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

Препринт

С.А.Вишневский

ЗЮВИТОВЫЕ МЕГАБРЕКЧИИ -НОВЫЙ ТИП ОТЛОЖЕНИЙ ВЗРЫВНОГО ОБЛАКА ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

НОВОСИБИРСК 1994

УДК 523.681 : 552.164 (571.511).

Вишневский С.А. Зювитовые мегабрекчии — новый тип отложений взрывного облака в Попигайской астроблеме. І. Общая характеристика. Новосибирск, 1994. (Препр./Институт минералогии и петрографии СО РАН; №). 66 с.

Приведено описание зывитовых мегабрекчий, которые впервые выделяются в импактных комплексах астроблем. Описание включает историю изучения этой фации, геологическую позицию в структуре Попигайского кратера, опорные разрезы, состав и структуру отложений, ударный метаморфизм пород мишени, состав и источник импактных стёкол.

Особенности эювитовых мегабрекчий (сохранность глыб рыхлых пород, два источника материала, условия локализации, взаимоотношения компонент) создают целый ряд проблем и даже отчасти вступают в противоречие с общепринятой моделью импактного происхождения Попигайской структуры. Для объяснения этих особенностей в рамках импактной модели предложена гипотеза динамического барьера во взрывном облаке, предпосылками для которой являются мегамасштаб события и контрастный двуслойный разрез мишени.

Для широкого круга геологов и специалистов по проблемам импактных взаимодействий, планетологии и метеоритики.

Печатается с авторского оригинала.

© Институт минералогии и петрографии СО РАН, 1994

S.A. Vishnevsky

THE SUEVITE MEGABRECCIA: A NEW TYPE OF EXPLOSION CLOUD DEPO-SITS AT THE POPIGAI ASTROBLEMA. 1. GENERAL CHARACTERISTICS.

The suevite megabreccia is a large-lump (with fragments up to 70 meters in size) breccia of predominantly soft Mesozoic target rocks cemented by various kinds of suevites. It localized at the top of the column of the explosion cloud deposits in the middle and marginal zones inside the Popigai crater.

The whole rank of the special features is common for this formation: (a) the safety of large lumps of soft target rocks (clays, shales, weak sandstones and even a loose sands) whereas the hard target rocks (limestones, quartzites and gneisses) are deformed intensively; (b) two different sources of materi-al distinguishing in spatial location in target and in system of zones of the shock metamorphism (low-shocked soft sedimentary rocks and highly-shocked crystalline rocks): (c) spatial position in the astroblema showing the absence of essential lateral replacement and "reversal stratigraphic sequence" in deposition of target rock fragments; (d) evidence of great mechanical activity between cementing suevitic masses at their lithoid-like (plastic deformations at contacts of bodies) and even lithified (false secondary relations at contacts) state. These features are not easy explicable within the generallyaccepted model of the evolution of the explosion cloud (a free ballistic flight and then pouring of ejecta). Moreover, the false secondary relations between suevites look like a kind of problem for the impact origin of this formation at all.

The hypothesis of the dynamic barrier in the Popigai explosion cloud is proposed in attempts to explain incomprehensibly all the features mentioned above within the impact model. The background of it is the contrast two-stage structure of target and the megascale of the impact event. This hypothesis is based upon the possible change of the trajectories of the ejecta from the soft sedimentary cover rocks: these tragectories are proposed to become steeper and steeper (up to subvertical ones) during the crater growth. This change of direction is due to the near-surface delay of shock wave front as a result of the low density of Mesozoic rocks and the influence of free surface. By this, the structure of the explosion cloud above crater was made up of two kinds of jet: (i) highly shoc-ked apo-Gneiss matter spreading from the inner part of crater

along the usual moderately-inclined centrifugally-coming up trajectories and (ii) low-shocked apo-Mesozoic matter moving along the step to subvertical trajectories and forming the tore-like cloud above the middle and marginal zones of crater. The latter jets become a dynamic barrier within the explosion cloud for the expanse of the former ones.

The colliding of both kinds of jets at the dynamic barrier had provided the intensive mixing of the exavated material and secondary shock for some fragments in flight. During the colliding a part of parent suevitic mixtures was compacted up to dense lithoid-like and even lithified state at the lumps of target rocks. Then plastic interactions and fragmentation of suevitic matter took place at the collapse stage of the explosion cloud providing the traces of mechanical activity and false secondary relations between various bodies of suevites.

The characteristic of the suevite megabreccia (geological location, description of key outcrops, composition, internal structure and relations between components) is accompanied by the hystory of its investigations.

I. ВВЕДЕНИЕ

Туфовидные смеси обломков пород мишени и обломков (комков) импактных стёкол являются одной из важнейших составных частей ударно-метаморфических комплексов астроблем. На первое место среди этих брекчий можно поставить эювиты - отложения взрывного облака, перемещавшиеся в процессе кратерообразсвания путём баллистического или сравнительно свободного разлёта. В отличие от зювитов остальные туфовидные брекчии выделяются в группу донных фаций, материал которых транспортировался путём волочения или придонного растекания плотных масс.

Классическим примером отложений взрывного облака являются зювиты кратера Рис (ФРГ), гдв они были впервые выделены как особый тип образований и детально описаны /33,34,43,45 и др./. Зювиты Риса представляют довольно однообразную смешанную брекчию, которая состоит из обломков импактного стекла и пород мишени. Лито- и гранокласты пород мишени составляют до 90% и более объёма зювита; размер их колеблется от долей мм до 20 см, а по вещественному составу резко доминируют породы кристаллического фундамента. Импактное стекло составляет от 3-5 до 15 объ. % породы, а размеры стеклянных тел варьируют в диапазоне от нескольких мм до первых дм. По условиям залегания вювиты Риса подразделяются на "закратерные" и "упавшие обратно в кратер". Между обоими этими типами имеются некоторые отличия по особенностям лито- и витрокласт, и по другим признакам.

В отличие от кратера Рис эрвиты других астроблем MOLAL обладать широкими вариациями состава обломочной компоненть. образуя серии. Этот факт отражён в сводной классификации импактитов по /29/, где выделяются серии эювитов по составу (витрогранокластические, витрокристаллокластические и витролитокластические зовиты с содержанием до 50-70 объ.% соответственно обломков рыхлых осадочных, кристаллических и крепких осадочных пород) или по размеру частиц слагающего материала (зювиты мелкообломочные, крупнообломочные, грубообломочные, лапиллиевые, аггломератовые и глыбовые, с модой размера частиц, соответственно, - 0.25 мм, 0.5 - 2 мм, 2 - 10 мм, 10 - 30 мм, 30 - 200 мм и + 200 мм). Размеры самых крупных глыб пород мишени, иногда встречающихся в аркитах Риса, не превышают 0.5 м /43/, а в глыбовых зювитах Карской астроблемы - до I - 2 м /24/, причём как правило эти единичные глыбы представлены крепкими разностями пород мищени. Глыбы пород фундамента величиной до первых м отмечены также в эювитах астроблемы Хафтон /37/.

Парадоксальной особенностью части эювитовых отложений Попигайской астроблемы является присутствие огромных - до 70 м в поперечнике - глыб и целых фрагментов разреза пород осадочного чехла мишени. Другой особенностью является вещественный состав этих крупных глыб - преимущественно рыхлые мезозойские и кайнозойские (?) отложения. В рамках гипотезы импактного происхождения объекта данные крупноглыбовые образования первое время описывались как разновидность обыкновенных мегабрекчий /21,22/ и в этом качестве не привлекали особого внимания исследователей. После предложенного в работах /2,3/ расчленения туфовидных пород астроблемы на генетически-обособленные группы донных брекчий (отложения центробежного донного потока) и зювитов(отложения взрывного облака) описываемые крупноглыбовые образова-

ния ввиду своего необычного состава и положения в геологической структуре кратера были выделены в качестве эювитовых мегабрекчий /5/. Другими поразительными особенностями зовитовых мегабрекчий явились сохранность глыб рыхлых пород (в том числе ГЛИНИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ, ГЛИН И ДАЖЕ НЕСВЯЗНЫХ СЫЛУЧИХ ПЕСКОВ, ТЕла которых не разрушились при транспортировке и отложении ИЗ взривного облака), а также следы механической активности материала связующей массы на стадии плотного литоидного/литифицированного состояния (в том числе, с образованием таких мнимовторичных взаимоотношений как брекчия одних зювитов в других). При объяснении этих особенностей простая модель баллистического разлёта и насыпного отдожения материада из взрывного облака встречает затруднения и здесь импактная гипотеза начинает проигрывать своей давней сопернице - вулкано-тектонической гипотезе. Дополнительно отметим, что положение эювитовой мегабрекчии в структуре кратера противоречит общепринятым представлениям теории импактного кратерообразования, полученным из экс⊸ периментов и расчётов для процессов малого масштаба. Согласно этим представлениям, в процессе эскавации приповерхностный материал мищени должен "выметаться" за борт будущего кратера И создавать при насыпном отложении в обрамлении воронки "обратный стратиграфический разрез".

Всё это стимулировало поиск разумного объяснения феномена зювитовой мегабрекчии в рамках импактной гипотезы, для чего в завершающей части данной работы предлагается механизм динамического барьера, существовавшего во взрывном облаке Попигайского импактного события.

П. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зовитовые мегабрекчии неоднократно изучались, начиная с самых первых посещений Попигайской котловины геологами, и особенности этих образований не раз становились предметом дискуссии. Показательна в этом отношении история исследования обнажений зювитовой мегабрекчии в правобережье Попигая, 5-8 км выше фактории (обнажения 2169 и 2170 в настоящей работе).

Уже на раннем этапе знакомства с котловиной эти обнажения посетили Д.В.Кожевин (1948). М.К.Калинко (1948). Л.П. Смирнов (1951, 1957), И.Е.Ширяев (1951), М.Т.Кирюшина (1955) и другие исследователи. При этом, как отмечает М.Т.Кирюшина, "... ни Один из геологов не дал полного и похожего на другие описания разреза, по-видимому, по причине сложности нарушений и отсутствия чётких контактов". Наиболее объективное описание указанных обнажений было сделано М.Т.Кирюшиной, которая рассматривала эти образования как "роско-меловые пески, переполненные шебёнкой туфов и туфобрекчий, а также валунами самых различных пород района". В "песках" содержатся висячие. оторванные от субстрата фрагменты пластов угля, а сами "пески" находятся в контакте с мел-палеогеновыми "туфобрекчиями", аналогичными тем, которые широко распространены в Попигайской котловине. Попутно отметим, что М.Т.Кирюшина /15/ также впервые сопоставила Попигайскую структуру со взрывной структурой Рис (ФРГ), в то время считавшейся вулканической, но впоследствии оказавшейся метеоритным кратером.

Л.П.Смирнов (1951, 1957), который изучал преимущественно северо-западную часть котловины (где фрагментарно вскрывается несколько напоминающих стратиграфические горизонты крупных тел импактитов – прим. автора), воспринял строение комплекса пород структуры как поддающееся стратификации. Под этим углом зрения, с применением детальных горных работ, он выделил в указанных обнажениях и в обнажении 622 настоящей работы многослойный вулканогенно-осадочный разрез пород апт-туронского возраста /28/ споженный угленосными глинами и алловиальными песками, которые чередуются с вулканическими песками и туфами. Всего было выделено от 8 до 12 таких "слоёв".

На позднем этапе "доимпактного" изучения Попигайской котловины представления о генезисе описываемых образований были

существенно модифицированы. А.И.Трухалёв (1973) пришёл к выводу, что здесь вскрываются блоки различных меловых пород, цементируемые более молодыми позднемеловыми-палеогеновыми "слабосцементированными туфами", которые Л.П.Смирнов считал прослоями "вулканических песков". В "слабосцементированных туфах" содержатся обломки стекла и "спёкшихся туфов", а также линзы последних. "Спёкшиеся и рыхлые туфы" могут иметь очень сложные контакты со следами взаимного проникновения. Обломки и включения одних туфов в других доказывают многократность пароксизмов вулканической деятельности, чередовавшихся с периодами покоя. Подобные "туфы" широко распространены в Попигайской котловине и приурочены, вероятно, к подводящим каналам грандиозных вэрывных извержений в зонах кольцевых и радиальных разломов фундамента структуры.

С официальным началом "импактного" периода изучения Попигайской котловины в 1970-71 годах, когда появились первые публикации В.Л.Масайтиса с соавторами /20, 21 и др./, зювитовые мегабрекчии совместно с крупноглыбовым материалом краевой части структуры стали рассматриваться как аллогенные мегабрекчии взрывного метеоритного кратера. Это снимало многие противоречия в вопросе их происхождения и на первых порах представлялось удовлетворительным.

Однако, по мере накопления данных по геологии астроблемы, когда были получены сведения о строении зювитовых толщ (скважины А.И.Трухалёва, 1973), стала известна гипсометрия погребённого рельефа кратерного дна /22/, а аллогенное выполнение воронки было расчленено на отложения центробежного донного потока и вэрывного облака /2, 3/, С.А.Вишневский /2, 48/ пришёл к заключению, что часть "аллогенных мегабрекчий" является специфическими образованиями, приуроченными к верхним горизонтам зювитовой толщи и представляет новый фациальный тип отложений взрывного облака - зювитовые мегабрекчии. Ниже приведены более подробные сведения и новые данные по этим образованиям.





<u>Легенда к плану:</u> I - импактиты Попигайской астроблемы; 2 центр кратера; 3 - прослеженные, а также предполагаемые или в настоящее время не выраженные участки кольцевых валов; 4 - мезозойские породы мишени; 5 - палеозойские породы мишени; 6 протерозойские породы мишени; 7 - архейские кристаллические по роды мишени. <u>Легенда к разрезу:</u> 8 - аутигенный компонент основания кратера: породы зоны дробления и разломов; 9 - аллогенный компонент основания кратера: породы зоны пластического течения; компоненты аллогенного выполнения кратерной воронки: IO - клиппеновая брекчия; II - метабрекчия; I2 - импактные расплавные породы спёкшейся толщи; I3 - отложения взрывного облака - зювиты.

Ш. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ В СТРУКТУРЕ КРАТЕРА

Кратер Попигайской астроблемы представляет многокольцевой уплощённый бассейн диаметром около 100 км, который в разрезе имеет двухъярусное строение (рис. 1).

Нижний структурный ярус, образующий основание кратера под

поверхностью так называемого "истинного дна", включает в себя как аутигенные, так и аллогенные образования. Первые представлены дислоцированными, но не перемещёнными породами мишени с самыми низшими ступенями ударного метаморфизма и слагают нижнюю часть астроблемы — зону дробления и разломов, которая постепенно смыкается с фоновыми дислокациями района. В аутигенную брекчию "вложено" линзообразное тело слабо-импактированных пород мишени, которые испытали быстрое связное перемещение на стадии ранней модификации кратера и являются уже аллогенными импактитами, слагая зону пластического течения.

К верхнему структурному ярусу относится аллогенное выполнение кратерной воронки, которое состоит из интенсивно перемешанных и в целом более глубоко импактированных пород мишени.

На стадии ранней модификации структура кратера была осложнена внутренним кольцевым валом архейских гнейсов (вал П на рис. 1) и центральным поднятием, которые представляют сингенетичные элементы строения. Два других вала, фрагментарно выраженные в современной топографии бассейна, являются наложенными элементами структуры кратера и имеют эрозионное (вал 1) и комплексное (вал Ш: оползни импактного расплава + изостазийная релаксация воронки + эрозия) происхождение. Вал архейских гнейсов разделяет полость кратера на внутреннюю воронку и кольцевой жёлоб, на оси которого современная глубина кратерного дна достигает 1.5 - 2 км и более /22/.

Приповерхностная геология астроблемы отражает, в основном, зональную радиально-концентрическую структуру аллогенного выполнения кратерной воронки, в то время как подкратерные импактиты почти не обнажены и известны лишь в пригребневой зоне вала П в западном секторе астроблемы /5, 22/. Аллогенное выполнение кратера состоит из различных отложений центробежного донного потока и взрывного облака.

