

УДК: 552.47 + 550.347.62] (479.25)

Г. В. ЕГОРКИНА, О. А. КУЗЬМИНА

## ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ГИПЕРБАЗИТАХ КАК ИСТОЧНИК ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Метаморфизм гипербазитов в земной коре влечет за собой существенные изменения в объеме пород, приводящие к накоплению избыточных напряжений и изменению физических свойств пород.

На территории Армянской ССР по величине анизотропии скоростей сейсмических волн, проявляющейся в аномальной поляризации поперечных волн, оценено напряженное состояние земной коры и верхней мантии. Показано, что наибольшие напряжения приурочены к Севано-Акеринскому и Ереванскому глубинным разломам, контролирующим положение гипербазитов.

Моделирование процессов серпентинизации и десерпентинизации гипербазитов в лабораторных условиях, правомерность течения которых подтверждена результатами магнитометрических исследований образцов гипербазитов с различной степенью серпентинизации из зоны разлома, показало возможность фазовых переходов в гипербазитах при высоких  $P-T$  условиях с увеличением удельного объема вещества.

Описан механизм возникновения очагов напряжений вследствие метаморфических превращений гипербазитов.

Выяснение природы возникновения напряжений в земной коре и связанных с ними изменений физико-механических свойств массы горных пород и геофизических полей необходимо при изучении землетрясений. Причиной землетрясений может быть как накопление тектонического напряжения, так и изменение удельного объема пород в результате фазовых переходов [8]. Снятие напряжений, возникающих вследствие тектонических деформаций, обычно проявляется в виде неглубоких коровых землетрясений. Напряжения, накопленные как результат различного рода физико-химических переходов, дегидратации и других, часто снимаются, по всей видимости, более глубокими землетрясениями.

Целью работы явилось показать, что одной из возможных причин возникновения и накопления избыточных напряжений в горных породах являются фазовые переходы в гипербазитах.

Фазовые переходы в нижней части земной коры и в верхней мантии, связанные с изменением термодинамических условий в интервале глубин от 50 до 500 км при температуре 300—500°C, являются одним из основных процессов, вызывающих движение земной коры [1]. Гипотеза накопления напряжений в результате фазового перехода вещества принадлежит Ралей и Патерсону [18].

В тектонически активных областях ведущее значение в составе и общем объеме пород имеют гипербазиты и серпентиниты, в частности. Серпентиниты присутствуют как слой в основании океанической коры и

могут быть составной частью верхнего уровня верхней мантии [16, 17], что согласуется с сейсмическими данными. Распространенность их в островных дугах, срединно-океанических хребтах и альпийских складчатых зонах играет большую роль в тектоническом развитии этих районов, так как присущая только серпентинитам хрупкость в дегидратированном состоянии может явиться важным механизмом очага землетрясений. По эпицентрам землетрясений удается проследить оси разрастающихся хребтов и смещающие их трансформные разломы. Повышенная тектоническая активность наблюдается в областях сочленения континентальной и океанической коры. Здесь положение очага землетрясений определяет истинную конфигурацию погружающихся плит, вплоть до места опускания на подошву астеносферы. Ультраосновные породы являются древним фундаментом для заложения геосинклинали (или рифтовой зоны) и, возможно, имеют планетарный характер [7].

Из всех диагенетических и тектонических процессов, протекающих в земной коре, если не учитывать изменение объема в коре выветривания, метаморфические процессы в гипербазитах, например, серпентинизация и десерпентинизация, приводят к наибольшему перераспределению объемов, влекущему за собой создание напряжений и изменение физических и, в частности, магнитных свойств горных пород и к анизотропии прохождения сейсмических волн. При серпентинизации до 70% устанавливается аномальный характер электросопротивлений, электрической и диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости горных пород и минералов.

