

УДК: 552.511:551.2:553.81

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757

ГЕОЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОНОСНЫХ ФЛЮИДОЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЕВЫХ СТРУКТУР (УРАЛЬСКИЙ ТИП)

© 2018 Л. Н. Шарпенюк, Л. И. Лукьянова, О. В. Петров

Всероссийский геологический институт (ВСЕГЕИ) 199106, Санкт-Петербург, В.О., Средний пр., 74,
email: Lyudmila_sharpenok@vsegei.ru

Поступила в редакцию 26.12.2017 г., принята к печати 06.06.2018 г.

Геолого-петрологическая модель формирования алмазоносных флюидоэксплозивных брекчиевых образований представляет собой формализованную систему признаков ряда однотипных структур Приуральской и Западно-Уральской зон Пермского края. Модель отражает основные закономерности строения этих структур, вещественного состава пород и условий их становления. Охарактеризованы региональная и локальная геологические позиции алмазоносных образований и свойственные полям их развития геофизические параметры. Показана необходимость штихо-минералогических и геохимических исследований при проведении поисковых работ по выявлению алмазоносных объектов. Это позволит установить специфику минеральных ассоциаций и геохимических аномалий, свойственных регионам развития этих образований. Приведена детальная характеристика геологической структуры, к которой приурочено наиболее полно изученное месторождение Ефимовское. На примере этого месторождения показана форма брекчиевых тел и полифазное их строение, отражена специфика текстур и структур пород. Особое внимание уделено петрографической характеристике всех разновидностей флюидоэксплозивных брекчий (ФЭБ), в различной мере сочетающихся обломочный, протоматматический и новообразованный флюидогенный материал. Приведена характеристика и специфика минеральных зерен различного происхождения, многие из которых насыщены газовой-жидкими включениями, обладают блоковым погасанием, а в кварце – планарными элементами. Подчеркнуты различия в алмазоносности пород, принадлежащих к разновидностям последовательных фаз формирования флюидогенных брекчиевых образований. Рассматриваемая в статье модель позволит при изучении вновь выявленных брекчиевых образований с ограниченным числом параметров прогнозировать недостающие их признаки, а также оценочные параметры в отношении возможной алмазоносности.

Ключевые слова: геолого-петрологическая модель, Приуральская и Западно-Уральская зоны Пермского края, алмазоносные флюидоэксплозивные брекчиевые структуры, месторождение Ефимовское, петрографическая и минералогическая характеристики брекчий, алмазоносность

GEOPETROLOGICAL MODEL OF FORMATION DIAMOND-BEARING FLUID-EXPLOSIVE BRECCIA STRUCTURES (URALS TYPE)

Lyudmila N. Sharpenok, Lyudmila I. Lukianova, Oleg V. Petrov

A.P. Karpinsky All-Russian Geological Institute, 74 V.O., Srednii Av., St.Petersburg, 199106 Russia,
e-mail: Lyudmila_sharpenok@vsegei.ru

Received 26.12.2017, accepted 06.06.2018

Geopetrological model of diamond-bearing fluid-explosive breccia formations is a well-structured system of the features that are typical of several similar formations in the Cis-Ural and West Ural areas of the Perm Krai. The model reflects a number of basic common factors in these structures' morphology, their rock composition and the conditions for their formation. Regional and local geological positions featuring diamond-bearing formations as well as the parameters common for their widespread formation areas are characterized. The necessity of mineralogical and geochemical studies of black sand, while prospecting for diamond-bearing targets is highlighted. This will help identify specific mineral associations and geochemical anomalies typical of these widespread formation areas. The description of the geological structure, which the best-studied Efimov deposit, is given in detail. The description of this deposit is used as an example of illustrating the shape of breccia bodies and their polyphase structure, as well as describing their texture and rock structure specifics. Particular attention is paid to the petrographic characteristics of all kinds of fluid-explosive breccias, which to a different extent contain clastic, protomagmatic and newly formed fluidogenic material. The paper gives the characteristics and specifics of mineral grains of various origin, many of which are abundant in gas-liquid inclusions, characterized by block extinction, while quartz possess planar elements. Brought into focus are the differences in the diamond bearing capacity

Для цитирования: Шарпенюк Л.Н., Лукьянова Л.И., Петров О.В. (2018) Геолого-петрологическая модель формирования алмазоносных флюидоэксплозивных брекчиевых структур (уральский тип). *Литосфера*, **18**(5), 743-757. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757

For citation: Sharpenok L.N., Lukianova L.I., Petrov O.V. (2018) Geopetrological model of formation diamond-bearing fluid-explosive breccia structures (urals type). *Litosfera*, **18**(5), 743-757. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757

of rocks belonging to different successive evolution phases of fluid breccia formations. The model considered in the paper will make it possible in the course of studies of newly discovered breccia structures with a limited number of parameters to predict their missing features and assessment criteria with respect to possible beneficial mineralization.

Key words: *geopetrological model, the Cis-Urals and West Urals areas of the Perm Krai, diamond-bearing fluid-explosive breccia formations, the Efimov deposit, petrographic and mineralogical characteristics of breccias, diamond potential*

ВВЕДЕНИЕ

Прототипом флюидоэксплозивных образований уральского типа являются алмазоносные брекчи и образованные ими структуры, развитые в приуральской и западно-уральской частях Пермского края. Здесь к настоящему времени выявлено 19 таких объектов (2 месторождения и 17 проявлений) с суммарной прогнозно-ресурсной базой в 5270 тыс. карат. Модель подготовлена на основе наиболее изученных месторождений и проявлений Ефимовского, Рыбьяковского, Вишерского и Яйвинского районов. Для этих объектов при проведении поисковых работ была получена документация естественных обнажений, горных выработок, керна буровых скважин и добычных карьеров. Кроме того, для полноты модели привлечен материал по другим объектам этого края (Малая Порожная, Южная Рассольная, Илья-Вож, Волынка и др.), а также по аналогичным объектам некоторых других регионов России и зарубежья [Алмазоносные..., 2011].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВИШЕРСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

В тектоническом плане исследуемые рудные районы находятся на стыке крупных тектонических структур Урала, Тимана и восточной окраины Восточно-Европейской платформы. В геологоструктурном отношении они приурочены к алмазоносной Западно-Уральской мегазоне, расположенной между Предуральским краевым прогибом и Центрально-Уральской мегазоной. Западно-Уральская структура сложена преимущественно осадочными образованиями палеозоя и в меньшей мере – докембрия, сложно дислоцированными, надвинутыми к западу и, в свою очередь, перекрытыми крупными аллохтонами, перемещенными из Центрально-Уральской мегазоны. Она характеризуется присутствием архейско-раннепротерозойского кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы, что установлено по геофизическим данным и подтверждено глубоким бурением. По геофизическим параметрам земная кора зоны относится к внутрикратонному подтипу, сформированному в архее–раннем протерозое [Берлянд, 2007]. Фундамент сложен глубоко метаморфизованными и дислоцированными осадочными и магматическими породами архея и нижнего протерозоя. Он имеет глыбово-блоковое строение с интен-

сивной раздробленностью глубинными разломами, в том числе сдвиговыми и надвиговыми, и залегает на глубине 4–6 км [Гринсон, 1971].

Рассматриваемый для примера Вишерский район, как и другие алмазоносные районы Пермского Предуралья, приурочен к краевым пограничным частям платформы с жестким неглубоко залегающим докембрийским фундаментом, усложненным активно подвижными зонами [Лукьянова и др., 1997, 2005; Берлянд, 2007; Петров и др., 2012]. Он характеризуется градиентными зонами гравитационного поля – отрицательными гравиметрическими аномалиями, в том числе специфическими зонами в виде “цепочек” отрицательных прерывистых аномалий, а также аномалиями эндогенного теплового потока. К гравиметрическим аномалиям добавляется качественный геомагнитный признак, свойственный району, – наличие субвертикальных неоднородностей на петромагнитных и плотностных разрезах с локальными магнитными аномалиями небольшой интенсивности (3–20 нТл). Они выявляются методом спектрально-пространственного анализа геомагнитных полей вдоль профилей и, как показали исследования в Вишерском и Яйвинском районах [Петрова, Мавричев, 2004; Алмазоносные..., 2011], предположительно связаны с флюидоэксплозивными алмазоносными породами. “Следы” продвижения по ослабленным зонам с глубины к поверхности флюидогенного материала, содержащего ксеногенные обломки разнообразного состава, также отражаются в петромагнитном разрезе в виде неоднородностей намагниченности. Детальные геофизические работы (гравиразведка м-ба 1:10 000 и электроразведка методом ВЭЗ) показали, что флюидоэксплозивные брекчиевые тела в поле силы тяжести характеризуются отрицательными аномалиями, часто фиксирующими линейные зоны. На геоэлектрических разрезах “глинизированные” (аргиллизитовые) разновидности брекчий имеют значения ρ_k 200–600 Ом·м, а “песчанистые”, существенно кварцевые разновидности – 900–1500 Ом·м.

