

УДК 550.361

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РАЙОНА АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ

П.А. Буртний, Е.Е. Карнаухова, В.А. Корчин, Б.Я. Савенко, В.И. Шаповал, С.И. Шепель

Институт геофизики НАН Украины, Палладина, 43, Киев-142, 03142

Реферат. Представлены результаты петрографического анализа и комплексного исследования физических свойств магматических пород различного состава, отобранных в районе Украинской антарктической станции Академик Вернадский. Исследованная коллекция представлена тремя группами пород мезозойского и раннекайнозойского возраста: интрузивного комплекса, вулканическими породами и жильными образованиями. В лабораторных условиях измерены упругие, электрические, магнитные и теплофизические свойства и выполнен анализ полученных результатов. Установлены пониженные значения скоростных характеристик, обусловленные мелкозернистой минеральной массой, и удельного электрического сопротивления, связанные с воздействием повышенного содержания флюидных включений в их составе, по сравнению с известными средними значениями для аналогичных минеральных ассоциаций других континентов. Породы разного петрографического состава и генезиса характеризуются, в основном, невысокой намагниченностью. Сильно магнитные пробы встречаются довольно редко. Выявлен небольшой разброс средних значений тепловых характеристик разных групп пород при существенной вариации теплопроводности в каждой группе пород.

Фізичні характеристики магматичних порід району антарктичної станції Академік Вернадський. П.О. Буртний, Є.Є. Карнаухова, В.О. Корчин, Б.Я. Савенко, В.І. Шаповал, С.І. Шепель

Реферат. Представлені результати петрографічного аналізу і комплексного дослідження фізичних властивостей магматичних порід різного складу, відібраних в районі антарктичної станції Академік Вернадський. Досліджена колекція представлена трьома групами порід мезозойського і ранньокайнозойського віку: інтрузивного комплексу, вулканічними породами та жильними утвореннями. В лабораторних умовах були виміряні пружні, електричні, магнітні та теплофізичні властивості, а також виконано аналіз одержаних результатів. Встановлено зниження значень швидкісних характеристик, обумовлене дрібнозернистою мінеральною масою, а також питомого електричного опору, пов'язаного з впливом підвищеного вмісту флюїдних включень у їх складі порівняно з відомими середніми значеннями для аналогічних мінеральних асоціацій інших континентів. Породи різного петрографічного складу та генезису характеризуються в основному невисокою намагніченістю. Дуже магнітні проби зустрічаються досить рідко. Виявлено невеликий розкид середніх значень теплових характеристик різних груп порід при суттєвій варіації теплопровідності у кожній групі порід.

Physical characteristics of magmatic rocks in the region of the Akademik Vernadsky Antarctic station. by P.A. Burtny, E.E. Karnaukhova, V.A. Korchin, B.Ya. Savenko, V.I. Shapoval, S.I. Shepel

Abstract. The results of petrographic analysis and a complex study of the physical properties of magmatic rocks of different composition collected within the Akademik Vernadsky region are presented. The collection studied contains three groups of the mesozoic and early kainozoic rocks: intrusive rocks, volcanic rocks and veinstones. The elastic, electric, magnetic and thermophysical properties of the said rocks were laboratory studied and results obtained were analyzed. It was determined the decreased values of speed abilities owing to the fine-grained mass and lower electric resistance connected with the influence of an increased content of fluid enclosures as compared with the known average values for similar mineral associations of the other continents. The rocks having different petrographic composition and genesis are characterized basically with a low magnetization. Very magnetized samples can be found rather rarely. Some dispersion of thermal characteristics of various rock groups with substantial thermal conduction variations within each group of rocks was revealed.

Keywords: rock, elastic, electric, magnetic and thermophysical properties, Antarctica.

1. Введение

Одной из современных фундаментальных проблем физики Земли является изучение комплекса физических свойств различных горных пород и минералов, изучение закономерностей и особенностей их изменений в термобарических условиях недр. Успешное решение ряда современных задач наук о Земле, развитие геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и промышленной геофизики невозможно без

всестороннего знания и использования физических свойств минерального вещества. Без такой информации мало убедительной является интерпретация результатов наблюдений естественных и искусственно создаваемых физических полей, регистрируемых на поверхности Земли и в скважинах различной глубины.