Центробежный донный поток представлял серию пологих плотных струй активизированного материала, который растекался из внутренней области кратера с интенсивным перемешиванием на уровне мега- и макромасс. В итоге возникла сложная структура пространственного взаимоотношения донных фаций, характеризуемая цементированием и взаимопроникновениями одних продуктов в другие, с образованием множественных струйно-вихревых переплетений, апофиз и бескорневых отторженцев /2, 3/. Однако, в стеснённых условиях плотной среды неограниченная смесимость продуктов из разных зон импактирования не достигалась, и на уровне индивидуальных тел импактитов, особенно расплавных, наблюдаются резкие контакты или быстрые, на расстоянии первых дм и м, переходы. Вполне возможно, что многие из таких тел являются своеобразными остатками соответствующих зон ударного метаморфизма. К отложениям центробежного донного потока относятся клиппеновые брекчии, мегабрекчии, туфовидные донные брекчии и тагамиты. Значительная часть тагамитов и богатых стеклом туфовидных брекчий сконцентрирована в пределах так называемой спёкшейся толши.

Материал взрывного облака в условиях относительно свободного разлёта и перемешивания обладал более выраженной гомогенностью, и зювитовые толщи в целом гораздо более монотонны по составу и строению, чем отложения центробежного донного потока, а признаки неограниченной смесимости компонент из DASHLIX Тем не зон импактирования прослеживаются даже на микроуровне. менее, сложная внутренняя структура взрывного облака запечатлелась в строении зовитовых толщ, сообщив им определённую зональность в плане и в разрезе. Кроме того, между некоторыми телами эювитов иногда отмечаются не только постепенные контакты, но и резкие границы. К отложениям взрывного облака OTHOсятся, по /3, 5/, зовитовые пески, далдынская брекчия, парчанайская брекчия и зювитовые мегабрекчии. Известны и другие, пока недостаточно изученные фациальные типы зювитов, часть KЗ которых похожа, например, на "возвращённый зювит" кратера Рис по /43/.

Различные процессы постимпактного перераспределения вещества (оползни со склонов вала архейских гнейсов, инъекции погребённого тагамитового расплава и другие процессы) усложнили итоговую структуру взаимоотношения баллистических и донных фа-



Рис. 2. Постимпактная модификация Попигайской астроблемы под действием региональной блоковой тектоники. I – ареал распространения импактитов всех типов; 2 – древние возрождённые и постимпактные разломы нескольких популяций; 3 – максимально приподнятые блоки; 4 –умеренно приподнятые блоки; 5 – слабо приподнятые блоки.

ций. Тем не менее, общая двучленная структуворонки ра выполнения сохранилась: ЗЮВИТОВЫС фации венчают разрез импактитов и занимают внутреннюю часть кратера, в то время как отцентробежного ложения донного потока тяготерт к нижней части воронки и обнажаются преимущественно по периферии кратера.

На стадии геологической жизни астроблема тектонизирована. была подвергнувшись расчленению на серию блоков с дифференцированной подвижкой (рис. 2). Вероятнее всего, блоковые движения начали проявляться уже на стадии релаксации воронки кратера, период которой

для объекта диаметром 100 км составляет порядка 20-30 тыс. лет по данным /II/. Разломная тектоника Попигайской астроблемы исследована слабо, и приведённая на рисунке схема базируется на наблюдениях "срезанных" контактов импактитов, уступов в рельефе и прямолинейных отрезков речных долин. Тем не менее, можно выделить как минимум две популяции разломов. К первой популяции относятся древние возрождённые разломы, унаследующие направление мощной региональной зоны дислокаций запад-северо-западного направления и пересекающие северную часть кратера. Ко



Рис. 3. Ареал зювитовой мегабрекчии в Попигайской астроблеме. I - эювитовые мегабрекчии; 2 - другие импактиты Попигайского комплекса; 3 - осадочные породы чехла; 4 -кристаллические породы фундамента; 5 - разломы разных популяций, контролирующие блоковую тектонику района; 6 - осевая линия внутреннего вала архейских гнейсов; 7 - осевая линия кольцевого жёлоба кратерной воронки; 8 - центр астроблемы; 9 - обнажения зювитовой мегабрекчии и их номер; 10 - скважина № I А.И.Трухалёва(1973), вскрывшая подошву зювитовых мегабрекчий; II - обнажения зювитов, содержащих единичные включения глыб зовитовой мегабрекчии, и номер этих обнажений; I2 - скважины А.И.Трухалёва (1973), встретившие в зювитах единичные включения глыб зовитовой мегабрекчии, и номер этих скважин.

второй популяции, молодой и активно развивающейся в настоящее время, относятся разломы ортогональной субширотно-субмеридиональной системы, которые отчётливо фиксируются уступами рельефа и даже, по данным М.Т.Кирюшиной (1955), влияют на характер накопления современного руслового аллювия реки Попигай. Дифференцированные блоковые движения дополнительно осложнили структуру астроблемы и вызвали её неравномерную эрозию. В предположении, что главные границы раздела в импактитах астроблемы обладали первоначально правильной формой вогнуто-параболического или подобного типа, сопоставление наиболее приподнятой западной и наиболее погруженной восточной частей астроблемы показывает, что возможный размах относительного смещения блоков MOL достигать первых сотен метров. Косвенно об этом говорит и асимметрия рельефа "истинного дна" кратера, приведённая в работе /22/: элементы этой асимметрии и схема блоковой тектоники, показанная на рис. 2, сопоставляются.

Зювитовые мегабрекчии занимают определённую геологическую позицию в структуре Попигайской астроблемы.

В латеральном плане (рис. 3) область их распространения приурочена к средней и краевой зонам кратера, примерно соответствуя положению кольцевого жёлоба. Здесь они образуют прерывистое кольцо выходов, расположенных не ближе к центру, ЧӨМ осевая линия вала архейских гнейсов (самый внутренний пункт обнажение 2171, расположенное в 22 км от центра кратера). Внешняя граница распространения эювитовых мегабрекчий в целом HΘ выходит за пределы осевой линии вала I (рис. I), и только в северо-восточной части астроблемы поле зрвитовых мегабрекчий вплотную приближается к её краю, с удалением на расстояние до 42 км от центра (обнажения 2312, 2314, 2315 и 2331). Следует отметить, что внешняя граница ареала отвечает современной стадии эрозии астроблемы, и первоначально зювитовая мегабрекчия могла распространяться даже за пределы кратера.

В разрезе аллогенного выполнения кольцевого жёлоба зювитовые мегабрекчии также занимают определённое место, приуроченные к кровле отложений взрывного облака, и на современной



Рис. 4. Геологическая позиция эювитовых мегабрекчий в разрезе отложений кольцевого жёлоба сразу после образования кратера (вне масштаба).

(вне масштаба). А - зона кольцевого вала архейских гнейсов с системой центробежных и центростремительных потоков импактного расплава, стекавших с его склонов. Остальные обозначения: 1 - эювитовые мегабрекчии; 2 - прочие эювиты астроблемы; 3 - тагамиты и другие расплавные импактиты спёкшейся толщи; 4 - донные брекчии разных типов; 5 - основание кратера.

стадии зрозии часто являются самым верхним звеном этих отложений (рис. 4). Реже на зювитовых мегабрекчиях залегают другие отложения взрывного облака (см. обнажения 2312, 2154 и 2156 в разделе IV.2.). Согласно разрезу скважины I А.И.Трухалёва, зювитовые мегабрекчии в пределах кольцевого жёлоба подстилаются различными эювитами (рис. 5). В краевой части астроблемы (бассейн реки Эгэ-Юрэгэ) зювитовая мегабрекчия входит в непосредственный контакт с такими донными отложениями как клиппены и донные мегабрекчии, а промежуточная толща зювитов здесь совсем выпадает из разреза (или резко сокращена по мощности и присутствует фрагментарно ?).

В одной из прежних работ автора часть зювитовых мегабрекчий (обнажения 622 и 2154) была отнесена к обычным зювитам в связи с недостаточной обнажённостью разрезов /9/. Знакомство с результатами горных работ Л.П.Смирнова /28/ на обнажении 622 показало, что оно представлено зювитовой мегабрекчией, так как содержит несколько глыб песков апт-туронского возраста,одна из



Рис. 5. Контакт зрвитовой мегабрекчии с подстилающим зрвитом, геологический разрез по скважине I А.И.Трухалёва (1973).

Описание А.И. Трухалёва: І — рыхлые неогенчетвертичные отложения; 2 — слабосцементированые псаммитовидные туфы; 3 — те же туфы с обломками спёкшихся андезитовых туфов; 4 — крупная глыба спёкшихся андезитовых туфов в интервале 84.7-86.5 м; 6 — положение других крупных глыб, не выражаемых в масштабе разреза. <u>Интерпретация автора</u>: 7 — зовитовые мегабрекчии; 8 — зовитовые пески (слева) и они же, с включениями спёкшихся туфов (справа).

мером 0.7, I.O, 2.6 и 2.1 м на глубинах 37, 73.5, IOI,и I98 м соответственно; скважина 5, глыба глины 2,1 м величиной, глубина IO8.2 м; скважина 6, глыба плотной глины величиной IO.5м с пластом угля мощностью I.6 м на глубине I54 м.

которых имеет поперечник 7.7 м. Дополнительные наблюдения автора на обнажении 2154 также показали,что нижняя часть последнего сложена зрвитовой мегабрекчией.

К описанию геологической позиции зрвитовых мегабрекчий в кратере можно добавить. **UTD** единичные крупные глыбы рыхлых пород чехла встречаются в самых различных участках 3ЮВИтовой полши (рис. 3). Находки таких глыб в сквалинах А.И. Трухалёва (1973) следуюшие: скважина 4 глыбы глин раз-

ІУ. ОБЦАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Как и многие другие импактиты, зрвитовые мегабрекчии фактически являются полимегафацией, состоящей из фациальных единиц разного уровня. К единицам исходного уровня относятся NHдивидуальные лито- и витрокласты, которые характеризуют CT0пень ударного метаморфизма пород мишени. К единицам следующего уровня относятся смеси лито- и витрокласт разного состава, отражающие условия эскавации, взаимодействия и конденсации импактированного материала мишени - это индивидуальные тела зювитов разного состава, а также скопления глыб мегабрекчии. К елиницам высшего уровня относятся конкретные тела зреитовой мегабрекчии со всеми особенностями их строения, отражающие условия взаимодействия разнообразных уже возникших смесей на заключительной стадии образования породы.

Вообще говоря, вопрос об импактных фациях остаётся слабо разработанным, хотя предложено несколько вариантов соответствующего расчленения импактитов /32, 47/.^{*} Если производить фациальный анализ зювитовой мегабрекчии (или любой другой полимегафации) по одному, отдельно взятому признаку, который произвольно выбран из всей гаммы условий образования, то одна и та же порода при разных подходах может стать представителем самых разных фаций, причём будет трудно сказать, какой из предложенных признаков наиболее важен. В результате неизбежен односторонний подход, и задача фациального расчленения всего комплекса импактитов усложняется.

Поэтому, при фациальном анализе импактитов вероятно целесообразно создавать не множественные системы мало связанных между собой фаций, базирующихся на отдельных, произвольно выбранных признаках, а руководствоваться в первую очередь тем, насколько чётко обособлен геологически тот или иной объект. Тог-

ж - вслед за /3L/ мы понимаем под импактной фацией пространственно обособленное геологическое тело, отличное от смежных одновозрастных образований по некоторым определённым признакам, связанным с условиями происхождения.



Рис. 6. Детальное пространственное расположение обнажений зювитовой мегабрекчии 2169 и 2170.

да расшифровка причин обособленности этого объекта естественным путём даст тот фациальный критерий расчленения, который действительно важен.и может быть использован для построения примципиальных схем.

Зювитовые мегабрекчии выделяются в особый фациальный тип отложений взрывного облака.

IJ.I. Опорные разрезы

К опорным разрезам зювитовых мегабрекчий, содержащим наиболее характерные признаки этих образований, относятся обнажения 2169 и 2170, схема расположения которых приведена на рис. 6.

Обнажение 2169, правобережье Попигая в 7-8 км выше фактории. Здесь река подрезает южные склоны выс. 51.0 м, и в береговом обриве на протяжении около 600 м вскрываются импактиты, представленные то припойменными "щётками", то обрывами высотой до 10-12 м. Сплошной разрез наблюдается, главным образом, в зоне паводковой активности, на высоту до 5-6 м. Под напором реки обнажение быстро разрушается, и некоторые его мелкие детали утрачиваются ежегодно. Описание проводится с западного окончания обнажения.

Интервал 0-15 м. Неправильное тело зювитов со стенообразно-воздымающимся апофизом, отпрепарированным эрозией. Порода относится к далдинскому типу (см. характеристику в разд. IУ.4), умеренно-консолидированная. В обычном мелкообломочном базисе выделяются редкие комки чёрных, зелёных и светло-зелёных апогнейсовых стёкол величиной до первых см.

Интервал 15-42 м. Глыба рыхлых мезозойских пород, сложенная чередованием серых и тёмно-серых мягких глинистых сланцев, а также зеленовато-серых алевропесчаников средней крепости с прослоями углей. Более прочные члены разреза интенсивно раздроблены. Пласты наклонены на восток под разными углами.

Интервал 42-245 м. Полузадернованные выходы глыб рыхлых мезозойских и кайнозойских (?) пород величиной до нескольких м представленные окрашенными в серые, зеленовато-серые и тёмносерые тона глинами, глинистыми песками и глинистыми песчаниками, содержащими прослои углей и включения окаменелой древесины. Цементом глыб служит зювитовый песок (см. характеристику в разделе IV.4) с редкими мелкими неправильными включениями зювитов далдынского типа.

Интервал 245-305 м. Разрез тот же, но в отличие от предидущего интервала в связующей массе чаще встречаются включения зовитов, а также довольно крупные тела последних, отмеченные в начале (245-257м) и в конце интервала (280-305 м). Зовиты нормального типа и не содержат крупных комковых включений стекла. В первом из обозначенных тел зовиты умеренно-консолидированные, а во втором - более рыхлые, сыпучие.

Интервал 305-345 м. Две крупные глыбы мезозойских пород, разделённые зоной дробления (325-330 м). Первая глыба сложена жёлтыми песками, а вторая - чередующимися пластами белых песков, содержащих линзы гравелито-конгломератов и прослои окаменелой древесины. В западной части второй глыбы видимая часть разреза начинается (снизу вверх) пачкой "бумажно-чередующихся" серых песков и чёрных углистых прослоев (0.4 м), затем идёт слой лигнита (0.12 м), пласт крепких углистых алевролитов с обильной флорой (0.5 м) и наконец, мощный (около 3м) пласт лигнита. Слои в обоих глыбах наклонены на юго-запад; для одного из замеров это аз. падения 212° , угол 42° . На контакте двух мелких глыб из зоны дробления отмечаются следы древнего подземного пожара с кирпично-красной зоной отжига мощностью 0.3 м. В зоне дробления найден обломок фосфатного зеленовато-серого песчаника, богатого фауной^ж.

Интервал 345-467 м. Задернованные осыпи и оползни рыхлых пород обнажения, прикрытые алловием поймы. Последние 40 м интервала - большой цирк оползня. У вершины цирка вскрывается несколько глыб мегабрекчии размером в несколько м, сложенных светлоокрашенными песками и глинами с пропластками углей и цементируемых зовитовыми песками с включениями зовитов далдынского типа. В восточном борту цирка к ним добавляется глыба белёсо-розовых пластичных песчанистых глин.

Интервал 467-479 м. Дайковидное тело эювитов, стенообразно возвышающееся на 10-12 м и отпрепарированное эрозией.В обоих бортах тела находятся глыбы светлоокрашенных мезозойских песков с включениями углистого вещества, цементируемые эювитовым песком. Завихряющиеся "шнуры" и округлые включения материала глыб и эювитового песка внедрены в тело "дайки". Основная часть "дайки" сложена нормальным эювитом далдынского типа с добавлением мелких обломков белёсого пористого стекла. Местами преимущественно у восточного борта "дайки" в эювите содержатся очаговые скопления комков, размерами до 3-5 см, "вскипевших" стёкол разной окраски: зелёных и тёмно-зелёных, сивых, синевато-серых и чёрных.