К характеристике алмазоносных районов следует добавить результаты следующих специфических исследований.

– Выявление индикаторных для поисков алмазов “шлихо-минералогических ассоциаций” [Жуков и др., 1978]. Они характеризуются постоянным присутствием в различных количественных соотношениях лимонита, гематита, кианита, ставро-

лита, турмалина, рутила, корунда, пирропа, пиропальмандина, хромшпинелидов, шпинели и самородных металлов. Гранулометрическим признаком этих ассоциаций является их разнородность, а морфогенетической особенностью – постоянное присутствие округлых зерен (сферитов) с гладкой блестящей и тонкошероховатой (корродированной) поверхностью (лимонит, гематит, карбонаты).

– Установление по первичным и вторичным ореолам рассеяния геохимических аномалий таких элементов, как Co, Ni, Cr, Se, Be, Ba, Ti, Pb, Zn, As, Y, Ag.

По региональной геолого-структурной позиции для алмазоносных районов характерны следующие показатели.

1. Значительные мощности перекрывающего фундамент осадочного чехла (4.0–7.0 км) и земной коры (от 35–40 до 45–50 км).

2. Градиентные зоны гравитационного поля (отрицательные гравиметрические аномалии, в том числе специфические зоны в виде “цепочек” отрицательных прерывистых аномалий), а также аномалии эндогенного теплового потока.

3. Раздробленность фундамента зонами глубинных разломов, благоприятными для проникновения в земную кору эндогенных флюидов, а также присутствие на пути продвижения флюидного вещества к поверхности так называемых структурных “ловушек”, особенно перспективных для разгрузки флюидов. Среди них участки пересечения глубинных разломов; участки примыкания разломов к бортам крупных структур опускания (авлакогенов) или поднятий докембрийских комплексов; зоны сместителя надвигов, тяготеющие к контактам разновозрастных (докембрийских и палеозойских) комплексов; ядра антиклиналей и крупные формы понижения рельефа, осложненные зонами дробления.

4. Проявление на определенных этапах развития подвижной системы эпейрогенических движений различной направленности и амплитуды, способствующих продвижению и внедрению глубинных флюидов.

5. Широкое развитие в чехле следующих осадочных отложений: *песчаных* – благоприятной среды для локализации внедряющихся флюидов с образованием пластовых тел, жил, штокверковых зон и других брекчиевых структур; *алевроитоглинистых*, являющихся экраном, препятствующим движению флюидов к поверхности и способствующих их концентрации в закрытой системе.

6. Проявления в районе магматизма основного и ультраосновного составов, что является косвенным признаком возможного обнаружения алмазоносных брекчий, поскольку с этими породами предполагается некая сопряженность – унаследованная парагенетическая связь при отсутствии генетической.

7. Повышенная алмазоносность территории и обнаружение в регионе преимущественно криво-

гранных округлых (уральский или бразильский тип) алмазов в сочетании со специфическими геохимическими и минералогическими аномалиями.

Основная и самая крупная тектоническая структура Вишерского алмазоносного района – Полюдовско-Колчимский антиклинорий, ограниченный с юго-запада и северо-востока глубинными крутопадающими разломами, проявленными в геофизических полях и перекрытыми аллохтонными пластинами крупных надвигов и сдвиго-надвигов различных возрастов (рис. 1). Ядро антиклинория – карбонатные и терригенные отложения верхнего рифея и венда, крылья сложены породами палеозоя, в основании которого залегают кварцевые песчаники и конгломераты верхнего ордовика или карбонатные породы верхнего силура. Необходимо отметить, что совокупность разломов создает клавишное строение региона, образованное сетью субпараллельных сбросо-сдвиговых структур. В узлах пересечения разломов, осложненных зонами дробления, развивается сетчатая система трещиноватости – ослабленные зоны, которые служат путями проникновения продуктов эндогенных процессов, в том числе переноса и переотложения рудного вещества и внедрения магмы с образованием плагиоперидотит-эссекситовых и долеритовых гипабиссальных образований, а также алмазоносных флюидоэкссплозивных пород.

В составе Полюдовско-Колчимского антиклинория обособляются две крупные антиклинали: на северо-западе – Колчимская, на юго-востоке Тулым-Парминская, разделенные синклиальной седловиной. Ядра антиклиналей образованы карбонатными и терригенными довольно интенсивно смятыми породами нижнего рифейско-ордовикского структурного яруса платформенного чехла, погружающимися на северо-восток с осложнениями взбросо-сбросового и сдвиго-надвигового характера. В крыльях антиклиналей залегают палеозойские (силур–пермь) также терригенно-карбонатные слабо дислоцированные отложения верхнего структурного яруса чехла. На юго-западе и северо-востоке антиклинорий ограничен глубинными разломами. Они проявлены в физических полях, однако в большинстве случаев перекрыты палеозойскими отложениями, в том числе и по надвигам. Именно вдоль этих глубинных разломов расположены (или проецируются на них) проявления алмазоносных флюидоэкссплозивных брекчиевых образований. Лишь единичные из них тяготеют к оперяющим разломам более низкого порядка.

Флюидоэкссплозивные образования наиболее изученного Ефимовского месторождения приурочены к северо-восточной части Колчимской антиклинали. Здесь терригенные вендские отложения погружаются с осложнениями сдвигового характера под положо залегающие терригенно-карбонатные отложения

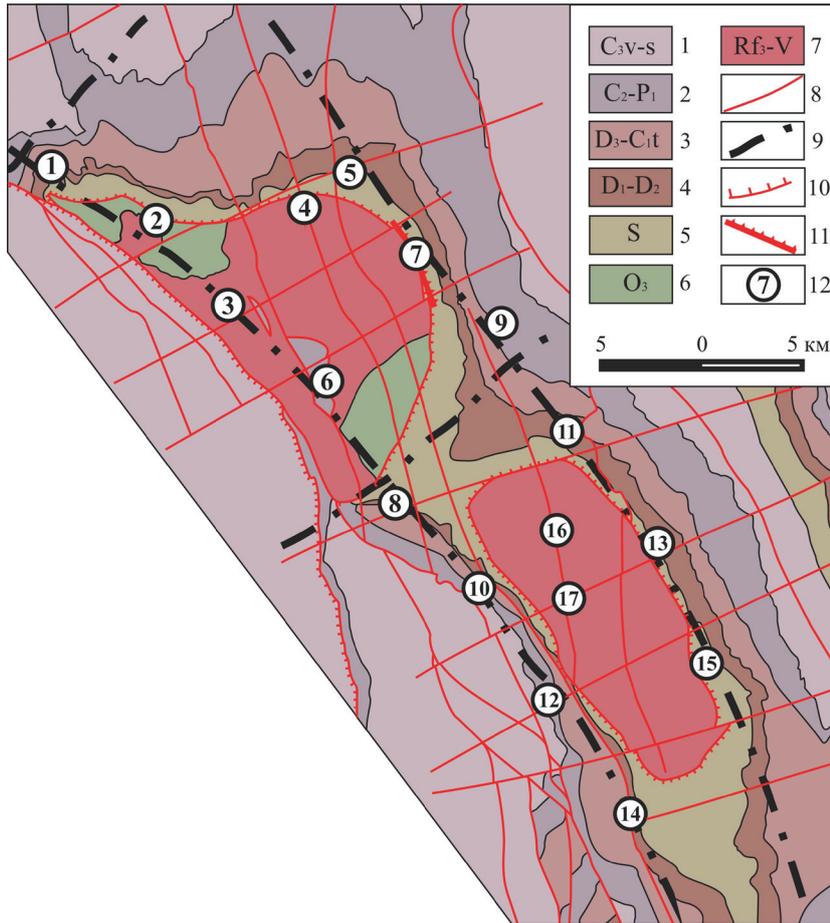


Рис. 1. Геолого-структурная схема Полюдовско-Колчимского антиклинория [Алмазосносные..., 2011].

1–5 – отложения палеозойского этажа: 1 – визейско-серпуховские, 2 – среднекаменноугольно-нижнепермские, 3 – верхнедевонско-турнейские, 4 – нижне-среднедевонские, 5 – силурийские; 6–7 – отложения рифейско-нижнепалеозойского этажа: 6 – ордовикские, 7 – рифейско-вендские; 8 – тектонические нарушения; 9 – региональные глубинные разломы, скрытые под вышележащими отложениями; 10 – границы структурно-тектонических этажей; 11 – фрагмент колчимского надвига; 12 – рудные узлы: 1 – Сторожевский, 2 – Ключевской, 3 – Дресвяная степь, 4 – Чурочинский, 5 – Жалинский, 6 – Буркочимский, 7 – Ефимовский, 8 – Светлинский, 9 – Вольнский, 10 – Ильявожский, 11 – Водораздельный, 12 – Полуденно-колчимский, 13 – Кочешорский, 14 – Северо-Колчимский, 15 – Верхнетулымский, 16 – Быстринский, 17 – Нижнекочешорский.