Физические свойства горных пород являются функцией термодинамических условий их образования в различных слоях земной коры и верхней мантии, которые определяют ход развития конкретной геологической провинции. Таким образом, широкий комплекс петрофизической информации о породах изучаемого региона крайне необходим для объяснения истории и процесса его формирования, современного глубинного строения. Особое место принадлежит петрофизическим исследованиям при интерпретации геофизических данных слабоизученных в геологическом плане площадей. К таковым относятся участки Антарктиды, недоступные прямому геологическому изучению, поскольку практически полностью покрыты ледниками (97%). Отмечается, что большинство коренных выходов сложено магматическими образованиями, составляющими не менее 70-80%, в связи с чем и основное внимание в наших исследованиях было уделено магматическим породам.

Исследование особенностей геологического строения Антарктического полуострова и прилегающих островов отражено в работах (Грикуров, 1973; Бахмутов, 1998). Выделяется четыре главных цикла вулканической деятельности и осадконакопления. В целом эта территория представляет собой часть Западноантарктической складчатой системы, простирающейся вдоль тихоокеанского побережья. Довольно подробно описана петрология пород Аргентинского архипелага, отобранных, однако, вдоль береговых линий островов (Elliot, 1964). С другой стороны, практически отсутствуют данные о различных физических свойствах пород Антарктического полуострова. Полученные нами результаты во многом заполняют этот пробел.

В предлагаемой статье изложены результаты петрографического анализа, данные измерений и обработки упругих, электрических, магнитных и теплофизических характеристик пород Аргентинского архипелага и западного побережья Антарктического полуострова в районе станции Академик Вернадский. Коллекция пород отобрана во время 2-ой Украинской антарктической экспедиции 1997-1998 гг. Методики экспериментальных работ детально описаны в монографиях Лебедева и др. (1986; 1988). Предварительные результаты комплексного изучения физических свойств этих пород представлены в (Шепель и др., 1998).

2. Петрология

Исследованная коллекция пород представлена магматическими образованиями различного состава, среди которых выделяются два основных комплекса – мезозойский вулканический и мезозойско-раннекайнозойский интрузивный. Формационно и по химизму указанные комплексы неразрывно связаны, что дает основание исследователям говорить о едином вулканоплутоническом мезозойско-кайнозойском поясе.

Основная масса пород мезозойского вулканического комплекса (верхнеюрская вулканическая группа) развита в пределах архипелага Аргентинские острова. По структурным особенностям и минеральному составу среди этой группы пород выделены липариты, дациты, туфы, андезиты и трахиандезиты. Образования интрузивного комплекса отобраны на западном побережье Антарктического полуострова и в западной части Аргентинского архипелага (о-ва Барханы). Среди них выделяются граниты, гранодиориты и диориты. Диориты по соотношению в их составе главных породообразующих минералов (в частности кварца) подразделяются на собственно диориты и кварцевые диориты, характеризующиеся повышенным содержанием кварца. Необходимо отметить, что интрузивные образования в той или иной степени подвержены процессам динамо-метаморфизма, что выразилось в дроблении главных породообразующих минералов вплоть до образования зон милонитизации.

Как в поле развития пород вулканической группы, так и в массивах интрузивных пород встречаются образования, тела которых занимают секущее положение по отношению к указанным комплексам и встречаются в виде даек и жил. Представители таких жильных

образований наиболее разнообразны. По составу здесь встречаются образования кислого, среднего, основного состава. Среди них выделяются граниты, диоритовые порфириды, микродиориты, андезитовидные диоритовые порфириды и микродиориты, а также базальты и долериты.

Все исследованные породы в той или иной степени подвержены вторичным изменениям. Обычно вторичные минералы (эпидот, хлорит, карбонат, актинолит) содержатся в небольших количествах. Однако в составе коллекции встречены образцы, которые практически полностью замещены вторичными минералами, основным из которых является эпидот (до 70%). По минеральному составу такие образования отнесены нами к эпидозитам.

Таким образом, в составе коллекции выделены три основные группы пород – вулканические (или излившиеся), интрузивные и жильные образования, физические параметры которых исследовались в Отделе физических свойств вещества Земли Института геофизики НАН Украины.

