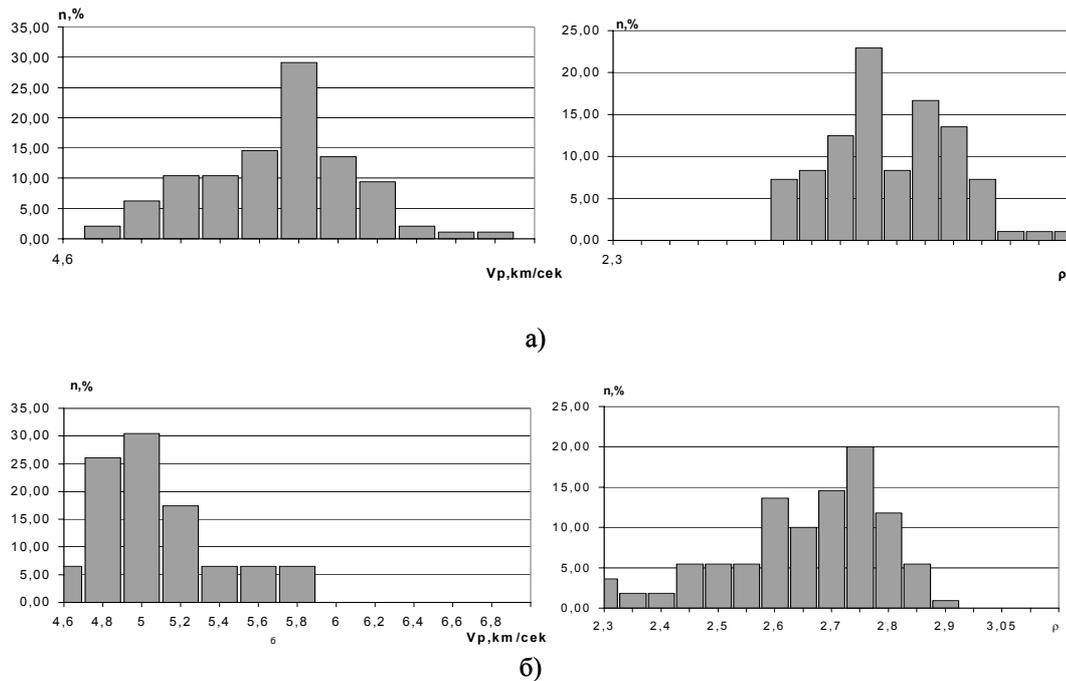


Рис 3. Гистограммы распределения значений скорости  $V_p$  и плотности  $\rho$  для идентичных пород: а) - Антарктического полуострова, б) - Крыма и Карпат.

Указанные магматические образования характеризуются также довольно низкими значениями скорости продольных волн. Так, средние величины  $V_p$  для габбро-диоритов, диоритов составляют  $5,10$  и  $4,50 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$  ( $4,30-5,47 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ ). Для жильных образований средние

значения  $V_p$  составляют 4,90-5,16 км с<sup>-1</sup> (4,50-5,70 км с<sup>-1</sup>). Значения скоростей продольных волн в эффузивных породах основного и кислого состава лежат в пределах, соответственно, 4,98-5,71 км с<sup>-1</sup> и 3,20-3,30 км с<sup>-1</sup>.

На рис.3 приведены гистограммы распределения плотностей и скоростей для всей совокупности изученных пород района исследования Антарктиды и аналогичных образований Горного Крыма и Карпат. Наблюдается существенное различие в положении максимумов распределения скоростей  $V_p$ . Если для пород Антарктиды наиболее вероятные значения  $V_p$  лежат в интервале 5,6÷6,0 км с<sup>-1</sup>, то для пород Крыма и Карпат – в интервале 4,8÷5,2 км с<sup>-1</sup>. При этом для последних двух регионов наиболее вероятные значения плотностей пород отличаются менее заметно: для Крыма  $\rho$  75% образцов варьирует в пределах 2,7÷2,9 г см<sup>-3</sup>, для Карпат  $\rho$  70% пород расположена в интервале 2,6÷2,8. Причем 60% пород Крыма и Карпат имеют плотность в интервале от 2,3 до 2,7 и лишь 20% в интервале 2,8-2,9 г см<sup>-3</sup>. Для 25% пород Антарктиды  $\rho$  лежит в интервале 2,6÷2,7 и для 50% - в интервале 2,8÷3,2 г см<sup>-3</sup>. Из выше изложенного можно сделать предположение, что породы Крыма и Карпат более интенсивно раскристаллизованы и имеют значительную дефектность и пористость по сравнению с подобными образованиями Антарктического полуострова, где более выражена скрытокристаллическая структура. Очевидно, в этом состоит различие в образовании и развитии минеральных образований двух регионов.

#### 4. Заключение

Породы изучаемого участка Антарктиды, в связи со своими петрологическими особенностями и наличием в них большой скрытокристаллической массы, характеризуются достаточно высокой плотностью и невысокими скоростями упругих волн как продольной, так и поперечной поляризации, и относятся к умереннопластичным образованиям с невысокой дефектностью и сжимаемостью. Для этих пород отмечается высококоррелируемая взаимосвязь между плотностью и скоростью продольных волн, которая может быть в дальнейшем использована для построения глубинных вещественноструктурных моделей изучаемого региона. Сопоставление петрофизических параметров и корреляционных зависимостей показало существенное отличие пород Крыма и Карпат от аналогичных образований Антарктического полуострова и их подобие породам Японии и Гавайских островов. Эти данные, очевидно, можно использовать при комплексном изучении природы образования и формирования отдельных участков Антарктиды.

#### Литература

- Грикуров Г.Э.** Геология Антарктического полуострова. - М.: Наука, 1973. - 120 с.
- Красовский С.С.** Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле. - Киев: Наукова думка, 1981. - 189 с.
- Лебедев Т.С.,** Оровецкий Ю.П., Корниец Д.В. и др. Исследование физических свойств изверженных пород Горного Крыма и Закарпатья. В кн.: Геофизические исследования строения земной коры юго-восточной Европы. - М.: Наука, 1967. - С. 123-136.
- Лебедев Т.С.,** Корчин В.А., Савенко Б.Я. и др. Физические свойства минерального вещества в термобарических условиях литосферы. - Киев: Наукова думка, 1986. - 200 с.
- Лебедев Т.С.,** Корчин В.А., Буртный П.А. Глубинное петроскоростное моделирование земной коры Среднего Побужья // Геофиз. журнал. - 1995. - Т.17, №5. - С. 30-37.
- Лебедев Т.С.,** Шепель С.И., Корчин В.А. и др. Петрофизическая характеристика пород западного побережья Антарктического полуострова и прилегающих островов в районе станции «Академик Вернадский» // Геофиз. журнал. - 2002. - Т.24, №6. - С. 93-115.
- Физические свойства** и вещественный состав изверженных пород Горного Крыма. - Киев: Наукова думка, 1969. - 199 с.
- Шепель С.И.,** Буртный П.А., Корчин В.А. и др. Физические свойства пород района станции Академик Вернадский // Бюл. Укр. антарк. центр. - 1998. - Вып.2. - С.85-90.