

5

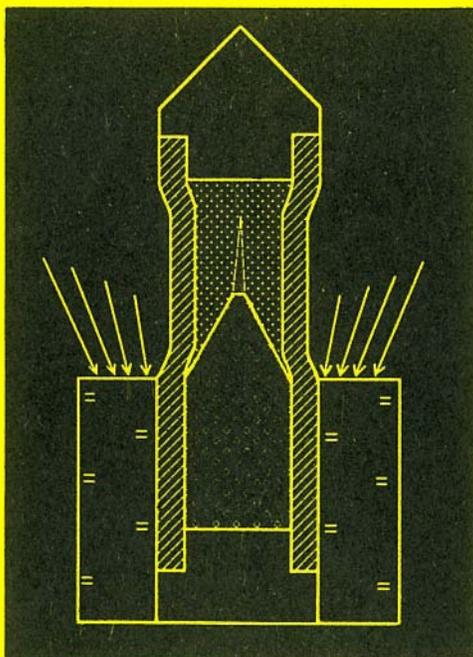
274

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И МИНЕРАЛОГИИ

Б.М. Чиков
С.А. Пятин
А.Н. Соловьев

Препринт №4

ИМПУЛЬСНОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ ГРАНИТНОГО КАТАКЛАЗИТА



Чиков Б.М., Пятин С.А., Соловьев А.Н. Импульсное компактирование гранитного катаклазита. - Новосибирск, 1991. - 9 с. (Препр./ Объединенный ин-т геологии, геофизики и минералогии СО АН СССР; N4).

Экспериментальное компактирование минеральной смеси гранитного состава проведено в стальном контейнере методом скользящей детонации. Полученный продукт по структурно-текстурным характеристикам аналогичен природному блосточкатаклазиту. Под воздействием ударной волны компактит структурирован, что выражается зональной аморфизацией и частичным перераспределением вещества.

Для специалистов в области структурной геологии, метаморфизма и геологов-съемщиков.

Утверждено к печати
Объединенным институтом геологии, геофизики
и минералогии СО АН СССР

Технический редактор О.М.Вараксина

Подписано к печати 10.04.91.

Бумага 60x84/16. Печ.л.1,0. Уч.-изд.л.0,9.

Тираж 150. Заказ 140. Бесплатно

Объединенный институт геологии, геофизики
и минералогии СО АН СССР
Новосибирск, 90. Ротапринт.

© Объединенный институт геологии
геофизики и минералогии СО АН СССР,

1991

Введение

Природный катаклиз породных масс является следствием перераспределения в земной коре предельных нагрузок силового поля, причем неуплотненные катаклазиты (диспергиты) обычно образуются близ сдвиговых зон в результате дробления и истирания (мельничный эффект) или в локальных участках резкого падения давления (декомпрессионный эффект). Последующее всестороннее обжатие ведет к уплотнению диспергита, а реакционное взаимодействие частиц (адгезия, твердофазное спекание) – к образованию на основе прежней минеральной матрицы новой метаморфической породы типа бластокатаклазита или бластомилонита. В свою очередь, компактирование и бластез диспергитов в условиях стесненного сдвига сопровождается появлением сланцеватости, метаморфической полосчатости, структур течения и пр. [6]. С учетом структурных и текстурных особенностей природных бластокатаклазитов, а также характера их соотношений с вмещающими породами нами сделано предположение о том, что часть из них формируется не в условиях длительного воздействия литостатического давления земных недр, а в результате импульсного высокобарического нагружения в зонах сейсмодислокаций, где скорость вспарывающей деформации достигает 3–6 км/с [5] или соответственно удельная скорость взаимодействия деформационной волны со средой порядка 10^{-4} с. Поэтому была поставлена задача экспериментального получения бластокатаклазита с помощью взрывной технологии.

Ранее проводимые опыты А.А.Дерибаса, Н.Л.Добрецова и др. [2] показали, что ударное воздействие на порошок SiO_2 ведет к

его неоднородному остеклованию (темное, дымчатое, белое, фарфоровидное стекло), адгезии зерен, появлению в стекле единичных призматических (до 0,1 мм) и более мелких неправильной формы зерен коэсита; аналогичное воздействие на порошковую смесь энстатита ($MgSiO_3$) и окислов сопровождалось появлением форстерита ($MgSiO_4$) и кварцевого стекла. По В.Ф.Нестеренко [4] импульсное воздействие на зернистые (пористые) металлические смеси сопровождается их компактированием. Причем пластическая деформация микросдвига по поверхности взаимодействия зерен разрушает ранее возникшие окисные или карбидные реакционные пленки, что ускоряет диффузионные процессы и способствует адгезионным эффектам. Установлено также, что за счет внутренней неоднородности многокомпонентных смесей (пористость, градиенты состава и пр.) под воздействием импульсного нагружения могут возникать локальные зоны с повышенными температурой и скоростью массопереноса на фоне значительно более низких соответствующих параметров. Это способствует структурно-вещественному преобразованию нагружаемых сред, появлению в них новых неоднородностей и границ, обусловленных сепарацией компонент и другими принудительными явлениями [1, 3].