Интервал 479-589 м. Мегабрекчия рыхлых мезозойских и кай-

ж - ПО Заключению А.Л.Бейзеля, эта фауна имеет валанжинский возраст и представлена Buchia sp. ind., Praeexogira cf. anabarensis Bodul., Pleyromia (?) sp. ind., Limidae gen. et. sp. ind. и Heterodonta gen.et.sp.ind.

нозойских (?) пород. образующих глыбы, размером до нескольких м. сложенные серыми и тёмно-серыми мягкими аргиллитами и алевролитами, а также чёрными углисто-глинистыми породами. Глыбы менее І м в поперечнике часто округлены. Кроме глыб, в цементе породы часто содержатся обрывки пластов углисто-глинистых пород. образующих струи волочения. Цементом мегабрекчии СЛУЖИТ зювитовый песок с редкими мелкими включениями зювитов, величиной от первых см до 0,5 м. При резком контакте с зювитовым песком, эти включения имеют очень сложную струйную форму, однако следов дробления не проявляют. Это показывает, что включения попали в цемент как ещё горячие, пластичные и подвижные, но уже литоидные и чётко обособленные массы. Все зювиты включений относятся к разностям далдынского типа, но слагаемые ими тела индивидуальны по своим особенностям (окраска, размеры обломков и т.д. На участке 549-589 и количество таких включений возрастает. Первые 40 м описываемого интервала выходы мегабрекчии частично задернованы и образуют "шётки" на пойме.

Интервал 589-599 м. Пёстрая мегабрекчия рыхлых пород мишени, представленная глыбами, размером до нескольких м, и "полосами волочения" пластов угля, тёмно-серых углисто-глинистых сланцев, зеленовато-серых мягких аргиллитов, алевролитов и глин; часты обломки окаменелой древесины; встречаются единичные мелкие глыбы древних пород мишени, включая и архейские.Цементом служит мелкообломочная масса этих же пород, с добавлением зювитового песка с редкими обломками стёкол.

Интервал 599-616 м. Глыба слоистых песчано-глинистых мезозойских пород, которая далее на восток скрывается под осыпью, но визуально издалека создаётся впечатление, что эта глыба или её фрагменты протягиваются ещё примерно на 50 м. Породы глыбы образуют изогнутую скобообразную складку, в западном борту которой слои наклонены по аз.185⁰, угол 45⁰. Видимая часть разреза в конечной части глыбы (616-й м) начинается пластом крепких песчаников, на которые налегают ритмично-чередующиеся зеленовато-серые мягкие глины, алевролиты средней крепости и углисто-глинистые сланцы.

Обнажение 2170, правобережье Попигая в 5-6 км выше фактории. Здесь река подрезает южные склоны выс. 51.0 м, и в береговом обрыве на протяжении около 1300 м в различном виде (от от припойменных "щёток" до выходов высотой до 17-20 м) вскрываются импактиты, сплошной разрез которых наблюдается, главным образом, в зоне паводковой активности, на высоту до 5-6 м. Обнажение быстро разрушается рекой, ежегодно теряя некоторые детали. Описание проводится с западного конца обнажения.

Интервал 0-355 м. Разрозненные небольшие выходы глыб мегабрекчии и её связующей массы на пойме. На участке I25-I50 м серия таких выходов. Глыбы мегабрекчии представлены голубовато-серыми алевролитами и светлыми слабосцементированными песчаниками с обломками окаменелой древесины. Цементом глыб служит эювит далдынского типа. К обычным его особенностям добавляется присутствие комков 3-7 см тёмно-зелёных и чёрных "вскипевших стёкол, а также обильные бурые "окатыши" лапиллиевой размерности, которые, возможно, представляют так называемые "аккреционные лапилли" (см. раздел IУ.4).

Интервал 355-500 м. В появившемся береговом обриве - рыхлые четвертичные отложения, а на пойме по-прежнему отдельные мелкие выходы мегабрекчии и её эрвитового цемента. В частности, на участке 355-380 м у уреза воды находится группа выходов эрвитов далдынского типа с папиллями чёрных и тёмно-зелёных стёкол; в одном из этих выходов эрвиты демонстрирурт мнимо-вторичные взаимоотношения, когда во вмещающем эрвите одной генерации содержатся обломки 10-30 см величиной, более крепкого и обогащённого стеклом эрвита другой генерации.

Интервал 500-570 м. Глыбы, размером до нескольких м, сложенные рыхлыми мезозойскими и кайнозойскими (?) породами; сюда же добавляется несколько мелких (I-2 м) включений карбонатных пород кембрия и протерозойских кварцитопесчаников. В последних хорошо развиты бречии "грис". Цементом глыб служит вювитовый песок, особенностью которого является повышенное количество обломков долеритов и архейских гнейсов. В этом песке содержатся также разрозненные включения зювитов далдынского типа величиной от нескольких см до 1.5 м. Границы этих включений резко очерчены, а формы выделения сложные неправильные, со следами пластической деформации. На участке 545-555 м у поймы находится остаток крутостоящего дайковидного тела зювитов умеренноконсолидированных. Среди макрообломков пород мишени в этих зювитах нередки включения палеозойских и протерозойских пород, а среди обломков стёкол лапиллиевой размерности преобладают белёсые пемзовидные разности. В теле зювита находитоя также несколько грубо окатанных обломков гнейсов, а также включение 0.4 х 0.6 м, сложенное мягким глинисто-слюдистым песком пёстрой буро-зеленовато-серой окраски.

Интервал 570-620 м. Глыба (или серия из 3 глыб, разделяемых промоинами), с видимой высотой до 20 м, сложенная пластами белых слоистых рыхлых песков, наклонных по аз. 290-295° с углом падения 70-73°. В этих песках ритмично через I - 3 м содержатся линзы гравия и конгломератов с окаменелой древесиной, а также прослои углисто-глинистого вещества и пласт 0.5 м мощностью крепких чёрных углистых сланцев, богатых отпечатками флоры, подстилаемый слоем лигнита мощностью 0.2 - 0.3 м.

Интервал 620-750 м. Глыбы до нескольких м в поперечнике, сложенные различными рыхлыми породами песчано-глинистой серии, из которых можно особо отметить мягкие глинистые гравелито-песчаники бурой окраски. Здесь же находится несколько глыб 2 х 3 м, представленных белым сахаровидным исключительно крепким песчаником с почковидной скульптурой на поверхности. Связующей массой глыб служит зювитовый песок с бескорневыми мелкими, до I м, включениями далдынских зювитов сложной неправильной формы и со следами пластической деформации. Каждое из таких включений индивидуально (по размеру и окраске обломков стёкол и т.д.)

Интервал 750-772 м. Дайкообразное тело зювитов, вертикально секущее обнажение на высоту до IO-I2 м. Строение его сложное. Осевую часть "дайки" и её северо-восточный борт слагают нормальные янтареносные зювиты далдынского типа, с редкими мелкими глыбами различных осадочных пород. Зювиты юго-западного борта содержат лепёшковидные или изометричные комки, величиной от первых см до 2-3 дм, разнообразно окрашенных "вскипевших" стёкол. У верхней кромки обнажения на оси "дайки" в зювит погружена глыба 2 х 5 м светлых сыпучих глинистых песков с прослоем угля. На фоне всеобщего хаоса дробления и перемешивания остальных компонентов зювита эта глыба выглядит особенно парадоксальным островком устойчивости.

Интервал 772-865 м. Глыбы рыхлых мезозойских и кайнозойских (?) пород песчано-глинистой серии, размерами до нескольких м, цементируемые зювитовым песком.

Интервал 865-945 м. Блок деформированных мезозойских пород, сложенный пластами рыхлых светло-жёлтых песков, бурых песков и серых алевролитов, с пачками угля и прослоями обугленной древесины. В западной части блока пласты наклонены по аз. 230°, угол 25°, а.в восточной части - по аз. 242°, угол 25°.

Интервал 945-1300 м. Полузадернованные выходы глыб мегабрекчии, отчётливо обнажающиеся только в зоне поймы. В составе глыб по-прежнему доминируют рыхлые мезозойские и кайнозойские (?) породы: пески, глины, глинистые песчаники, углисто-глинистые отложения. В районе пикета 1030 м находится группа глыб тёмно-зелёного песчаника. Цементом глыб служит зювитовый песок с мелкими пластично-деформированными включениями зювитов далдынского типа, имеющими сложную, часто струйно-вихревую форму и резкие контакты с песком. На участке IIOO-II2O м встречено несколько таких тел эювитов, отличных тем, что наряду с обычными особенностями они содержат крупные комки чёрного стекла. обломки гнейсов, а также "окатыши" лапиллиевой размерности,напоминающие аккреционные лапилли. В этих же зювитах содержатся обломки зювитов иного состава, обильно (до 50% объёма) насыщенных дресвой чёрного стекла, но не спёкшихся.

Далее на восток, в задернованном береговом уступе реки на протяжении около 2 км встречаются разрозненные высыпки материала зювитовой мегабрекчии, а также обнажение богатого стеклом зювита далдынского типа (точка наблюдения 2176 в 650 м от северо-восточного окончания обнажения).

В обоих описанных опорных обнажениях зювитовой мегабрек-

чии найдено несколько обломков экзотической для района породы типа пикритоида[#] с удельным весом 3,3 г/см³ и порфировой структурой.Фенокристы, размером до I см, представлены пироксеном и оливином; основная масса сложена плагиоклазом, пироксеном, оливином и рудным.

IУ.2. Контакты

Зювитовые мегабрекчии находятся в контакте с разными фациальными типами импактитов астроблемы, и прежде всего, с эювитами. Однако, будучи приурочены к кровле отложений взрывного облака, эювитовые мегабрекчии всё же не являются постоянным венчающим звеком разреза данной толщи. Контакты с самостоятельными телами эювитов могут быть трёх видов: а)постепенный переход к подстилающим или перекрывающим эювитам при общей последовательно-насыпной схеме строения разреза; б)резкие контакты при той же схеме строения разреза; в)секущий контакт со стороны эювитов.

Постепенный контакт с эювитами, которые помимо самостоятельных тел толщи отложений варывного облака выступают и в роли цемента глыб мегабрекчии. заключается в том. что вниз или вверх по разрезу толщи количество связующей массы возрастает и тело мегабрекчии как-бы "растворяется" в ней, вплоть до единичных глыб, плавающих в эювите. Граница раздела собственно 310витов и эювитовых мегабрекчий становится в этом случае весьма условной. Примерами постепенного перехода к перекрывающим 310витам могут служить разрезы обнажений 2312 (рис. 7) и 2154 (рис. 8). Примером постепенного перехода к подстилающим SDBNтам может служить разрез, пройденный скважиной № 1 А.И.Трухалёва (рис. 5). Обнажения зювитовой мегабрекчии вблизи данной

ж - химический состав одного из обломков, вес. % SiO₂ - 43.95; TIO₂ - 2.60; Al₂O₃ - 9.72; FeO - 9.55; Fe₂O₃ - 4.92; MnO - -0.18; MgO - 12.08; CaO - 10.90; K₂O - 1.35; Na₂O - 2.32; P₂O₅ - 0.40; SO₃ - 0.12; nnn - 1.54 и сумма - 99.64.



Рис. 7. Скопление глыб зювитовой мегабрекчии в зювите, деталь обнажения 2312.

I - осыпи и задернованные склоны; 2 - эрвиты; 3 - глыбы рыхлых мезозойских и кайнозойских (?) углисто-песчано-глинистых пород (в обозначении показаны слева направо, соответственно); 4 глыба карбонатных пород кембрия.

скважины и общая схема геологического разреза кратерных отложений в кольцевом жёлобе подтверждают такую интерпретацию разреза скважины. Постепенные переходы между зовитами и зовитовыми мегабрекчиями по схеме последовательного насыпного отложения показывают, что для данных образований границы соответствующих родительских зон во взрывном облаке на стадии коллапса последнего были размыты процессами смещения, и материал оседал монотонным спложным потоком.

Резкий контакт зивитовой мегабрекчии с перекрывающим зивитом можно показать на примере геологического разреза в обнажении 2156 (рис. 8). Здесь на зивитовую мегабрекчию с резким неровным контактом вначаже налегают обыкновенные зивиты далдынского типа, а затем зивиты, насыщенные крупными, до I-2 м, бомбами "вскипевшего" чёрного стекла. Резкий контакт показывает, что для случая данных образований материал на стадии коллапса взрывного облака отлагался из дискретных струй, с некоторым временным перерывом.

Секущие контакты со стороны звритов встречены в обнажени-



Рис. 8. Сложный рельеф границы зовитовых мегабрекчий с перекрывающими зовитами: а) обнажение 2154, контакт типа постепемного перехода, предполагающий совместное отложение зовитов и мегабрекчий; б) обнажение 2156, резкий контакт между породами, предполагающий прерывистое отложение из дискретных струй.

1 - осыли и задернованные участки; 2 - зрвитовые мегабрекчии;
3 - зрвиты далдынского типа; 4 - зрвиты, насыщенные крупными бомбами "вскипевнего" импактного стекла.

ях 2169 и 2170 (см. описание в предыдущем разделе), где зовитовые мегабрекчии содержат дайкообразные тела зовитов мощностью 12 м и 22 м соответственно. Контакты зовита с мегабрекчией резкие, но со следами взаимодействия обеих стором в пластичноподвижном состоянии. Такие контакты показывают, что зовит мог выдавливаться снизу на заключительных стадиях оседания материала обоих типов отложений.

Помимо контакта с отложениями взрывного облака, зовитовые мегабрекчии в некоторых случаях входят во взаимоотношения с разными фациями центробежного донного потока.

В северном и северо-восточном секторах астроблемы наблодается контакт с клиппеновыми блоками и донными мегабрекчиями, то-есть, разделяющая толща зювитов здесь выпадает из разреза. Непосредственный контакт наблюдался в 1.5 км на восток от обнажения 2331. Здесь, среди клиппенов и донных магабрекчий в понижениях рельефа на склоне речной долимы встречены два небольших карманообразных тела зовитовой мегабрекчии размерами до 100 м (обнажение 2333) и до 20-30 м (обнажение 2334). Видно, что зовитовая мегабрекчия облекает здесь неровный рельеф поверхности отложений центробежного донного потока. В других местах данной части астроблемы контакт зовитовой мегабрекчии с донными отложения задернован, но выходы и тех, и других отложений близко расположены (первые сотны м), а зовитовая мегабрекчия бывает гипсометрически ниже, чем соседние клиппены.

В западной части астроблемы зовитовая мегабрекчия с резким контактом перекрыта пластовой залежые тагамитов (обнажение 622). Такой контакт объясняется перераспределением материала в период ранней постимпактной модификации кратера, когда со склона вала архейских гнейсов в кольцевой жёлоб начали стекать потоки тагамитового расплава.

19.3. Глыбы зрвитовой мегабрекчии

Крупные глыбы пород мишени, выделяющие зовитовую мегабрекчию среди других отложений взрывного облака, имеют размеры от I до 80 м. Самыми крупными из инх являются блоки меловых песчано-углисто-глинистых отложений в облажении I308 (рис. 9) и в обнажении 2170 (интервал 865-945 м). Глыбы меньших размеров (0.2-1 м), постоянно присутствующие во всех зовитах, для описываемой мегабрекчии уже не являются типоморфными.

Распределение глыб в теле зовитовой мегабрекчии часто неравномерное, от скученных скоплений с ограниченной добавкой цемента до участков, где последний преобладает. В среднем, содержание глыб по обнажениям мегабрекчии колеблется от 10 до 50 объ.%, а в скважиме А.И.Трухалёва (рис. 5) составило 12 объ.%.

Для большинства тел зпритовой мегабрекчии в составе глыб резко доминирурт мезозойские и кайнозойские (?) породы, представленные всевозможными рыхлыми отложениями: сыпучими или слабосцементированными светлоокрашенными песками, пёстрыми супе-



Рис. 9. Фрагмент крупной, с видимым поперечником около 40 м, глыбы крутопадарцих песчано-углисто-глинистых пород апт-туронского (по К.С.Забурдину, 1971) взраста. В центре - пласт угля. Обнажение 1308.

