

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Ленинградский ордена Ленина, ордена Октябрьской  
Революции и ордена Трудового Красного Знамени  
Горный институт имени Т.В.Плеханова

Специализированный совет Д.063.15.02

На правах рукописи

ВАНОЯН Маис Вагевич

УДК 552.08:53 :552.323.5 479.25

ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИПЕРБАЗИТОВ  
ПРИСЕВАНСКОГО ОФИОЛИТОВОГО ПОЯСА АРМЕНИИ

Специальность 04.00.12 - Геофизические методы поисков  
и разведки месторождений  
полезных ископаемых

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Ленинград  
1986

Работа выполнена на кафедре геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Горного института им. Г. В. Плеханова.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук  
ДОРТМАН Нина Борисовна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник  
ТАФЕЕВ Георгий Павлович

кандидат геолого-минералогических  
наук, старший научный сотрудник  
ПРИЯТКИН Александр Александрович

Ведущее предприятие: ИЖНИИгеофизика

Защита состоится 14 февраля 1986 г. в 15 ч 15 мин на заседании специализированного Совета Д.063.15.02 при Ленинградском Горном институте имени Г. В. Плеханова по адресу: 199026, Ленинград, 21 линия, дом 2, аудитория 7320.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "10" января 1986 г.

Ученый секретарь  
специализированного  
Совета Г. Н. Шаблинский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Изучение глубинного строения земной коры и мантии, как основы научного металлогенического прогнозирования, предусмотрено народнохозяйственной проблемой 0.50.01. Современные представления о составе верхней мантии базируются главным образом на сходстве между физическими характеристиками верхнемантийных образований и физическими свойствами ультраосновных пород. Представители последних – альпинотипные гипербазиты, являются основной частью офиолитовых ассоциаций, выведенных в верхние части земной коры геодинамическими процессами. Поэтому изучение физических свойств и состава гипербазитов имеет большое теоретическое значение для детализации представлений о верхнемантийных образованиях и развития современных геодинамических теорий. Повышение надежности интерпретации геофизических полей осложненного характера, наблюдаемых над серпентинизированными массивами гипербазитов, определяет практическое значение работы в связи с поисками месторождений полезных ископаемых – хрома, никеля, асбеста и др.

Цель данной работы определяется ее актуальностью и сводится к следующему:

– изучению комплекса физических свойств альпинотипных гипербазитов разного состава, неизмененных процессом серпентинизации, необходимых при исследовании глубинного строения литосферы;

– изучению влияния интенсивности и типа серпентинизации на физические свойства гипербазитов, имеющих значение при геологическом картировании и поисках месторождений полезных ископаемых.

Задачами исследований являлись:

– обобщение и анализ литературных данных о физических свойствах альпинотипных гипербазитов;

– получение комплексной петрофизической характеристики альпинотипных гипербазитов, неизмененных процессом серпентинизации, на основе теоретических оценок и экспериментальных данных;

– изучение влияния интенсивности и типа серпентинизации гипербазитов на их физические свойства;

– разработка петрофизической классификации альпинотипных гипербазитов Присеванского офиолитового пояса Армении;

– составление петрофизических карт массивов гипербазитов (на примере Джилъ-Сятнахачского массива Армении).



5851

Методика исследований включает полевые и лабораторные теоретические и экспериментальные исследования комплекса физических свойств пород с одновременным изучением их минерального и химического состава. Исследования проводились с использованием современной аппаратуры для измерения параметров и с применением ЭВМ.

Фактический материал. Экспериментальные работы проводились на базе лаборатории физических свойств горных пород и геотермии ВСЕГЕМ. Были изучены 1000 образцов (600 гипербазитов, 300 габбро, 100 вулканогенных и осадочных пород) из массивов Присеванского офиолитового пояса Армении и более 100 образцов альпинотипных гипербазитов других районов СССР из коллекций разных авторов (С.Б. Абовян, Г.И. Кушнирь, А.Г. Комаров, Б.А. Марковский, С.Н. Авдонцев). Автором измерен комплекс физических свойств - плотность ( $\rho$ ), открытая пористость ( $n$ ), магнитная восприимчивость ( $\chi$ ), естественная остаточная намагниченность ( $J_n$ ), остаточная намагниченность насыщения ( $J_{zs}$ ) (с определением магнитной жесткости ( $Q_{zs}$ ) и фактора ( $Q$ )), скорость продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) волн, теплопроводность ( $\lambda$ ); выполнен термомагнитный анализ (ДТМ). В изготовленных шлифах 500 образцов автором микроскопически определены разновидности гипербазитов. Выводы базируются также на 200 химических анализах тех же гипербазитов, выполненных в институте АРМНИПРОЦВЕТМЕТ. Определения количества и типа серпентина получены с помощью термического анализа и по наблюдениям в шлифах.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

- получена теоретическая оценка физических параметров по усовершенствованной автором методике расчетов с учетом минерального и химического состава пород основных разновидностей гипербазитов разных формаций;

- разработана петрофизическая классификация альпинотипных гипербазитов Присеванского пояса - выделено 3 класса: неизмененных гипербазитов, серпентинизированных гипербазитов и серпентинитов; подклассы по степени их серпентинизации; серии по типу серпентинизации (антигоритовой и лизардитовой) и петрофизические группы пород с учетом состава (дуниты, перидотиты, пироксениты) и физических параметров;

- установлено различное влияние характера серпентинизации на разные физические параметры: степени серпентинизации на плот-

ность; типа серпентинизации на магнитные, упругие и теплофизические свойства гипербазитов Армении;

- составлены петрофизические карты Джиль-Сатанахачокого массива и выявлено его зональное и блоковое строение;

- проведена метрологическая оценка состава и физических характеристик подкорового слоя в пределах Армении.