Эксперимент

В нашем эксперименте использовался сыпучий гранитный катаклазит с размерностью зерен 0,16–0,5 мм. В составе исходной породы содержится примерно равное количество кварца и полевых шпатов (ортоклаз, микроклин, сетчатый альбит) с развитыми пертитовыми структурами, около 10 % биотита, ограниченное количество рассеянного рудного вещества (гематит).

сыпной плотностью 1,4 г/см³ без специального уплотнения помещалась в стальной цилиндрический контейнер (рис. 1,а). В серии опытов в качестве ВВ для кольцевого заряда использовался аммонит 6ЖВ и гексоген; запал располагался в верхней части контейнера, поэтому обработка катаклазита велась методом скользящей детонации – направленного кольцевого обжатия контейнера (рис 1,б). Параметры обработки выбирались из расчета максимально допустимого заряда при сохранности исходной массы образца после прохождения волны разгрузки [8]. Ориентировочная величина давления в сжатом

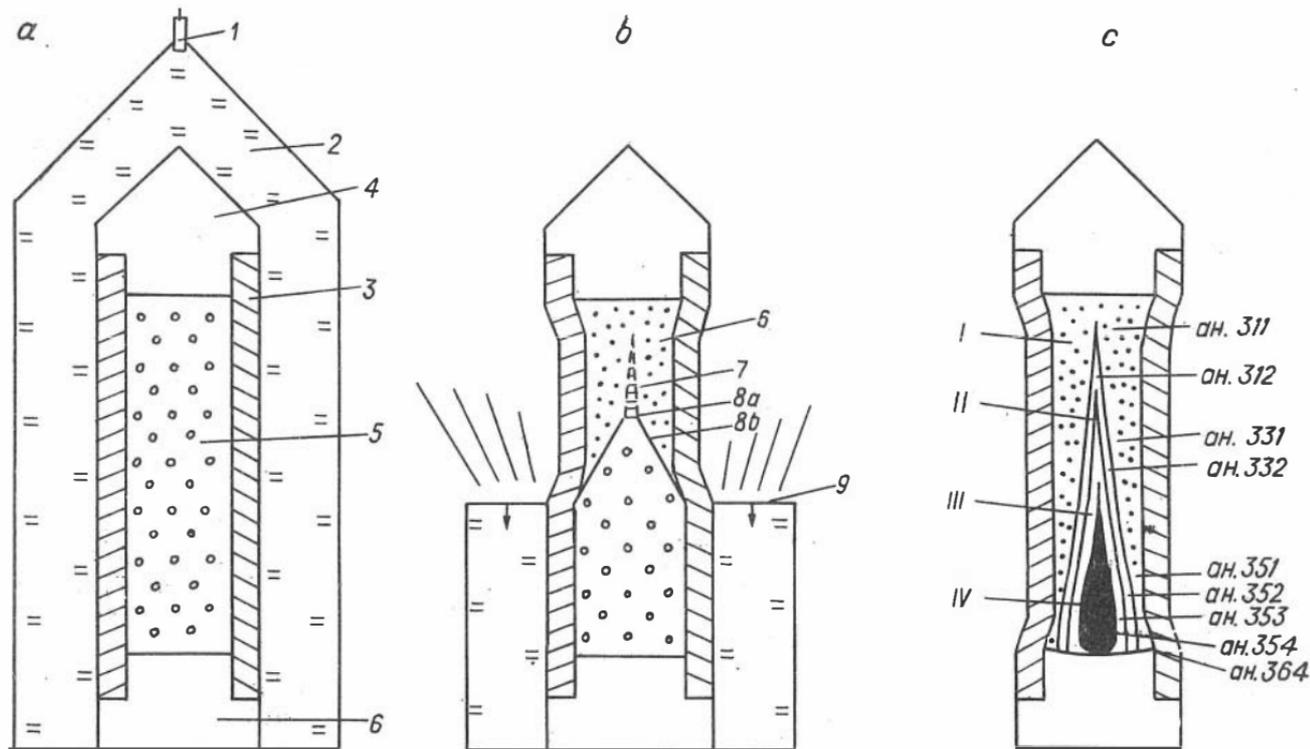


Рис. 1. Условия эксперимента и структурирование компакта в результате импульсного воздействия:

а - исходные условия (1-5): 1 - электродетонатор, 2 - заряд ВВ, 3 - стенка стального контейнера, 4 - металлические пробки, 5 - катаклазит фракции $0,1-0,5$ мм; б - динамика воздействия на контейнер (6-9): 6 - область ударно-сжатого компакта, 7 - зона высокоскоростного потока, 8 - фронт ударной волны: коническая (а) и плоская (б) составляющие, 9 - фронт детонационной волны; в - структурная зональность и схема отбора проб: I-IV - визуально различные зоны аморфизации, ср. 331 - положение и номер пробы.

катаклазите за фронтом ударной волны в проведенных опытах достигала 10-20 кбар для аммонита и 40-50 кбар для гексогена; время действия ударной волны $1-5 \times 10^{-5}$ с.

Результаты

Основные результаты эксперимента, имеющие значение для геологической интерпретации полученных данных, сводятся к следующему.

А д г е з и я. Измельчение и уплотнение зернистой минеральной смеси; относительно устойчивое компактирование ее, но без существенного взаимопроникновения частиц на контактах зерен (адгезия) – получен искусственный компактит, не имеющий принципиальных структурно-текстурных отличий от природного бластокатаклазита. Это в целом массивная тонкозернистая порода с кристаллокластической структурой. Ее минеральный состав аналогичен исходному, но в кристаллокластах практически не выражены пертитовые структуры и более заметна трещиноватость зерен.

С т р у к т у р и р о в а н и е. Визуально различимо структурирование компактита: преобладающая ориентировка кристаллокластов перпендикулярна оси контейнера при клиновидно расходящейся под углом до $10-15^\circ$ (в продольном сечении) ориентировке метаморфической полосчатости (рис. 1, с). Устойчивость новообразованной фигуры этой полосчатости подтверждается повторяемостью результата в серии опытов, а также экспериментами на металлических смесях [9]. В поперечном сечении контейнера структурирование компактита выражено осесимметричным кольцевым распределением зон различной степени аморфизации минеральной смеси, местами с контактными границами (рис. 1, с; 2). Макроскопически внешняя зона (I) представлена исходным, но более измельченным материалом с розоватым оттенком, зона II имеет существенно серую окраску, содержит крупные пластинки биотита, а зона III осветлена, в ней малозаметен биотит, но хорошо различима стекловатость с пятнистым ее распределением; внутренняя зона IV сложена стекловатым материалом с пузырчатой структурой, причем диаметр пустот достигает 1 мм. Эта зональность прекрасно видна и в шлифах при небольшом увеличении (см. рис. 2), хотя аморфизация практически не отражается на кристаллокластической структуре компактита. Исклю-

чение составляет зона IV в нижней части контейнера, где преобладает аморфная стекловатая масса.

Рентгеноструктурное исследование (аналитик Э.П.Солодчина) показало, что периферическая зона образца представлена минеральной кристаллизованной смесью кварца (основная фаза), калиевого полевого шпата, плагиоклаза и биотита (обр. 3II, 33I), что соответствует составу исходной породы; окристаллизованность менее выражена в нижней части контейнера (обр. 35I). Аналогичная минеральная смесь наблюдается и в зоне II, но с заметной ролью аморфной фазы в области 20–22° θ ; в нижней части контейнера степень окристаллизованности смеси понижается, возможно растет содержание кварца (обр.352). Зона III – преобладает R-аморфная компонента (тридимит, возможен кристобалит), отмечается небольшое количество кварца и следы полевых шпатов (обр.353); в верхней точке зоны (обр. 3I2) в аморфной компоненте можно предполагать тридимит и кристобалит. Зона IV – преимущественно кристобалит, следы кварца. Новых минеральных фаз в зонах I–IV не установлено.

Анализ относительной интенсивности спектров электронного парамагнитного резонанса (аналитики В.Е.Истомин, М.Я.Щербякова) указывает на то, что импульсное воздействие на катаклазит сопровождается спорадическим ростом значений Fe^{3+} . Установлено три числовых уровня (в относительных единицах): 4,3–7,6 (обр. 3II, 33I, 354); 25,1–28,4 (обр. 332, 35I, 353) и 42,4–44,0 (обр. 352 и 364). Намечается тенденция роста значений парамагнитных ионов в соответствии со степенью преобразования исходного материала.