сями и суглинками, мягкими жирными или окаменевшими глинами всевозможной окраски, мягкими аргиллитами, алевролитами и песчаниками бурых, зеленовато-жёлтых и серых цветов. Реже в составе глыб встречаются пласты более крепких аргиллитов, алевролитов и песчаников, линам и прослои гравелитов и конгломератов, весьма крепких сахаровидных сливных кварцитопесчаников. Обычной добавкой для многих из этих пород являются остатки окаменелой или обугленной древесины, сидеритовые конкреции, пласти и пропластки углей. В крупных глыбах чередование перечисленных пород нередко носит ритмичный характер.

Возраст таких пород по определениям фауны ауцеля и белемнитов, листовой флоры и споро-пыльцевых комплексов является прениущественно нижне- и верхнемеловым, до сеноманского века включительно (данные Л.П.Смирнова /28/. К.С. Забурдина (1971) и другых авторов). Реже встречалтся породы верхнепрского (фауна ауделл, К.С.Забурдин (1971)) и среднеюрского (фауна ааленского яруса, данные /16/) возраста. Собственные данные автора ограничены валанжинским веком (фауна бухий, гастропод и пелеципод. определения А.Л.Бейзеля и В.А.Захарова) и интервалом от BODXнеюрского до сеноман-туронского времени (споро-пыльцевые комплексы, определения И.А.Кульковой). Данных о кайнозойском B03расте хотя бы части рыхлых пород зювитовой мегабрекчии не получено, но потенциально эти породы в составе импактитов возмо-THH.

В некоторых зовитовых мегабрекчиях при доминирующей роли указанных выше осадочных пород встречаются единичные или умеренно-распространённые глыбы карбонатных пород кембрия и протерозойских кварцитопесчаников. В одном случае отмечена глыба долерита. Размеры всех этих экзотических обломков не превышают первых м. Глыб архейских пород, попадающих в разряд мегабрекчий, пока не встречено.

15.4. Состав и структура цемента зювитовой мегабрекчии

Связующей массой описываемой мегабрекчии служат мелкообломочные отложения взрывного облака — эювитовые пески и зювиты далдынского типа, ранее описанные в работе /5/.

<u>Зрвитовые пески</u> представляют сыпучую или слабосвязанную псаммитовидную массу светло-зеленовато-серой белёсой окраски, кторая на 60-90% по объёму состоит из мелкообломочных (частизы менее I мм) продуктов взрывной дезинтеграции мезозойских и кайновойских (?) песчано-глинистых пород милени. Добавочным компонентом этой массы является дресвяно-щебневый материал "родственных" и "чуждых" включений (IO-40% объёма породы). К "родственным" включениям относятся обломки различных осадочных пород мезозоя и кайнозоя (?), в том числе, окаменелая древесина, уголь, а также хорошо окатанные гальки и гравий древних пород

из разрушенных гравелитов и конгломератов. "Чуждые" включения, захваченные во время транспортировки во взрывном облаке, представлены Литокластами древних пород мишени (гнейсов, кварцитопесчаников, карбонатных пород) и витрокластами импактных стёкол. В редких случаях лито- и витрокласты достигают крупности глыб (0.1-1 м). Некоторые литокласты древних пород грубо окатаны. Хотя примесь "чуждой" компоненты обычно ограничена первыми процентами и лишь иногда достигает 20%, она тем не менее, является характерным признаком зовитовых песков, отличающим их от нормальных осадочных образований. Другим отличием является цементирующая роль по отношению к глыбам мегабрекчии, а также-- иногда - матрацевидная система трещин отдельности, связанная с диагенетическим уплотнением этого насыпного мелкообломочного материала. Вариации в количестве и литологическом составе "родственных" и "чуждых" включений позволяют выделять разные виды зювитовых песков при детальных исследованиях.

Эрвиты даллынского типа представляют слабо- или умеренно литифицированную мелкообломочную породу зеленовато-серых тонов окраски, состоящую из двух основных компонент: "осадочного" (пелито-псаммитовые продукты взрывной дезинтеграции песчаноглинистых пород чехла) и "витрокластического" (частицы импактных стёкол пепловой или мелкообломочной размерности). Соотношение обеих компонент меняется в широких пределах, но в отличие от зрвитовых песков, с которыми далдынские брекчии аналогичны по источнику вещества, доля стекла здесь выше и составляет от 30 до 50-70 объ. %. Второстепенной компонентой далдынских зювитов являются дресвяно-щебневые добавки тех же, что и в предыдущем случае, "родственных" и "чуждых" пород мишени. Отдельные включения этих пород могут иметь размер мелких глыб, О.І-І м. а часть обломков грубо обработана. В некоторых зовитах кроме пепловых частиц, содержатся лапилли и более крупные (I-IO см) обломки и комки импактного стекла.

По вариациям вещественного состава далдынские зовиты могут подразделяться на несколько подтипов. Типичная микроскопическая структура этих пород приведена на рис. 10. Здесь же по-



Рис. 10. Микроскопическая структура зовита далдынского типа: смесь пепловых частиц стекла и псаммитовидных продуктов разрушения рыхлых пород мишени. Оконтурены две аккреционные папилли, большая из которых демонстрирует концентрически—зональное строение. Шлиф 2170/2-86, масштаб 2 мм.

казаны встречающиеся в этих зовитах аккреционные лапилли. Эти лапилли представляют округлые тела размером 1-15 мм, состоящие из тех же продуктов, что и вмещающий зовит, но в 4-6 раз более тонкого размера для частиц. Лапилли имеют концентрически-зональное строение и аналогичны таковым, описанным в зовитах кратера Рис /36, 41/. Считается, что эти лапилли возникают в результате аккреции тонкообломочного материала на каплях води, которая конденсируется во взрывном облаке на стадии его коллапса.

Характерной чертой зовитовых песков и зовитов далдынского

типа является высокая степень закалки и хорошая сохранность импактных стёкол, обломки которых отлагались преимущественно в затвердевшем виде. Лишь для относительно крупных комков отмечаются следы пластической деформации стекла, а также умеренные вторичные изменения. Вместе с тем, в некоторых разностях зови-ТОВ ЛАЛЛИНСКОГО ТИПА НАДЯЛУ СО СВЕДИМИ ВИТДОКЛАСТАМИ ПОЯВЛЯЕТся иногда переменное количество обломков пористых измененных стёкол белёсой светло-зелёной окраски величиной от пепловых до лапиллиевых частиц. При достаточном количестве подобных обломков порода становится переходной разностью между собственно далдынской брекчией и парчанайской брекчией, описанной в работе /5/. В зовитах переходного типа иногда содержатся единичные обломки стёкол, замещаемых целиком на тёмно-зелёные вторичные продукты.

Важная роль осадочных пород в составе связующей массы зъвитовых метабрекчий находит отражение и в валовом химическом составе этой массы (таблица I), который отличается от средних химических составов развитых в астроблеме апогнейсовых зювитов по:/21/. Последние, как и тагамиты (химический состав по /21/) тесно коррелируют по своей валовой петрохимии с различными типами кристаллических пород фундамента мишени, Анабарского цита и цитов в целом (химические составы по /17, 25, 26/). Наибольшие различия между составами цемента мегабрекчий описываемого типа и остальными импактитами астроблемы проявляются по содержаниям кремния, адоминия, железа и магния (рис. II).

Цемент зовитовой мегабрекчии, слагаемый указанными выше типами отложений взрывного облака, может иметь относительно однородную монотонную структуру с постепенными градационными переходами от одних зовитов к другим. Однако, гораздо чаще, структура этого цемента характеризуется как сложное сочетание индивидуальных тел струйной или неправильной формы, с многочисленными взаимопроникающими внедрениями и бескорневыми отторженцами одних зовитов в других. Размеры индивидуальных тел зовитов колеблются в широких пределах – от см и дм до десятков м, а контакты этих тел резкие или типа быстрых переходов. На

Валовый хямический состав Зювитового цемента мегабрекчии (количественный химический анализ, вес. %)

| № № образца | Si0 ₂ | Ti0 ₂ | A1203 | FeO | ₽e2 ⁰ 3 | Mn0 | CaO | MgO | P205 | Na20 | ™ 20 | Ħ ₂ 0⁻ | ппп | сумма |
|-----------------|------------------|------------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| 622/3 2154/I | 68.47 68.82 | 0.54 0.50 | I2.50 I2.09 | 3.04 2.88 | 2.53 2.09 | 0.08 0.06 | 2.43 2.83 | 2 .1 5 2 . 56 | 0.07 0.07 | İ.49 I.3I | 2.36 2.26 | 0.20 0.24 | 4.35 3.88 | 100 . 21 99 . 59 |
| 2156/2 | 65.38 | 0.4I | I0.67 | 2.66 | I.67 | 0.06 | 4.47 | 3.50 | 0.14 | I.25 | 2.39 | 0.2I | 7.II | 99.92 |
| 2169 | 70.16 | 0.55 | 12.50 | 2.53 | 2.33 | 0.07 | 2.14 | I.74 | 0.07 | I.32 | 2.22 | 0.18 | 4.20 | 100.01 |
| 2169/3 | 68.66 | 0.58 | 13.46 | 6 | 6.18 [*] | | 2.48 | 2.27 | 0.09 | I.43 | I.72 | 0.2I | 3.35 | I00.49 |
| 2170/4 | 68.36 | 0.56 | I2.94 | 2.62 | 3.02 | 0.06 | I.76 | 1.8I | 0.06 | I.32 | 2.32 | 0.21 | 4.66 | 99.70 |
| 2170/4a | 69.25 | 0.55 | 13.19 | 6 | •02 [≭] | 0.06 | I.83 | I.6I | 0.09 | I.43 | 2.06 | 0.25 | 4.16 | I00.49 |
| 2170/5 | 73.19 | 0.51 | I2.20 | 3 | •69 [¥] | 0.06 | 1.39 | 1.31 | 0.05 | I.42 | 2.30 | 0.17 | 4.0I | 100.29 |
| 2171/5 | 72.47 | 0.44 | II.78 | 4 | 。49 [¥] | 0.12 | 1.51 | I.38 | 0.09 | I.94 | 3.33 | 0。44 | 2.27 | 100.26 |

ж - общее содержание железа в пересчёте на окисную форму. Зювиты далдынского типа обыкновенные (образцы 622/3, 2169/3 и 2170/4а) и с примесью частиц пористого изменённого светлоокрашенного стекла (остальные образцы).

Рис. 11. Особенности химического состава (вес. %) цемента аювитовых мегабрекчий и его витрокластической компоненты в сравнении с гнейсами кристаллического фундамента мишени.

I – индивидуальные анализы (а) согласно табл. 1, средний со-став (б) и поле сос-TABOB SEBUTOB далдынского типа; 2 апогнейсовые импактные стёкла: ИНДИВИлуальные анализы пепловых частиц (табл. За), лапиллей и бомб (табл. 2а, 3б), "жа-маншинитов"(табл.2б) "xaи общее поле состав-3 -ОВ ЭТИХ СТӨКОЛ; ¹¹ магнезиально--желеэистые" импактные стёкла неясного происхождения (табл. Зв) - индивидуальные ан-



ализы и поле составов; 4 - индивидуальные анализы изменённых стёкол неясного источника (табл. 2в); 5 - архейские гнейсы Анабарского щита по /17/: поле составов и индивидуальные породы (x1, x2 - гиперстеновые гнейсы, x3 - гранулиты хапчанской серии; vI, v2, v3-гиперстеновые гнейсы верхнеанабарской серии; vI, v2, v3-гивы пород Анабарского щита по /26/ и щитов в целом по /25/, в пересчёте на 100% без воды; на диаграмме СаО указаны стрелками а и б соответственно.

границе с глыбами мегабрекчии тела эювитов цемента приобретают конформно-облекающие очертания, но при этом могут наблюдаться внедрения и отторженцы эювитов в глыбах мегабрекчии, Особыми формами являются секущие мегабрекчию дайкообразные тела зювитов.

Активные контакты эювитов и мегабрекчии, необъяснимые с точки зрения простого насыпного отложения материала из взрывного облака, рассмотрены в следующей главе.

IУ.5. Основные различия зовитовых и "донных" мегабрекчий

При формальном подходе оба типа мегабрекчий сходны по целому ряду признаков, что и послужило причиной их объединения в одну группу предыдущими авторами /20, 21 и др./. Аналогия прослеживается по "гранулометрии" (мегаглыбы пород мишени), по типу связующей массы (туфовидные импактные брекчии с примесью стекла) и по её структуре (совокупность индивидуальных тел со следами механической активности и пластичного состояния в момент контакта). Поэтому возникает вполне закономерный вопрос: а нужно пи разделение мегабрекчий астроблемы на две группы?

Более детальное сравнение показывает, что оба типа мегабрекчий имеют важные генетические различия по вещественному составу и способу транспортировки и отложения материала:

 состав глыб: эювитовые мегабрекчии состоят преимущественно из глыб рыхлых молодых пород осадочного чехла, а в "донных" мегабрекчиях превалируют древние крепкие породы чехла и породы кристаллического фундамента;

2) состав цемента: если для эрвитовых мегабрекчий резко преобладают продукты дробления рыхлых молодых пород чехла, то для "донных" мегабрекчий более заметная роль принадлежит древним крепким породам чехла и кристаллического фундамента;

3) характер контактов: если "донные" мегабрекчии находятся в сложных сингенетических взаимоотношениях с другими "донными" отложениями (клиппенами, спёкшимися брекчиями и тагамитами), в том числе выступая цементом клиппенов или, наоборот, цементируясь спёкшимися брекчиями и тагамитами, то зювитовые мегабрекчии находятся в аналогичных взаимоотношениях только с другими отложениями взрывного облака;

4) положение в структуре кратера: "донные" мегабрекчии локализованы в нижней, а зовитовые мегабрекчии - в верхней части разреза аллогенного выполнения кратерной воронки.

У. СЛЕДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛА ЗЮВИТОВЫХ МЕГАЕРЕКЧИЙ НА СТАДИИ ЛИТОИДНОГО СОСТОЯНИЯ ИХ БАЗИСА

Кроме структуры хаотического смешения, присущей для брекчий вообще, спецификой строения завитовых мегабрекчий являются пироко распространённые в них следы динамического взаимодействия между глыбами, цементом и индивидуальными телами цемента. Парадоксальная особенность этих следов состоит в том, что они расшифровываются как результат взаимолействия компонент не на стадии свободного полёта разреженных смесей, а на стадии плотного литоидного и даже частично литифицированного состояния связующей массы. Уже пребывая в таком состоянии и в непосредственном контакте, зовитовые массы разного состава продоржали сохранять некоторое время механическую активность, так же как и отдельные глыбы мегабрекчии, погружённые в этот субстрат. Следы таких взаимодействий можно разделить на "ранние" (стадия пластического состояния связурщей массы) и "поздние", MHNMOвторичные (стадия частичной дитификации и хрупкого разрушения связуршей массы). Признаки механической неустойчивости в конденсированном состоянии свойственны и для других **Минедолто** варывного облака /5/.

Все аплогенные фации астроблемы образуют единый одноактно сформированный комплекс, а зювитовые метабрекчии в их числе в рамках обычного подхода следовало бы рассматривать как результат простого насыпного отложения материала из взрывного облака. Однако, при таком подходе следы динамического взаимодействия компонент зывитовой мегабрекчии, описываемые в настоящей главе, становятся трудно объяснимыми для импактной гипотезы. В то же время, вулкано-тектоническая гипотеза легко снимает проблему, рассматривая указанные следы, особенно мнимо-вторичные, как результат многоактной вулкано-тектонической активнос-



Рис. 12. Следы взаимодействия зювитов в пластичном состоянии - сложные и струйновихревые взаимоотношения.