Fig. 1. Geological and structural scheme of the Poludovsko-Kolchimsky anticlinorium [Almazonosnye..., 2011].

1–5 – Paleozoic sediments: 1 – Visean-Serpukhovian, 2 – Middle Carboniferous-Lower Permian, 3 – Upper Devonian-Tournaisian, 4 – Lower to Middle Devonian, 5 – Silurian; 6–7 Riphean-Lower Paleozoic sediments: 6 – Ordovician, 7 – Riphean-Vendian; 8 – Tectonic faults; 9 – Regional deep faults hidden under overlying sediments; 10 – Boundaries of structural tectonic levels; 11 – Fragment of the Kolchimsky thrust; 12 – Ore clusters: 1 – Storozhevsky, 2 – Klyuchevskoy, 3 – Dresvyanaya Steppe, 4 – Churochinsky, 5 – Zhalinsky, 6 – Burkochimsky, 7 – Efimovsky, 8 – Svetlinsky, 9 – Volynsky, 10 – Il'yavozhsky, 11 – Vodorazdelny, 12 – Poludennokolchimsky, 13 – Kocheshorsky, 14 – Severo-Kolchimsky, 15 – Verkhnetulymsky, 16 – Bystrinsky, 17 – Nizhnekocheshorsky.

силура–карбона (рис. 2). Граница между ними тектоническая – по зоне Колчимского надвига северо-западного простирания с пологим (17°) северо-восточным падением сместителя, что установлено буровыми работами. Кроме того, северо-восточнее Колчимского надвига участок месторождения тяготеет к отрезку скрытого Ишковского сброса с крутым (75–80°) восточным падением сместителя и вертикальной амплитудой перемещения 40–60 м.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СТРУКТУР И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ФЛЮИДОЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ (ФЭБ)

Положение флюидогенных брекчий на приведенной схеме свидетельствует о том, что флюидоэксплозии происходили вдоль зон названных крупных тектонических нарушений, в том числе вдоль

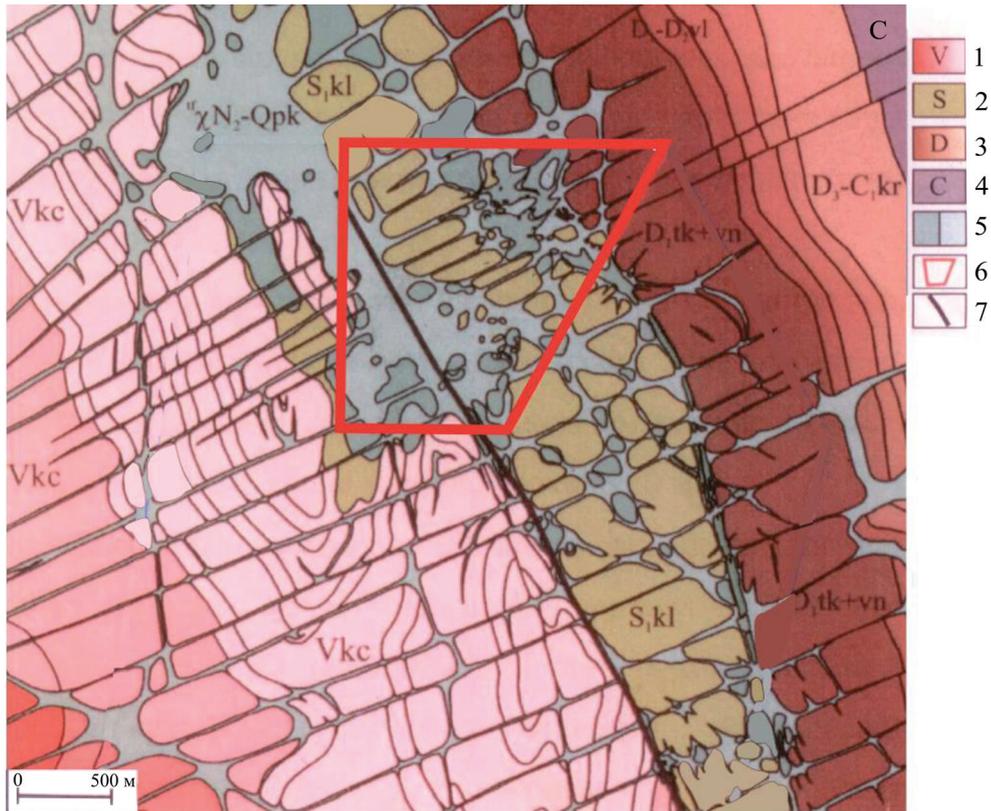


Рис. 2. Геологическая схема района Ефимовского месторождения (И.П. Тетерин и др. Отчет, ЗАО “Пермгеологодобыча” за 2009 г).

1 – вендская система (V kc – кочешорская свита, нижняя и верхняя толщи), 2 – силурийская система (S kl – колчимская свита), 3 – девонская система (D₁tk + vn – такатинская и ванышкинская свиты, D₁-D₂vl – волынская толща, D₃-C₁kr – кремнистая толща), 4 – карбоновая система (C – западноуральская свита); 5 – флюидоэксплозивные брекчии (темно-серое – полудоско-колчимский комплекс, светло-серое – ефимовский комплекс); 6 – контур Ефимовского месторождения; 7 – фрагмент Колчимского надвига.

Fig. 2. Geological scheme of the Efimov field (by I.P.Teterin et al., unpublished report “Permgeologodobycha”, 2009).

1 – the Vendian system (V kc – Cochoshorian Formation, lower and upper strata); 2 – the Silurian system (Skl – Kolchima Fm); 3 – the Devonian system (D₁tk + vn – Takatinskaya and Vanyashin Fm, D₁-D₂vl – the Volynian stratum, D₃-C₁kr – siliceous stratum); 4 – Carboniferous system (C – West-Uralian Fm); 5 – fluid-explosive breccias; 6 – contour of the Efimov deposit; 7 – fragment of the Kolchima thrust.

межформационных надвигов. Используя все возможные пути продвижения к поверхности и проникновения во вмещающие породы, флюиды в результате эксплозий сформировали брекчиевые тела дайко-, силло-, конусо- и жилообразные, иногда штокверковые. Наиболее многочисленные дайкообразные тела приурочены к крутопадающим разломам преимущественно северо-восточного простирания (см. рис. 2) при мощности от 100 до 500 м. Однако Ефимовское месторождение образовано главным образом двумя субпластовыми и силлообразными телами, инъецирующими сместители надвигов северо-западного простирания, мощностью от первых до 70 м при протяженности до 7 км. Они сопряжены преимущественно с Колчимским надвигом, разделены толщей нижнесилурийских доломитов и прорваны дайкообразными телами брекчий. Разме-

ры брекчиевых тел, изредка имеющих конусообразную форму, колеблются от долей метра до 400 м и более, и они обычно образуют дайко-, силло- и жилообразные апофизы в цокольные породы, создающие сложную штокверковую форму.

Контакты брекчиевых тел обычно нечеткие, размытые, так как слабо насыщенные обломками центральные части тел обогащаются ими к их периферии и, наконец, сменяются аутигенными брекчиями по породам рамы. Кроме того, всему разнообразию флюидогенных брекчиевых тел свойственны неровные контуры стенок тел и древовидные разветвления, апофизы и прожилки, мощность которых, постепенно уменьшаясь, часто достигает 1–2 мм при протяженности в десятки см (рис. 3).

По размерам тела брекчий также разнообразны, однако подавляющее большинство из них измеряет-



Рис. 3. Различные формы брекчиевых тел флюидоэксплозивного происхождения [Алмазоносные,... 2011].

Fig. 3. Different forms of fluid-explosion breccias [Almazonosnye..., 2011].

ся в среднем в поперечнике до десятков м при протяженности до 2 км; на глубину они прослеживаются, как правило, до 200–300, редко до 500–600 м. Слагающие эти тела ФЭБ (все разнообразие которых на Урале и в некоторых других регионах часто принято называть “туффизитами”) – весьма специфические, имеющие пятнисто-пестро-желтовато-, зеленовато- или серовато-бурую окраску. Макроскопически они имеют облик глинистых, песчано-глинистых, песчанистых, конгломератовидных пород с неравномерно рассеянными обломками и иногда неявно проявленной слоистостью, флюидальностью. Обломки содержатся в них в различном количестве (от 20 до 60–70%), разнообразные по размеру (от долей мм до нескольких м), составу (обычно полимиктовые) и форме.

