

ЭНДОГЕННЫЕ РУДОНОСНЫЕ
БРЕКЧИЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ



ENDOGENIC ORE-BEARING BRECCIAS

MINISTRY OF NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
OF THE RUSSIAN FEDERATION
(MINPRIRODY OF RUSSIA)

FEDERAL AGENCY ON MINERAL RESOURCES (ROSNEFRA)

A. P. KARPINSKY RUSSIAN GEOLOGICAL RESEARCH INSTITUTE
(VSEGEI)

ENDOGENIC ORE-BEARING BRECCIAS

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS
ON THE IDENTIFICATION OF ENDOGENIC BRECCIAS
OF DIFFERENT GENETIC TYPES
AND THEIR POTENTIAL ORE-BEARANCE EVALUATING
IN RELATION TO THE TASKS OF STATE GEOLOGICAL MAPPING



VSEGEI Press
ST. PETERSBURG
2018

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (МИНПРИРОДЫ РФ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ (РОСНЕДРА)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

ЭНДОГЕННЫЕ РУДОНОСНЫЕ БРЕКЧИЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ
И ОЦЕНКЕ ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ГОСГЕОЛКАРТ



Издательство ВСЕГЕИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018

УДК 552.511:553.550.8:528(035.3)

**Эндеогенные рудоносные брекчиевые образования. Методические рекомендации по выявлению эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов и оценке их потенциальной рудоносности применительно к задачам Госгеолкарт. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2018. – 104 с.
ISBN 987-5-93761-257-1**

Представлены основные понятия и термины, принятые для эндогенных брекчиевых образований, и приводится классификация этих пород. Основные типы криптоэксплозивных рудоносных брекчий охарактеризованы геолого-структурными и вещественными признаками, каждый из этих типов проиллюстрирован одним из сопряженных с ним рудных объектов. Определены критерии прогноза при ГСР-1000 структур, благоприятных для брекчиеобразования, а также совокупность рациональных методов локализации и диагностики брекчиевых образований при ГСР-200. Особое внимание уделено специфическим петрографическим методам исследований брекчий как наиболее эффективным для диагностики этих пород. Рассмотрены также методы оценки потенциальной рудоносности брекчиевых образований на различные виды полезных ископаемых и внесены предложения по отображению этих образований на геологических картах.

Ориентированы на геологов-практиков, занимающихся всеми видами геологических работ и прежде всего картированием и составлением листов Госгеолкарт-1000 и -200.

Научный редактор *Н. В. Короновский*

Авторы *Л. Н. Шарпенюк, Е. А. Кухаренко, А. Е. Костин*

Ответственный редактор *Л. Н. Шарпенюк*

Рецензенты *Б. А. Марковский, Н. С. Соловьев*

Рекомендовано к печати НПС Роснедра 16 июня 2017 г.

Endogenic ore-bearing breccias. Methodological recommendations on the identification of endogenic breccias of different genetic types and their potential ore-bearingness evaluating in relation to the tasks of State Geological Mapping. – Spb.: VSEGEI Press, 2018. – 104 p.

In the «Methodological recommendations...» the basic concepts and terms adopted for endogenic breccias are revealed, and the classification of these rocks is given. The main types of cryptoexplosive ore-bearing breccias are characterized by geological, structural and material features, and each of these types is illustrated by one of the ore objects associated with it. The criteria of the prognosis of the structures favorable for breccia forming, as well as a set of rational methods of localization and diagnostics breccias during geologic surveying. Particular attention is paid to specific petrographic methods of breccias studies as the most effective for the diagnosis of these rocks. Methods for estimating the potential ore-bearingness of breccias for various types of minerals are also considered, and proposals for depiction of these formations on geological maps are made. The recommendations are aimed to be used at all types of geological work, and primarily by geologists who are engaged in geological mapping and drawing up the State geological maps of 1:1,000,000 and 200,000 scales.