3. Упругие свойства

Для измерений упругих характеристик было изготовлено более 100 образцов пород, отобранных на различных участках исследуемой площади Антарктиды. Образцы изготовлены в виде плоско-параллельных пластин толщиной 25-30 см. Измерялись скорости распространения упругих волн продольной (V_p) и поперечной поляризации (V_s), а также плотности пород. Анализируя весь комплекс выполненных исследований по упругим свойствам и петрологии, подобранную коллекцию можно считать достаточно информативной и представительной для изученной площади. Формы вариационных кривых распределения параметров плотности или скоростей распространения упругих волн в породах (V_p , V_s) подчинены нормальному закону, а также характерно совпадение значения моды и средней арифметической величины соответствующих параметров. Однако если рассматривать отдельные группы пород, можно отметить некоторую асимметрию вариационных кривых указанных параметров, которая свидетельствует о характере и интенсивном проявлении в породе различных наложенных процессов. К последним, в первую очередь при анализе распределения упруго-плотностных параметров, необходимо отнести нарушения в сплошной минеральной среде в виде трещин и пор, возникающих в результате тектонических явлений и процессов, а также метаморфических преобразований пород в различных температурных и динамических полях. При этом основополагающим в распределении упругих параметров остается минеральный состав пород и их структурные особенности.

Интрузивные породы по скоростям V_p , V_s и плотности характеризуются наиболее низкими параметрами. Среди них гранитоиды имеют наименьшие значения, а диориты — более высокие. Соответственно средние значения V_p , V_s и плотности для гранитов: 4,95; 3,1 км/сек; 2,62 г/см³ и для диоритов: 5,75; 3,41; 2,88. Такие параметры для гранитов в основном присущи структурно нарушенным разностям и измененным под воздействием внешних условий. Диориты оказались более устойчивыми к указанным внешним воздействиям, но по средним значениям остаются заниженными по сравнению с известными параметрами для этих пород других континентов. Аналогичная тенденция наблюдается и у вулканических пород, хотя встречаются образования с достаточно высокими значениями параметров. У липаритов и трахиандезитов установлены минимальные значения упруго-плотностных параметров, средние у туфов и более высокие присущи дацитам и андезитам. Средние V_p , V_s и плотности у липаритов: 5,45; 3,25 км/сек; 2,67 г/см³ и андезитов: 5,89; 3,36; 2,82 соответственно. Для вулканического комплекса характерно то, что породы с невысокими V_p имеют повышенные значения V_s и, как следствие, минимальные V_p/V_s и малые коэффициенты Пуассона. В связи с этим породы вулканического комплекса относятся к более хрупким средам. Очевидно, это связано в первую очередь с процессом образования породы.

Жильные образования характеризуются широким спектром физических параметров. Это связано с их разнообразным минеральным составом, поскольку среди них обнаружены

гранитоиды, различные андезиты, диориты, базальты, долериты и др. Для этого комплекса скорости упругих волн находятся в пределах: $V_p - 4,6-6,7$; $V_s - 3,1-4,0$ км/сек, а плотности – $2,55-3,15$ г/см³. Минимальные средние скорости у гранитоидов и измененных андезитов ($V_p = 5,6$; $V_s = 3,2$ км/сек), а максимальные у долеритов, базальтов и неизмененных андезитов ($V_p=6,1$; $V_s = 3,5$ км/сек). Однако основная масса жильных образований (60%) независимо от минерального состава имеет скорости в сравнительно узком интервале: $V_p = 5,6-6,1$; $V_s = 3,2-3,5$ км/сек, а их отношение равняется $1,65-1,77$. При этом коэффициент Пуассона пород будет достаточно высоким ($0,22-0,25$), следовательно, их можно отнести к умеренно пластичным. Основная масса жильных образований характеризуется высокими плотностями $2,75-2,95$ г/см³. Это в первую очередь связано с их минеральным составом, мелкозернистой структурой и пористостью.