Практическая значимость заключается в том, что:

- полученные теоретические оценки и экспериментальные данные по неизменным гипербазитам могут быть использованы для характеристики мантийных образований и моделирования вещественного состава подкорового слоя;

- составленные петрофизическая классификация и карты могут послужить основой для крупномасштабного прогнозирования месторождений полезных ископаемых в пределах Присеванского офиолитового пояса Армении.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на заседаниях совета кафедры ГФМР ЛГИ, секциях лаборатории геологии АРМНИПРОЦВЕТМЕТ, городском семинаре отдела гравиразведки НПО РУДГЕОФИЗИКА, на Всесоюзном совещании "Петрофизика древних щитов и платформ" Апатиты, 1983 г., УП Всесоюзном совещании "Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах" Ереван, 1985 г. Материалы диссертации вошли в три научных отчета ВСЕГЕИ.

Публикации - основные положения работы изложены в четырех публикациях.

Объем диссертации. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 22 таблицы и 65 рисунков. Список литературы состоит из 146 наименований.

Работа выполнена автором за годы прохождения аспирантуры на кафедре геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Ленинградского горного института под научным руководством доктора геолого-минералогических наук Н.Б.Дортман, которой автор считает своим первым долгом выразить глубокую благодарность. Автор глубоко признателен за оказанные консультации и ценные советы сотрудникам ВСЕГЕИ и кафедры ГФМР ЛГИ М.Ш.Магиду, И.В.Розенталя, И.В.Литвиненко, Л.М.Горбуновой, С.В.Чербаковой, В.Н.Москалевой.

Автор выражает искреннюю благодарность за консультации и практическую помощь С.Б.Абовяну и П.Г.Алояну.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава I. Обобщение и анализ литературных данных о физических свойствах гипербазитов

Сложность геолого-петрологического изучения гипербазитов порождает весьма противоречивые мнения у исследователей и разные классификационные схемы (Т.П.Тайер, Г.Хесс, Ю.М.Шейнман, В.Н.Лодочников, Дж.Уилли). В настоящей работе используется современная классификация ультраосновных пород (1981 г.), формационное подразделение В.Д.Месайтиса и В.Н.Москалевой (1979 г.), а для гипербазитов Армении классификация по С.Б.Абовяну (1981 г.).

Специальные петрофизические исследования гипербазитов стали проводиться в начале 60-х годов. Была получена статистическая характеристика физических параметров различных петрографических групп гипербазитов; установлено понижение плотности в зависимости от степени серпентинизации пород и повышение магнитной восприимчивости от единиц до тысячи  $10^{-5}$  СИ при этом процессе, влияющие на характер изменений  $\chi$  магнетиальности и железистости пород (Н.Б.Дортман, И.Ф.Зотова, А.Г.Комаров, С.В.Москалева и др.). Выпуск сейсмографов и разработка методики измерения скорости упругих волн при насыщении образцов жидкостью, позволили выяснить характеристику и основные закономерности изменения  $V_p$  и  $V_s$  в зависимости от состава и степени серпентинизации гипербазитов (М.Ш.Магид, С.Балакришна, А.Симонс и др.).

Большое количество исследований было выполнено по изучению физических свойств гипербазитов и их зависимости от степени серпентинизации при высоких давлениях и температурах, позволивших оценить степень и характер изменения  $\epsilon$  и  $V_p$  при различных рТ условиях (Е.И.Баюк, М.П.Волярович, Н.Е.Галдин, А.К.Курскеев, В.А.Тюремнов, Ф.Берч, Н.Кристенсен и др.).

Все эти исследования, а также многие работы по изучению физических свойств образцов ультраосновных пород отдельных районов (А.Г.Комаров, А.А.Нечазева, И.В.Розенталь, Ф.С.Файнберг, Т.Хант, А.Саад), являлись основой для интерпретации геофизических данных

при изучении глубинного строения земной коры и поисков месторождений полезных ископаемых, связанных с гипербазитами.

Однако в большинстве работ отсутствуют детальные минеральные и петрохимические данные по исследованным породам; часто заметно серпентинизированные породы относились авторами к несерпентинизированным, свежим разновидностям; комплексная оценка обычно отсутствует, чаще всего проводились измерения одного-двух параметров.

Существенное развитие петрологии, наблюдающееся в последние десятилетия, повышение точности геофизических работ и усложнение геологических вопросов требуют в настоящее время более детального изучения гипербазитов.