Scientific Editor *N. V. Koronovskiy*

Authers *L. N. Sharpenok, E. A. Kukharenko, A. E. Kostin*

Executive Editor *L. N. Sharpenok*

Experts *B. A. Markovskiy, N. S. Soloviev*

Recommended for publishing by Scientific and Editorial Board of Rosnedra

- © Федеральное агентство по недропользованию, 2018
- © Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, 2018
- © Коллектив авторов, 2018

ISBN 987-5-93761-257-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ПОРОД И ОБРАЗОВАННЫХ ИМИ СТРУКТУР	9
1.1. Магматогенные брекчии относительно закрытых систем	12
1.2. Магматогенно-флюидогенные криптоэксплозивные брекчии	14
1.2.1. Брекчиевые образования с редкометалльным оруденением (Калгутинское месторождение, Горный Алтай)	16
1.2.2. Брекчиевые образования железорудные (месторождение Коршуновское, Сибирская платформа)	26
1.2.3. Брекчиевые образования алмазоносные кимберлитовые (Западная Якутия)	30
1.2.4. Брекчиевые образования карбонатитовые с барит-флюорит-железо-уран-редкоземельным оруденением (месторождение Карасуское, Центральная Тува)	37
1.3. Флюидогенные криптоэксплозивные брекчии	43
1.3.1. Брекчиевые образования с железо-золото-медно-урановым оруденением (месторождение Олимпик-Дам, Австралия)	48
1.3.2. Брекчиевые образования с молибден-медно-порфировым оруденением (месторождение Коксай, Казахстан)	49
1.3.3. Брекчиевые образования с оловянным оруденением (месторождение Хинганское, Дальний Восток)	49
1.3.4. Брекчиевые образования с золотым оруденением (месторождение Дельмачикское, Восточное Забайкалье)	50
1.3.5. Брекчиевые образования алмазоносные (месторождение Ефимовское, Пермский край)	51
Глава 2. КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА СТРУКТУР, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ БРЕКЧИЕОБРАЗОВАНИЯ	55
2.1. Геолого-структурные критерии	55
2.2. Вещественные критерии	58
Глава 3. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ РУДОНОСНЫХ ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	60
3.1. Стадия выявления геологических структур, благоприятных для формирования рудоносных брекчиевых образований	60
3.2. Стадия локализации, картирования и изучения рудоносных брекчиевых образований	68
3.2.1. Методы геологического изучения перспективных участков	68
3.2.2. Методы оценки параметров рудоносных брекчиевых сооружений	71
3.2.3. Геофизические методы исследования перспективных участков	72
3.2.4. Методы исследований вещественного состава брекчиевых пород	76
Глава 4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	88
Глава 5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОТОБРАЖЕНИЮ ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА КАРТАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
ЛИТЕРАТУРА	95

CONTENTS

INTRODUCTION.....	7
Chapter 1. BASIC CONCEPTS, CLASSIFICATION AND CHARACTERISTICS OF ENDOGENIC BRACCIA ROCKS AND STRUCTURE FORMED BY THEM.....	9
1.1. Magmatogenic breccias of relatively closed systems.....	12
1.2. Magmatogenic-fluidogenic cryptoexplosive breccias.....	14
1.2.1. Breccia formations with rare metal mineralization (the Kalgutinskoye deposit, Gorny Altai).....	16
1.2.2. Breccia iron-ore formations (the Korshunovskoye deposit, Siberian platform).....	26
1.2.3. Diamondiferous kimberlite breccia formation (Western Yakutia).....	30
1.2.4. Carbonatite breccia formation with barite-fluorite-iron-uranium-rare earth mineralization (the Karasugskoe deposit, Central Tuva).....	37
1.3. Fluidogenic cryptoexplosive breccias.....	43
1.3.1. Breccia formation with iron-gold-copper-uranium mineralization (the Olympic-Dam deposit, Australia).....	48
1.3.2. Breccia formation with molybdenum-copper-porphyry mineralization (the Koksay deposit, Kazakhstan).....	49
1.3.3. Breccia formation with tin mineralization (the Khinganskoye deposit, the Far East).....	49
1.3.4. Breccia formation with gold mineralization (the Delmachik deposit, the Eastern Transbaikalia).....	50
1.3.5. Diamondiferous breccia formation (the Efimovskoye deposit, the Perm region).....	51
Chapter 2. CRITERIA FOR FORECASTING OF STRUCTURES FAVORABLE FOR BRACCIA FORMING.....	55
2.1. Geological-structural criteria.....	55
2.2. Material criteria.....	58
Chapter 3. METHODS OF IDENTIFICATION, LOCALIZATION AND DIAGNOSTICS OF ORE-BEARING ENDOGENIC BRACCIAS.....	60
3.1. The stage of identification of geological structures favorable for the ore-bearing breccias forming.....	60
3.2. The stage of localization, mapping and study of ore-bearing breccia formations.....	68
3.2.1. Methods for geological study of promising areas.....	68
3.2.2. Methods for evaluating the parameters of ore-bearing breccia structures.....	71
3.2.3. Geophysical methods for study of promising areas.....	72
3.2.4. Methods for study the material composition of breccia rocks.....	76
Chapter 4. METHODS FOR ESTIMATION OF BRACCIA FORMATIONS POTENTIAL ORE-BEARANCE.....	88
Chapter 5. THE PROPOSALS FOR THE DEPICTION OF ENDOGENIC BRACCIA FORMATIONS ON GEOLOGICAL MAPS.....	92
CONCLUSION.....	94
REFERENCES.....	95