Остановимся на некоторых особенностях упругих характеристик пород по объему образца. Установлена достаточно высокая степень однородности V_p на различных участках в плоскости образца. Более чем 65% образцов имеют разброс скоростей менее 0,1 км/с. Максимальная неоднородность V_p (около 6%) лишь у нескольких различных проб, очевидно, со скрытыми дефектами. Неоднородность распространения поперечных волн в различных направлениях в плоскости (которая может служить параметром упругой анизотропии) также невелика и составляет для 70% образцов пород 2,5% от средних значений V_s . У небольшой группы пород анизотропия V_s достигает 9%. Анализ шлифов пород показал, что в основном упругая анизотропия и неоднородность обусловлены распределением структурных дефектов, а не ориентацией минеральных компонент в образцах.

Обобщая данные об упругих свойствах пород территории Антарктиды, можно сделать вывод, что основная масса минеральных образований представлена слабо раскристаллизованными средами с небольшой дефектностью. Главное влияние на упругие параметры образцов оказывает мелкозернистая минеральная масса, которая заполняет большую часть объема пород между незначительным количеством зерен основных породообразующих минералов. В связи с этим, изученные образования имеют сравнительно низкие скоростные характеристики по сравнению с известными средними для аналогичных пород других континентов. Значения плотности при этом находятся в хорошем согласии с соответствующими аналогами других геологических провинций. Упругие параметры и вещественно-структурные особенности пород свидетельствуют об особых формах их образования и развития в этом уникальном регионе и требуют дальнейшего детального изучения.

4. Магнитные свойства

Исследованы магнитная восприимчивость χ , естественная остаточная намагниченность I_n и фактор Q образцов коллекций вулканических, интрузивных и жильных пород в условиях атмосферного давления и комнатной температуры с помощью астатических магнитометров МГ-2 и МА-21 по стандартной методике.

Значения магнитной восприимчивости для трех исследованных групп пород варьируют в пределах от практически немагнитных и слабомагнитных ($\chi < 50 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, около 30% выборки) до проб с повышенными значениями χ ($50 < \chi < 200 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, порядка 20% выборки). Последние представлены интрузивными и жильными образованиями. Естественная остаточная намагниченность также изменяется в широких пределах. Как и при изучении χ , наблюдается большое количество слабомагнитных пород ($I_n < 50 \cdot 10^{-3}$ А·М⁻¹, около 65% выборки). Образцов с $50 < I_n < 500 \cdot 10^{-3}$ А·М⁻¹ оказалось около 25% выборки для всех трех групп. Среди жильных образований довольно редко (до 5% выборки) встречаются сильно магнитные породы. Таким образом, пробы разного петрографического состава и генезиса обладают невысокой (за редким исключением) намагниченностью.

Проанализировано распределение χ в зависимости от величины I_n для изученных образцов. Значения χ в основном определяются концентрацией магнитных минералов, которая по-разному зависит от их состава и генезиса. В первом приближении намечается прямая связь между величинами χ и I_n для слабомагнитных пород. Значения Q изменяются в широких пределах (от 0,1 до 10 и более). Величины Q не зависят от концентрации ферромагнетита и наиболее просто характеризуют состав пород. Причиной наблюдаемого характера изменений магнитных свойств, по-видимому, являются различные термобарические обстановки образования пород, в том числе при их кристаллизации в условиях формирования геологических структур. Следует также учитывать их генетические особенности, вызванные окислением или связанные с зонами проявления вторичных наложенных процессов. От этих факторов зависит состав и количество ферромагнитных минералов и, следовательно, магнитные свойства пород в целом.

5. Теплофизические свойства

Средние значения теплопроводности варьируют от 2,09 до 2,68 Вт·м⁻¹·К⁻¹. Однако в каждой группе пород вариации теплопроводности существенны. Среди жильных пород наименьшие значения теплопроводности зафиксированы у диоритовых порфиритов (1,71 Вт·м⁻¹·К⁻¹), а максимальные значения λ отмечены у гранитов (2,71 Вт·м⁻¹·К⁻¹) и андезитов диоритовых. Наибольший разброс значений теплопроводности для этих пород отмечен у андезитов (0,77) и диоритовых порфиритов ($\Delta\lambda = 0,61$ Вт·м⁻¹·К⁻¹), наименьший установлен у долеритов, для которых $\Delta\lambda = 0,18$ Вт·м⁻¹·К⁻¹.