## Глава 2. Физические параметры гипербазитов по теоретическим данным

Редкость нахождения несерпентинизированных образцов из массивов альпийских гипербазитов подтверждается полевыми работами автора: из отобранных 600 образцов гипербазитов только единичные образцы оказались с минимальным количеством серпентина. Поэтому в целях оценки физических характеристик протолитов были предприняты теоретические расчеты плотности и скорости продольных волн.

Расчеты физических свойств на уровне пород обычно проводятся на основе известных соотношений минеральных компонент и величин плотности и скорости упругих волн минералов, в предположении аддитивности их физических свойств в породе.

Железо-магниевое соотношение в породообразующих минералах является непостоянным и в разных формациях гипербазитов варьирует в широких пределах. Это существенно меняет физические характеристики в связи с разными кристаллохимическими особенностями минералов, в которые входят петрогенные элементы, например, Fe и Mg.

Расчеты проводились на уровне минералов с переходом на уровень пород, т.е. в расчетах учитывался химический состав минералов и количественно-минеральный состав пород. Характерные пределы минеральных компонент для каждой разновидности гипербазитов учитывались на основе принятой современной номенклатуры ультраосновных пород (1981 г.), а железо-магниевое соотношение в минералах - по формационной принадлежности, с учетом представитель-

ности каждой разновидности в определенных формациях. Так, для оливинита, ортопироксенита и вебстерита плотности и скорости продольных волн рассчитаны с учетом характерных пределов изменения фаялитовой и ферросилитовой компоненты в оливинах и пироксенах в пироксенит-перидотитовой формации; для дунитов, гарцбургитов и лерцолитов - в дунит-перидотитовой формации; для верлитов и клинопироксенитов - в дунит-клинопироксенит-габбровой формации.

Если  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ,  $V_1$  и  $V_2$  плотности и скорости упругих волн конечных членов изоморфных рядов минерала,  $y_1$  и  $y_2$  - их количество для отдельных минеральных компонент, то получаем плотность и скорость упругих волн по формулам:

$$\sigma_{m_i} = \sigma_1 y_1 + \sigma_2 y_2$$

$$V_{m_i} = \frac{V_1}{y_1} + \frac{V_2}{y_2}$$

Переход на уровень соответственных физических характеристик проводится по формулам:

$$\sigma = \sum y_i \sigma_{m_i}$$

$$V = \left( \frac{\sum y_i}{V_{m_i}} \right)^{-1}$$

где  $y_i$  - содержание  $i$ -го минерального компонента в общем объеме породы.

В результате выполненных расчетов установлены предельные значения параметров по всем видам пород, которые для семейств гипербазитов дают следующие значения плотности ( $\text{г/см}^3$ ) и скорости продольных волн ( $\text{км/с}$ ) соответственно: дуниты-оливиниты 3,27-3,50 и 8,05-8,45; перидотиты 3,27-3,44 и 7,8-8,35; пироксениты 3,27-3,40 и 7,6-8,15.

Проведенное сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными показали их хорошую сходимость, что подтверждает правомерность вышеуказанной методики вычисления.

Физические параметры в различных формациях как между видами, так и между семействами пород характеризуются значительными перепадами, что отражает вариации вещественного состава пород. При этом наиболее низкие значения плотности свойственны магнетитовым разновидностям пород, по сравнению с железистыми, и наоборот, наиболее низкие значения скорости - железистым разновидностям.



Аналогичная методика расчетов была применена для гипербазитов Присеванского пояса Армении. При этом расчеты проводились с учетом пористости. Приводимые в литературе формулы, которые учитывают влияние пористости на скорость упругих волн, описывают конкретные модели с определенными формами порового пространства. В горных породах истинная форма пор неизвестна, поэтому учет пористости проводился по эмпирической формуле для зависимости скорости продольных волн от пористости, полученной на образцах неизмененных гипербазитов с привлечением данных М.Ш.Магида. Формула имеет вид:

$$V_p = -0,909 (n - 0,588) + 7,79 \quad (I)$$

где  $V_p$  - скорость продольных волн;  $n$  - пористость.

В результате расчетов устанавливается дифференциация по физическим свойствам между разновидностями и семействами (рис. I). В ряду дунит-гарцбургит-лерцолит-вердит наблюдается закономерное повышение плотности от  $3,23 \text{ г/см}^3$  до  $3,32 \text{ г/см}^3$  и понижение скорости от  $7,9$  до  $7,6 \text{ км/с}$ , при пористости  $0,5 \%$ . Так как в этом ряду содержание оливина достаточно выдержано, достигая наибольших значений в дуните, такое поведение физических свойств объясняется повышением железистости в этом ряду. Пироксениты отличаются резкими понижениями скорости продольных волн до  $7,3 \text{ км/с}$ , что связано как с повышением фаялитовой и ферросилитовой компонент в ряду ортопироксенит-вебстерит-клинопироксенит, так и понижением содержания оливина в семействе пироксенитов.