Сегрегация. Кроме упорядоченной зональной аморфизации экспериментального бластокатаклазита установлена сегрегация ранее рассеянного рудного компонента исходной смеси, что выражается концентрацией гематита в виде линзовидной (в сечении) полосы во внутренней части зоны I близ границы с зоной II (см. рис. 2), а также обогащение внутренних зон образца высокотемпературными модификациями кремнезема.

Пластическое течение. В области интенсивной аморфизации (кристобалитовая зона) наблюдается пластическое течение вещества, выраженное элементами флюидальности и морфологическими обособлениями линзовидного и каплевидного облика (рис. 3). Здесь же по периферии овоидов с резкими границами наб-

людается эффект оплавления гранул за счет концентрации тепловой энергии взаимодействия частиц в мелкой фракции.

Заключение

Таким образом, импульсное нагружение минеральной смеси в замкнутом объеме сопровождается ее компактированием (спеканием). Конечный продукт по структурно-текстурным признакам соответствует природному бластокатаклазиту гранитного состава. Структурирование экспериментального бластокатаклазита обусловлено наличием градиентов поля напряжения в контейнере по фронту ударной волны и непосредственно за ней [3]. Понимая отдаленность аналогии, авторы полагают, что результаты проведенной серии экспериментов могут рассматриваться в качестве предельного ориентира при интерпретации природы и механизмов структурно-вещественных преобразований стрессового типа. Вместе с тем, мгновенное структурирование вещества в объеме образца заслуживает особого внимания и подтверждают результаты ранее выполненных экспериментов по быстрым минеральным преобразованиям в условиях стесненного сдвига [7].

Благодарности

Авторы выражают признательность В.Е.Истомину, Э.П.Солодчиной и М.Я.Щербаковой за проведение анализов и консультации.

Чиков Борис Маркович, Соловьев Анатолий Николаевич - ОИГТИМ
СО АН СССР
Пятин Станислав Анатольевич - СКБ ГИТ СО АН СССР
630090, Новосибирск-90, Университетский
просп. 3, Объединенный институт
геологии, геофизики и минералогии
Чиков Б.М. тел. 35-13-52 сл.

Список литературы

1. Вишневский С.А., Ставер А.М. Некоторые особенности деформации плавления при ударном метаморфизме // Геология и геофизика. - 1985. - N 2. - С. 22-30.
2. Дерибас А.А., Добрецов Н.Л., Кудинов В.М., Экзин Н.И. Ударное сжатие порошков SiO_2 // ДАН СССР. - 1966. - Т.168, N 3. - С. 665-668.
3. Дерибас А.А., Зуев О.А., Маньковский В.В. и др. Взрывное обжатие смеси порошков стали и меди // Изв. СО АН СССР, Сер. техн. наук. - 1977. - N 3. - С. 45-50.
4. Нестеренко В.Ф. Возможности ударно-волновых методов получения и компактирования быстрозакаленных материалов // Физика горения и взрыва. - 1985. - N 6. - С. 85-98.
5. Солоненко А.В., Солоненко В.П., Солоненко Н.В. Механизм разрывов в гипоцентрах и его сейсмологические следствия // ДАН СССР. - 1980. - Т. 250, N 3. - С. 602-606.
6. Чиков Б.М. Типы структурно-породных комплексов и принципы геологического картирования линейаментных зон динамометаморфизма // Геология и геофизика. - 1988. - N I. - С. 18-26.
7. Чиков Б.М., Каргаполов С.А., Ушаков Г.Д. Экспериментальное стресс-преобразование пироксенита // Геология и геофизика. - 1989. - N 6. - С. 75-79.
8. Штерцер А.А. О передаче давления в пористые среды при взрывном нагружении // Физика горения и взрыва. - 1988. - N 5. - С. 113-119.
9. Staudhammer K.P. Shock compaction of rapidly solidified nickel based Mo-Al-W alloy powders with pressures up to 1.2 Mbar // Int. Seminar on High Energy Working of Rapidly Solidified Materials. - Novosibirsk, 1989. - P. 28-36.