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость разработки рекомендаций по выявлению эндогенных брекчиевых образований обусловлена тем, что во многих регионах мира приблизительно с середины прошлого столетия геологическими исследованиями установлены и устанавливаются во всевозрастающем количестве брекчиевые образования. Сформированные ими структуры часто обладают высоким рудным потенциалом. На многих месторождениях, в том числе крупнейших, выявлена ведущая роль в рудообразовании скрытых эндогенных эксплозий, формирующих рудоносные брекчии, локализующиеся в гипабиссальных и приповерхностных зонах земной коры. Кроме того, установление рудоносных брекчий во многих случаях способствовало пониманию закономерностей формирования минерализации, условий залегания рудных тел и их перспективности, и, следовательно, способствовало прогнозу и поискам полезных ископаемых, поэтому в настоящих рекомендациях основное внимание уделено рудоносным брекчиевым образованиям.

Существует достаточно много классификаций брекчиевых пород, однако все они касаются либо конкретных, локально проявленных брекчий, либо строятся на облике или количестве основных составных частей этих пород. Авторы монографических работ 80-х годов прошлого столетия по эндогенным брекчиям Х. Ульбрих, П. Лазничка [1988] и некоторые другие указывали на то, что классификации брекчиевых пород в целом неудовлетворительны, так как процессы брекчирования и брекчиеобразования, по их мнению, до сих пор недостаточно понятны. В то же время еще в 60–70-е годы такие исследователи, как П. Ф. Иванкин (1970), В. С. Кузбный, П. В. Иншин (1970), З. М. Нурбаев (1977) и другие, обращали внимание геологов на важность вещественного состава и строения связующей массы брекчий, отражающих, по их мнению, природу брекчиевых пород. Тем самым они указали направление, по которому следует двигаться при разработке классификации этих сложных по внутреннему строению и составу пород.

Основой рекомендаций по выявлению эндогенных рудоносных брекчиевых образований послужили результаты сравнительного анализа геологической позиции, геофизической характеристики и строения брекчиевых структур, а также вещественного состава слагающих эти структуры пород. Авторы-составители по опубликованным материалам подготовили и приняли в качестве геолого-петрологических моделей типовые брекчиевые структуры с сингенетичной минерализацией различной специализации. Некоторые из этих моделей будут приведены при характеристике брекчий различных типов.

Первоначально установлено, что эндогенные брекчиевые породы и сформированные ими структуры четко различаются между собой по перечисленным выше признакам. Эти различия позволили выйти на специфические признаки-критерии, а точнее на их совокупность, свойственную тому или иному типу брекчий и образованным ими структурам. Совокупность этих критериев в свою очередь определила комплекс методов, который с одной стороны может способствовать выявлению и характеристике эндогенных брекчиевых образований при ГСР-1000/3 и -200/2, с другой, позволит оценить перспективы рудоносности выявленных образований.