Одними из характерных сейсмоактивных зон являются зоны распространения гипербазитов на Кавказе, которые контролируются глубинными разломами: Присеванская—Севапо-Акеринским, Вединская—Ереванским (рис. 1). Они рассматриваются как ветви краевой офиолитовой зоны, отделяющей центральную часть альпид Ближнего и Среднего Востока от Аравийской платформы. Оба разлома состоят из нескольких ветвей, имеют глубину проникновения 50 км, направление смещения крыльев близвертикальное, амплитуду смещения 2—4 км [4]. Протяженность гипербазитовых тел в пределах изучаемой части Армении 150—200 км, ширина около 20 км. Сведения о глубинном строении этих зон получены по данным интерпретации обменных волн типа *PS* [4]. Присеванский пояс пересечен тремя профилями вкрест простирания и одним по простиранию, Вединский—двумя профилями по простиранию. Для сейсмических разрезов в пределах офиолитовых зон характерно полное или почти полное отсутствие границ обмена по всей мощности земной коры. Особенно отчетливо это наблюдается на разрезах, порекающих Присеванский пояс. Разломы, сопровождающие зоны развития пород офиолитовой формации, тектонически активны. О том, что рассматриваемые зоны являются сейсмогенными, свидетельствует приуроченность к ним эпицентров землетрясений.

К гипербазитовым поясам территории Армении приурочены особенности в геофизических полях. Присеванский пояс в целом характеризуется зоной больших горизонтальных градиентов силы тяжести, кото-

рая определяет положение древнего глубинного разлома. Телам и массивам ультраосновных пород часто соответствуют относительные повышения гравитационных аномалий. В случае уменьшения объемного веса гипербазитов в результате гидротермальных изменений на величину до 30% относительная амплитуда аномалии Буге соответственно уменьшается [5]. На магнитных картах  $\Delta T$  полоса ультраосновных пород от-