Важным признаком алмазоносных брекчий является, несомненно, характер обломков. Как и во всех брекчиях, в них постоянно присутствуют и порой преобладают угловатые обломки. Они, как правило, в той или иной степени подвержены, в связи с взрывными процессами, фрагментации, дезинтеграции. Однако спецификой именно флюидогенных брекчий, в частности пород Ефимовского месторождения, является то, что в них, наряду с угловатыми обломками, практически постоянно присутствуют округленные и округлые “обломки”, иногда со скорлуповатой отдельностью. Эти “обломки” получили свою форму не в результате окатывания, как в осадочных породах, а в условиях нахождения в мобильной твердо-газовой струе, производящей абразивную, галтовочную их обработку. Кроме того, во флюидоэксплозивных брекчиях присутствуют дезинтегрированные “теневые” обломки, а также обломки минеральных зерен с микровзрывной их фрагментацией, отражающей резкое декомпрессионное падение давления, что является их надежным диагностирующим признаком. Отмечаются в рассматриваемых брекчиях так-

же ударные преобразования обломков – проявление главным образом в зернах обломочного кварца планарно-деформационных элементов, иногда ударного двойникования, веерную трещиноватость, изменений показателей преломления и др. По составу среди обломков преобладают литокласты (терригенных и карбонатных пород) и их минеральные составляющие (в основном кварц, реже полевые шпаты, доломит). Постоянно присутствуют также обломки метаморфических пород фундамента, чуждые вмещающим породам, и пород чехла, захваченные и вынесенные флюидным потоком. Характер границ обломков со связующей массой различен: может быть как четким, так и размытым – коррозионным или реакционным. Пограничные зоны обломков интенсивно трещиноваты, заполнены по трещинкам цементирующей массой или газово-жидкими включениями, поскольку они являются зонами наиболее сильных сингенетических их преобразований. В ряде случаев обломки в целом могут быть замещены флюидогенной минеральной ассоциацией или перекристаллизованы.

Облик ФЭБ с разнообразными обломками дополняется постоянным присутствием (в разных соотношениях) минеральных зерен различного происхождения. Одни из них – минералы, например кварц, образовавшиеся при регенерации или гранулировании обломочных зерен, другие – новообразованные. Последние (кварц, карбонаты, биотит, мусковит, гематит, гетит и др.) кристаллизуются главным образом на завершающей стадии формирования брекчий и не деформированы, если они не испытали воздействия повторной эксплозии; часто они идиоморфны и не содержат газово-жидких включений. Кроме того, флюидным потокам свойствен сброс в формирующиеся брекчии (экстракция при декомпрессии) рудных ингредиентов флюида, что приводит к минерализации, в том числе алмазоносности [Эндогенные..., 2018].

Характерным признаком алмазонасных брекчий является также присутствие в них протоматмических минералов и магматических минеральных обособлений (ксенолитов?) – “отторженцев” из порождающей флюид среды. Эти минералы и обособления редки, во многих случаях замещены минеральной ассоциацией, аналогичной цементу брекчий, и в этом случае диагностируются по морфологии зерен и обособлений или выявляются в составе тяжелой фракции пород. В целом в алмазонасных брекчиях установлены флогопит, оливин (серпентин), пироксены, псевдолейцит, лейкоксен, пироп (иногда в келифитовой кайме), пикроильменит, хромшпинелид и другие минералы, что позволяет предполагать глубинный, возможно мантийный, источник флюида. В шлифах эти минералы встречаются редко, в основном на участках с порфиритовыми структурами, в пределах которых брекчий, в соответствии с классификацией, приобретают облик магматогенно-флюидогенных.

Протоматмические минеральные зерна в различной степени замещены калиевым полевым шпатом, гидрослюдой, кварцем, карбонатом, пиритом или иллит-сметкитовым агрегатом, часто преобладающим в связующей массе породы. Кроме того, в последнее время в них установлены линзовидно-струйчатые обособления магматической лампроитовой составляющей, близкой по составу к орендитам, мадупитам [Лукьянова, Шарпенко, 2004]. Микронное изучение связующей массы этих брекчий, проведенное в шлифах, а также ее изучение рентгенофазовым анализом позволило установить в ней микролиты санидина (10–300 мкм), количество которых иногда достигает 5% массы, а состав соответствует составу санидина лампроитов [Лукьянова и др., 2005].

Алмазная ассоциация минералов в уральских ФЭБ – это алмаз, пироп, хромшпинель, пикроильменит, хромсодержащий диопсид, муассанит, самородные Pt, Hg, Cu, Bi, оксидные (Mn-Fe-Ti) и силикатные сферулы и шлаки, кимберлитовый циркон, флоренсит, сенаит [Чайковский, 2004]. Алмазы этой ассоциации обладают специфическими чертами, объединяющими их с алмазами Бразилии, Юго-Запада Африки и Северо-Востока Якутии. Среди них преобладают кривогранные додекаэдры со сглаженным рельефом, сильным блеском, высокой прозрачностью, бесцветны, реже с очень легким золотистым, розовым или зеленовато-голубым цветом; около 80% из них – ювелирные камни.

В целом характеризуемые алмазонасные брекчии имеют, как правило, неоднородный брекчиево-такситовый облик при отсутствии в большинстве случаев сортировки обломочного материала. В то же время в них наряду с пятнисто-атакситовой отмечаются близкие к эвтакситовой пятнисто-полосчатая, полосчатая (псевдослоистая) и флюидальная текстуры. В одних случаях они обуслов-

лены сортировкой, но не седиментационной, а кинетическим перераспределением материала, в других – дифференциацией взвешенных во флюиде включений по их величине и концентрации при ламинарном течении твердо-газового потока или растаскиванием дезинтегрированных обломков по направлению течения флюидной массы с образованием вытянутых слоев, постепенно сливающихся с цементом. Наконец, как атакситовые, так и близкие к эвтакситовым текстуры могут быть обусловлены сосуществованием во флюиде обособлений или струй несмешиваемых фаз. Раскristализация этих фаз при эксплозивных явлениях приводит к пятнистому или ориентированному, потокообразному расположению составляющих флюида. Таким образом, именно эмульсионная природа флюида обуславливает пятнистые, линзовидно-полосчатые или флюидальные текстуры ФЭБ, в том числе – игнимбритовидные или даже лавовидные.

Между всеми структурными разновидностями часто отмечаются нечеткие границы, переходы. Так, в случае последовательного увеличения в связующей массе кварц-слюдистых, иллит-сметкитовых “струек” туфовидная брекчия постепенно приобретает игнимбритовидный облик. Характерны также резорбционные и реакционные взаимоотношения связующей массы с минеральными зернами (признаки многоактных проявлений флюидной фазы), а также гранулирование и перекристализация минералов, чаще всего кварца. Очень важным и практически постоянным признаком этих брекчий являются также высокая пористость и газонасыщенность пород и содержащихся в их составе кластов и минералов.

Как и породы в целом, неоднородна и связующая масса флюидогенных брекчий, состоящая из флюидогенного цемента, содержащего то или иное количество тонкообломочной фракции. Как правило, в ней сочетаются, перемежаются самые различные структуры – наиболее часто встречающаяся туфовидная (иногда ее называют песчанистой, “туффизитовой”, “пепловой”), реже отмечаются полосчато-флюидальная, флюидальная, игнимбритовидная, лавовидная и др.

Для флюидогенных брекчиевых образований закономерно, что в пределах единых тел и даже в пределах одного шлифа сочетаются различные структурно-вещественные разновидности (генерации) брекчий, между которыми наряду с постепенными, нечеткими, расплывчатыми переходами часто устанавливаются инъективные взаимоотношения. Это свидетельствует о полиимпульсном их становлении, а взаимоотношения между генерациями отражают становление близких по времени, но, скорее всего, последовательных импульсов флюидоэксплозивного процесса. Возможна также смена эксплозивных проявлений пневматолитовыми, пневматолит-метасоматическими и гидро-

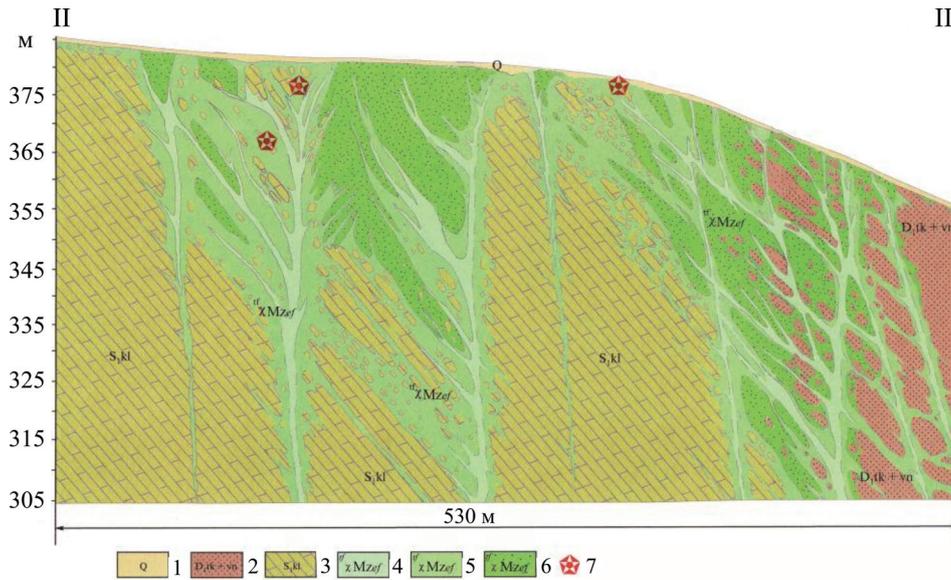


Рис. 4. Геологический разрез северного участка месторождения Ефимовского [Алмазоносные..., 2011].