Таким образом, для конкретных районов с определенными условиями образования характерна большая выдержанность вещественного состава, а в связи с этим и физических свойств, что подтверждается при расчетах, проведенных для всех семейств и разновидностей гипербазитов офиолитовых поясов Армении на основе их минерального и химического составов.

### Глава 3. Комплексная петрофизическая характеристика гипербазитов (не измененных процессом серпентинизации)

Комплекс физических параметров был измерен на приборах ВТК-500, ВТК-1000, ИМВ-2, КТ-3, КЛУ-2, МА-2Г, МАЛ-036, УЗИС-69, УЗИС-76, "Ламбда". Оценены случайные и систематические погреш-

ности на одном приборе и проведен межлабораторный контроль данных. Абсолютная и относительная погрешности измерения параметров соответствуют требованиям современных инструкций.

Определение физических характеристик "свежих" гипербазитов проводилось на образцах пород, отобранных в Армении и других районах СССР (Камчатка, Зап.Саяны, Урал), которые любезно были предоставлены для измерения исследователями этих районов.

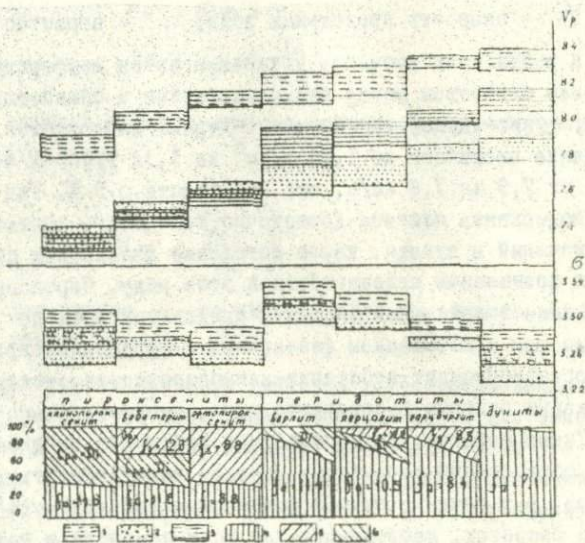


Рис.1. Теоретические оценки  $G$  и  $V_p$  гипербазитов Армении: 1 - боспористых разновидностей; 2 - с предположением пористости 0,5 %; 3 - с учетом поправки на глубину 40 км; 4 - оливин; 5 - ромбический пироксен; 6 - моноклинный пироксен. Количественные содержания минералов в породах и железистых компонент в минералах приведены по данным С.Б.Абовяна (1981 г.).

Оказываясь в верхних горизонтах земной коры в условиях существенно отличных от тех, в которых они образовались, гипербазиты претерпевают различающиеся по характеру и интенсивности изменения. При петрологических исследованиях используются заметно серпентинизированные породы; при этом считается, что при серпентинизации не происходит заметных изменений в химическом составе, в частности, принимается постоянным отношение  $MgO / SiO_2$ . Поэтому породы, которые рассматриваются как "свежие", обычно уже затронуты процессами серпентинизации, и, хотя при этом исходный состав определяется с достаточной точностью, физические свойства таких пород оказываются уже иными.

В физических свойствах гипербазитов серпентинизация отражается очень резко: изменение параметров наблюдается даже при незначительном количестве серпентина. Поскольку состав гипербазитов отождествляется с составом верхней мантии главным образом на основе геофизических данных, то наибольший интерес для характеристики подкорового вещества представляют физические параметры именно несерпентинизированных гипербазитов. Поэтому в главе рассматриваются физические свойства пород в зависимости от минерального и химического состава свежих гипербазитов семейств пироксенитов, перидотитов и дунитов.

На уровне семейств гипербазиты дифференцируются по значениям плотности: пироксениты 3,25-3,33 г/см<sup>3</sup>, перидотиты 3,20-3,29 г/см<sup>3</sup>, дуниты 3,18-3,26 г/см<sup>3</sup>.

Слабая дифференциация между указанными семействами по плотности может быть объяснена сложной взаимосвязью системы "минеральные компоненты - химические элементы", по разному оказывающей влияние на плотность. Так, с увеличением количества оливина (увеличение основности) в ряду пироксенит-перидотит-дунит увеличивается плотность. С другой стороны, увеличение количества оливина сопровождается в этом ряду уменьшением железистости, что оказывает противоположный эффект на плотность - происходит ее уменьшение. Нижняя и верхняя границы неизмененных гипербазитов (с включением очень слабо измененных пород до 5 %) проведена на основе результатов термического анализа, количественно-минералогических подсчетов в шлифах, измеренных и теоретически рассчитанных значений плотности. Более низкие, чем приведенные значения, плотности гипербазитов соответствуют серпентинизированным

породам; более высокие значения плотности - оруденелым или рудным гипербазитам.

Для скоростей упругих волн получена сходная зависимость от вещественного состава. Однако возрастание количества оливина, которое сопровождается уменьшением железистости, увеличивает величины скорости, вследствие чего дифференциация по этому параметру проявляется сильнее, чем по плотности (табл. I). В пироксенитах скорость упругих волн имеет сложную, неоднозначную зависимость от химического состава, связанную с появлением многокомпонентной системы в породах. Подобные зависимости характерны и для скорости поперечных волн.