Рис. 2. Метаморфическая полосчатость компактита в продольном сечении контейнера:

I-IV -зоны аморфизации, ($\times 10$; проходящий свет)

Fig. 2. Metamorphic banding of compactite in longitudinal section of container:

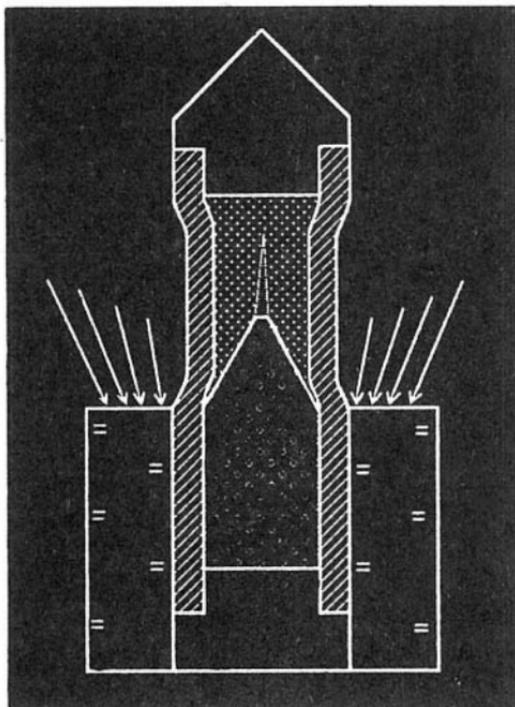
I-IV - zones of amorphism, ($\times 10$; transmitted light).

AKADEMY OF SCIENCES USSR
SIBERIAN BRANCH
JOINT INSTITUTE OF GEOLOGY,
GEOPHYSICS AND MINERALOGY

B.M. Chikov
S.A. Piatin
A.N. Soloviev

Preprint N° 4

IMPULSIVE COMPACTION OF GRANITE CATACLASITE



B.M.Chikov, S.A.Pyatin, A.N.Soloviev Impulsive compaction of Granite cataclasite.- Novosibirsk, 1991. - 9 p.(Prepr./ Joint Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB AS USSR; N 4).

A mineral mixture of granite composition has been compacted experimentally in a steel container by the method of slipping detonation. The product obtained is similar to blastocataclasite in structure-textural characteristics. The compactite was structured under effect of shock wave, which is manifest in zonal amorphism of the mineral mixture and partial redistribution of matter.

For specialists at fields of structural geology, of metamorphism and geologists-surveyors.

Introduction

The natural cataclasis of rock masses results from the redistribution of ultimate loads of the force field in the Earth's crust, unconsolidated cataclasites (dispergites) being formed near the shear zones as a result of fractionation and blasting (mill effect) or in local regions of a sharp pressure drop (decompression effect). Then, the confining pressure applied leads to the compaction of dispergite, and reactional interaction of particles (adhesion, solid-phase agglomeration) leads to the formation of a new metamorphic rock of the blastocataclasite or blastomilonite type on the basis of the earlier mineral matrix. In turn, the compaction and blastosis of dispergites under conditions of compressible shear is followed by the appearance of schistosity, metamorphic banding, flow structures and so on [1]. With structure and texture of natural blastocataclasites as well as character of their interaction with host rocks taken into account we supposed that some of them did not undergo the long-term effect of litostatic pressure of the Earth' depth, but appeared as a result of pulse high-pressure loading in zones of seismic dislocations where the velocity of "bursting" deformation reached 3-6 km/s [7] or, respectively, specific velocity of deformation wave-medium interaction was of the order of 10^{-4} s. Therefore, the task was assigned to obtain experimentally blastocataclasite by explosion technology.

The experiments carried out earlier by A.A.Deribas, N.L.Dobretsov et al. [3] have shown that the impact action on the SiO_2 powder leads to its non-uniform vitrification (dark,

smoky, white, porcellaneous glass), grain adhesion, and to the appearance in glass of single prismatic up to 0.1 mm in size and smaller irregular coesite grains; a similar effect on powder mixture of enstatite ($MgSiO_3$) and oxides was followed by the appearance of forsterite ($MgSiO_4$) and quartz glass. According to V.F.Nesterenko [5], pulse effect on granular (porous) metal mixtures results in their compaction. In this case the plastic deformation of microshear over the surface of grain interaction breaks the oxide or carbide reaction films formed earlier, which accelerates diffusion processes and favours adhesion effects. It has been also stated that local zones with temperature and mass transfer velocity essentially elevated against the background can appear under effect of pulse loading at the cost of internal non-uniformity of multicomponent mixtures (porosity, composition gradients and so on). This leads to structure-compositional transformation of loading media, appearance of new non-uniformities and boundaries due to the component separation and other forced phenomena [4, 9].