1 – четвертичные отложения (глины, щебень и глыбы коренных пород); 2 – такатинская и ваяшквинская свиты девона (песчаники); 3 – колчимская свита силура (доломиты); 4–6 – ефимовский комплекс: 4 – аргиллизитовые ФЭБ третьей фазы, 5 – ФЭБ второй фазы, 6 – ФЭБ первой фазы; 7 – находки алмазов.

Fig. 4. Geological section of the northern section of the Yefimovskoye deposit [Almazonosnye ..., 2011].

1 – Quaternary deposits (clays, crushed stone and lumps of bedrock); 2 – Takatin and Vanyashkin Devonian formations (sandstones); 3 – Kolchinskaya suite of Silurian (dolomite); 4–6 – Efimov complex: 4 – argillite fluid-free explosive breccias of the third phase, 5 – fluidsexplosive breccias of the second phase, 6 – fluidsexplosive breccias of the first phase; 7 – finds of diamonds.

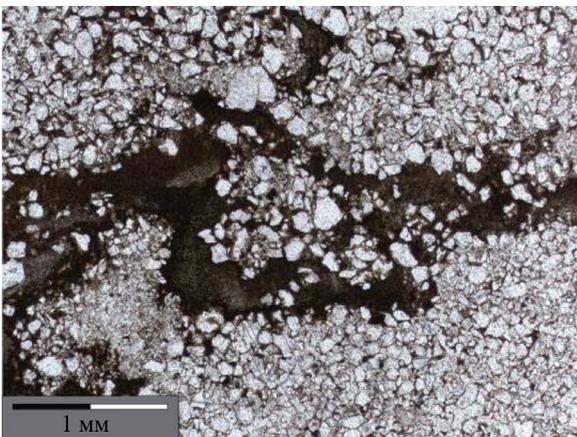


Рис. 5. Обломки апопесчаниковой брекчии, сцементированные связующей массой первой генерации и заключенные в цемент второй генерации.

Fig. 5. Debris of apo-sand breccia, cemented by a first-generation bonding mass and enclosed in second-generation cement.

термально-метасоматическими, в том числе доломитизацией.

Геологическое картирование и большой объем горных работ, проведенных на отдельных участках проявления алмазоносных брекчиевых образований,

показали, что их внутреннее строение неоднородно. Так, если исключить из рассмотрения аутигенные брекчии по вмещающим породам (песчаникам, карбонатным и др.), то в составе отдельных тел (например, северного участка Ефимовского месторождения) установлено не менее трех основных генераций пород (с внутренними фациальными, а иногда и фазовыми разновидностями), различающихся вещественным составом, текстурно-структурными особенностями и, наконец, алмазоносностью (рис. 4).

В раннюю фазу флюидоэксплозивного процесса сформировались насыщенные обломками полимодальные (мелко-крупнообломочные) туфовидные ФЭБ. Разноразмерные обломки девонских песчаников и силурийских доломитов погружены в связующую массу, состоящую из осколков мелко- и тонкообломочной фракции, сцементированных зернисто-волокнистым кварц-слюдистым цементом. С этими брекчиями сопряжена низкая и весьма неравномерная алмазоносность.

Связующая масса этих брекчий может иметь две генерации. Для первой характерно заполнение слюдисто-глинистым агрегатом пространства между кристаллокластами кварца. Связующая масса второй генерации включает в себе как обломки отдельных кристаллов, так и брекчии с цементом первой генерации (рис. 5). Она имеет также слюдисто-глинистый состав при повышенном со-

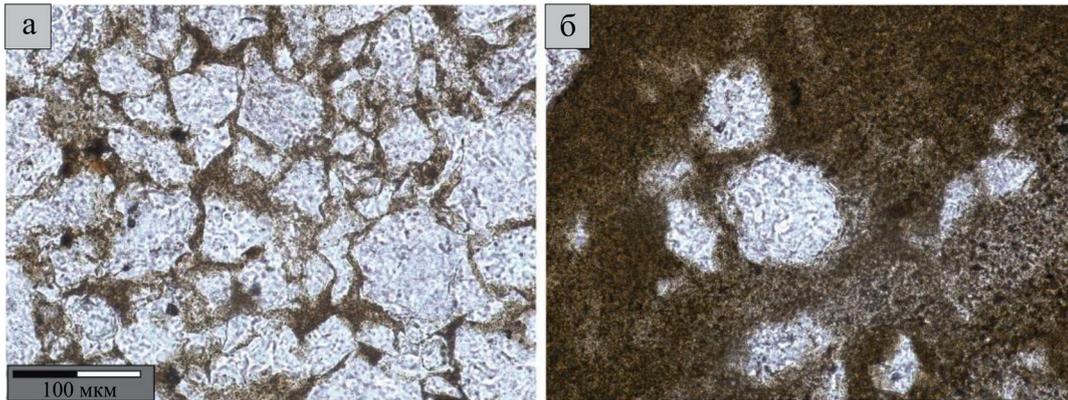


Рис. 6. Зерна кварца различной морфологии, заключенные в цементирующую массу первой (а) и второй (б) генераций.

Fig. 6. Grains of quartz of different morphology, enclosed in the cementing mass of the first (a) and second (b) generations.

держании тонкочешуйчатого серицита и значительном количестве рудного минерала (окислы и гидроокислы железа).

Необходимо отметить, что кристаллокласты кварца, объединенные связующей массой первой генерации, имеют преимущественно угловатые грани. Отличительной чертой аналогичных зерен, но уже сосредоточенных в связующей массе второй генерации, является преобладание в ограничении скругленных форм (рис. 6).

Границы зерен кварца сильно корродированы, нередко наблюдаются реакционные взаимоотношения с цементирующей массой (рис. 7). Относительно крупные обломки кварца разбиты системой различно ориентированных трещин, по которым часто развиваются цепочки газожидких включений. Как крупные, так и относительно более мелкие кристаллокласты кварца обладают в большинстве случаев волнистым или блоковым погасанием.

Во вторую фазу эксплозивного процесса (см. рис. 7) образовались брекчии, умеренно и неравномерно насыщенные обломками цокольных пород брекчиевой и более мелкой размерности и минеральных зерен, сцементированных смектит-гидрослюдистой флюидогенной минеральной ассоциацией.

Обломки пород имеют различную морфологию. Широко распространены литокластические образования со скругленными, а иногда расплывчатыми или постепенными по отношению к связующей массе границами. Формирование такого рода границ у литокластов обусловлено проникновением минералов цемента по трещинам различного характера: как сформировавшихся при процессах брекчирования, так и по первичным трещинам напластования и слоистости, с замещением минералов брекчированных осадочных пород. Среди агре-

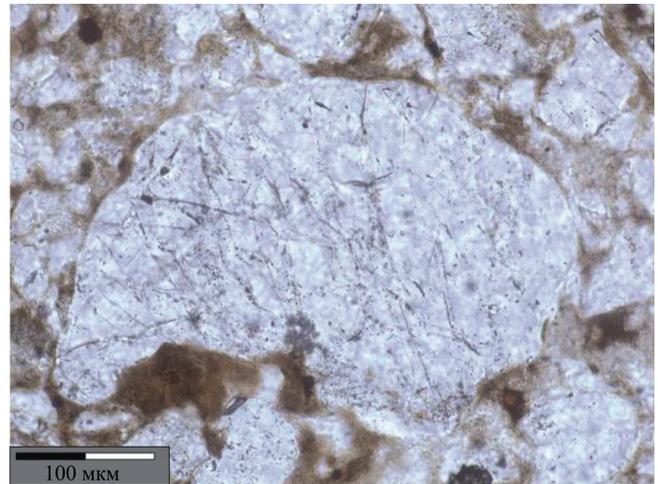


Рис. 7. Зерно кварца со скругленными корродированными границами, разбитое системой различно ориентированных трещин с развитыми по ним цепочками газожидких включений.

Fig. 7. Grain of quartz with rounded corroded boundaries, broken by a system of differently oriented cracks with gas-liquid inclusions.

гатов, развивающихся по обломкам пород, преобладают кварц-серицит-глинистый (в случае замещения кварцевых песчаников, реже аргиллитов) и глинисто-рудный (в случае замещения обломков, предположительно основных эффузивных пород), в котором из рудных минералов доминируют окислы и гидроокислы железа (рис. 8).