I - зрвитовые пески; 2 - зовиты далдынского типа обыкновенные: 3 - вювиты даллынского типа. 000гашённые мелкими. І-2 см. обломочками тёмно-зелёного стек-ЛА: В ЭТИХ ЖӨ поролах - повышенное содержание мелких ПИтокласт протерозойских кварцитопесчаников, а в нижней части тела на рис.12-1У ТОИ МЕЛКИХ ВКЛЮЧЕНИЯ зрвитового песка.

Фрагменты обнажений зювитовой мегабрекчии 2315 (1,Ш), 2374(П) и 2170 (1У).

ти. К попытке объяснения этого парадокса в рамках импактной гипотезы мы ещё вернёмся.

У.І. Следы "ранней" механической активности

Следы пластического взаимодействия зовитов разного состава наблюдаются на участках сложного строения цемента мегабрекчии. Контактирующие тела при этом относятся или к разным фациальным типам зовитов (например, зовитовые пески и зовиты далдынского типа, что наблюдается чаще всего), или представляют фациальные разновидности одного и того же типа зовитов, например, далдынских, отличных между собой по содержанию,цвету или размеру обломков стекла, по вариациям в составе литокнаст или по другим признакам.

Следы механического взаимодействия зювитовых тел прояв-

Рис. 13. Следы движения глыб меловых пород в конденсированной литоидной эрвитовой среде (стрелками показано направление движения).

І – ЗЮВИТОВЫЙ ПЕСОК; 2 – ЗЮВИТ ДАДДЫНСКОГО ТИПА; 3 – ТОНКОСЛОИС-ТОЕ ЧЕРЕДОВАНИЕ СВЕТ-ЛЫХ И ТЕМНЫХ ПЕСКОВ И УГЛИСТЫХ ГЛИН, ПОД-ВЕРГШИХСЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМА-ЦИИ; 4 – СЕЛЫЙ СЫПУ-ЧИЙ КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК; 5 – КРЕПКИЙ СЕРЫЙ АЛЕВРОЛИТ.

Фрагменты обнажения 2315.



ляются в извилистой линии контактов с многочисленными бухтообразными и струйно-вихревыми взаимопроникновениями, а также бескорневыми отторженцами одной породы в другой (рис. 12). Сам контакт при этом резкий, практически без градационных переходных зон промежуточного состава. По нашему мнению, такая особенность указывает, что взаимодействие зювитовых масс происходило не в разреженной летящей взвеси, а в условиях плотного литоидного состояния, когда материал зювитов уже "сконденсировался" из взрывного облака.

Другая особенность контактов состоит в том, что богатие стеклом разности зювитов в момент взаимодействия были ещё достаточно горячими, хотя само стекло, исключая крупные комки,уже затвердело. Об этом можно судить по наличию тонких корочек припекания зювитового песка на границе с другими зювитами и по следам сплощивания крупных комков стекла, повторяющим направление контакта, а также по очень изогнутым формам зовитовых струй и внедрений без следов дробления. Из этих признаков следует, что в момент взаимодействия зовиты ещё не подверглись спекательной литификации и находились в пластическом состоянии, способные к деформации и течению.

Механическая полвижность была свойственна не только сконденсированному до литоидного состояния зовитовому материалу, но и погружённым в него глыбам мегабрекчии. Об этом **FOBODAT** следы движения этих глыб в плотной среде, особенно отчётливые ДЛЯ ТЕХ ИЗ НИХ, КОТОРЫЕ СОСТОЯТ ИЗ СЛОИСТОГО ЧЕРЕДОВАНИЯ МЯГких пород (рис. 13). Видно, что во время движения в эювите, фронтальная часть этих глыб претерпела интенсивную пластическую деформацию и абляцию, с затеканием материала на ТЫЛОВУЮ поверхность глыб и с его отрывом. При этом по следу движения глыб возникали вихревые структуры течения. В тыловой области глыб, где обтекающий поток действовал слабо или не действовал вообще, иногда сохраняются даже такие непрочные звенья осадочного разреза, как совершенно несвязные сыпучие пески. Строение влейфов по следу движения глыб показывает, что некоторые из них двигались не только прямолинейно, но и с поворотом или кувырканием относительно центра массы.

Описанные движения материала в условиях литоидного состояния связующей массы мегабрекчий могли происходить только при больших локальных градиентах импульса силы и скорости.

У.2. Инимо-вторичные следы механической активности

Кроме следов взаимодействия питоидных масс эрвитов в связующей массе мегабрекчий иногда встречаются следы уже хрупкого дробления при динамическом контакте питоидного материала с литифицированным. В этом случае наблюдается брекчирование I ступени, когда обломки одних зювитов цементируются другими. Аналогичные брекчиевые структуры описаны А.И.Трухалёвым (1973) в "туфах" (собственно эювитовые толщи – прим. автора) и исполь-

m

Рис. 14. Мнимо-вторичные взаимоотношения зовитов: обломки одной породы цементируются другой породой. 1 - эювиты далдынского типа обычные; 2 - эювиты далдынского типа, обогащённые обломками чёрного стекла. Фрагмент обнажения 2170.

зуются как доказательство длительного многофазного развития Попигайской структуры сторонниками вулкано-тектонической гипотезы. Сторонниками импактной гипотезы присутствие таких брежчий игнорируется.

Размеры обломочных включений одних зювитов в других колеблются от первых см до первых дм, а содержание этих включений не превыщает первых объёмных процентов на осматриваемом участке. Во вмещающей массе такие обломки произвольно рассеяны, но иногда группируются в шнуровидные цепочки (рис. 14). Среди обломков, наблюдавшихся автором, всегда выступали обогашённые стеклом эювиты далдынского типа. В одних случаях такие обломки более литифицированы, чем вмещающая масса (вследствие спекания ?) и рельефно выступают на выветрелой поверхности породы благодаря своей прочности. В других случаях степень литификации обломков и вмещающей массы одинакова, но обломки хорошо выделяются по обогащённости частицами стекла и более крупному размеру этих частиц.

В общепринятом понимании, обломки одной породы, включён-

ные в другую, считаются чётким признаком разновозрастности данных пород. и подобное заключение хорошо согласуется с вулкано-тектонической гипотезой образования Попигайской структуры Напротив, для импактной гипотезы, рассматривающей тодщу отложений взрывного облака как одноактно образованный комплекс.такое заключение является противоречием. Тем не менее, поскольку в пользу импактной гипотезы собрано такое большое количество неопровержимых доказательств, что сомневаться здесь не приходится, автор считает, что описанные взаимоотношения SUBNIOB являются мнимо-вторичными, а их образование связано со спецификой Попигайского импактного события. Некоторые соображения на этот счёт высказаны в главе УП.

Ещё одним примером мнимо-вторичных взаимоотношений, HO уже на уровне зювитовой мегабрекчии в целом, являются секущие тела зрвитов, встреченные в обнажениях 2169 и 2170. В контакте с"дайками" зрвитов здесь находятся и глыбы меловых пород. И зовитовые пески связующей массы. Эндогенная вторичная природа "даек", в русле вулкано-тектонической гипотезы, отклоняется по тем же соображениям, что и для мнимо-вторичных взаимоотношений зювитов. Предположение о том. что "дайки" возникли при заполнении сверху, когда зювит отдагался в зияющие полости МОЖДУ глыбами мегабрекчии, также несостоятельно как по характеру контактов (обоюдное динамическое взаимодействие в пластично-подвижном состоянии), так и по неспособности сыпучего материала мегабрекчии "держать" стенки открытых полостей. Разумной альтернативой остаётся предположение, что зювиты были выжаты в тело мегабрекчии снизу сразу ве после совокупного отложения из взрывного облака или на завершающей стадии этого отложения.

УІ. УДАРНЫЙ МЕТАМОРФИЗМ ПОРОД МИШЕНИ В ЗЮВИТОВЫХ МЕГАБРЕКЧИЯХ

Одним из наиболее впечатляющих парадоксов является избирательная интенсивность ударного метаморфизма в глыбах и связующей массе зювитовых мегабрекчий, коррелирующая с положением исходных пород в разрезе мишени. Так, для мезозойских и кайно-

зойских (?) звеньев этого разреза изменения, в основном, не выходят за рамки дислокаций, сходных с обычными тектоническими; для карбонатных пород кембрия и протерозойских кварцитопесчаников мы имеем уже явные следы слабого ударного метаморфизма, а архейские гнейсы импактированы до ступеней 1-1У по Д.Штоффлеру /46/, с параметрами воздействия по давлению до 45-90 ГПа, а по температурам - до 3000°С.

Мезовойские и кайнозойские (?) породы. В большинстве случаев обломки этих пород с размерностью от обычных глыб(0.1-1 м) до глыб мегабрекчии (более 1 м) не несут следов даже обычной интенсивной тектонической деформации и наблюдаются как умеренно или слабо трециноватые фрагменты осадочного разреза. В особенности это присуще для таких рыхлых мягких пород как пески, глины, слабосцементированные алевролиты и песчаники. В других случаях обломки несут следы интенсивной механической деформации: для мягких пород это пластический изгиб, смятие, течение, а для крепких пород - аргиллитов, алевролитов и песчаников дробление, Однако, следов даже слабого ударного метаморфизма, таких как брекчии "грис" и конусы разрушения, при этом не отмечено.

Карбонатные породы кембрия и протерозойские кварцитопесчаники. Глыбы и обломки этих пород почти всегда интенсивно раэрушены, а из макроскопических следов ударного метаморфизма в них широко распространены брекчии "грис". Реже. преимущественно в кварцитопесчаниках, встречаются конусы разрушения, в виде плоскостных форм с "ёльчатой" штриховкой, и ударные зеркала скольжения по /7/ - с линиями параллельной линейной или изогнутой штриховки. Специальных петрографических исследований этих деформаций не производилось, но в аналогичных брекчиях "грис" из донных отложений кратера кварц не содержит планарных структур микродеформации.

Любопытной особенностью являются следы динамического вааимодействия пород этой группы с эювитовыми песками связующей массы (рис. 15). Отчётливо видно, как этот песок был под большим давлением "вкатан", а местами и "впрыснут" в раздробленную

4**I**



Рис. 15. Следы динамического взаимодействия арвитового песка с брекчией "грис" по кварцитопесчаникам верхнего протерозоя. Штуф из обнажения 2171. 1 - спрессованная горная мука брекчии "грис"; 2 - уплотнённый зовитовый песок; 3 - включение углисто-глинистой породы.

горной до состояния **ODERANE** MYKH Maccy присп по **YRASAHHUM** породам на глубину до HECKONSKNX CM OT KOHтакта, с образованием окрузлых или струйных отторжениев. Вместе с Такими внедрениями в брекчию "грис" проникают иногда даже обломки посторонних пород: так например, в одном из штуфов брекчии "грис" по карбонатным породам встретена вкатанная шебён-

ка архейских гнейсов, а на рис.15 - в протерозойском кварцитопесчанике - включение углистых меловых пород. Отметим, что агрегат обломков брекчии "грис" обладает характерной для таких деформаций большой механической прочностью, неотличимой от монолита исходной породы. Зовитовый песок внедрений также уплотнён до состояния крепкого песчаника. Однако, в момент контакта и взаимодействия обе субстанции были несомненно в пластичноподвижном состоянии и турбулентно перемешивались под большим давлением. Вряд ли подобные условия были возможны в механической взвеси материала обычного взрывного облака.

Непонятным парадоксом выглядит также сильное разрушение глыб крепких пород в мегабрекчии при соседствующих с ними глыбах глин, песков и других мятких пород мезовоя и кайновоя (?), слабо или почти не затронутых деформацией.

<u>Архейские гнейсы.</u> Породы кристаллического фундамента мишени, принимающие участие в составе связующей массы зювитовых мегабрекчий, по степени ударного метаморфизма выделяются в две категории: собственно гнейсы и апогнейсовые импактные стёкла. Со<u>оственно</u> <u>гнейси</u>, представленные обломками дресвяно-щебневой размерности и, реже, глыбами до первых дм в поперечнике, подверглись широкому диапазону ударно-метаморфических изменений, от умеренных до интенсивных. Некоторые из обломков этих пород грубо окатаны в процессе транспортировки.

В умеренно-импактированных гнейсах основные породообразующие минералы превращены в диаплектические разности с характерными микродеформациями (планарные структуры в кварце И полевых шпатах, ленты смятия в биотите, интенсивная микрофрагментация граната и пироксена). Сильно импактированные гнейсы частично или полностью витряфицированы, вплоть до разностей, СОХРАНЯЮЩИХ ТОЛЬКО РЕЛИКТЫ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ В ВИДЕ "ОСТОВА" кварцевых зёрен (включения гнейсов Ш типа по /8/, или "импактиты I рода" по /27/). Кварц в обломках таких гнейсов преврапён в диаплектическое кварцевое стекло или оно же. частично переходящее в лешательерит: оба стекла обычно в той или иной степени раскристаллизованы в квари-кристобалитовие агрегаты. Интересно отметить, что несмотря на закалочное охлаждение таких стёкол, коэсит и стишовит в них рентгенографически не выявляется (образец 2154/2д). Остальные минералы гнейоов обычно переплавлены в гетерогенное стекло. Некоторые из обломков интенсивно импактированных гнейсов окружены "рубашкой" апогнейсового стекла. В.Л. Масайтис/18/ считает, что "импактиты I рода" являются продуктами бухитизации гнейсов со стороны высокотемпературного тагамитового расплава. В случае зювитов И зювитовых мегабрекчий витрифицированные гнейсы с "теневыми" апокварцевыми структурами исходной породы несомненно являются ΠΟΟΛΥΚΤΑΜИ ΤΟΛЬΚΟ ΥΛΑΡΗΟΓΟ ΜΟΤΑΜΟΡΦИЗΜΑ, ЗАКАЛОЧНО ΟΧΛΑΧΑΘΗными во время транспортировки во взрывном облаке.

Согласно петрологическим /46 и др./ и экспериментальным /1 и др./ данным, умеренные изменения гнейсов вызьаны ударными давлениями порядка 10-30 ППа, а интенсивные - до 45-50 ППа.

Мелкообломочная впогнейсовая компонента зювитов, прослеживаемая на кристаллокластическом уровне, пользуется незначительным распространением и представлена изредка встречающимися в базисе породы обломками кварца с планарными структурами и зёрнами биотита с лентами смятия.

<u>Апогнейсовые импактные стёкла</u> слагают витрокластический компонент связующей массы мегабрекчий и являются постоянной примесью в зювитовых песках (до 30 объ.%) и в зювитах. Среди этих стёкол выделяются мономинеральные и смещанные.

Мономинеральные стёкла, с размерностью частиц от микроскопических до обломков и комков величиной 3-7 см. являются довольно редким типом, и в наших исследованиях среди них отмечены только лешательерит и ассоциирующие с ним высококремнезёмистие стёкла. Их детальное описание можно найти в работе /9/, а ЗЛЕСЬ МЫ ТОЛЬКО ОТМЕТИМ. ЧТО В НИХ СОДЕДЖЕТСЯ МИКООСКОПИЧЕСКИЕ тяхи апорутилового стекла, образованные по включениям рутила. Такие включения характерны для метаморфогенного кварца, и В сочетании с высокой степенью ударного метаморфизма гнейсов мономинеральные стакла описываемого типа можно считать апогнейсовыми. Интересной особенностью этих стёкол являются плотные Флюидные включения, в том числе и водные всецело-жидкие, зафиксировавшие внешнее давление среды на момент закалки стекла до 2 - 3 IIIa.

Смещанные стёкла, с размерами тел от микроскопических частиц до лапиллей и бомб, резко доминируют в витрокластическом ком компоненте зювитов. Их окраска весьма различна в диапазоне от медово- и зеленовато-жёлтых до тёмно-зелёных и чёрных. Пепловие частици обычно оптически-гомогенны, но более крупные обломки и комки стекла всегда обладают интенсивной флюидальностью, в различной степени пористы (вплоть до "вскипевших" разностей) и нередко содержат шлиры лешательерита и обломки диаплектического кварцевого стекла. Особой разновидностью являются стёкла "жаманшинитовой" фации /9/ с тонкослоистой флоидальной структурой, сложенной чередованием свежего и раскристаллизованного стекла. В бомбах "жаманшинитов" содержатся шлиры лешательерита с микроструктурами неустойчивого течения, возникшими в расплаве на стадии ударно-сжатого состояния /10/ и с разнообразными флюидными включениями, в том числе и газово-жидкими,

водными (?), с подвижным пузырьком и с большими колебаниями в соотношении газовой и жидкой фаз, вплоть до резкого преобладания последней. Такие ассоциации включений, по аналогии с мономинеральными кварцевыми стёклами, позволяют считать, что закалка смещанных расплавов также происходила в условиях повышенного давления.