Experimental

Loosy granite cataclasite of 0.16-0.5 mm in grain dimension has been used in our experiment. The initial rock is composed of nearly equal quantities of quartz and feldspars (orthoclase, microcline, network albite) with developed perthitic structures, about 10 % biotite, limited amount of dissipated ore substance (hematite). This mineral mixture of 1.4 g/cm^3 in density undergone no special compaction was placed into a steel cylindrical container (Fig. 1,a). In a series of experiments, ammonite and hexogen were used as explosives for annual detonator, which was in the upper part of the container, and that is why the treatment of cataclasite was carried out by the method of slipping detonation, the directed annular compression of container (Fig. 1b). When choosing treatment parameters the ultimate charge was taken into account, which allowed the initial specimen mass to be kept after the discharge wave being passed [6]. A tentative value of pressure in the compressed cataclasite behind the impact wave

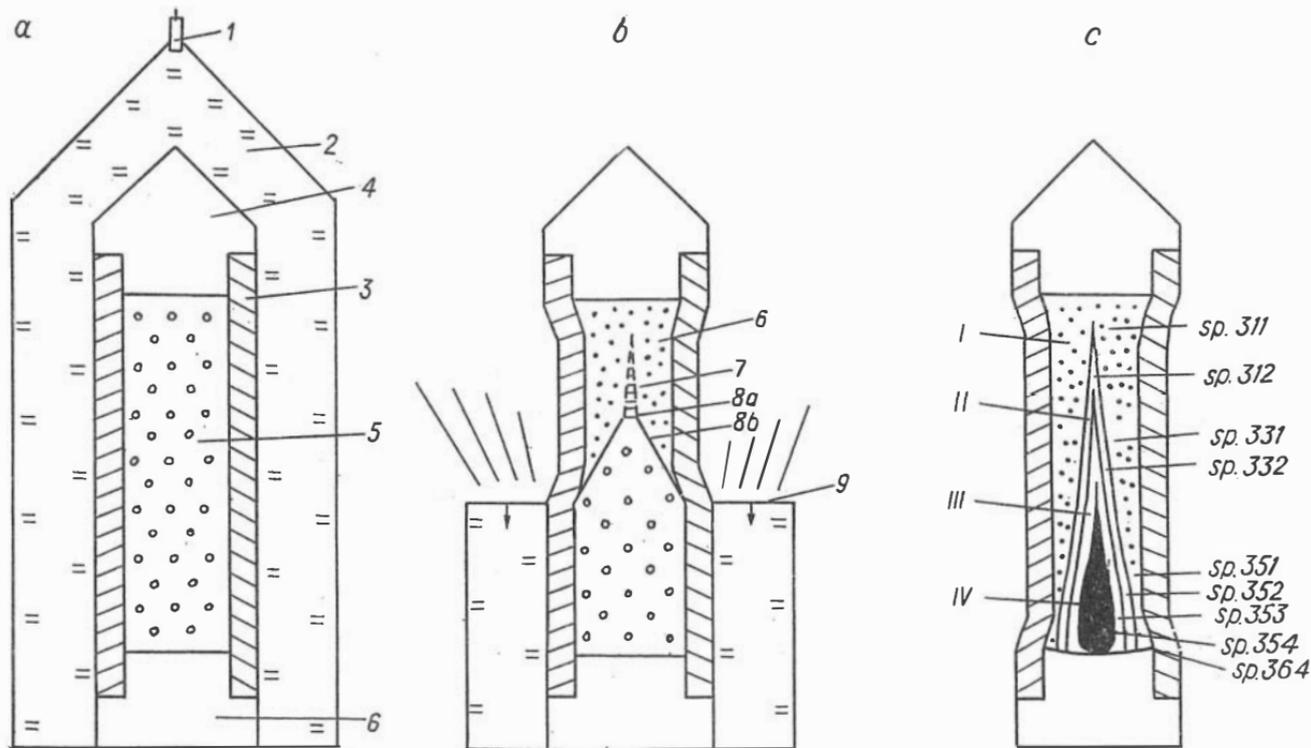


Fig. 1. Experimental conditions and structurization of compactite as a result of pulse effect.

a - initial conditions (1-5): 1 - electric detonator, 2 - explosive charge; 3 - wall of steel container, 4 - metal plugs, 5 - cataclasite of $0,16-0,5$ mm fraction; *b* - dynamics of action on container (6-9): 6 - region of shockcompressed compactite, 7 - zone of high-velocity flow, 8 - shockwave front: conical (a) and plane (b) constituents, 9 - detonation wave front; *c* - structure zonality and scheme of sampling: distinguishable zones of amorphism, sp. 331 - position and number of specimen.

front reached 10-20 kbar for ammonite and 40-50 kbar for hexogen in the experiments carried out, the impact wave action taking 1 to 5×10^{-5} s.