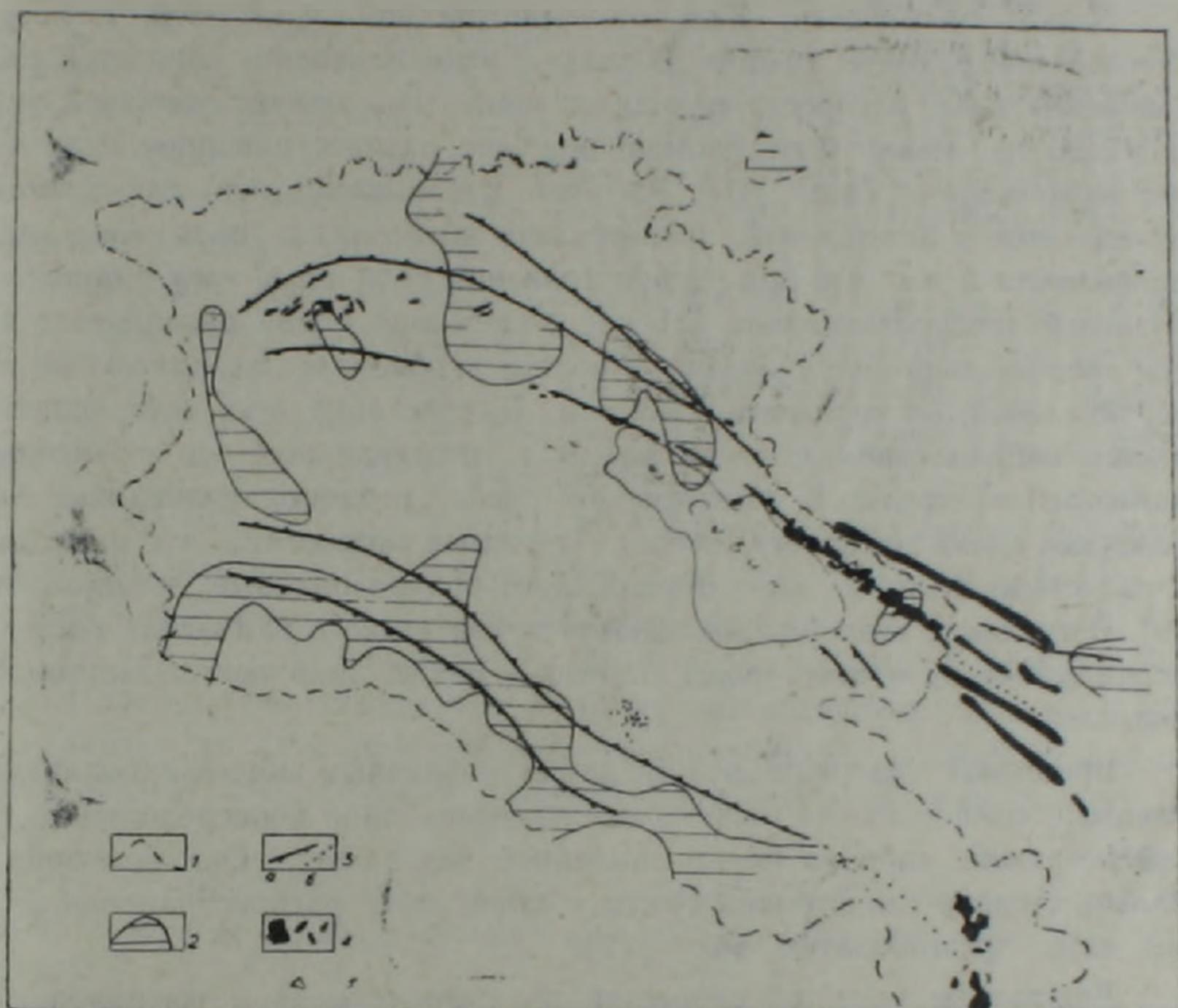


Рис. 1 1—граница Армении, 2—зоны повышенной анизотропии скоростей, 3—структурно-тектонические швы, а—уверенные, б—предполагаемые, 4—выходы на поверхность пород офиолитовой формации, 5—место отбора образцов.

ражается в виде отдельных аномалий изометрической или линейно вытянутой формы интенсивностью 1000 нТ и более [1].

Напряженное состояние земной коры и верхней мантии выявляется по анизотропии скоростей сейсмических волн, связанной, как правило, и с трещиноватостью. Осадочные породы содержат трещины отдельности и трещины разрыва. Изверженные породы содержат микротрещины внутри зёрен и межзерновых контактов. Все трещины закрываются под действием гидростатического давления и среда становится прозрачной для сейсмических волн.

Действие негидростатического давления на трещиноватую породу приведёт либо к закрытию, либо к раскрытию трещин. При слабом давлении системы открытых трещин частично закрываются, а при высоком давлении, приближающемся к прочности пород, некоторые системы закрытых трещин открываются. Открытие трещин происходит в направ-

лении прилагаемой нагрузки, а закрытие—в перпендикулярном ему направлении. Оба направления приведут к появлению эффективной сейсмической анизотропии [19]. Так как почти все кристаллические породы в верхних слоях земной коры содержат системы открытых трещин, для близповерхностных землетрясений более вероятен первый механизм.

Длины сейсмических волн от землетрясений и взрывов намного больше, чем размеры трещин. В связи с этим изменение скоростей сейсмических волн, распространяющихся через зоны ориентированной трещиноватости, может быть промоделировано распространением волн через анизотропную среду [19]. Расчёты показывают, что анизотропия проявляется в аномальной поляризации поперечных волн. Аномалия проявляется в том, что при распространении волн через зону с ориентированной трещиноватостью, плоская поперечная волна разделяется на две ортогонально-поляризованные волны, в общем не параллельные ни вертикальной, ни горизонтальной оси. Поляризация этих волн определяется направлением подхода волны и направлением оси симметрии анизотропной среды. В анизотропной среде разнополяризованные поперечные волны распространяются с разными скоростями, что приводит к разложению их на две ортогонально-поляризованные компоненты [9]. Вступления этих фаз ознаются путем резкого изменения направления движения частиц среды, которые видны при поляризационном анализе.

Временная задержка между двумя различным образом поляризованными компонентами может быть измерена либо непосредственно на сейсмограмме, либо на поляризационной диаграмме. Она пропорциональна степени анизотропии среды и длине пути распространения волны через трещиноватую зону [12].

Результаты расчётов скоростей поперечных волн в трещиноватой среде позволяют заключить следующее:

1. Наибольшее различие скоростей, а, следовательно, и времен регистрации  $S$ -волн разной поляризации наблюдается в том случае, если волна распространяется вдоль направления трещиноватости. В направлении, перпендикулярном трещиноватости, скорости и времена прихода волн равны. Таким образом, по ориентации оси максимальных значений  $\Delta t_{s_1-s_2}$  можно судить о направлении трещиноватости среды.