Определенная анизотропия скоростей продольных волн в водонасыщенных образцах не превышает 2,3 %.

Физические характеристики плотности и скорости упругих волн в указанном ряду рассмотрены также в зависимости от параметров средней атомной массы и плотности упаковки решетки ( $\omega$ ). Установлено, что в пироксенитах ( $\omega$ ) имеет пониженные величины, что объясняется разницей между структурами соединений силикатов в оливинах и пироксенах.

По результатам определений магнитных свойств ( $\chi$ ,  $J_n$ ,  $J_{23}$ ) устанавливается дифференциация между указанными семействами пород. Пониженные величины  $\chi$  (от 0 до  $460 \cdot 10^{-5}$  СИ) имеют перидотиты и дуниты. В разновидностях пироксенитов - вебстеритах и клинопироксенитах, эта величина имеет более высокие значения от  $600 - 9000 \cdot 10^{-5}$  СИ. Последнее указывает на присутствие первичного магнетита, который при микроскопических определениях часто пропускается. Это подтверждается зависимостью  $\chi$  от степени окисления железа ( $h$ ) в породах. С повышением  $\chi$ ,  $h$  увеличивается, что объясняется тем, что трехвалентное железо в основном идет на образование магнетита в этих породах. Величина естественной остаточной намагниченности меньше индуктивной в перидотитах и дунитах ( $Q < I$ ). В пироксенитах  $Q$  доходит до 2-3.

Коэффициент анизотропии магнитной восприимчивости ( $K_\chi$ ) гипербазитов составляет небольшую величину и не превышает 7%. Это указывает на достаточно равномерное распределение мелких ферромагнитных примесей в породах.

Теплопроводность измеренных свежих разновидностей имеет высокие значения. В перидотитах она в среднем составляет

4,11 Вт/м·К, в пироксенитах ~ 3,10 Вт/м·К, поскольку в оливинах теплопроводность выше чем в пироксенах.

Приведенная характеристика физических параметров различных семейств неизмененных гипербазитов может быть использована при изучении верхнеантиклинальных образований.

#### Глава 4. Влияние процесса серпентинизации на физические свойства гипербазитов

Сложность и избирательность процесса серпентинизации, который повсеместно захватывает все выходы альпидотипных гипербазитов на поверхности, порождает различные мнения и споры между исследователями, занимающимися гипербазитами.

Основные проблемы процесса серпентинизации, относительно которых до сих пор существуют разногласия, касаются вопросов источника серпентинизации, характера метаморфизма, объемного соотношения масс, физико-химических условий серпентинизации (В.Н. Додичников, Д.С. Штейнберг, И.А. Малахов, В.Р. Артемов, А.С. Варлаков, Г.В. Пинус, Г. Хесс, У. Файф, Т.П. Тейер, Р. Колман). Большинство исследователей отмечает, что серпентинизация протекает в различных физико-химических и тектонических обстановках, которые отражаются на вещественном составе пород и приводит к образованию различных модификаций серпентина (лизардит, хризотил, антигорит), брусита, магнетита и других минералов. Естественно ожидать, что на различия условий серпентинизации будут реагировать физические свойства пород.

Изучение закономерностей изменения комплекса физических параметров проводилось для серпентинизированных гипербазитов офиолитового пояса Армении с учетом количества и типа серпентина, определенного с помощью термического анализа, и химического состава исследуемых пород. Для оценки степени серпентинизации использовались различные критерии (степень окисления железа ( $h$ ), потери при прокаливании (п.п.), содержание воды, плотность).

Рассчитывались коэффициенты корреляции между количеством серпентинита в гипербазитах в группах с разным типом серпентина (лизардит, смешанный тип, антигорит), различающихся петрофизическими и петрохимическими параметрами ( $\sigma$ ,  $V_p$ ,  $h$ , п.п.). Наблюдается уменьшение коэффициентов в группах в направлении

лизардит-смешанный тип-антигорит. Наиболее устойчива корреляция между содержанием любого типа серпентина и плотностью, которая характеризуется самыми высокими коэффициентами во всех группах. Из всех параметров плотность меньше всего реагирует на тип серпентина. В связи с этим построена номограмма для определения степени серпентинизации ( $C$ ) по значению плотности ( $\sigma$ ). Полученные эмпирические уравнения регрессии имеют вид:

$$C = -142,05 (\sigma - 2,82) + 60,4$$

$$\sigma = -0,0062 (C - 60,4) + 2,82$$

Вторым параметром по силе связи с количеством серпентина являются потери при прокаливании.

Зависимость скорости упругих волн от серпентинизации более сложная. При лизардитовом типе серпентинизации наблюдается плавный характер уменьшения скорости продольных волн ( $\tau = 0,909$ ) с увеличением степени серпентинизации, что косвенно указывает на спокойные условия протекания лизардитизации. Значительный разброс величин скорости продольных волн серпентинизированных гипербазитов связан с резким изменением физико-химических и тектонических обстановок антигоритизации, что наблюдается в образцах гипербазитов массивов Армении и Урала. Это становится особенно ощутимым в породах серпентинизированных более чем на 50 % ( $\sigma < 2,90 \text{ г/см}^3$ ).