Results

The main results of the experiment that are of importance for geological interpretation of the data obtained are as follows:

A d h e s i o n. Fractionation and compaction of grain mineral mixture: its relatively stable compaction without, however, essential mutual penetration of particles on the grain contacts (adhesion) leads to an artificial mineral compactite that has no principal structure-textural differences from the natural blastocataclasite.

fine-grained rock of crystalloclastic structure. Its mineral composition is similar to the initial practically no marked perthitic structures, and grain fracturing is more distinct.

S t r u c t u r i z a t i o n. The compactite structurization is visually distinguished: the predominant orientation of crystalloclasts is normal to the container axis with metamorphic banding oriented in the form of a wedge diverging at an angle to $10-15^\circ$ in longitudinal section (Fig. 1,c). Stability of new-formed pattern of this banding is confirmed by reproducibility of the result in a series of experiments as well as by experiments on metal mixtures [8]. In the cross-section of container the structurization of compactite manifests itself in the axis symmetrical annual distribution of zones of a different degree of amorphism of mineral mixture, occasionally with contrast boundaries (Figs. 1,c; 2). Macroscopically, the external zone I is represented by the initial, but more fractionated, material of pink shade, zone II is essentially of grey colour, it contains large biotite plates, and zone III is cleared, biotite is hardly seen there, but the vitrification distributed by spots is well distinguished; the internal zone IV is represented by vitreous material of bulby structure, the voids being up to 1 mm in diameter. Under small magnification,

this zonality is well seen in slices (see Fig. 2), although the amorphism practically has no effect on the crystalloclastic structure of compactite. An exclusion is the zone IV in the lower part of the container where the amorphous glassy mass predominates.

The X-ray investigation (analyst E.P.Solodchina) has shown that the peripheral zone of the specimen is represented by the mineral crystallized mixture of quartz (main phase), potassium feldspar, plagioclase and biotite (sp.311,331), which corresponds to the composition of initial rock; crystallinity is less distinct in the lower part of container (sp.351). A similar mineral mixture is also observed in zone II, but there is an amorphous phase that plays an important role in the range from 20 to 22⁰; in the lower part of container a degree of mixture crystallinity decreased, the quartz content seems to be higher (sp.352). Zone III: R-amorphous component (tridymite, probably cristobalite) is predominant, a small amount of quartz and traces of feldspars are noted (sp. 353); in the upper point of the zone (sp. 312) tridymite and cristobalite are to be supposed in the amorphous component. Zone IV: there are, predominantly, cristobalite and quartz traces. No new mineral phase have been found in zones I-IV.

The analysis of relative intensity of spectra of electron paramagnetic resonance (analysts V.Ye.Istomin, M.Ya.Scherbakova) indicates that the pulse effect on cataclasite is followed by the sporadic rise of Fe³⁺ values. There are three numerical levels (in relative units): 4.3-7.6 (sp. 311, 331, 354); 25.1-28.4 (sp. 332, 351, 353) and 42.4-44.0 (sp. 352, 364). There is a trend of value of paramagnetic ions in relation to a degree of initial matter transformation.

S e g r e g a t i o n. Besides the ordered zonal amorphism of experimental blastocataclasite, the segregation is stated of earlier dissipated ore component of initial mixture, which is expressed in hematite concentration in the form of lenticular (in cross-section) band in the internal part of zone I near its boundary with zone II (see Fig.2) and enrichment of internal zones of specimen with high-temperature modification of silica.

P l a s t i c f l o w. The plastic flow of su

expressed by elements of fluidization and morphological separates of lenticular and drop-like habit is observed in the region of intensive amorphism (cristobalite zone) (Fig. 3). Along the periphery of ovoids with sharp boundaries an effect is observed of granule fusion at the cost of concentration of thermal energy of particle interaction in a small fraction.

Conclusion

Thus, the pulse loading of mineral mixture in a closed volume is followed by its compaction (agglomeration). The final product corresponds in structure-textural characteristics to natural blastocataclasite of granite composition. The structurization of experimental blastocataclasite is due to the presence of strain field gradients in the container along the front of and immediately behind an impact wave [4]. With the analogy recognized to be superficial the authors believe that the results of the experiments carried out can be considered as an ultimate reference point when interpreting nature and mechanisms of structure-substantial transformations of stress type. At the same time, moment structurization of compactite, phase transhers and elements of redistribution of substance in volume of the specimen are worth particular attention and confirm the results of earlier experiments on rapid mineral transformations under conditions

Acknowledgments

We gratefully acknowledge V.E.Istomin, E.P.Solodchina and M.Ya Scherbakova for the analitic works and consultation.