2. Чем выше степень трещиноватости пород и шире зона трещиноватости, тем больше различаются между собой времена прихода в точку наблюдения  $S$ -волн разной поляризации.

В связи с этим о величине и направлении трещиноватости, а, следовательно, о величине и направлении напряжений, с которыми связана трещиноватость, можно судить на основании анизотропии скоростей поперечных волн. Чем сильнее действующее напряжение, тем более упорядоченной становится трещиноватость и тем сильнее проявляется анизотропия скоростей сейсмических волн.

Изучение анизотропии скоростей осуществлялось по записям поперечных волн от местных и близких землетрясений, зарегистрированных

аппаратурой «Земля». Для каждой точки наблюдения в горизонтальной плоскости строились графики распределения величины различия во временах регистрации S-волн разной поляризации [12] от направления подхода колебаний. По графикам определялось направление оси максимальных значений  $\Delta t$  и максимальная величина  $\Delta t$ .

В орде, находящейся под действием одноосного сжатия, раскрытие трещин происходит в направлении нагрузки. Следовательно, в направлении оси сжатия будет наблюдаться максимальное различие во временах прихода S-волн разной поляризации. Обозначая отрезками прямых ориентацию осей максимальных значений  $\Delta t$  и приписывая их точкам наблюдения, на картах можно выявить закономерности в их пространственном расположении [12].

Важной задачей является обнаружение мест, в которых с наибольшей вероятностью может произойти разрыв земной коры. Участки земной коры, характеризующиеся сильной анизотропией скоростей сейсмических волн [9], можно рассматривать как зоны повышенной трещиноватости и концентрации тектонических сил.

По графикам  $\Delta t_{s_1-s_2} = f(\alpha)$  выбирается максимальная величина  $\Delta t$ , приписывается точке наблюдения и строится карта изохрон  $\Delta t$ . На картах выделяются зоны повышенных значений  $\Delta t$ .

На рис. 1. показана картина изохрон на территории Армении. Выделяются области, характеризующиеся повышенными (свыше 1 сек) значениями  $\Delta t$ . Они приурочены к двум глубинным разломам Севано-Акеринскому и Ереванскому, контролирующим положение гипербазитов.

Из анизотропной зоны Севано-Акеринского разлома (см. рис. 1) были отобраны образцы гипербазитов для магнитометрических исследований.

Исследование гипербазитов магнитометрическими методами затруднено резко неравномерным развитием процесса серпентинизации. В одном образце можно встретить все переходы от свежего дунита или гарцбургита до серпентинита, а также участки, пересыщенные рудной фракцией, и стерильные, обуславливающие вариации магнитных свойств. Массовый просмотр шлифов позволил подобрать образцы с различной степенью серпентинизации, на которых исследовались магнитные параметры.

С ростом количества серпентина появляется большое количество рудных минералов (до 25%), главным образом за счёт увеличения магнетита. С увеличением степени серпентинизации образцов наблюдается рост естественной остаточной намагниченности, магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности насыщения гипербазитов. Разрушающее поле остаточной намагниченности насыщения с увеличением степени серпентинизации до 40% увеличивается, а затем уменьшается, свидетельствуя о росте зёрен ферромагнитной фракции [2]. Аналогичное изменение магнитных параметров наблюдалось при моделировании процесса серпентинизации на образцах гарцбургита при  $T = 350^\circ\text{C}$ ,  $P = 1,5 \text{ кб}$  в среде с 1% NaOH с экспозицией до 48 суток [6]. Моделирова-

ние процесса десерпентинизации проводилось на образцах севанских серпентинитов в условиях:  $T=500$  и  $1200^{\circ}\text{C}$  с экспозицией 10 часов. В результате эксперимента при  $T=1200^{\circ}\text{C}$  в образцах заметны лишь следы серпентинитовых шнуров, подчеркнутые выделением рудных минералов, и вновь образованный оливин. Наличие пузырьков свидетельствует о том, что дегидратация затронула внутренние области породы и шла с сокращением объёма твердой фазы. Содержание магнетита уменьшилось в 20 раз, при этом в сотни раз уменьшилось отношение остаточных намагниченностей насыщения до и после эксперимента, значительно уменьшилось разрушающее поле намагниченности насыщения, что свидетельствует об образовании значительно более мелких зёрен магнетита и о вхождении изоморфных примесей хрома в решётку магнетита [3].