Брекчии характеризуются довольно значительным распространением кристаллокластов, заключенных в цементирующую массу. Среди обломков кристаллов наиболее часто встречаются зерна кварца. Они имеют в большинстве случаев скруг-

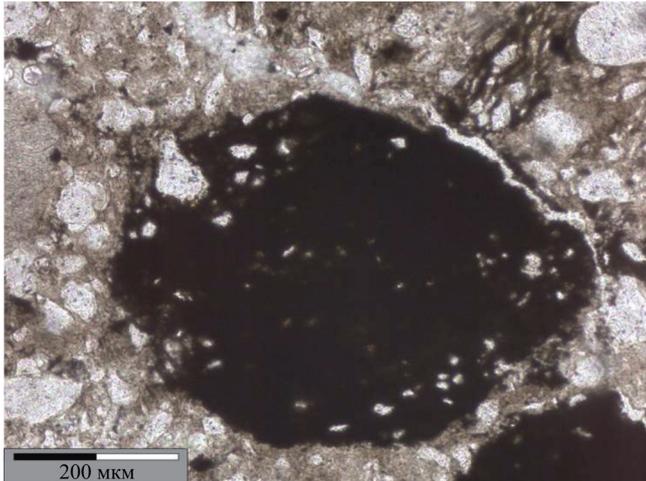


Рис. 8. Кристаллокласт (оливин), замещенный агрегатом рудных минералов.

Fig. 8. Crystalloclast (olivine), replaced by an aggregate of ore minerals.

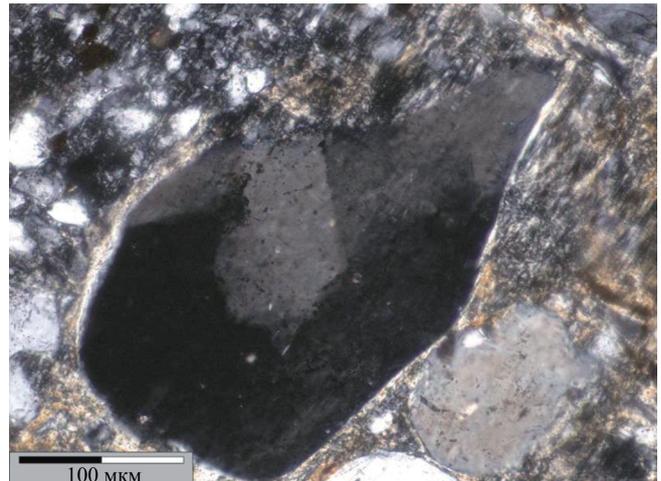


Рис. 9. Зерно кварца с отчетливо выраженным блоковым погасанием.

Fig. 9. Grain of quartz with distinctive block extinction.

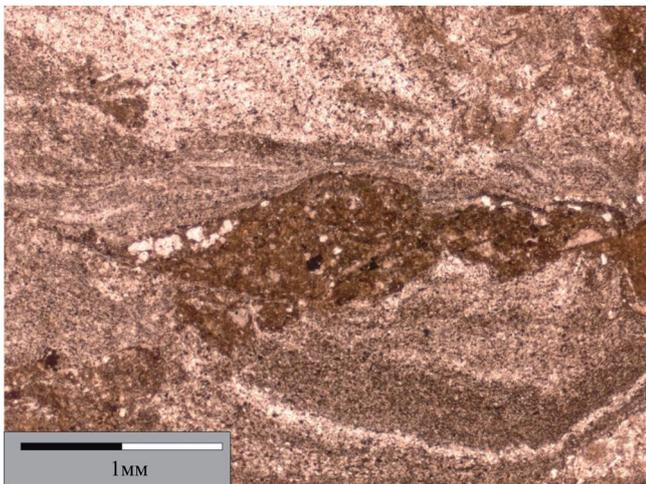


Рис. 10. Обломок породы в “обтекающей” связующей массе.

Fig. 10. A fragment of rock in the “flowing” binding mass.

ленные в значительной степени корродированные границы. Многие, особенно крупные, зерна минерала разбиты различно ориентированной системой трещин, по которым наблюдается развитие газожидких включений. Практически все кристаллокласты кварца обладают блоковым погасанием и многие – планарными элементами (рис. 9).

Брекчии этой генерации характеризуются максимальной для Ефимовского месторождения алмазонасностью, но так же, как и для ранних брекчий, неравномерной. Форма продуктивных тел многообразна. Среди них встречены простые и сложные

линзы, гнезда, крутопадающие столбы, состоящие из гнездо- и линзообразных обособлений, жилы и инъекции неправильной формы. В некоторых детально изученных телах установлено до 5–7 разновидностей брекчий как с фазовыми, так и фациальными взаимоотношениями. Достоверно оценить алмазонасность каждой из них не представляется возможным, однако максимальные содержания алмазов тяготеют к нижним частям силла.

Завершающая стадия формирования силлообразного тела брекчий Ефимовского месторождения фиксируется образованием очень плотных аргиллизитовых пород с небольшим количеством ксеногенного материала. Алмазонасность этих пород крайне низкая.

Литокласты, погруженные в кварц-слюдистоглинистую цементирующую массу, составляют от общего объема брекчий не более 30–35%. Среди обломков пород преобладают аргиллиты и алевролиты, относительно редко встречаются кварцевые песчаники. Весьма широким распространением пользуются литокласты удлиненного облика со скругленными плавными, часто нечеткими границами (рис. 10). Наиболее плавные переходы наблюдаются между связующей массой и обломками аргиллитов, которые, по-видимому, в значительной степени замещены минералами цемента в ходе процессов флюидизации.

Кристаллокласты в этих брекчиях присутствуют редко. Среди них преобладают разноразмерные обломки зерен кварца, имеющие в большинстве случаев скругленные корродированные границы. Довольно часто наблюдаются цепочки зерен кварца, ориентированные вдоль структур течения. Отдельные зерна кварца часто разбиты различно ориентиро-

рованными трещинами, по которым развиваются цепочки газовой-жидких включений, и обладают явно выраженным блоковым погасанием.

Цементирующая масса – это тонкозернистый кварц-серицит-глинистый агрегат с довольно значительными вариациями в минеральном составе и хорошо выраженными следами течения. В число минералов связующей массы входят как новообразованные минералы (серицит, новообразованный кварц, отчасти глинистые минералы), так и тонко дробленные обломки зерен, образованные в процессе брекчирования. Относительно редко на общем мелко-тонкозернистом фоне цемента выделяются отдельные довольно крупные, во многих случаях сильно изогнутые новообразованные зерна биотита и мусковита. Значительное и весьма неравномерное развитие в связующей массе имеют тонкодисперсные агрегаты рудных минералов с преобладанием окислов и гидроокислов железа.

В брекчиях главным образом первой и второй фаз брекчиеобразования в связующей массе наряду с новообразованными минералами и обломочным материалом в шлифах иногда устанавливаются протемагматические минералы. Из них наиболее распространенным является циркон. В большинстве случаев это обломки отдельных зерен, реже – индивиды минерала с идиоморфным ограничением призматического или длиннопризматического облика. По литературным данным [Жуков и др., 1978; Алмазоносные..., 2011], в протолочных и шлиховых пробах для флюидоэксплозивных образований Ефимовского месторождения выделен довольно широкий спектр протемагматических минералов, однако в шлифах эти минералы встречаются крайне редко и в значительной степени подвержены вторичным изменениям, что крайне усложняет их диагностику.

Химические характеристики ФЭБ имеют некоторую специфику. Поскольку эти породы представляют собой аддитивный результат взаимодействия и сосуществования составляющих различного происхождения, то о химизме алмазоносных ФЭБ можно судить лишь в сравнительном аспекте. Исследования химических особенностей этих пород Вишерского района Урала [Ланда, Лукьянова, 2003; Алмазоносные..., 2011] показали их двойственный характер. Будучи по ряду параметров сходными с верхнекоровыми образованиями, что обусловлено прежде всего присутствием в них абсорбированного вещества вмещающих пород, они в то же время обладают определенными чертами, отражающими глубинное их происхождение и сходство с породами, отнесенными, например, в Центральной Италии к мадупитовым лампроитам. С ними их роднят повышенные содержания титана, фосфора, магния, калия, рассеянных и редкоземельных элементов, специфические особенности распределения петрогенных элементов, РЗЭ и тугоплавких литофилов. Уровень отношений индикаторных элементов (Rb/Sr, U/Th и др.), а также характер изменчивости содержаний элементов показаны на ряде диаграмм [Алмазоносные..., 2011].

В целом рассматриваемые ФЭБ имеют калиевую специфику. При этом содержание калия в них коррелируется с содержанием титана, фосфора, хрома, марганца, железа, иногда бария, стронция и ванадия. Кроме того, породы, как правило, аномально обогащены кремнием и рудными минералами, что, согласно представлениям Ф.А. Летникова [1992], является результатом эффекта исключительно высокой экстракции кремнекислоты и рудных минералов из флюида. Таким образом, петрогеохимические признаки рассматриваемых брекчиевых пород не однозначно, но относительно и в зависимости от состава присутствующей в них составляющих магматического происхождения, в том числе протемагматических минералов (флогопита, псевдолейцита, санидина, оливина, пироксенов, щелочных амфиболов, хромшпинелидов и др.), позволяют судить о составе и глубинности первичного источника флюида, порождающего брекчии.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛЮИДОЭКСПЛОЗИВНЫХ БРЕКЧИЙ

Приведенная в кратком изложении разносторонняя вещественная характеристика алмазоносных ФЭБ Западного Урала и инъективный характер образованных ими тел (в закрытой системе) позволили ее исследователям обосновать не только эндогенное их происхождение, но и глубинный (мантийный?) источник флюидопотока. Этот поток сформировался в результате эксплозий флюидов, близких по составу их магматическим (породным и минеральным) составляющим – лампроитам [Лукьянова, Шарпенко, 2004].