Boris M. Chikov, Anaboly N. Soloviev, Joint Institute of Geology,
Geophysics and Mineralogy
Stanislav A. Pyatin, Special Design Office of Hydropulse
Technology
630090, Novosibirsk-90, University avenue 3,
Joint Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy
B.M.Chikov
telephone 35-13-52 (office)

References

1. Chikov B.M. principles of geological mapping of lineament zones of dynamo-metamorphism // Soviet Geology and Geophysics. - 1988. - Vol. 29, N 1 - P. 15-21.
2. Chikov B.M., Kargapolov S.A., Ushakov G.D. Experimental stress transformation of pyroxenite // Soviet Geology and Geophysics. - 1989. - Vol. 30, N 6. - P. 65-69.
3. Deribas A.A., Dobretsov N.L., Kudinov B.M., Zyuzin N.I. Impact compression of SiO_2 powders // DAN SSSR. - 1966. - Vol.168, N 3. - P. 665-668.
4. Deribas A.A., Zuev O.A. Man'kovskii V.V. et al. Explosive compression of stell and copper powder mixture // Izvestiya SO AN SSSR, ser. tekhn. nauk. - 1977. - N 3. - P. 45-50.
5. Nesterenko V.F. Possibilities of shock-wave methods in obtaining and compaction of quick-quenched materials // Fizika gorenia i vzryva. - 1985. - N6. - P. 85-98.
6. Shtertser A.A. On pressure transmission into porous media at explosion loading // Fizika gorenia i vzryva. - 1988. - N 5. - P. 113-119.
7. Solonenko A.V., Solonenko V.P., Solonenko N.V. Mechanism of breaks in hypocentres and its seismological consequences // DAN SSSR. - 1980. - Vol. 250, N 3. - P. 602-606.
8. Staudhammer K.P. Shock compaction of rapidly solidified nickel based Mo-Al-W alloy powders with pressures up to 1.2 Mbar // International Seminar on High Energy Working of Rapidly Solidified Materials. - Novosibirsk, 1989. - P. 28-36.
9. Vishnevskii S.A., Staver A.M. Some Features of fusion deformation at rock metamorphism // Soviet Geology and Geophysics - 1985. - Vol. 26, N 2.

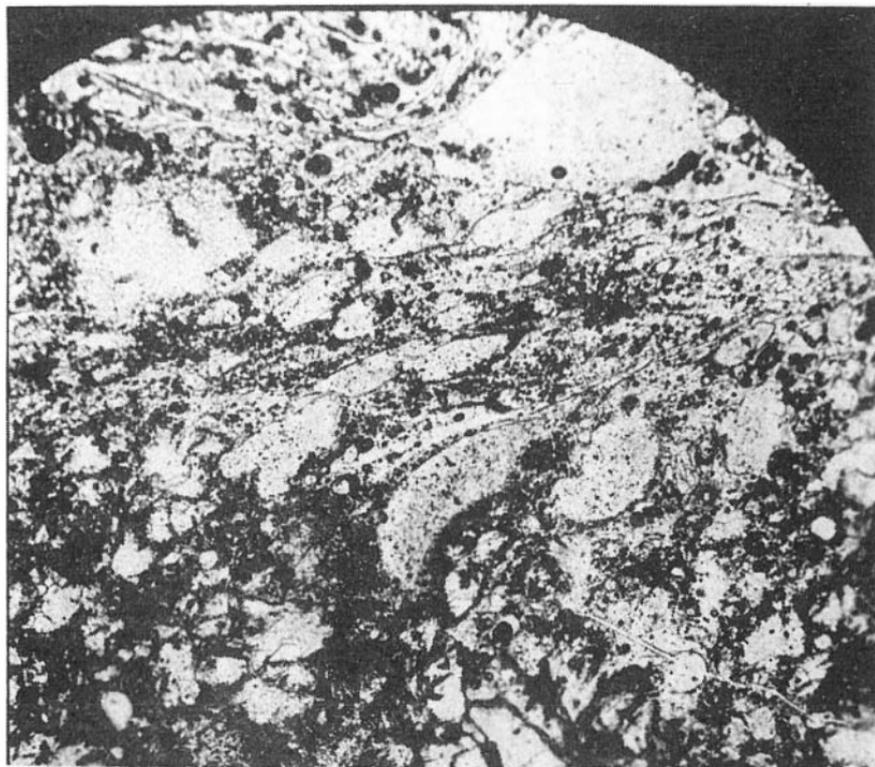


Рис. 3. Структуры течения в зоне IV (x 40; проходящий свет).
Fig. 3. Flow structure in zone IV (x 40; transmitted light).