В обломках смешанных стёкол лобой размерности часто содержится мельчайшая (0.00m - 0.0m мкм) вкрапленность рудных минералов в виде глобулей и кристалликов. Изученные в одной из бомб "жаманшинита", эти минералы представлены кристалликами и глобулями рутила, а также глобулями никелистого троилит-пирротина (до 12 вес.% никеля), пентландита и самородного железа.

Химический состав смешанных стёкол для всех классов крупности обломков приведён в таблице 2 (валовый химический анализ) и в таблице 3 (микрозондовый анализ). Как модно видеть. составы всех этих стёкол довольно однообразны, вне зависимости от крупности индивидуальных тел и их внутренней структуры, однако, чётко коррелируют с химическим составом апогнейсовых импактитов и пород кристаллического фундамента (рис. II). Тем самын, чётко подтверждается парадокс избирательности интенсивного ударного метаморфизма, проявившейся для гнейсов, как OTG следует из остальных наблюдений. Согласно петрологическим И экспериментальным данным /1, 46 и др./, полное импактное плавление гнейсов происходит при ударных давлениях 60-90 Па.

Импактные стёкла неясного происхождения. При изучении витрокластической компоненты связующей массы зювитовых мегабрекчий помимо резко доминирующих апогнейсовых стёкол в незначительном количестве обнаружен расплавный материал иного происхождения.

I. В первую очередь здесь нужно отметить обособленную группу магнезиально-железистых стёкол (табл. 3в), которые отличны от остальных апогнейсовых стёкол пониженным, на фоне общего тренда, содержанием SiO₂ и CaO, но повышенным содержанием FeO и MgO (рис. II). Кроме того, эти стёкла, в отличие от апогнейсовых, имеют также повышенное среднее содержание

Таблица -2.

Валовый химический состав стёкол цемента эрвитовых мегабрекчий (количественный химический анализ, вес. %)

| № № образца | 510 ₂ | T102 | A1203 | FeO | Fe203 | MnO | Ca.O | MgO | P205 | Na20 | K20 | H20 | ппп | сумма |
|------------------|------------------|-------|----------------------------------|------|----------------------------|-------|--------------|-------|------|------|------|------|------|----------------|
| | | | | A. | Крупны | IO KO | омки и бомбы | | | | | | | |
| 2 154/ 2e | 62.30 | 0.68 | 14.70 | 5.2I | 1.21 | 0.07 | 3.96 | 3.58 | 0.08 | I.94 | 2.45 | 0.28 | 3.06 | 99.52 |
| 2156/2a | 64.00 | 0.72 | 14.90 | 5.46 | 0.63 | 0.06 | 3.96 | 3.50 | 0.07 | 2.03 | 2.68 | 0.12 | I.86 | 99.99 |
| 2170/6 | 62.90 | 0.71 | 13.50 | 3.88 | 3.39 | 0.06 | 2.06 | 2.74 | 0.05 | 1.44 | 1.08 | 2.99 | 4.48 | 99.28 |
| 2170/8 | 66.00 | 0.58 | 13.93 | 7. | 26 [#] | 0.06 | 2.13 | 2.57 | 0.07 | 1.56 | I.44 | 0.15 | 4.35 | 100.10 |
| 2170/13 | 64.10 | 0.69 | 14.70 | 5.21 | I.26 | 0.07 | 3.96 | 3.90 | 0.05 | 1.97 | 2.40 | 0.32 | I.28 | 99.9I |
| 2170/15 | 63.50 | 0.67. | 14.50 | 5.10 | I.53 | 0.07 | 3.83 | 3.66 | 0.06 | I.86 | 2.28 | 0.53 | 2.19 | 99.78 |
| 2170/16 | 64.33 | 0.60 | 14.75 | 7. | 55 [¥] | 0.08 | 3.88 | 4.00 | 0.10 | I.84 | 2.23 | 0.09 | 0.79 | 100.24 |
| 2171/7 | 61.09 | 0.59 | 13.97 | 7. | 7 . 45 [≭] | | 5.95 | 2,35 | 0.07 | I.32 | 1.23 | 0.09 | 5.40 | 99,67 |
| | | | 1 | | Б. "Жа | манш | HHATH | 11 | 12 | | | 1.1 | | |
| 2154/2 | 63.77 | 0.75 | 14.95 | 7. | 67 * | 0.08 | 3.82 | 13.53 | 0.09 | 1.95 | 2.52 | 0.10 | 0.87 | 100.10 |
| 2154/2a | 63.40 | 0.75 | 14.90 | 4.80 | 2.80 | 0.07 | 4.10 | 3.40 | 0.06 | 1.94 | 2.63 | 0.16 | I.66 | 100.67 |
| 2154/3a | 64.40 | 0.68 | 15.00 | 4.89 | 0.87 | 0.07 | 4.2I | 3.58 | 0.05 | I.86 | 2.64 | 0.10 | I.36 | 99 . 7I |
| 2156/2 | 65.37 | 0.73 | 14.67 | 6.16 | н/об | 0.07 | 3.95 | 0.52 | 0.15 | 2.06 | 2.4I | 1.16 | 2.77 | 100.02 |
| | | | В. Стёкла неясного происхождения | | | | | | | | | | | |
| 2170/5 | 67.10 | 0.62 | 12.80 | 3.77 | I.2I | 0.06 | 12.46 | 2.22 | 0.07 | 1.56 | 2.14 | 0.83 | 4.65 | 99.49 |
| 2170/9 | 55,50 | 0.55 | 14.00 | 3.16 | 8,29 | 0.04 | 1.51 | 2.66 | 0.02 | 0.58 | 0.78 | 5.30 | 6.51 | 98.90 |

ж - общее содержание железа в пересчёте на окисную форму.

\$

(0.06 вес.%) и мло (0.12 вес.%). Пересчёт состава этих стёкол на долерито-гнейсовую смесь, содержащую 30-40 вес. % лолерита (по кремнезёму) не подтверядает происхождения указанных стёкол за счёт контаминации веществом базитовых даек района: средний (по / 23/) долерит не обеспечивает наблюдаемого соотношения остальных петрогенных элементов, а именно: содержания T10, СаО, ма₂О и Р₂О₅ становятся резко заниженными; содержания К₂О и AI203 - умеренно-заниженными, а содержания Feo и, особенно, Mgo - завышенными. Гипотеза контаминации апопироксеновым расплавом (из локальных скоплений этого минерала в гнейсах) петрохимически возможна, но учитывая, что при импактном плавлении метаморфических пород достигается высокая степень ОДНОРОДНОСТИ расплавов (и это свойственно не только для попигайских, но для расплавных пород из других астроблем, например, в кратерах Рис, Маникуаган и Клируотер, данные /38/), эта гипотеза неубедительна. Возможным источником стёкол данного типа может быть контаминация апогнейсового распадва материалом из пикритоподобных (по /12/) пород. Мелкие тела таких пород, как показали находки их обломков в обнажениях 2169 и 2170 (см. раздел 13.1) существовали в мишени. В целом же проблема источника магнезиально-железистых стёкол заслуживает дальнейшего изучения, особенно в том плане, что не являются ли они результатом контаминации апогнейсового расплава силикатным метеоритным веществом?

2. Химический состав единственного исследованного обломка белёсого светло-зеленовато-серого пористого стекла (табл. 2в, анализ 2170/5) совмещается с полем валовых "апоосадочных" химических составов далдынской брекчии (рис. II). По-видимому, этот незначительно распространённый тип белёсых светлоокрашенных мелких витрокласт является продуктом плавления осадочных пород мишени, доставленным из центральной области кратера.

3. Химический состав изменённых тёмно-зелёных аргиллизированных стёкол (табл. 2в, анализ 2170/9) близок к составам некоторых диабазов района (по /23/). Поэтому, пренебрегая наложенным изменением, можно предположить, что этот редко встречаемый тип витрокласт имеет апобазитовый источник.

Таблица 3.

Точечный химический состав стёкол цемента зювитовых мегабрекчий (количественный рентгено-спектральный анализ, вес.%, среднее нескольких анализов)

| № № образца | число ана- лизов | Si02 | Ti02 | A12 ⁰ 3 | FeO | MnO | CaO | MgO | P205 | ^C r 2 ⁰ 3 | Na20 | K20 | сумма |
|--|------------------------|-------|------|--------------------|------|------|------|------|------|--|--------------|------|----------------|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | II | 12 | 13 | 14 |
| А. Индивидуальные пепловые частицы (менее 5 мм) | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1 69/2a | 5 | 63.76 | 0.86 | 15.17 | 6.77 | 0.08 | 3.68 | 3.73 | 0.14 | 0.03 | I.66 | 2.75 | 98.63 |
| 2 1 69/20 | 3 | 64.36 | 0,88 | 15.33 | 6.70 | 0.08 | 3.05 | 3.48 | 0.12 | 0.02 | I.56 | 2.77 | 98,35 |
| 2169/2в | 3 | 64.16 | 0.82 | 15.56 | 6.67 | 0.08 | 3.03 | 3.48 | 0.11 | 0.03 | I.4 8 | 2.79 | 98 . 2I |
| 2169/2г | 3 | 63.65 | 0.80 | 15.32 | 6.44 | 0.08 | 3.48 | 3.64 | 0.13 | 0.03 | I.60 | 2.79 | 97.96 |
| 2169/2д | 3 | 64.08 | 0.80 | 15.30 | 6.94 | 0.09 | 3.09 | 3.50 | 0.12 | 0.03 | I.54 | 2.80 | 98,29 |
| 2169/2д1 | I | 64.52 | 0.77 | 15.28 | 6.46 | 0.07 | 3.53 | 3.62 | 0.14 | 0.03 | I.09 | 2.77 | 98.30 |
| 2 1 69/2e | 2 | 64.07 | 0.83 | 15.4I | 6.77 | 0.08 | 3.04 | 3.48 | 0.12 | 0.03 | I.60 | 2.89 | 98,32 |
| 2I69/2x | 2 | 63.55 | 0.79 | 15.10 | 6.42 | 0.09 | 3.54 | 3.64 | 0.13 | 0.15 | I.70 | 2.78 | 97.89 |
| 2169/2a | 2 | 63.74 | 0.83 | 15.23 | 6.47 | 0.09 | 3.56 | 3.64 | 0.14 | 0.03 | I.67 | 2,78 | 98.18 |
| Б. Индивидуальные лапилли и крупные комки (5 мм-15 см) | | | | | | | | | | | | | |
| 2169/3a | 8 | 63.12 | 0.50 | 15.48 | 5.95 | 0.06 | 3.48 | 3.46 | 0.12 | 0.02 | 2.15 | 2.84 | 97.18 |
| 2169/3в | 7 | 62.90 | 0.58 | 15.31 | 6.62 | 0.08 | 3.54 | 3.54 | 0.11 | 0.02 | 2.09 | 2.8I | 97.60 |
| 2170/4a | 6 | 6I.9I | 0.63 | 15.39 | 6.92 | 0.09 | 3.74 | 4.00 | 0.05 | 0.03 | 2.14 | 2.73 | 97.63 |
| 2170/50 | 6 | 63.03 | 0.57 | 15.37 | 6.05 | 0.06 | 3.53 | 3.33 | 0.09 | 0.02 | 1.95 | 2.82 | 96,82 |

Таблица 3 (продолжение).

| | | | | | - | - | | _ | | | | | |
|---------------------------|---|-------|---------------|--------|-------|--------|--------|--------|------|------|------|------|-------|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | I4 |
| 2170/10 | 2 | 63.26 | 0,98 | 14.92 | 7.19 | 0.10 | 3.93 | 4.30 | 0.09 | 0.06 | 1.90 | 2.78 | 99.51 |
| 2170/13 | 2 | 64.24 | 0.86 | 14.72 | 6.99 | 0.10 | 3.82 | 4.24 | 0.09 | 0.03 | I.92 | 2.8I | 99.82 |
| 2170/19 | 2 | 61.89 | 0.85 | 14.71 | 6.83 | 0.10 | 3.69 | 4.14 | 0.08 | 0.04 | I.64 | 2.64 | 96.61 |
| 2171/7 | 2 | 62.43 | 18. 0 | 15.10 | 6.74 | 0.09 | 2.84 | 3.6I | 0.07 | 0.03 | I.79 | 2.77 | 96.28 |
| | | | <u>B.,</u> "h | arnesi | ально | о-деле | BSNCTH | 16" CI | Өкла | | | | |
| 2169/30 | 6 | 57.63 | 0.62 | 17.12 | 8.9I | 0.12 | 2.84 | 4.84 | 0.09 | 0.05 | 2.34 | 2.74 | 97.00 |
| 2170/40 | 6 | 59.79 | 0.72 | 15.82 | 7.53 | 0.10 | 4.8I | 4.75 | 0.09 | 0.03 | 2.21 | 2.57 | 98.42 |
| 2170/4в | 6 | 59.26 | 0.6I | 15.52 | 9.76 | 0.15 | 2,45 | 6.05 | 0.08 | 0.09 | 1.% | 2.38 | 98.31 |
| 2170/5a | 7 | 58.42 | 0.57 | 15.60 | 8.90 | 0.13 | 3.67 | 7.II | 0.03 | 0.08 | I.46 | I.86 | 97.83 |
| 2170/14 | 3 | 60.72 | 0.98 | 15.25 | 7.82 | 0.II | 4.30 | 4.63 | 0.10 | 0.06 | I.86 | 2.52 | 98.35 |
| 2 1 70 /1 6 | 2 | 60.19 | 0.97 | 15.28 | 8.02 | 0.II | 4.47 | 5.22 | 0.09 | 0.05 | 1.92 | 2.59 | 98.9I |
| | | | - | | | | | | | | | | |

УП. ПРОИСХОЖДЕНИЕ

УП.І. Специфика зовитовых мегабрекчий

Суммируя вышеизложенное, зювитовые мегабрекчии Попигайской астроблемы можно считать уникальным типом отложений взрывного облака с целым рядом необычных условий образования, таких как:

1) сохранность крупных глыб рыхлых пород;

2) два разных источника материала по положению в разрезе мишени и в системе зон ударного метаморфизма (рыхлые осадочные слабоимпактированные породы и сильно импактированные гнейсы);

3) отсутствие обычной "обратной стратиграфической последовательности" отложения материала из взрывного облака (с выбросами из верхних горизонтов мишени в основании толщи);

4) большая механическая активность компонент связующей массы на стадии конденсированного литоидного состояния;

5) то же самое для стадии, когда часть этих компонент перешла в литифицированное состояние и стала дробиться при подвижках.

Парадокс I ставит вопрос о проблеме сохранности крупных блоков рыхлых пород; парадокс 2 – о механизме контакта и смешения компонент; парадокс 3 – о применимости некоторых современных представлений теории кратерообразования для гигантских астроблем, а парадоксы 4 и 5 становятся вообще необъяснимыми с точки зрения общепринятой модели простого баллистического разлёта и последовательного насыпного отложения материала взрывного облака. Более того, мнимо-вторичные взаимоотношения зювитов становятся неприятной проблемой для импактной гипотезы (одноактное образование всего комплекса зювитов), но в то же время хорошо согласуются с вулкано-тектонической гипотезой (многофазный процесс).

УП.П. Гипотеза динамических барьеров

Поскольку ударно-взрывное происхождение Попигайской структуры наиболее обосновано, встаёт вопрос о попытке объяснения перечисленных парадоксов в рамках импактной модели. Для этого предлагается гипотеза динамических барьеров /5/, предполагающая особую механику эскавации, транспортировки и отложения материала взрывного облака для случая мегамасштабного импактного процесса на контрастной двуслойной мишени.