Диагностика брекчиевых пород на основе выявления признаков, отражающих их генезис, – важнейшая задача при прогнозировании их рудоносности. Для решения этой задачи авторами рекомендаций предлагается генетическая классификация эндогенных брекчиевых пород с соответствующими ей понятиями и номенклатурой.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ПОРОД И ОБРАЗОВАННЫХ ИМИ СТРУКТУР

Обобщение и анализ накопленного за многие годы обширного материала по эндогенным брекчиевым породам, касающегося как источников и состава брекчиеобразующего вещества, так и механизма и условий их формирования, позволили перейти к их классифицированию, основанному не на отдельных их признаках (таких классификаций множество), а на совокупности тех признаков, которые отражают их генезис и возможную сопряженность брекчие- и рудообразования. Прежде всего необходимо сформулировать определения основных используемых понятий и терминов.

Брекчия – обломочная горная порода, состоящая из угловатых или округленных (в результате галтовки, абразии, оплавления) обломков пород или минеральных зерен, погруженных в более тонкозернистую связующую массу, состоящую из матрикса и/или цемента. Обломки размером более 2 мм должны составлять в брекчии не менее 20 % породы.

Матрикс – тонкообломочная (менее 2 мм) часть связующей массы брекчий, образовавшаяся путем локальной фрагментации более крупных обломков или изначально имевшая мелкую размерность (например, пепловидные частицы в вулканической брекчии).

Цемент – кристаллическая, реже аморфная часть связующей массы брекчий, образовавшаяся сингенетично с брекчиями путем заполнения пространства между обломочным материалом путем перекристаллизации либо замещения матрикса, а иногда и обломков, в том числе относительно крупных. Цемент в брекчиях может отсутствовать, если консолидация породы происходила путем уплотнения или спекания обломков. В таком случае связующим материалом был только матрикс.

Брекчии могут образовываться под влиянием различных геологических процессов – экзогенных или эндогенных.

Эндогенные брекчии – породы, образованные в результате деформационных процессов, происходивших на отдельных участках чаще всего приповерхностных (гипабиссальных) зон земной коры в связи со спорадическим воздействием на геологическую среду локальных динамических напряжений и последующей их разрядкой. При этом брекчии могут образовываться при проявлении напряжений в различных средах, как в жестких, так и в «текучих» (флюидитах, по Л. Г. Поспелову, 1969). В первом случае при приложении напряжений к твердым породам с возникновением различных



Рис. 1. Схема классификации эндогенных брекчиевых пород

их деформаций формируются тектоногенные брекчии*, во втором случае в связи с напряжениями в «текучей» среде, приводящими к проявлению компрессионных, взрывных и декомпрессионных явлений, образуются брекчии иного типа – производные «текучего» вещества (рис. 1).

«Текучее» вещество (среда) представляет собой жидкое, жидко-газовое, газовое, а иногда и твердо-жидко-газовое образование земной коры, т. е. *собственно магму, флюидизированную магму* или *собственно флюид*, различающиеся по фазовому составу.

Собственно магма – расплавная среда, в которой флюидная фаза – отчетливо подчиненная составляющая, оказывающая то или иное влияние на процессы кристаллизации магмы и способствующая давлению магмы на вмещающую среду и проявлению взрывных процессов, происходящих преимущественно в относительно открытых (вулканических) системах.

Флюидизированная магма представляет собой карбонатно- или силикатно-флюидную расплавную среду, в которой количество флюидной фазы близко сопоставимо с количеством карбонатной или силикатной составляющих (Летников, 1992). Такой флюид-расплав, по мнению Ф. А. Летникова, в значительной мере приобретает признаки собственно флюида и отличается от магматических силикатных или карбонатных расплавов по целому ряду физико-химических свойств. Среди этих свойств наиболее типична и важна для образования брекчий способность флюидизированной магмы переохлаждаться ниже температуры кристаллизации сосуществующего с ней расплава, слагающего ее силикатную или карбонатную матрицу, что обеспечивает ее повышенную взрывность.

Собственно флюид понимается как существенно газовая, в том числе паровая, или жидко-газовая среда. Она образована главным образом летучими компонентами (H_2O , CO_2 , CO , N_2 , Cl , F , S , H_2 , CH_4 и другими углеводородами, а также галогенными и сернистыми соединениями) с примесью петрогенных, рудных и иных элементов, а иногда и твердых частиц, в том числе протоматических обособлений. Эта текучая среда того или иного состава существует в земной коре и при определенных геодинамических

* Тектоногенные брекчии являются эндогенными, однако образуются при воздействии напряжений только на твердые породы без участия «текучего» вещества; в соответствии с этим они практически не несут сингенетичной минерализации и в настоящей работе не рассматриваются.