Среди интрузивных пород максимальные средние значения теплопроводности отмечены у гранитов при довольно незначительном колебании этого параметра ($\Delta\lambda = 0,33$ Вт·м⁻¹·К⁻¹). Наименьшие средние значения λ для этой группы пород зафиксированы у диоритов ($\lambda_{\text{ср.}} = 2,24$ Вт·м⁻¹·К⁻¹) и гранодиоритов ($\lambda_{\text{ср.}} = 2,26$). При этом разброс значений коэффициента теплопроводности первых составляет 0,66 Вт·м⁻¹·К⁻¹, а для вторых 0,39 Вт·м⁻¹·К⁻¹.

В группе вулканических пород наибольший разброс значений коэффициента теплопроводности среди всех изученных пород зафиксирован у липаритов ($\Delta\lambda = 0,94$ Вт·м⁻¹·К⁻¹) при очень высоких максимальных значениях, равных 3,11 и средних значениях этого параметра 2,57 Вт·м⁻¹·К⁻¹. В этой группе вулканических пород дациты и туфы имеют примерно равные средние значения λ (2,41 и 2,50 соответственно). При чем разброс значений коэффициента теплопроводности у первых составляет 0,54 (минимальные значения равны 2,03, а максимальные 2,57), в то время как у вторых этот разброс составляет всего 0,21 Вт·м⁻¹·К⁻¹ ($\lambda_{\text{min}} = 2,41$, $\lambda_{\text{max}} = 2,62$). Анализ шлифов дает основание связать высокие значения коэффициента теплопроводности липаритов с их структурными особенностями. Для них характерна четко выраженная фельзитовая структура. Основная масса пород представляет собой агрегат кристаллических образований, характеризующихся сочетанием мельчайших кристаллических образований и тонко распределенного стекловатого материала. Отсутствие четко выраженных границ между отдельными минералами способствует уменьшению фонного рассеяния на них, что приводит, в конечном счете, к повышению значений теплопроводности для этих образцов по сравнению с пробами, для которых фельзитовые структуры не так четко выражены.

6. Электрические свойства

Было изучено удельное электрическое сопротивление (ρ), измеренное на постоянном и переменном токе. Частота переменного электрического тока, на котором производилось измерение ρ , равнялась 1 кГц. Исследовалась также относительная диэлектрическая проницаемость на частотах 1 и 700 кГц. Комплекс электрических параметров был измерен на

сухих, воздушно-сухих и водонасыщенных образцах трех комплексов, петрографическая характеристика которых приведена выше. В водонасыщенном состоянии значения электрических параметров наиболее близко соответствуют таковым в естественных условиях. В результате выполненных измерений и обработки данных установлено, что средние значения ρ (постоянный ток) сухих пород интрузивного комплекса составляют $3,63 \cdot 10^8$ Ом·м; вулканических — $3,98 \cdot 10^8$ Ом·м и жильных $6,87 \cdot 10^8$ Ом·м, а средняя диэлектрическая проницаемость (700 кГц) соответственно 12,1; 12,2 и 13,8. Таким образом, несколько более высокими значениями электрического сопротивления в сухом состоянии описываются жильные образования, представленные преимущественно основными и средними породами.

Для этих трех групп пород были построены гистограммы электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости, позволившие выявить некоторые характерные особенности. Наиболее однородными по этим параметрам являются породы интрузивного комплекса: почти 70% всех значений ρ находятся в пределах двух порядков (10^7 - 10^9 Ом·м). Породы вулканического комплекса и жильные образования являются менее однородными по составу и структурно-текстурным особенностям их строения, что проявляется в большем диапазоне изменений их электрических параметров. Так основное количество значений электрического сопротивления пород вулканического комплекса находится в интервале 10^5 - 10^8 Ом·м, а жильных образований — 10^6 - 10^{10} Ом·м. Следовательно, разброс значений ρ в первом случае составляет три порядка, а во втором возрастает до четырех.