Суть гипотезы состоит в том, что не входя в противоречие с основными положениями теории импактного кратерообразования, можно предположить разные направления выбросов из пород чехла и фундамента мишени. В частности, допускается, что выбросы из пород чехла осуществлялись по более крутым траекториям. Дифференцированность эскавации связывается с отставанием фронта ударной волны в осадочных породах вследствие их пониженной плотности и влияния свободной поверхности. Гипотеза базируется на следующих исходных условиях и оценках.

<u>Строение мишени.</u> Мишень Попигайского импактного события имеет двуслойное строение и представлена осадочным чехлом, мещностью около 1.5 км, и кристаллическим фундаментом, с контрастными различиями пород по плотности (осадочные породы: 2.2 – 2.6 г/см³, с наименьшими значениями плотности для рыхлых мезозойских и кайнозойских (?) пород; архейские гнейсы: 2.83г/см³.

Мегамасштаб события. Для кратера диаметром 100 км энергия взрыва оценивается в 6.24 х 10²² Дж, а диаметр космического тела от 3.7 км (железный вариант) до 4.85 км (каменный вариант), в случае вертикального падения этого тела со средней скоростью 24.6 км/с.

Времена эскавации. В Попигайской астроблеме только процесс зарождения взрывного облака по всей площади будущего кратера занял не менее 10 с, а стадия эскавации – порядка 70 с (оценка по данным /30/, для основной части выбросов, без учёта атмосферных помех, дальности разлёта высокоскоростных струй и прочих второстеленных причин).

Затухание скорости выбросов. В общем виде авторы /30/ такое затухание представляют законом V = A R - где A и m - некоторые коэффициенты пропорциональности и начальных условий взрыва, а R - радиус воронки будущего кратера. В малых "прочностных" кратерах минимальная скорость выбросов Умин для горных пород средней крепости составляет 20-50ы/с /39/, а для больших "гравитационных" кратеров, образование которых 3 AM 6 THO определяется силой тяжести в, V инн соотносится с радиусом воронки по следующему закону /13/: V_{мин} = V4/15gR. V_{мин} для Попигайского кратера оценивается в 360 и/с. Максимальная скорость выбросов, V_{мах}, для главной части ударно-испарённого и расплавленного материала из центральной области импактного события оценивается значениями от 2-4 км/с /39/ до 5.7-7.3 км/с /40/. Для наших, весьма приближённых реконструкций точная оценка величины V_{иех} принципиального значения не имеет, и поэтому условно примем, что на расстоянии 5 км от центра взрыва (оноло 2 радиусов упавшего тела в каменном варианте) максимальная скорость выбросов расплавленного материала составила 4 км/с. Peшая уравнение /30/ для V_{мах} и V_{мин}, получим его численное BHражение для Попигайского импактного события: V(KM/C) = 21.52R (км) -1.046. Эпюра радиального затухания скорости выбросов для этого импактного события показана на рис. 16а и **IO**вольно близка к таковой, рассчитанной Е.Шумейкером /44/ AIR лунного кратера Коперник.

Углы наклона траекторий выбросов. По данным экспериментов углы наклона траекторий выбросов составляют 40-60° в центральной зоне кратеров, но постепенно выполаживаются к их периферии /42/. Механизм возникновения выбросов для гомогенной мишени рассмотрен в работе Д.Гаулта /35/ и приведён на рис. 17а. Для выбросов материала из кристаллического фундамента мы принимаем этот механизм за основу и с известной долей условности будем считать, что в центральной области кратера траектории таких выбросов были восстающими радиально-центробежными с наклоном в 45° к горизонту, а в краевой части кратера выполаживались до 6-8° (по аналогии с расчётами траекторий, выполненными для вы-



Рис. 16. Предполагаемые эпюры радиального распределения скоростей (а) и направлений выбросов (b) из Попигайского кратера, соотнесённые с зонами ударного метаморфизма пород мишени (с). Эпюра скоростей: I – принятый вариант затухания скоростей выбросов в Попигайском кратере; 2 – затухание скоростей выбросов в лунном кратере Коперник, по /44/. Эпюра направлений выбросов 3 – из рыхлых осадочных пород чехла; 4 – из пород фундамента. Зоны 1 – LУ ударного метаморфизма: 1 – полное плавление и частичное испарение пород мишени, давления 60 ГПа и выше; П – частичное плавление, давления 35-60 ГПа; Ш – сильнейшее дробление, давления 10-35 ГПа; IУ – ушеренное дробление и разломы, давления ниже 10 ГПа.

Условные обозначения: 1 — породы чехла; 2 — породы фундамента; 3 — Попигайское космическое тело, каменный вариант; 4 — изобары ударной волны и её давления в ГПа; 5 — зона генерации материала зювитов и части зювитовых песков; 6 — то же, для глыб зювитовой метабрекчии и остальных зювитовых песков.



b

1 2 3 4

Рис. 17. Качественная механика образования выбросов при импактном кратерообразовании: а - в экспериментах на гомогенной мишени, по Д.Гаулту /35/; b - предполагаемая для рыхлых горизонтов двуслойной мишени Попигайского импактного события от достаточно далеко распространившейся ударной волны.

Условные буквенные обозначения: D - скорость ударной волны; V_m - массовая скорость дви ения частиц за фронтом ударной волны; V. - скорость квазиупругого расширения грунта в волнах разгружёния и её элементарные составляющие ΔV на частных изобарах волн разгружения; VR - результирующая скорость дви ения грунта после окончания ударно-волновых явлений. Условные цифровые обозначения: I - рыхлые и 2 - плотные горизонты мишени, соответственно; 5 - вектор скорости, фронт и изобары ударной волны; 4 - изобары волн разгружения.

бросов из кратера Коперник /44/). Схематично радиальная эпюра углов наклона траекторий выбросов из пород фундамента показана на рис. 166, пункт 4.

Для траекторий выбросов из рыхлых осадочных пород чехла появляется важная корректировка. Так как скорость распространения фронта ударной волны в этих породах была заметно ниже, чем в породах фундамента (вследствие существенного различия в плотности, а также под влиянием свободной поверхности), то эта особенность, спроектированная на масштаб события (продолжительность процесса), должна была привести к прогрессирующему выполаживанию фронта ударной волны в породах чехла. Максимальной величины это выполаживание достигло в средней и краевой зонах будущего кратера. Используя всё тот же векторный механизм 8Cкавации по Д.Гаулту /35/, можно видеть, что при выполаживании фронта ударной волны траектории выбросов из рыхлых пород чехла должны были по мере радиального расширения процесса становиться всё более крутыми, вплоть до субвертикальных. Предполагаемое явление расшепления траекторий выбросов на различные ДЛЯ верхних рыхлых и нижних плотных горизонтов мишени - назовём его механизмом дифференцированной эскавации - возможно представляет характерную особенность мегамасштабного кратерообразования на контрастной двуслойной мишени. Графическая интерпротация явления показана на рис. 17б.

При всей своей умозрительности, указанная корректировка встречает поддержку в фактической геологии Попигайской астроблемы, в которой мы встречаем явные признаки крутых восходящих движений аллогенного материала в процессе эскавации: а)импактные диатремы и горсты в обрамлении кратера /4/; б) блоки меловых пород во внутренней части кратера – в противоречии с представлениями о "выметающей" за пределы кратера эскавации материала из верхних горизонтов мишени. Более того, пространственное положение зовитовых мегабрекчий и степень ударного метаморфизма их глыб позволяют оценить радиальное увеличение крутизны траекторий выбросов из рыхлых мезозойских пород мишени. Согласно схеме зональности ударного метаморфизма пород мишени в Попигайской астроблеме по /19/, приведённой на рис. 16с, глыбы зювитовой мегабрекчии доставлены из зоны 1У, то-есть, из обла-

ж - в случае плотностных "волноводов", выступающих из нижней части разреза мишени (например, даек долеритов), в Попитайской астроблеме были возможны покальные очаги не только вертикальных, но даже центростремительных выбросов рыхлых пород /5/.

сти 20-50 км от центра кратера. Так как при этом оказывается, что локализация зовитовых метабрекчий (21-42 км от центра кратера) совпадает с этой областью, то напрапивается неизбежный вывод о том, что выброс глыб рыхлых пород из зоны IV происходил по субвертикальным траекториям³⁸. В соответствии с этим мы примем, что траектории выбросов материала из рыхлых горизонтов мишени в кольцевой зоне 20-50 км от центра кратера были вертикальными, а в кольцевой зоне 5-20 км от центра кратера угол наклона траекторий выбросов нарастал от 45⁰ до 90⁰ (рис. 16^b).

В рамках принятой модели радиального распределения скоростей и траекторий разлёта вещества рассмотрим динамику взаимодействия выбросов из разных зон импактирования.

В экспериментах, где дальность разлёта основной части выбросов значительно превышает размер будущей воронки, а начальные скорости выбросов быстро снижаются по мере радиального о – даления исходных точек мишени от центра взрыва, взрывное облако на стадии развития имеет вид опрокинутого усечённого конуса, образованного узкой кольцевой полоской истечения вещества на границе растущего кратера.

Масштаб Попигайского события позволяет представить другую картину развития варывного облака. На всю площадь будущего кратера процесс эскавации распространился примерно за 10 с.Относительно низкие (если их нормировать к диаметру воронки) начальные скорости разлёта вещества и их плавное снижение по мере радиального удаления исходных точек мишени от центра события обеспечили караваеобразную форму взрывного облака на стадии развития. Лишь в центре этого облака мог обра-

Это подтверждается простейшим баллистическим расчётом. Так, даже если исходно глыба залегала в 20 км от центра кратера (то-есть, в максимально-возможной внутренней позиции в системе зон ударного метаморфизма) и выбрасывадась не субвертикально, а по довольно крутой траектории в 70° к горизонту, то в этом случае, при скорости 1 км/с (рис.16а) и горизонтальной дальности полёта 64 км (пренебрегая сопротивлением атмосферы), точка приземления была бы за бортом кратера (64+20=80 км), но не в области залегания зювитовых мегабрекчий.

зоваться усечённый опрокинутый конус разлетавшихся выбросов. однако. главная масса вещества из этого конуса не могла опередить воздымающийся материал из внешних **30H** будущего кратера и была вынуждена вступить с ним в динамическое взаимодействие. Большой размер области эскавации обеспечил автономность полёта выбросов из разных BOH импактирования в течение некоторого времени, прежде чем на стадиях позднего развития. а затем и кодлапса взрывного облака они вступили в контакт между собой. Основная часть выбросов HΘ могла покинуть кратер.

Для дальнейшего наблюдения за процессом сделаем два допущения. которые принципиально не меняют его течение. HO позволяют качественно проследить развитие coбытий: а)примем. что скорости выбросов пород из чехда и фундамента были одинаковы для равно удалённых от центра со-



Рис. 18. Предполагаемый разлёт выбросов из разных горизонтов мишени Попигайского импактного события через 5 (а), 10 (b) и 15 (с) секунд после его начала. Стрелками указана исходная поверхность мишени; слева - центр кратера.

I - верхняя кромка выбросов рыхлых пород мишени; 2 - верхняя кромка выбросов плотных пород мишени; 3 область динамического барьера во взрывном облаке; 4 - трасктории миграции точек Р и Q (см. текст)по мере развития взрывного облака. бытия точек мишени; б) тормозящее действие атмосферы не будем учитывать, поскольку масса выбросов была на 2-3 порядка выше, чем масса воздушной преграды на пути разлёта вещества. Тогда, из самых простых законов баллистики движение вещества в Попигайском взрывном облаке происходило следующим образом (рис.18).

Уже через 2-3 секунды после начала эскавации потоки выбросов из пород чехла и фундамента милени стали всё более и более пересекаться, поскольку вещество из фундамента стремилось создать правильный конический султан раздёта по постепенно выполаживающимся траскториям, в то время как выбросы из чехла двигались по траекториям нарастающей крутизны. Вследствие пересечения обоих потоков во взрывном облаке появился и стал быстро расширяться динамический барьер, сдерживающий радиальное распирение султана выбросов из пород фундамента. На рисунке 18 этот барьер схематически показан пересечением фронтальных кромок выбросов из пород чехла и фундамента. По мере радиального развития процесса эффективность динамического барьера бистро росла, поскольку масса апоосадочных выбросов увеличивалась BO второй степени пропорционально радиусу эоны эскавации, а живая сила обоих потоков снижалась.

Примерно через 10 секунд после начала эскавации тороидапьная туча выбросов рыхлых пород мезозоя, кайнозоя (?) и отчасти, палеозоя (пермские отложения) полностью перекрыла приток питающего материала в конический султан апогнейсовых выбросов. Материал верхней, высокоскоростной части этого султана продолжил свой полёт по свободным баллистическим траекториям и рассеялся на большой территории (дальние закратерные отложения + ареал глобального рассеяния импактной компоненты). Материал из нижней части султана апогнейсовых выбросов, встречая нарастарцее сопротивление на динамическом барьере, вступил в сложное взаимодействие типа косого столжновения струй с материалом тороидальной тучи. В период между 10 и 15 секундами после начала эскавации динамический барьер достиг своего наибольшего развития.

Можно предположить следующие стадии эволюции динамическо-

го барьера: а) раннюю — торможение апогнейсовых выбросов и отклонение их траекторий на более крутые, огибающие барьер "сверху"; б) основную — барьер превратился в непроницаемую преграду, которая начала тормозить и конденсировать апогнейсовые выбросы и их смеси с материалом барьера; в) позднюю — апогнейсовые выбросы начали огибать барьер "снизу", по выположенным траекториям.

Для области динамического барьера были характерны значительные импульсные нагрузки в сталкивающемся веществе. Так.например, в точке N (рис., 18b) параметры столкновения апогнейсовых потоков (скорость 1550 м/с, угол наклона траектории 35⁰) с апоосадочными (скорость 940 м/с, угол наклона траектории 84⁰) были эквивалентны удару апогнейсового материала по взвеси глыб осадочных пород со скоростью I км/с. Такое взаимодействие обеспечило интенсивное и мегамасштабное перемешивание материала обоих потоков, явления вторичного ударного метаморфизма и другие процессы. На основной и финальной стадиях своего существования динамический барьер ограничивался "снизу" в некоторой точке Q (рис.18), где фронтальные кромки выбросов из пород чехла и фундамента начинают расходиться и столкновение прекращается, так как апоосадочные выбросы движутся уже в опережающем режиме. Совокупность точек Q на всех стадиях развития динамического барьера образует некоторую кривую, которая встречается с поверхностью мишени в 16 км от центра кратера. Следовательно, апогнейсовое вещество из более отдалённых от центра зон в столкновении на динамическом барьере не участвует. Касательная из центра кратера к наиболее выпуклой части кромки апоосалочных выбросов встречается с последней в некоторой точке Р (рис.18). которая ограничивает область динамического барьера "сверху". Совокупность точек Р для всех стадий развития ЛИНАМИЧЕСКОГО барьера образует другую кривую, которая пересекается с поверхностью мишени в 8 км от центра кратера. Очевидно, что в столкновении на динамическом барьере участвует только то апогнейсовое вещество мишени, которое выбрасывалось из кольцевого интервала 8-16 км. Обращаясь к рис. 16с, можно видеть, что в этот

интервал попадает зона полного (1) и частичного (П) импактного плавления, а также часть зоны сильнейшего дробления (Ш) пород мишени. Напротив, источник апоосадочного материала на динамическом барьере находился в зоне Ш (частично) и. главным -BGDO зом. в зоне ЦУ, где породы подверглись гораздо более низким ступеням ударного метаморо́изма. Так логически просто можно объяснить разную степень изменения апогнейсовой и апоосадочной компонент попигайских зрвитов и механизм их мегамасштабного смещения. По мере развития процесса зскавации количество глыбовых фрагментов в тороидальной туче апоосадочных выбросов нарастало, и над средней и краевой зонами будущего кратера возникли смеси этих глыб с завитами (рис. 16с), давшие начало зввитовым мегабрекчиям в кровле отложений взрывного облака.