условиях переносится к поверхностной (гипабиссальной) массе горных пород (Ф. А. Летников, 1999).

Для оценки средних содержаний наиболее распространенных в земной коре и верхней мантии летучих компонентов В.Б. Наумовым, В.И. Коваленко и В.А. Дорофеевым [1997] обобщены многочисленные материалы о концентрациях H_2O , CO_2 , Cl, F, S в расплавных включениях и в закалочных стеклах вулканических пород дна океана. Результаты анализа свидетельствуют о том, что базальтовые магмы могут быть основным источником таких летучих, как CO_2 и S, в то время как H_2O , Cl и F – производные кислых магм. Установлено также, что водные и водно-углекислые флюиды в большинстве случаев находятся под большим давлением, поэтому обладают высокими плотностью и растворяющей способностью для многих элементов. Несомненно, что возникающие избыточные градиенты давлений могут стать причиной движения флюидов и растворов, формирующих рудные минерализации.

Позднее (А. С. Борисенко и др., 2006) на основе термобарогеохимических исследований флюидных и расплавных включений в минералах различных пород установлено, что генерации флюидов разных уровней глубинности существенно различаются по фазовому состоянию. Среди них установлены гомогенные надкритические флюиды (приповерхностный уровень); гетерофазные, сочетающие концентрированный раствор, расплав-рассол, обособленную газовую фазу (гипабиссальный уровень) и гомогенные газовые флюиды (глубинные нижнекоровые и мантийные). Установлено также, что наиболее металлоносны гетерофазные флюиды гипабиссального уровня, обладающие высокой экстракционной способностью каждой их составляющей. В них установлены высокие концентрации (мас. %) Fe, Mn (до $n \cdot 1-10$), Zn, Be, Cu (до $n \cdot 0,1-1$), Mo, Sn, Pb, As, Sb, Di, W (до $n \cdot 0,01$), а также Ag, Au и др.

Типы эндогенных брекчиевых пород, образующихся в связи с критическими напряжениями в «текучем» веществе, а также сингенетичная их рудоносность или безрудность в значительной мере объясняются условиями их образования. Вмещающими породами могут быть как магматические, так и осадочные [Reynolds, 2000; Марченко, 2010], а характер брекчий зависит главным образом от фазового состава исходного вещества. Это означает, что тип брекчий связан прежде всего с насыщенностью «текучего» вещества флюидной составляющей, стимулирующей в определенных термодинамических условиях взрывные явления [Махлаев, Голубева, 1999; Петрографический кодекс, 2008, 2009; Шарпенюк, Голубева, Лукьянова, Махлаев, 2005; Шарпенюк, Кухаренко, Костин, 2015 и др.]. В соответствии с этим эндогенные брекчиевые породы – производные «текучего» вещества на уровне генетических типов – подразделяются на **магматогенные, магмато-генно-флюидогенные и флюидогенные** (рис. 2).

Между выделенными типами брекчиевых пород, возникающих из вещества, различающегося по фазовому составу, т. е. в различной мере насыщенного флюидом, нет резких границ. Напротив, между всеми типами брекчий возможны фациальные переходы. Кроме того, специфика брекчиевых пород не только для выделенных типов, но и для разновидностей (относительно более низких таксономических уровней) определяется различиями в условиях, механизме образования брекчий. Эти различия обеспечиваются преобладанием при образовании брекчий различных процессов единой последовательности (давления на вмещающую среду без взрыва; давления,



Рис. 2. Систематика брекчиевых горных пород – производных «текучего» вещества земной коры

сменяющегося вскипанием, эксплозивными явлениями и декомпрессией), степенью открытости или закрытости систем, физико-химическими и структурно-вещественными признаками «текучей» среды и вмещающих пород и некоторыми другими.