Очевидно, что формирование алмазоносной флюидной термодинамической системы [Жуков, 2000] происходило в нестабильных *PT*-условиях. Эти условия существовали как при ее зарождении на глубинном (мантийном?) уровне, так и при последующей ее эволюции и становлении на коровом и приповерхностном уровнях. Нестабильность *PT*-условий в порождающей эти брекчии термодинамической системе на мантийном уровне обусловили, прежде всего, дискретность среды кристаллизации барофильных минералов, в частности алмазов. В соответствии с этим процессы преимущественного их роста в расплаве чередовались с преобладанием растворения. Это приводило к образованию кристаллов с зональным распределением плоскогранных и кривогранных форм [Шафрановский, 2001]. Кривогранный габитус алмаза – более устойчивая форма при доминировании в среде кристаллизации процессов растворения. Именно это предопределило резкое преобладание во флюидогенных алмазоносных брекчиях относительно крупных криво-

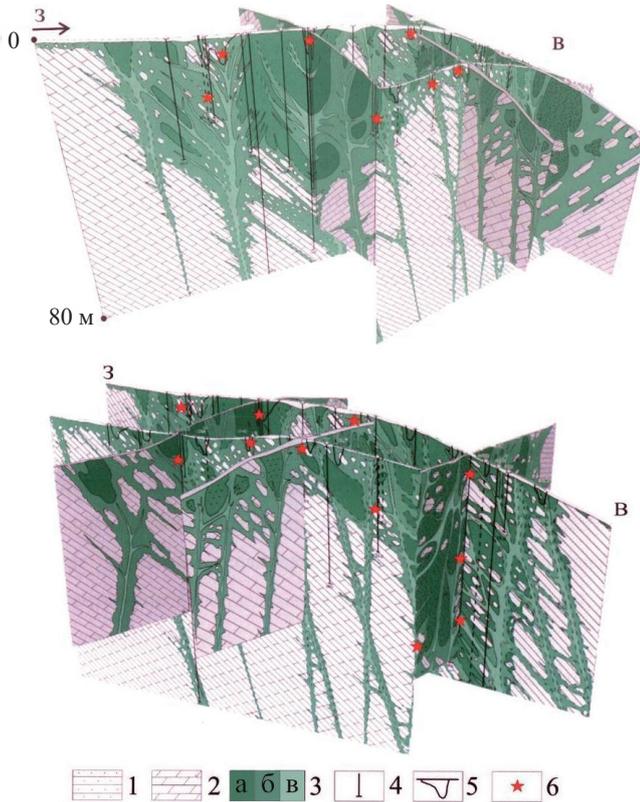


Рис. 11. Трехмерная модель северной части Ефимовского месторождения [Коротченкова, 2012] по материалам [Петухов, Тетерин, 2007].

1 – песчаники такатинской свиты; 2 – доломиты колмчинской свиты; 3 – флюидоэксплозивные брекчии: а – первой фазы, б – второй фазы, в – третьей фазы; 4 – скважины; 5 – экскаваторные канавы; 6 – находки алмазов.

Fig. 11. Three-dimensional model of the northern part of the Efimov deposit [Korotchenkova, 2012] based on materials [Petukhov, Teterin, 2007].

1 – sandstones of the Takatin suite; 2 – dolomites of the Kolmchinskaya suite; 3 – fluid emf breccias: а – the first phase, б – the second phase, в – the third phase; 4 – boreholes; 5 – excavating ditches; 6 – diamond finds.

гранных алмазов (уральский или бразильский тип) при незначительном содержании плоскогранных кристаллов. Таким образом, обнаружение на исследуемой территории кривогранных алмазов – прямой качественный критерий выявления алмазоносных флюидогенных брекчиевых образований.

Дальнейшее развитие флюидной термодинамической системы было сопряжено с пульсационным продвижением флюидного потока в периодически повторяющихся условиях растяжения на подкоровом и коровом уровнях. В этих условиях специфический поток, представлявший собой твердо-жидко-газовую фазу, по глубинным разломам, сопровождаемым в активных подвижных зонах сложной системой сдвигово-надвиговых на-

рушений, продвигался к земной поверхности. Это продвижение при чередовании процессов растяжения и сжатия также имело пульсационный характер, обусловивший существование множества, часто тончайших (до волосовидных) апофиз во вмещающие породы при обязательном их дроблении (рис. 11).

Жидко-газовые фазы флюида были экстракционно-пневмолитически преобразованы при эксплозиях главным образом в минеральные массы, а также в новообразованные зерна минералов. Минеральные массы цементируют первичные протоматматические минеральные образования, в том числе псевдоморфозы по ним, захваченные при эксплозии разнообразными ксенолитами и минеральными зернами, формируя в результате ФЭБ. Повторные импульсы этих явлений приводят к образованию сложных алмазоносных структур.

Приведенные выше характеристики типовой рудоносной брекчиевой алмазоносной структуры позволяют обосновать рабочую геолого-петрологическую модель, основные составляющие которой представлены в табл. 1.

ВЫВОДЫ

Модель формирования флюидоэксплозивной алмазоносной структуры включает в себя следующие основные элементы:

- положение алмазоносной структуры в зоне краевой пограничной части древней платформы, а также нахождение ее в зоне сопряжения двух крупных структур (тиманской и уральской) объясняет значительное развитие процессов тепло- и массопереноса вещества и общего высокоэнергетического состояния системы, ведущего к формированию расплав-флюидных образований на верхнемантийном или нижнекоровом уровнях;

- раздробленность фундамента глубинными разломами, в том числе сдвиговыми и надвиговыми, развитие многочисленных разрывных нарушений в породах платформенного чехла; они обуславливают значительное поступление глубинных твердо-газово-жидких флюидных потоков к поверхности, где вследствие существования структурных ловушек, смешения флюида с низкотемпературными метеоритными водами и его взаимодействия с перекрывающими породами происходят эксплозивные процессы, приводящие к формированию флюидоэксплозивных структур;

- компрессионные и декомпрессионные явления, приводящие к дроблению обломков вмещающих пород, твердых составляющих флюидного потока, минеральных зерен различного происхождения и брекчий предшествующих фаз с образованием флюидогенных брекчиевых пород со специфическим эксплозивно-экстракционно-пневмолитовым минералообразованием;