В результате моделирования процессов серпентинизации и десерпентинизации гипербазитов в лабораторных условиях получены окончательные продукты этих метаморфических преобразований: серпентин—в первом случае, оливин—во втором. При этом одинаковый характер изменения магнитных параметров с изменением количества серпентина в природных условиях и при моделировании процессов свидетельствует об идентичности прохождения их в обоих случаях, что подтверждает возможность прохождения процессов серпентинизации и десерпентинизации гипербазитов при высоких температурах, давлениях, с изменением удельного объёма вещества.

В перидотитах, дунитах, оливинитах в результате их малой пористости на изменение объёмного веса при серпентинизации влияет, в основном, минеральный состав и при прохождении процесса серпентинизации до конца происходит увеличение объёма до 30% [13]. Вслед за увеличением объёма отнюдь не всегда наблюдается увеличение пористости материала, поскольку оно влечёт за собой изменение решётки. Увеличение объёма приводит к изменению удельного веса и к перераспределению внутреннего давления.

При температуре ниже  $500^{\circ}\text{C}$  в гипербазитах процесс серпентинизации может вызвать поднятие вышележащих слоёв, а при более высокой температуре десерпентинизированные гипербазиты должны обусловить нисходящие движения.

При температуре ниже предела дегидратации прочность и эластичность серпентина неизменна. В случае поднятия изотерм и появления температурных градиентов дегидратация приводит к потере прочности породы, вызванной увеличением порового давления при выделении кристаллизационной воды. Если вода остаётся в гипербазитах, она может значительно облегчить деформацию, по порам мигрировать в верхние слои и создать противодействие другим породам. Повысится внутреннее давление воды, которое превышает внешнее гидростатическое давление. Высокое внутреннее давление, создаваемое выделяемой водой (паром), на глубине может явиться причиной перемещения самих гипербазитов и блоков коры, а вода может служить источником гидротерм, эманаций, флюидов. Появление освобождённой в реакции дегид-

ратации поровой жидкости, могущей создавать большие давления и напряжения, делает возможным дробление хрупких пород на больших глубинах (в нижней коре и верхней мантии). В случае прорыва воды разрядка накопленного давления может быть причиной землетрясения. Если выделившаяся при дегидратации вода всегда может найти выход по трещинам и порам, то сокращение объема породы в этом процессе может привести одновременно к стрессу [18]. Выделение кристаллизационной воды может быть распространенным процессом в этих областях, поэтому там возможно зарождение глубинных толчков. С увеличением глубины частота толчков должна уменьшаться, соответствуя повышению пластичности горных пород с увеличением давления при низких температурах, при достижении зоны дегидратации—увеличиваться. С ростом давления наблюдается увеличение скорости дегидратации минералов.

На больших глубинах многие минералы, слагающие земную кору, под действием высоких давлений и температур теряют хрупкость, становятся пластичными, в то время, как серпентин в результате десерпентинизации обезвоживается и хрупкость его восстанавливается. Вновь проявляющаяся хрупкость в дегидратированном серпентините может быть причиной механизма возникновения очага напряжений в тектонически активных районах, во всяком случае, для нижней коры и верхней мантии, если иметь в виду, что поровое давление воды, освобожденной при реакции дегидратации, делает дробление хрупких пород возможным на больших глубинах [16]. Землетрясения, имеющие свои очаги на глубине нескольких сотен километров (даже в мантии), возможно являются снятием напряжений как в хрупких серпентинитах, так и в областях гидротермально измененных гипербазитов. Исследования Рикитаки Т. [10] показали, что в зонах высокой сейсмичности преобладает метаморфизм низких температур—высоких давлений (хрупкая кора), а в зоне слабой сейсмичности земная кора подвергается метаморфизму высоких температур—низких давлений (вязкая кора). Непосредственно перед землетрясением часто не наблюдается никаких признаков смещения земной коры. Причиной этого может быть явление горного удара на завершающей стадии дегидратации минералов, обнаруженное Корытковой Э. И. Землетрясение происходит внезапным разрывом, при котором, например, при сдвиговом смещении 3 м за  $10^4$  лет было накоплено напряжение до 100 бар, уменьшенное после землетрясения до 17 бар (по Рикитаки Т.) Процесс десерпентинизации происходил в наших экспериментах при давлении 1,5 кб, поэтому весьма вероятно, что накопление напряжений, отмеченное перед началом землетрясения, может возникнуть в процессе десерпентинизации гипербазитов.