Как уже было сказано, брекчии каждого из выделенных типов подразделяются на образования относительно открытых и закрытых систем. Брекчиям открытых систем (преимущественно вулканогенным всех фаций, в том числе из флюидизированных магм, а также фреатическим) рудоносность несвойственна, т. е. она редка или несущественна. В соответствии с этим практического интереса в отношении рудоносности эти брекчии не представляют и далее не рассматриваются. В то же время для брекчий относительно закрытых систем – **криптоэксплозивных** (термин используется как описательный для пород и структур эндогенных подземных взрывов), преимущественно магматогенно-флюидогенного и флюидогенного происхождения, минерализация является характерным их свойством. Эти брекчии представляют собой наибольший интерес в отношении потенциальной рудоносности, тогда как принципы их выявления и диагностика наименее известны широкому кругу геологов. В связи с этим магматогенно-флюидогенные и флюидогенные брекчии, а также оценка перспектив их на рудоносность являются основным содержанием настоящих рекомендаций. Каждый из выделенных типов эндогенных брекчий «текучей» среды литосферы охарактеризован определенным комплексом признаков (далее они будут рассмотрены в последовательности от магматогенных к флюидогенным). В большинстве случаев многие из этих признаков служат теми критериями, которые положены в основу методов выявления брекчиевых структур, диагностики и типизации брекчий и оценки перспектив их рудоносности.

1.1. Магматогенные брекчии относительно закрытых систем

В этот тип объединены брекчии, сформировавшиеся в результате инъекционного давления на вмещающие породы магмы, содержащей флюидную фазу в количестве, четко подчиненном расплавленной составляющей.

Механизм формирования магматогенных брекчий закрытых систем пространственно и генетически сопряжен, как уже было сказано, с давлением магмы различного состава на вмещающие породы, а иногда и на породы

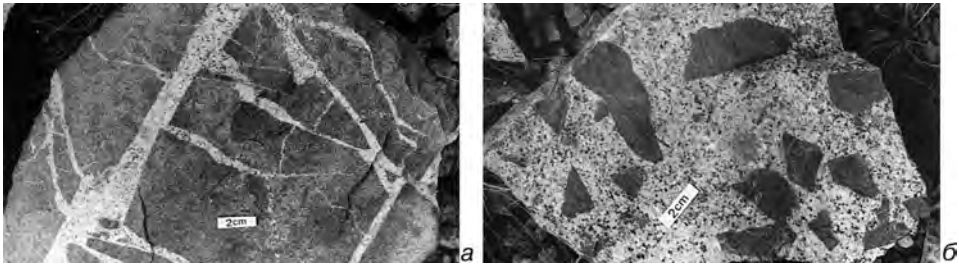


Рис. 3. Брекчия начального этапа — сетчато-прожилковая, заполнения, внедрения (а) и брекчия включения (б): из контакта раннепротерозойского гранита с метабаазальтами (амфиболитами) [Laznicka, 1988]

предшествующих фаз внедрения интрузивных магматических пород, поэтому брекчии являются в большинстве случаев приконтактовыми фациальными зонами plutonic, гипабиссальных, субвулканических тел, реже внутриинтрузивными образованиями. Хрупким вмещающим породам обычно свойственна трещиноватость, в связи с чем среди обломков в этих брекчиях доминируют угловатые, с резкими контурами фрагменты, реже сглаженно-угловатые, а иногда и «теневые» их разновидности.

Морфология приконтактовых брекчиевых краевых зон в общем случае определяется конфигурацией материнских интрузивов, периферические части которых они образуют. Наибольшее количество брекчиевых тел этого типа размещается в апикальных частях и висячих боках наклонных интрузивных тел. Они могут наблюдаться в областях, развивающихся в различных геодинамических режимах и обстановках, и, следовательно, не имеют определенной геолого-структурной позиции.

Вещественный состав цемента магматогенных брекчий, представляющих собой фациальные разновидности формирующихся магматических пород, в целом аналогичен или близок по составу к этим магматическим породам, содержащим обломки вмещающих пород, реже ранних фаз интрузивов. В ряде случаев цемент может быть гибридной породой, образованной в результате ассимиляции магмой фрагментов кровли или боковых вмещающих пород. В случае частичной ассимиляции литокластов возникают «реликтовые брекчии».

Приконтактовые брекчии могут различаться по соотношению обломков и связующей массы. По этому признаку выделяются сетчато-прожилковые (экзоконтактовые) брекчии, в которых угловатые фрагменты вмещающих пород разделены магматическим цементом заполнения (рис. 3, а), и брекчии со значительно разобщенными обломочными фрагментами, «взвешенными» в преобладающей магматической основной массе, — эндоконтактовые, или брекчии включений (inclusion breccias) (рис. 3, б).