Наиболее сильно влияют условия протекания процесса серпентинизации на магнитные свойства. Были рассчитаны коэффициенты корреляции между степенью серпентинизации ( $C$ ), степенью окисления железа ( $h$ ), содержанием двух- и трехвалентного железа в равных группах.

Наблюдаемое при антигоритизации нарушение связи между отдельными признаками указывает на нарушение закрытости системы и заметное влияние на нее внешних факторов. Для лизардитового типа серпентинизации в зависимости  $\chi$  от  $C$  наблюдается четкая верхняя граница, доходящая  $\chi = 1500 \cdot 10^{-5}$  СИ. Для всех групп пород, содержащих антигорит, типично более высокое значение  $\chi$ . Магнитная восприимчивость меньше зависит от интенсивности процесса серпентинизации, чем от типа серпентина.

Значительный разброс  $\chi$  может быть обусловлен также самим характером выделения ферромагнитных частиц и их составом. Термомангнитным анализом установлено, что кривые, соответствующие маг-

нижежесткому магнетиту, свойственны образцам lizardитосодержащих пород. Все "магнитомягкие" кривые получены в образцах с антигортитовым типом серпентина. Резкая смена физико-химических и тектонических условий протекания серпентинизации на стадии образования антигортитизации приводит к интенсивной сегрегации и перекристаллизации магнетитовых зерен. Это подтверждается наблюдениями в шлифах, микрофотографии которых приводятся в работе.

Магнетит является специфическим минералом, оказывающим влияние не только на магнитные, но и на тепловые свойства. При небольшом количестве серпентина в породах наибольший вклад в их теплопроводность дают зерна оливина и пироксена. В породах, серпентинизированных более чем на 50 %, влияние магнетита на теплопроводность становится более ощутимым. Присутствие магнетита в антигортитовых породах "поддерживает" высокие величины теплопроводности. Это наблюдается в выборках пород гипербазитов Урала, Армении, Камчатки. В общем теплопроводность серпентинитов меняется в пределах 1,5-2,0 Вт/м·К, т.е. в 2-2,5 раза меньше, чем теплопроводность протолитов.

Неоднозначно влияет серпентинизация гипербазитов на их пористость: начальное возрастание этого параметра в слабо серпентинизированных породах сменяется его уменьшением по мере того, как серпентин, замещая первичные силикаты, становится породообразующим минералом.

Таким образом, процесс серпентинизации неоднозначно проявляется в физических свойствах пород. Последние тонко реагируют как на интенсивность, так и на характер серпентинизации.

#### Глава 5. Петрофизическая характеристика альпинотипных гипербазитов Присеванского офиолитового пояса Армении

Изучением тектоники, петрологии, петрохимии пород офиолитовой ассоциации Армении занимались и занимаются многие исследователи - К.Н.Паффенгольц, А.Т.Асланян, С.Б.Абовян, С.А.Паланджян, М.А.Сатян и др. Геофизические исследования в Присеванском офиолитовом поясе были проведены А.Г.Бабаджаняном. Специально изучению физических свойств гипербазитов посвящены исследования А.Т.Асланяна и А.В.Арутюняна.

Для выявления общих закономерностей связи физических свойств гипербазитов Присеванского офиолитового пояса Армении с их составом был проведен факторный анализ методом главных компонент. Величина и знак факторных нагрузок петрофизических и петрохимических признаков указывают на то, что I фактор в первую очередь отражает серпентинизацию, которая проявляется тем сильнее, чем больше основность пород; исходный состав предопределяет потенциальную возможность и направление серпентинизации. Иными словами, I фактор указывает на избирательность процесса серпентинизации. Фактор связан с лизардит-зацией. II фактор выявляет ослабленную серпентинизацию. Влияние исходного состава на физические свойства оказывается больше. III фактор интерпретируется как условие благоприятное для кристаллизации магнетита, сегрегации его и укрупнения, вследствие чего уменьшается их коэрцитивная сила. Этот фактор связывается с антигоритизацией.

Для статистической обработки формировались выборки по: 1) исходному составу серпентинизированных гипербазитов и серпентинитов, 2) типу серпентина, 3) местонахождению гипербазитов в регионе.

Средние значения плотности в выборке серпентинизированных пород возрастают в ряду дунит-гарцбургит-верлит-пироксенит от  $2,67 \text{ г/см}^3$  до  $2,90 \text{ г/см}^3$ , указывая на относительную инертность пироксенов, по сравнению с оливинами, в процессе серпентинизации. Самые высокие средние величины имеют серпентинизированные дуниты: перидотиты (гарцбургиты, лерцолиты) уступают им по значениям  $\sigma$ . Определяющее влияние на магнитные свойства пород оказывает не их исходный состав, а тип серпентинизации. Это наблюдается и в выборках, сформированных по типу серпентина. В антигоритовых породах средние величины  $\chi$ ,  $J_n$ ,  $J_{25}$  выше, чем в лизардитовых. Магнитная жесткость ( $Q_{25}$ ) в антигоритовых породах ниже чем в лизардитовых. Общая особенность большинства выборок заключается в том, что асимметрия  $\chi$  и  $J_n$  имеют противоположные знаки. Это объясняется тем, что по мере увеличения размера частиц  $\chi$  увеличивается. Большие критического размера частицы, становясь многодоменными, теряют способность сохранять остаточную намагниченность - их коэрцитивная сила уменьшается. Средняя величина фактора  $Q$  близка к I и в большинстве случаев не превышает ее.