Если иметь в виду распространенность метаморфически измененных гипербазитов в альпийских складчатых зонах и в зонах с повышенной сейсмической активностью, можно предположить, что напряжения, снимающиеся при землетрясениях, могут быть накоплены в процессе метаморфических преобразований гипербазитов.

Таким образом, гипербазитовые формации альпийских складчатых зон вследствие глубинных физико-механических процессов характеризуются более высоким уровнем напряжений по сравнению с окружающими областями. В связи с этим они проявляют большую сейсмическую активность. Наложение на уже существующие тектонические напряжения новых, возникших в результате фазовых переходов при метаморфических преобразованиях в гипербазитах, ведет к зарождению глубинных разрывов и возникновению особенностей геофизических полей и физических свойств горных пород. Эти данные следует использовать при предсказаниях землетрясений, возникающих вследствие фазовых переходов в глубинных частях земной коры и в верхней части верхней мантии<sup>1</sup>.

Институт физики Земли  
АН СССР

Поступила 15. V. 1981.

Գ. Վ. ԵԳՈՐԿԻԱԿ, Օ. Ա. ԿՈՒՉՄԻՆԱ

ՓՈՒՂԱՅԻՆ ԱՆՑՈՒՄՆԵՐԸ ՀԻՊԵՐԲԱԶԻՏՆԵՐՈՒՄ՝ ՈՐՊԵՍ  
ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ  
ԵՎ ՆՐԱ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԱՂԹՅՈՒՐ

Ս. մ փ ո փ ո լ մ

Երկրակեղևում հիպերբազիտների մետամորֆալիս վերափոխությունները կարող են հանգեցնել ապարների ծավալների զգալի փոփոխությունների, որոնք պատճառ են հանդիսանում ավելցուկային լարվածությունների կուտակման և ապարների ֆիզիկական հատկությունների փոփոխության համար:

Հայկական ՍՍՀ բնատարածքում, ըստ սեյսմիկ ալիքների արագության անհամասեռության մեծության, որն արտահայտվում է լայնակի ալիքների անոմալ բևեռացմամբ, գնահատված է երկրակեղևի և վերին մանտիալի լարված վիճակը: Ցույց է տրված, որ առավելագույն լարվածությունները հարում են Սևան—Աբերալի և Երևանյան խորքային բեկվածքներին, որոնք վերահսկում են հիպերբազիտների դիրքը:

Սերպենտինացման և ապասերպենտինացման երևույթների մոդելավորումը փորձասենյակային պայմաններում, որոնց առկայության մասին վկայում են բեկվածքի զոտուց վերցված և տարբեր աստիճանի սերպենտինացման ենթարկված հիպերբազիտների նմուշների մալեխալափակալի հետազոտությունների արդյունքները, ցույց տվեց բարձր ճնշման և ջերմաստիճանների պայմաններում հիպերբազիտներում փուլային անցումների հնարավորությունը, որոնք ուղեկցվում են նյութի տեսակարար ծավալի աճով:

Նկարագրված է հիպերբազիտների մետամորֆալիս փոփոխությունների հետևանք հանդիսացող լարվածությունների օջախների առաջացման մեխանիզմը:

<sup>1</sup> По данной теме некоторые экспериментальные данные приведены в статье А. Т. Асланяна, А. И. Левыкина, А. В. Арутюняна «Об одном возможном механизме возникновения землетрясений», ДАН Арм. ССР, т. 43, № 2, 1976.