Таким образом, с позиций вышеизложенной гипотезы, Попигайское взрывное облако обладало сложной динамической структурой. В разное время, под разным углом наклона, с разной скоростью и из разных зон импактирования в это облако поступали различно изменённые породы мишени. Колоссальные массы этого материала представляли не согласованный поток, как следовало бы из модели простого баллистического разлёта, а турбулентный вихрь из неравномерно двигавшихся струй, часть которых закономерно образовала динамический барьер на пути движения остальных выбросов.

УЦ.3. Природа наблюдаемых парадоксов

В рамках принятой гипотезы основные особенности зювитовых мегабрекчий объясняются следующим образом.

I. Сохранность крупных глыб рыхлых пород мишени на фоне интенсивного разрушения крепких пород чехла (известняки, кварцитопесчаники) и фундамента (гнейсы) связана с тем, что эти глыбы были доставлены в область смещения из зоны IV слабого ударного метаморфизма.

2. Контакт основных компонент зювитовой мегабрекчии (и других отложений взрывного облака), имевших два независимых,

пространственно и энергетически разобщённых источника в породах мишени, был обеспечен механиэмом дифференцированной эскавации. Смешение этих компонент было обеспечено их взаимодействием на динамическом барьере во взрывном облаке; иной механизм смешения таких колоссальных масс^Ж представить трудно, а общее утверждение о том, что перемешивание происходило на стадии зскавации, в данном случае представляется недостаточным.

Залегание в кровле отложений варывного облака, с нарушением обычной "обратной стратиграфической последовательности" выпадения, связывается с выбросом рыхлых пород чехла по крутым субвертикальным траекториям над средней и краевой зонами будущего кратера.

4. Большая механическая активность связующей массы в конденсированном литоидном и даже литифицированном (с образованием мнимо-вторичных взаимоотношений) состоянии объясняется следующим образом. Когда количество крупных глыб осадочных пород на динамическом барьере взрывного облака достаточно возросло, а знергия столкновения потоков снизилась, то на больших преградах (крупные глыбы осадочных пород и скопления этих глыб) налетающий зювитовый материал мог конденсироваться и уплотняться до состояния литоидной массы. Если рядом не появлялись "размывающие" струи с другим направлением или скоростью, то пребывание таких масс в относительном покое в течение нескольких десятков секунд могло приводить к их частичной или полной литификации уже в полёте, чему способствовал состав зювитовых смесей, содержавших обломки горячего стекла и холодные литокласты осадочных пород. Продолжительность полёта (например.для обломка из мишени в 25 км от центра кратера полёт занял 160 с) такой процесс обеспечивада. Литифицированные в полёте массы зювита могли быть затем раздроблены вследствие конвективной неустойчивости оседающего материала, а далее цементированы эювитом иного состава. Так возникали мнимо-вторичные взаимоотно-

ж — объём отложений вэрывного облака, для которых характерен парадокс вещественного состава, оценивается как минимум в 2000 куб. км.

шения зъвитов. Если же расчленению и деформации в полёте подвергался конденсированный, но ещё пластичный материал, то возникали сложные по морфологии сгустки одних зювитов в других.

Гипотеза динамических барьеров позволяет объяснить и другие особенности зрвитовых мегабрекчий. Так, некоторые глыбы осадочных пород, попадая в конденсированную зювитовую смесь, на Заключительных сталиях своего торможения трассировали движение вихревыми следовыми структурами и шлейфами собственного вещества. Аналогичные следы оставались в такой смеси и после прохождения в ней активных струй иного эрвитового вешества. Уплотняемый, но ещё подвижный зювитовый материал под давлением оседавших масс мегабрекчии мог вторгаться в промежутки между eë глыбами, имитируя секущие дайкообразные тела. Обломки пород из мишени, попадая на динамическом барьере в обтекающий поток эювитового вещества, могли подвергаться абразии, с возникновением распространённой среди литокласт грубой окатанности. Вторичные ударные явления при высокоскоростном столкновении струй на динамическом барьере могли создавать внедрения зювитового и кластического материала в брекчии "грис" по крепким скальным породам, подобные приведённому на рис. 15.

Таким образом, гипотеза динамических барьеров позволяет объяснить многие особенности зювитовых мегабрекчий (и других зювитов) Попигайской астроблемы. Эти особенности не находят вразумительного ответа в рамках модели простого баллистического разлёта и последовательного насыпного отложения вещества из взрывного облака, а потому входят подчас в противоречие с импактной гипотезой.

Автор отдаёт себе отчёт в том, что предложенная гипотеза построена на целом ряде упрощений и предположений, а потому является слишком грубой попыткой реконструкции тех сложных процессов, которые происходили в Попигайском взрывном облаке. Однако, автор надеется, что поставленные вопросы актуальны, и гипотеза привлечёт к себе внимание специалистов как для критического обсуждения, так и для дальнейшего анализа мегамасштабных импактных событий.

уш. НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ

Из предлагаемого сценария развития взрывного облака и образования зювитовых мегабрекчий вытекают следующие особенности закратерных отложений в ближнем и дальнем обрамлении Попигайской астроблемы и в глобальном плане.

I. Вследствие динамического экрана со стороны тороидальной тучи апоосадочных выбросов зювиты пользовались незначительным распространением в ближнем обрамлении кратера и не образовали сплошного покрова, присутствуя в виде дискретных залежей вдоль направлений успешного прорыва. В общирной зоне между краевой частью астроблемы и собственно дальними выбросами интенсивно импактированный апогнейсовый материал вероятно отсутствовал. Существовал ли мощный насыпной вал в обрамлении кратера вообще ?

2. Дальние закратерные выбросы, переходящие в ареал глобального рассеяния Попигайской импактной компоненты, были представлены преимущественно сильно импактированным апогнейсовым материалом. Хорошим минералогическим индикатором этой компоненты могут быть импактные алмазы. В россыпях Якутии ИЗ ВӨСТНЫ так называемые "якутиты" - текстурированные алмаз-лонсдейлитовые поликристаллы /14/. Не исключено, что эти алмазы происходят из Попигайского кратера. Предварительным основанием ЛЛЯ такого сопоставления может служить аналогия изотопного состава углерода графитов и алмазов Попигайской астроблемы (б¹³С ОТ - 0.725% до - 2.131% по /6/) и "якутитов" (б¹³С от - 0.99% по - 2.01% по /14/), в то время как кимберлитовые алмазы Якутии имеют здесь существенные отличия. В случае попигайского источника "якутитов" изучение особенностей их локализации и выявление первичного осадочного коллектора может в перспективе определить геологический возраст Попигайской астроблемы - важную современную проблему "импактологии".

Бадюков А.А. Экспериментальное моделирование ударного метаморфизма минералов//Импактиты. М.: МГУ, 1981. с. 20-35. 2. Вишневский С.А. Особенности пород Попигайской структу-ры и её происхождение//Кандидатская диссертация. Новосибирск: МГиГ СО АН СССР, 1978. 273 с. 3. Вишневский С.А. Импактиты гигантских сложных метеория-ных кратеров//Импактиты. М.: МГУ, 1981. с. 171-184. 4. Вишневский С.А. Краевая часть Попигайской астроблемы: иниентые диватремы и голосты. новая интерпирателия

импактные диатремы и горсты, новая интерпретация глубинного строения//Космическое вещество и Земля. Новосибирск: Наука, 1986, с. 131-159. 5. Вишневский С.А. Эрвиты Попигайской астроблемы: некото-

рые парадоксы и мнимо-вторичные взаимоотношения. Новосибирск, 1992. 53 с. (Препр. ИМП СОРАН: № 7). 6. Вишневский С.А., Доильницые Е.Ф., Долгов Ю.А., Перце-ва А.П. Изотопный состав углерода графитов и алмазов из пород ударно-метаморфического комплекса Полйгайской структуры //Тез. локл. У Всес. Симп., по гео имии стаб., изотопов. М.: ГЕОХИ А. СССР, 1974, ч. П. с. 160-161. 7. Вишневский С.А., Кородков В.Ф. Купол Шийли: эродиро-AĤ

ванная астроблема в Западном Примугоджарье. Новосибирск, 1989, 51 с. (Препр. ИГиГ СО АН СССР; № 13). 8. Вишневский С.А., Поспелова Л.Н. Импактный анатексис на

примере ударно-метаморфизованных гнейсов Попигайской астроблемы//Космическое вещество и Земля. Новосибирск: Наука, 1986. c. 117-131.

9. Вишневский С.А., Поспелова Л.Н. Флюидный режим импактитов: плотные включения в высококремнезёмистых стёклах и NX петрологическое значение. Новосибирск, 1988, 53 с. (Препринт MTMT CO PAH CCCP; Nº 16).

10. Вишневский С.А., Ставер А.М. Некоторые особенности де-формации и плавления при ударном метаморфизме//Геология и гео-физика, 1985, № 2, с. 22-30. 11. Дабижа А.М., Красс М.Г. Зволюция метеоритных кратеров

//Метеоритные структуры на повер ности планет. М.: Наука, 1979, с. 159-172.

12. Ефремов С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы NCследования горных пород. М.: Недра, 1985, 512 с.

13. Иванов Б.А. Простая модель кратерообразования//Метео-ритика, 1979, вып. 38, с. 68-85. 14. Каминский Ф.В., Бартошинский З.В., Коптиль В.И. Неко-

ТОРЫЗ ВОПРОСЫ ТЕРМИНОЛОГИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ АЛМАта//Мин. сборник Львовского унив-тета, 1987, № 41, вып. 2, с. 16-20.

15. Кирюшина M.T. О мезо-кайнозойских вулканических породах Попигайской котловины//Информационный бюллетень НИИГА,1957. вып. 3, с. 4-6.

16. Кирршина М.Т. О проявлении мезо-кайнозойского вулканиэма на северной окраине Сибирской платформы//Изв. АН СССР, се-

рия геопогическая, 1959, № 1, с., 50-55. 17. Лутц Б.Т. Метаморфизм подвижных поясов Ранней Земли. М.: Наука, 1985, 216 с., 18. Масайтис В.Л. Включения в импактитах//Метеоритика,

1982, вып. 40, с. 107-112. 19. Масайтис В.Д. Гигантские метеоритные удары: некоторые

модели и следствия//Современные идеи теоретической геол Л.: Недра, 1984. с. 151-179. 20. Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановская Т.В. геологии.

Попигайская котповина - взрывной метеоритный кратер//Докл. AH

По-

Пигайская котловина – взрывной метеоритный кратер//докл. Кн СССР, 1971, т. 197, № 6, с. 1390-1393. 21. Масайтис В.Л., Михайлов М.В., Селивановская Т.В. По-пигайский метеоритный кратер. М.: Наука, 1975, 124 с. 22. Масайтис В.Л., Мащак М.С., Селивановская Т.В. и др. Попигайская астроблема//Теология астроблем. Л.: Недра, 1980, c. II4-I30.

23. Мащак М.С. Петрохимические особенности разновозрастных даек диабавов и долеритов вжной части Анабарского щита // Геология и геохимия базитов восточной части Сибирской платфор-

нь. М.: Наука, 1973, с. 76-86. 24. Мащак М.С. Карская астроблема//Геология астроблем.Л.: Недра, 1980, с. %-110. 25. Полдерварт А. Химия земной коры//Земная кора. М.: ИЛ,

1957, с. 130-157. 26. Рабкин М.И. Геология и петрология Анабарского криста-

ллического щита. Л.: труды НИИГА, т. 87, 1959, 164 с. 27. Райхлин А.И., Селивановская Т.В. Брекчии и импактиты взрывных метеоритных кратеров и астроблем//Метеоритные струк-туры на поверхности планет. М.: Наука, 1979, с. 65-80.

28. Смирнов Л.П. Стратиграфия меловых континентальных отпожений Попигайской котловины//Сборник статей по геопогии И нефтегазоносности Арктики. Л.: труды НИИГА. т. 121. вып. 18.

1962, с. 29-43. 29. Структуры и текстуры варывных брекчий и импактитов. Л.: труды ВСЕГЕМ, новая серия, т. 316, 1983, 159 с.

30. Ударные кратеры на Луне и планетах. М.: Наука. 1983.

200 с. 31. Фельдман В.И. Петрология импактитов. М.: МГУ, 1990.

300 с. 32. Фельдман В.И., Сазонова Л.В., Грановский Л.Б. Классификация импактитов по петрографическим и геологическим призна-кам//БМОИП, отд. геол., 1982, т. 57, вил. 6, с. 84-94. 33. Chao E.C.T. Geologic implications of the Apollo-14

Fra Mayro breccias and comparison with the ejecta from the Ries crater, Germany//J.Research U.S.Geol.Survey, 1973, vol. 1, p. 1-18.

34. Engelhardt v.W. Shock produced rock glass from the Ries crater//Contr. Miner. Petrol., 1972, vol. 36, N 4, p.265-292.

35. Gault D.E., Qu ide W.L, Oberbeck V.R. Impact Cratering mechanics and structures//Shock metamorphism of Natural Materials, Baltimore: Mono Book Corp., 1968, p.87-99.

36. Graup G. Terrestrial chondrules, glass spherules and accretion lapilli from the suevite, Ries Crater, Germany // Earth & Planet Sci. Letters, 1981, vol. 55, p. 407-418. 11

37. Grieve R.A.F. The Haughton impact structure: summary & synthesis of the results of the HISS project//Meteoritics, 1988, vol. 23, p. 249-254.

38. Grieve R.A.F., Dence M.R., Robertson P.B. Cratering process: as integrated from the occurrence of impact melt//Impact and Explosion Cratering. N.Y.; Pergamon Press, 1977, p. 791-814.

39. Ivanov B.A. The effect of gravity on crater formation: thickness of ejecta and concentric basins//Proc. of the 7-th Lunar Sci. Conf. N.Y.: Pergamon Press, 1976, vol. 3, p. 2947-2965.

40. Kieffer S.W., Simonds C.H. The role of volatiles and lithology in the impact cratering process//Rev. of Geoph. and

Space Physics, 1980, vol. 18, N 1, p. 143-181. 41. Newson H.E., Graup G., Izeri D.A., et.al. The formati-on of the Ries Crater, West Germany: evidence of atmospheric interaction during a larger cratering event//Global Catastrophes in Earth hystory; an interdisciplinary conference on im-Pacts, volcanism and mass mortality. Geol. Soc. Amer. Bull.Sp. Paper 247, 1990, p. 195-206. 42. Orphal D.L. Calculations of explosion cratering. II.

Cratering mechanics and phenomenology//Impact and Explosion Cratering, N.Y.: Pergamon Press, 1977, p. 907-917. 43. Pohl J., Stoffler D., Gall H., Ernston K. The Ries

crater//Ibiddem, p. 343-405. 44. Rehfuss D.E., Michael D., Anselmo J.C. & Kincheloe N. A model for wind-extension of the Copernicus ejecta blanket //

Ibiddem, p. 1123-1132. 45. Stahle V. Impact glasses from the suevite of the Nordlingen-Ries//Earth and Planet Sci. Letters, 1972, vol. 17, p. 275-293.

46. Stoffler D. Progressive metamorphism and classifica-tion of shocked and brecciated crystalline rocks of impact craters//Journ. Geoph. Research, 1971, vol. 276, N 25, p.5541-5551.

47. Stoffler D., Knoll H.D., Maerz U. Terrestrial and Lunar impact breccias and the classification of Lunar highland rocks//Proc. LPS Conf. 10-th. N.Y.: Pergamon Press, 1979, p. 639-675.

48. Vishnevsky S.A. The Popigai astroblema, a possible site of our geological heritage: properties and sights, problems and ideas of conservation. Presented at 1-st Int. Symp.on Conservation of Geological Heritage (Digne, France, June 11-16 1991). In press.

Утвержцено к печати Ученым советом Института минералогии и петрографии

Технический редактор О.М.Вараксина

Подписано к печати 21.04.94. Бумага 60х84/16. Печ.л.3,95. Уч.-изд.л.3,9. Тираж 250. Баказ 84.

Новосибирск,90, Университетский просп.,3, ОИГТМ СО РАН, УОП