Таким образом, обобщая результаты, полученные посредством статистического и факторного анализов, можно сказать: процесс серпентинизации очень интенсивно проявляется в массивах гипербазитов офиолитового пояса Армении, настолько резко отражаясь в физических свойствах, что при этом влияние исходного состава становится минимальным; на все физические свойства в той или иной мере влияет тип серпентинизации, который зависит от среды и условий протекания процесса.

По результатам средних значений склонения и наклона вектора  $\vec{J}_n$  в гипербазитах установлено, что направление  $\vec{J}_n$  близко направлению современного магнитного поля в Армении. Поскольку обильное появление магнетита происходит при антигоритизации, которая протекает при  $t < 578^\circ$  (температура Кюри магнетита), то в гипербазитах природа первичной намагниченности предположительно химическая. Переработанный магнетит не способен сохранить первичную намагниченность, т.к. становится магнитомягким и намагничивается по современному полю.

Исходя из полученных данных, составлена петрофизическая классификация гипербазитов (табл. I). Выделены 3 класса гипербазитов на основе их вещественного состава и физических свойств — 1) гипербазиты, 2) серпентинизированные гипербазиты, 3) серпентиниты.

1986/

Первый класс выделен по характеристикам пород из различных регионов (глава 3). Второй и третий классы — по данным изучения гипербазитов Присеванского пояса. В классах серпентинизированных гипербазитов и серпентинитов выделены антигоритовые и лизардитовые серии. На основе петрофизической классификации построены петроплотностная и петромагнитная карты самого крупного в офиолитовых поясах Армении Джилъ-Сатанахачского массива. Составленные карты характеризуют массив более детально, чем геологическая. В петроплотностной карте выделены локальные участки (ядра) слабо-серпентинизированных пород с плотностью выше  $3,05 \text{ г/см}^3$ . В общем карта представлена различной степени серпентинизированными гипербазитами и серпентинитами, и поэтому она фактически является картой степени серпентинизации Джилъ-Сатанахачского массива, по которой можно судить о сплошной, но различной степени серпентинизации пород. Плотность выщелачиваемых пород (габбро, кварцевые диориты, листвиниты и т.д.), кроме известняков, в среднем выше плот-

Таблица I

Петрофизическая классификация гипербазитов Присеванского офиолитового пояса Армении

Классы, подклассы	Петрофизические группы					
	Состав пород	петроплот- ностная (г/см <sup>3</sup> )	петроскоростная (км/с)	петромагнитная ( $10^{-5}$ СИ)		
Гипербазиты	Дуниты	3,25-3,33	7,8-8,4	< 200		
	Перидотиты	3,20-3,29	7,20-8,18	< 500		
	Пироксениты	3,18-3,26	6,50-7,90	< 9000		
Серпентинизированные гипербазиты	5- 30	Слабосерпентинизированные гипербазиты	3,20-3,05	7,7-6,1	*	**
					<1500	1500-3000
	30- 50	Среднесерпентинизированные гипербазиты	3,05-2,90	6,9-5,8	<1500	1500-3000
50- 80	Сильносерпентинизированные гипербазиты	2,90-2,70	*	**	<1500	1500-7000
			6,3-5,3	6,7-6,0		
80- 100	Очень сильно серпентинизи- рованные гипербазиты	2,70-2,55	5,9-5,1	6,7-5,7	<1500	1500-10000
Серпентиниты	Аподунитовые, апоперидотитовые (апогарцбургитовые, аполерцо- литовые) серпентиниты	2,65-2,40	5,6-4,5	6,7-5,6	<1500	1500-7000

Серии \* Лизардитовая. \*\* Антигоритовая.

ности гипербазитов. Это необходимо учитывать при интерпретации гравиметрических съемок: вмещающие породы могут создать в остаточной аномалии силы тяжести аномальный эффект, вызванный избыточной плотностью.

На петромагнитной карте выделяются Даринский (восточная часть), Памбакокий (центральная часть) и Джилский (западная часть) участки, т.е. все те, которые выделяются и на магнитной карте  $\Delta T_a$ . Даринский участок сложен преимущественно антигоритовыми породами, которые создают сильное аномальное поле, интенсивность которого доходит до 1200 нТл. Породы на этом участке сильно магнитные ( $\chi$  доходит до  $10000 \cdot 10^{-5}$  СИ). В пределах Памбакского участка, сложенного главным образом лизардитовыми породами, интенсивность аномалии и намагниченность пород падают почти на порядок. Таким образом, интерпретация аэромагнитных аномалий на основе петромагнитной карты позволяет различить преимущественно антигоритизированные и лизардитизированные породы. С помощью геофизических методов и петромагнитной карты можно выявить зоны проявления аллохимической и изохимической серпентинизации. На основе этого предполагается блоковое строение Джиль-Сатанхачского массива, разные блоки которых находились в резко различных условиях, благоприятных для протекания соответственного типа серпентинизации.