Как уже отмечалось, приконтактовые магматогенные брекчии формируются в результате компрессионного воздействия магматического расплава, содержащего незначительное количество летучих флюидов, на твердую вмещающую породу. Следовательно, они не производят значительных сингенетических изменений вмещающих пород и в большинстве случаев не формируют сингенетичной минерализации. Когда же рудные тела пространственно ассоциируют с брекчиями, можно предполагать, что они скорее всего были

образованы во вмещающих породах, или до брекчиеобразования, или после образования брекчий в связи с наложенными на них гидротермальными процессами. Таким образом, сингенетичная рудоносность для них нетипична или незначительна, поэтому в настоящих рекомендациях они не рассматриваются.

1.2. Магматогенно-флюидогенные криптоэксплозивные брекчии

Этот тип пород объединяет брекчии, образующиеся в результате воздействия на вмещающую среду импульсов высоких давлений, взрывов флюидизированных магм и последовательных декомпрессий. Флюидизированные магмы, как уже отмечалось, в значительной мере приобретают свойства флюида [Летников, 1992] и потому обладают высокой подвижностью, агрессивностью и высокой потенциальной эксплозивностью, реализуемой при благоприятной геодинамической обстановке. При движении к поверхности такие магмы обогащаются обломочным материалом и дополнительно насыщаются флюидом из боковых пород, а в местах их взрывов и разгрузки — обломками вмещающих пород рамы. Вещественный состав таких брекчий представляет собой минеральную ассоциацию расплавленного (того или иного состава) и флюидного происхождения.

Механизм формирования брекчиевых пород этого типа сопровождается (при благоприятной геодинамической обстановке) различными явлениями. С одной стороны декомпрессионное вскипание флюидизированных расплавов с изменением давления при их перемещении с больших глубин на малые и последующее их накопление с нарастанием давления на вмещающую среду; с другой стороны достижение критического давления в «накопителе», приводящего к взрывообразному отделению летучих компонентов, к взрыву флюид-расплава. В результате в системе происходит декомпрессия с формированием брекчиевых пород [Wright and Bowes, 1968; Иванкин, 1970; Туговик, 1974]. Проявление такого механизма обеспечивается присутствием на гипабиссальном или приповерхностном уровнях земной коры экранирующих структур и барьерных зон. Они способствуют концентрации значительных объемов флюидизированных магм в относительно проницаемой среде и накоплению их эксплозивного потенциала для дальнейшей самоорганизации системы. Следует отметить, что формирование брекчий иногда осложняется явлениями перемещения и интенсивного перемешивания кластического материала.

Морфология тел магматогенно-флюидогенных брекчий довольно разнообразна. Это линзообразные залежи, трубо-, дайко- и штокообразные тела, иногда грибообразные и неправильной формы, размер которых с глубиной неизменно уменьшается за счет клинообразного схождения ограничивающих плоскостей, уходящих внутрь интрузива. Для пород брекчиевых тел всех морфологических разновидностей характерны инъекционные соотношения с вмещающими породами и признаки активного механического и слабого контактового воздействия на них. Пространственно они располагаются либо внутри предшествующих фаз интрузива, либо во вмещающих интрузивных породах. Все морфологические типы эксплозивных брекчий могут переходить друг в друга [Иншин, 1972].

По составу обломков в этих брекчиях преобладают полимиктовые разновидности, содержащие обломки выше- и нижележащих пород,