PHASE CHANGES OF ULTRABASITES AS A SOURCE OF  
STRESS ORIGIN IN THE EARTH'S CRUST AND ITS PHYSICAL  
CHARACTERISTICS CHANGE

Abstract

The ultrabasites metamorphism in the Earth's crust may bring to the essential changes of rocks volume which leads to the concentration of surplus stress and changes in physical characteristics of rocks.

According to seismic waves velocities anisotropy values, which is manifested by transversal waves anomal polarization, the Earth's crust and upper mantle stressed condition is estimated on the territory of the Armenian SSR. It is shown the most intensive stresses to be connected with Sevan-Akera and Yerevanian abyssal fractures which control the ultrabasites location.

The ultrabasites serpentinization and deserpentinization processes laboratory modelling, the presence of which is confirmed by the results of magnetometric investigations of ultrabasites samples of different degree of serpentinization picked out from the fracture zone, has shown the possibility of ultrabasites phase changes under high P-T conditions accompanied by increasing of the rocks specific volume.

A stress focuses origin mechanism is described as a result of ultrabasites metamorphic changes.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопян Ц. Г. Аномальное магнитное поле и его геологическое истолкование. В кн. «Геология Арм. ССР», т. X, Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1972.
2. Граменицкий Е. И., Гаврилова С. И., Кузьмина О. А. Сравнительный анализ магнитных характеристик серпентинитов Полярного Урала и Малого Кавказа. Геология и разведка, № 5, 1979.
3. Граменицкий Е. И., Кузьмина О. А., Кудряцева Г. П., Шабалин Н. А. Изменение магнитной фракции при моделировании процесса десерпентинизации. Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма. Тезисы докладов X съезда, 1977.
4. Егоркина Г. В., Соколова И. А., Егорова Л. М. Глубинное строение ультрабазитовых поясов Армении. Советская геология, № 3, 1976.
5. Кузьмина О. А., Страхова Н. А. Гипербазиты как источник возникновения напряжений в земной коре и их отражение в геомагнитном поле. Геология и разведка, № 7, 1979.
6. Кузьмина О. А. Исследование процесса гидрогермального изменения оливина магнитными методами. Вестник МГУ, сер. геол., № 4, 1975.
7. Морковкина В. Ф., Маракушев Г. И., Гаврилова С. И. Преобразование серпентинитов-выражение эволюции становления литосферы. Геология и разведка, № 7, 1980.
8. Мячкин В. И. Процессы подготовки землетрясений. Наука, 1978.
9. Полшков М. К., Урупо А. К., Егоркина Г. В. Анизотропия земной коры Малого Кавказа. Известия АН СССР, сер. физика Земли, № 2, 1979.
10. Рикитаки Т. Предсказание землетрясений. Мир, 1979.

11. Субботин С. И., Наумчик Г. Л., Рахимова И. Ш. Мантия Земли и тектогенез. «Научкова думка», 1968.
12. Урупов А. К., Егоркина Г. В. Поляризация поперечных волн, регистрируемых аппаратурой «Земля» и использование её для изучения трещиноватости среды. Прикладная геофизика, вып. 102, 1981.
13. Bowen N. L., Tuttle O. F. The system  $MgO-CO_2-H_2O$ . Bull. geol. soc. amer., 1949, 60, № 3.
14. Bridgman P. Volume changes in the plastic stages of simple compression. J. Appl. Phys., 1949, 20.
15. Cann J. R., Vane F. J. 2 An area of the Carlsberg Ridge petrology and magnetics. Proc. Roy. Soc. A 1965.
16. Griggs D. T., Raheer D. W. The origin of deep source earthquake. In properties of matter under unusual conditions. Interscience Publisher, 1969.
17. Hess H. H. „The oceanic crust“ J. Marin Res, 14, 1955.
18. Raley G., Paterson M. 2 Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implication“ J. Geophys. Res. 1965, v. 70, № 6.
19. Crampin S., Ivans R., Ucer B., Doyle M., Davls P., Jegorklua G., Miller A. Observation of dilatancy induced polarisation anomalies and earthquake prediction. Nature, v. 286, 1980.