Разделение на участки с помощью геофизических методов разных типов серпентинизации позволяет осуществить металлогеническое прогнозирование, поскольку известно, что с определенными типами серпентинизации связаны соответствующие месторождения полезных ископаемых.

Проведена оценка состава подкорового вещества в пределах Армении на основе полученных теоретических и экспериментальных петрофизических данных, петрохимических материалов и существующих данных сейсмических методов.

В теоретические оценки, полученные в главе 2 для разновидностей гипербазитов Армении, вводилась поправка на глубину залегания 40 км ( $\Delta V_n$ ), которая складывается из поправочных величин за давления ( $\Delta V_p$ ) и температуру ( $\Delta V_T$ ).

$$\Delta V_n = \Delta V_p + \Delta V_T$$

Величины скорости после введения поправки, полученные для герцолитов, наиболее соответствуют величинам, определенным сейсмическими методами в подкоровом слое в Армении (7,96 км/с) (рис.1).

Для оценки состава по экспериментальным данным использована зависимость  $V_p$  от степени серпентинизации (до 35 %). После введения поправки за влияние давления и температуры в экстраполированные значения скоростей с нулевым содержанием серпентина получена величина 7,87 км/с. Это значение  $V_p$  лежит в пределах теоретических значений скоростей продольных волн, полученных для герцолитов.

Для той же цели использованы корреляционные связи между плотностью, скоростью продольных волн и содержанием  $MgO$  и  $SiO_2$ . Построены линии и уравнения регрессии зависимостей  $\sigma - MgO$ ,  $\sigma - SiO_2$ ,  $V_p - MgO$ ,  $V_p - SiO_2$ . Для каждого значения  $\sigma$  и  $V_p$ , соответствующих значениям, полученным в гипербазитах без серпентина, найдены содержания  $MgO$  и  $SiO_2$ . Средние содержания  $MgO$  и  $SiO_2$  для неизмененных гипербазитов по экспериментальным данным составляют соответственно  $\approx 31\%$  и  $\approx 45\%$ . Такое соотношение окислов может иметь герцолит.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований могут быть сформулированы в виде следующих защищаемых положений.

I. Определением теоретических оценок установлены:

- расчетные значения для каждого вида гипербазитов, которые являются предельными и могут быть использованы для характеристики мантийных образований;
- железистость и магнезиальность разновидностей четко прослеживаются по физическим свойствам;
- показана выдержанность теоретических оценок физических свойств для конкретного региона (на примере гипербазитов офиолитового пояса Армении).

2. Экспериментально установлено, что интенсивность и характер процесса серпентинизации отражаются в комплексе физических параметров. Плотность характеризуется линейной зависимостью от

интенсивности серпентинизации. Тип серпентина резко отражается в скорости упругих волн, магнитных свойствах гипербазитов и величинах теплопроводности.

3. Получена комплексная петрофизическая классификация альпинотипных гипербазитов на основе теоретических и экспериментальных данных; по комплексу физических свойств выделены классы, подклассы и группы пород, в серпентинизированных гипербазитах выделены серии лизардитовых и антигоритовых гипербазитов. Выявлено определяющее влияние минерального и химического состава на физические свойства I класса гипербазитов.

4. Составлены петроплотностная и петромагнитная карты, которые являются более детальными чем геологические карты того же масштаба и могут быть использованы для крупномасштабного геологического картирования и поисков полезных ископаемых.

5. По теоретическим, экспериментальным петрофизическим данным и геофизическим материалам оценена физическая характеристика и состав верхнеэмантийных образований, представленных лерцолитами.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Петрофизические карты для прогнозирования эндогенного оруденения. В кн.: Состояние минерально-сырьевой базы и перспективы рационального комплексного использования сырья в цветной металлургии Арм.ССР. Сб. научных трудов Армянпроцветмет, 1983, с.41-49. Совместно с С.У.Вартаняном, А.Р.Ишханяном, Р.Р.Осиповым.

2. Плотность как показатель степени серпентинизации гипербазитов. В кн.: Совершенствование технологии горных работ при комплексном использовании руд цветных металлов. Сб. научных трудов. Армянпроцветмет, 1984, с.126-131.

3. Петрофизическая характеристика гипербазитов. Тезисы докладов УП Всесоюзного Совещания "физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах", Ереван, 1985, с.52-53.

4. Петрофизическая характеристика гипербазитов как основа для интерпретации геофизических аномалий. В сб.: "Проявление петрофизических свойств горных пород в физических полях. Деп. ВИНТИ, 1985.

РТИ ЛГИ. М-28402.07.01.86.з.І т.100 экз.  
Бесплатно

199026, Ленинград, 21-я линия, 2

1985

Бесплатно