По сравнению с типичными континентальными разновидностями исследованные нами породы района антарктической станции Академик Вернадский характеризуются пониженными значениями удельного электрического сопротивления. Среди изученных нами пород интрузивного комплекса минимальным удельным электрическим сопротивлением описываются граниты ($9,0 \cdot 10^7$ Ом·м). В то же время электрическое сопротивление сухих гранитоидов, отобранных в пределах континентов (в частности, на Украинском щите) составляет 10^9 - 10^{11} Ом·м. Следовательно, ρ исследованных нами гранитов почти на два порядка меньше, чем у типичных континентальных разновидностей. Минимальное электрическое сопротивление гранитов по сравнению с гранодиоритами, милонитами и диоритами (также входящими в состав пород интрузивного комплекса) не коррелирует с их минеральным составом, поскольку в составе гранитов большее количество высокоомных минералов. Пониженное ρ гранитов исследуемого региона может быть обусловлено значительным содержанием флюидных включений в их составе, что является следствием особенностей их генезиса.

Выполненная серия температурных опытов позволила получить подтверждение высказанному предположению о существенном влиянии флюидных включений на электрическое сопротивление и диэлектрическую проницаемость. Изучаемые образцы пород нагревались до температуры 250°C , при которой, как показали выполненные нами ранее исследования, еще не происходит достаточно интенсивного окисления железистых минералов, могущего оказать воздействие на электрические характеристики минерального вещества. Электрическое сопротивление и диэлектрическая проницаемость измерялись до и после нагрева. В результате подобных опытов установлено увеличение электрического сопротивления различных типов изученных пород на 1,5-2,0 порядка, что обусловлено только удалением флюидных включений и уменьшением количества токоносителей. В противоположность электрическому сопротивлению диэлектрическая проницаемость испытывает заметное уменьшение после нагрева до 250°C и охлаждения до комнатной температуры, что также вызвано уменьшением жидкостной компоненты в составе изученных нами пород.

7. Заключение

В результате выполненного петрографического анализа и исследования комплекса физических свойств коллекции пород различного состава, отобранных в районе антарктической станции Академик Вернадский, установлено ряд характерных особенностей, обусловленных условиями генезиса. Изучены три группы пород мезозойского и раннекайнозойского возраста: интрузивного комплекса (граниты, гранодиориты, диориты), вулканического комплекса (липариты, дациты, туфы, андезиты и трахиандезиты) и жильные образования (граниты, диоритовые порфириды, микродиориты, андезитовидные диоритовые порфириды, микродиориты, базальты и долериты). Изученный комплекс параметров представлен упруго-плотностными свойствами (скорости распространения упругих волн продольной и поперечной поляризации, плотность), магнитными свойствами (магнитная восприимчивость, естественная остаточная намагниченность, фактор Кенигсберга), тепловыми (коэффициент теплопроводности), электрическими (удельное электрическое сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость). Установлено, что основная масса пород представлена слабо раскристаллизованными средами с малой дефектностью. Мелкозернистая минеральная масса, занимающая большую часть объема породы, оказывает основное влияние на упругие параметры. Этот фактор определяет пониженные значения скоростей упругих волн по сравнению с типичными представителями других континентов. Исследованные породы также характеризуются заметно более низкими значениями удельного электрического сопротивления, что объясняется значительным количеством флюидных включений в их составе. По значениям естественной остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости основное количество изученных пород относится к образованиям с невысокой намагниченностью, среди которых изредка встречены сильно магнитные образцы. Средние значения коэффициентов теплопроводности для разных групп пород характеризуются слабой дифференцированностью при существенной их вариабельности в пределах каждой группы пород, что свидетельствует о необходимости более детального анализа экспериментальных материалов, в том числе и для каждого конкретного типа пород, объединенных на данном этапе исследований в представительные выборки.

Литература

- Бахмутов В.Г.** Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающих территорий Антарктического полуострова // Бюл. укр. антарк. центр. – 1998. - вип.2. - С. 77-84.
- Грикуров Г.Э.** Геология Антарктического полуострова. // М.: Наука, 1973. - 214 с.
- 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., Савенко Б.Я. и др.** Петрофизические исследования при высоких РТ-параметрах и их геофизические приложения // Киев: Наукова думка, 1988. - 248 с.
- Шепель С.И., Буртный П.А., Корчин В.А. и др.** Физические свойства пород района станции Академик Вернадский // Бюл. укр. антарк. центр. – 1998. - вип. 2. - С. 85-90.
- Elliot В.А.** The petrology of the Argentine Islands // BAS scientific reports. - 1964. - № 41. - 41 p.