– полифазное (полиимпульсное) развитие брекчиевого комплекса, взаимодействие флюида с цокольными породами, метеоритными водами и веществом высокоминерализованных рассолов приводили к формированию трех типов флюидо-эксплозивных брекчий с различной степенью алмазности: ранние – средне-крупнообломочные кристалло-литокластические брекчий с малым количеством цемента (апопесчаниковые брекчий); зрелые – мелко-среднеобломочные литокристаллокластические полифазальные брекчий (“песчанисто-глинистые”) со значительным количеством связующей массы, состоящей из слюдисто-кварц-глинистого цемента и обломков тонкой фракции пород и минералов; поздние – мелко-тонкообломочные, преимущественно кристаллокластические аргиллизитовые брекчий; для брекчий первого типа устанавливается слабо проявленная алмазность, наиболее богаты алмазами флюидо-эксплозивные брекчий второго типа, в брекчий третьего типа алмазы практически отсутствуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья (2011). (Отв. ред.: О.В. Петров, Н.В. Межеловский, Л.И. Лукьянова). М.; СПб.: ГЕОКАРТ6, GEOS, ВСЕГЕИ, 240 с.
- Берлянд Н.Г. (2007). Глубинное строение литосферы Урала. СПб.: ВСЕГЕИ, 255 с.
- Гринсон А.С. (1971) Глубинное строение области сочленения структур Русской платформы, Тимана и Урала по геолого-геофизическим данным (в связи с поисками скрытых проявлений основного – ультраосновного магматизма). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Л., 20 с.
- Жуков В.В. (2000) Классификация месторождений алмазов по морфогенетическим признакам кристаллов. Тез. докл. Всерос. съезд геологов и науч.-практич. конф.: *Геологическая служба и минерально-сырьевая база России*. Кн. 2, СПб.: ВСЕГЕИ, 253-254.
- Жуков В.В., Литинская И.А., Маркова И.Б. Шлихо-минералогические ассоциации терригенных образований Северо-Востока Сибирской платформы. *Геология прибрежных зон моря*. Сб. науч. тр. НИИГА, Л., 1978, 70-87.
- Коротченкова О.В. (2012) Ефимовское месторождение алмазов: геология, типоморфные минералы и локальный контроль алмазности. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 18 с.
- Ланда Э.А., Лукьянова Л.И. (2003) О геохимических особенностях туффизитов Красновишерского района (Северный Урал). *Геохимия*, (2), 162-171.
- Летников Ф.А. (1992) Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 230 с.
- Лукьянова Л.И., Жуков В.В., Кириллов В.А., Кузнецов Г.П., Кузнецов Н.С., Ланда Э.А., Лобкова Л.П., Морозов Г.Г., Остроумов В.Р., Рыбальченко А.Я., Тетерин И.П., Шаденков Е.М. (2000) Субвулканические эксплозивные породы Урала – возможные коренные источники алмазных россыпей. *Регион. геология и металлогения*, (12), 134-157.
- Лукьянова Л.И., Ланда Э.А., Шафрановский Г.И. (2005) Алмазоносные породы зоны сочленения Урала и Сибирской платформы. *Регион. геология и металлогения*, (26), 103-114.
- Лукьянова Л.И., Лобкова Л.П., Маревичев А.М., Казак А.П., Жуков В.В. (1997) Коренные источники алмазов на Урале. *Регион. геология и металлогения*, (7), 88-97.
- Лукьянова Л.И., Шарпенюк Л.Н. (2004) Лампроитовые алмазоносные флюидиты Урала. *Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России*. Матер. XIV геол. съезда Республики Коми. Т. IV. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ РАН, 50-52.
- Петров О.В., Лукьянова Л.И., Проскурнин В.Ф. (2012) Проблема поисков коренных источников алмазов в зонах сочленения платформ и складчатых областей. *Регион. геология и металлогения*, (50), 64-72.
- Петрова А.А., Мавричев В.Г. (2004) Геомагнитный метод прогноза коренных месторождений алмазов на примере Красновишерского района. *Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: Прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50)*. Мат.-практ. конф. СПб: ВСЕГЕИ, 261-263.
- Петухов С.Н., Тетерин И.П. (2007) Отчет о геологическом изучении (поиски и оценка) россыпных и коренных месторождений алмазов на “Рассольнинско-Дресвянском” участке недр в Красновишерском районе Пермской области. Пермь, Фонд ЗАО “Пермгеологодобыча”.
- Чайковский И.И. (2004) Петрология и минералогия эксплозивно-грязевого вулканизма Волго-Уральской алмазоносной субпровинции. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 48 с.
- Шафрановский Г.И. (2001) Новые данные по морфологии алмазов из Красновишерского района. Мат.-лы Всерос. совещ. Сыктывкар, 148-149.
- Эндогенные рудоносные брекчиевые образования. Методические рекомендации по выявлению эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов и оценке их потенциальной рудоносности применительно к задачам Госгеолкарт (2018). (Отв. ред.: Л.Н. Шарпенюк). СПб.: ВСЕГЕИ, 104 с.

REFERENCES

- Almazonosnye flyuidno-eksplozivnye obrazovaniya Permskogo Priural'ya* (2011). (Eds O.V. Petrov, N.V. Mezhelovskii, L.I. Luk'yanova) [Diamond-bearing fluid-explosive formations of the Permian Cis-Urals (Eds O.V. Petrov, N.V. Mezhelovsky, L.I. Luk'yanova)]. Moscow; St. Petersburg, GEOKART, GEOS, VSEGEI Publ., 240 p. (In Russian)
- Berlyand N.G. (2007) *Glubinnoe stroenie litosfery Urala* [Deep structure of the Ural Lithosphere]. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 255 p. (In Russian)
- Chaikovskii I.I. (2004) *Petrologiya i mineralogiya eksplozivno-gryazeвого vulkanizma Volgo-Ural'skoi almazonosnoi subprovintsii*. Dis. ... dokt. geol.-min. nauk [Petrolology and Mineralogy of Explosive-mud Volcanism in the Volga-Ural Diamond-bearing Subprovince. Dr. geol and min. sci. diss. Syktyvkar, 48 p.
- Endogennyye rudosnosnyye brekchiyevyye obrazovaniya. Metodicheskiye rekomendatsii po vyyavleniyu endogennykh brekchiyevykh obrazovaniy razlichnykh geneticheskikh tipov i otsenke ikh potentsial'noy rudosnosnosti*

- osnosti primenitel'no k zadacham Gosgeolkart (2018). (Eds L.N. Sharpenok) [Endogenic ore-bearing breccias. Methodological recommendations on the identification of endogenic breccias of different genetic types and their potential ore-bearing evaluating in relation to the tasks of State Geological Mapping (Eds L.N. Sharpenok)]. St.Petersburg, VSEGEI Press, 104 p. (In Russian)
- Grinson A.S. (1971) *Glubinnoe stroenie oblasti sochleneniya struktur Russkoi platformy, Timana i Urala po geologo-geofizicheskim dannym (v svyazi s poiskami skrytykh proyavlenii osnovnogo-ul'traosnovnogo magmatizma)*. Dis. kand. geol.-min. nauk [Deep structure of the joint area of the Russian platform, Timanian and Uralian structures from geological and geophysical data (in terms of search for concealed mafic-ultramafic magmatism occurrences). Cand. geol. and min. sci. diss.]. Leningrad, 20 p. (In Russian)
- Korotchenkova O.V. (2012) *Efimovskoe mestorozhdenie almazov: geologiya, tipomorfnye mineraly i lokal'nyi kontrol' almazonosnosti*. Dis. kand. geol.-min. nauk [Efimovskoye diamond deposit: geology, typomorphic minerals and local diamond potential control. Cand. geol. and min. sci.]. Syktyvkar, 18 p. (In Russian)
- Landa E.A., Luk'yanova L.I. (2003) On geochemical features of tuffizite in the Krasnovishersky District (Northern Urals). *Geokhimiya*, (2), 162-171. (In Russian)
- Letnikov F.A. (1992) *Sinergetika geologicheskikh system [Synergetics of Geological Systems]*. Novosibirsk, Nauka Publ., 230 p. (In Russian)
- Luk'yanova L.I., Landa E.H.A., Shafranovskii G.I. (2005) Diamond-bearing rocks of the Urals and the Siberian Platform joint zone. *Region. Geol. Metallogeny*, **26**, 103-114. (In Russian)
- Luk'yanova L.I., Lobkova L.P., Mareichev A.M., Kazak A.P., Zhukov V.V. (1997) Bedrock diamond sources in the Urals. *Region. Geol. Metallogeny*, (7), 88-97. (In Russian)
- Luk'yanova L.I., Sharpenok L.N. (2004) Lamproite diamond-bearing fluidites of the Urals. *Geologiya i mineral'nye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*. Mater. XIV geol. s'ezda Respubliki Komi. T. IV. [Geology and mineral resources of European North-Eastern of Russia. Proc. XIV Geol. Conference Komi Republic]. Syktyvkar, 50-52. (In Russian)
- Luk'yanova L.I., Zhukov V.V., Kirillov V.A., Kuznetsov G.P., Kuznetsov N.S., Landa E.A., Lobkova L.P., Morozov G.G., Ostroumov V.R., Rybal'chenko A.Ya., Teterin I.P., Shadenkov E.M. (2000) Subvolcanic explosive rocks of the Urals as possible bedrock sources of diamond placers. *Region. Geol. Metallogeny*, (12), 134-157. (In Russian)
- Petrov O.V., Luk'yanova L.I., Proskurnin V.F. (2012) The problem of searching for primary diamond sources in junction zones of platforms and fold areas. *Region. Geol. Metallogeny*, **50**, 64-72. (In Russian)
- Petrova A.A., Mavrichev V.G. (2004) Geomagnetic method for forecasting primary diamond deposits: Case study of the Krasnovishersky District. *Effektivnost' prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov: Proshloe, nastoyashchee i budushchee (Almazy-50)*. Mat-ly nauch.-praktich. konf. [Efficiency of diamond deposits forecasting and exploration: past, present and future (Diamonds-50). Scientific and Practical Conference Proceedings]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 261-263. (In Russian)
- Shafranovskii G.I. (2001) New data on the morphology of diamonds from the Krasnovishersky District. *Mat-ly Vseros. soveshch.* [Proc. All-Russian Conf.] Syktyvkar, 148-149. (In Russian)
- Zhukov V.V. (2000) Classification of diamond deposits from morphogenetic features of crystals. *Geologicheskaya sluzhba i mineral'no-syr'evaya baza Rossii*. Tez. dokl Vseros. s'ezda geologov i nauch.-praktich. konf. Kn. 2 [Geological Survey and the Mineral Base of Russia. Abstracts All-Russian Congress of Geologists and Scientific and Practical Conference. B. 2]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 253-254. (In Russian)
- Zhukov V.V., Litinskaya I.A., Markova I.B. (1978) Mineralogical associations of terrigenous formations in the North-East of Siberian platform. *Geologiya pribrezhnykh zon morya* [Geology of the coastal zones of the sea]. Leningrad, NIIGA Publ., 70-87. (In Russian)