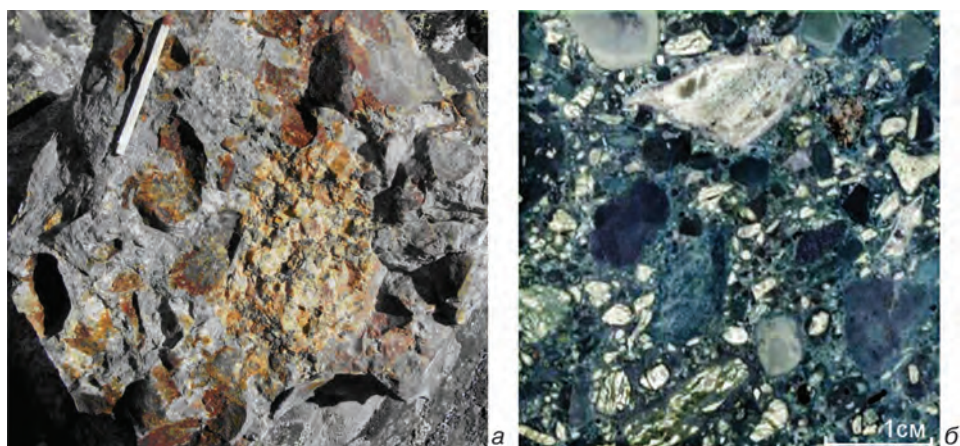


Рис. 4. Характер обломков в криптоэксплозивных магматогенно-флюидогенных брекчиях:
а – «галечные» брекчии Калгутинского рудного поля [Гусев и др., 2010];
б – кимберлитовые брекчии трубки Ботуобинская (Якутская алмазоносная провинция)

генерирующих брекчии магматических, а иногда и перемещенных из более глубоких горизонтов системы пород. Форма обломков – диагностический признак брекчий: в них нередко наряду с остроугольными обломками встречаются округлые, по форме напоминающие гальку (рис. 4, *а*, *б*). Это объясняется округлением части обломков в силу большого трения в связи с перемещением «текучей» массы при перепадах давлений, сопровождающих эксплозивный процесс. Возникают «галечные» или «валунчатые» дайки (по зарубежной терминологии). Во многих случаях наличие «галечных даек» служит поисковым признаком на обнаружение руд ([Ловеринг, 1951; Гусев и др., 2010] и др.).

Петрографические особенности магматогенно-флюидогенных брекчий:

1. Неоднородность кристалло-литокластических полимиктовых брекчиевых пород, распространенность атакситовых и эвтакситовых структур.
2. Сочетание угловатых обломков с обломками округленных форм, образующимися при их галтовке – обработке взвесью в жидко-газовой фазе.
3. Присутствие среди обломков чуждых вмещающим породам кристалло- и литокластов, в том числе обломков глубоконизележащих пород.
4. Отсутствие в брекчиевых породах гранулометрической сортировки при возможном кинетическом перераспределении обломков.
5. Присутствие реликтовых особенностей магматических пород, состав которых обычно отвечает таковому магматического источника флюидов.
6. Неравносность, по сравнению с собственно магматическими породами, минеральных ассоциаций брекчий в связи с присутствием зерен различного происхождения: протоматического, ксеногенного, регенерационного, перекристаллизационного, а также новообразованных.
7. Присутствие признаков сингенетичных образованию брекчий процессов: *компрессионных* – дезинтеграции, гранулирования, блокования, пластичных изгибов (кинкбанд структуры) и динамического двойникования зерен, образование планарных элементов главным образом в кварце; *декомпрессионных* – микровзрывной фрагментации зерен с центробежным расхождением осколков; *кристаллизационных* – новообразования и регенерации зерен, в том числе орбикулярных при коррозии

минералов, и др.; *замещения* – окварцевания, серицитизации, карбонатизации, серпентинизации и других процессов, проявленных как в минеральных зернах, так и в литокластах. **8. Цемент магматогенно-флюидогенных брекчий** весьма специфичен, поскольку сочетает минеральные зерна, образовавшиеся вследствие магматической кристаллизации (магмы основного, среднего, кислого или других составов) с мелкозернистыми минеральными агрегатами – производными флюидной составляющей системы. В зависимости от состава магмы эти агрегаты могут быть кварцево-слюдистыми, кремнисто-карбонатными, аргиллизитовыми, гематитовыми, хлорит-сидеритовыми, иллит-сметкитовыми, серпентиновыми и другими с примесью рудных компонентов. По структурно-текстурным признакам цемент обычно неоднороден в связи с сочетанием «струй» различных этапов брекчиеобразования; кроме того, возможны признаки наложенных процессов – пневматолитовых, гидротермальных, метасоматических. **9. Обогащенность пород рудными компонентами**, сингенетичными образованию брекчий и приводящими во многих случаях к образованию месторождений, в том числе крупных.

Перечисленные признаки магматогенно-флюидогенных брекчий иллюстрируются приведенными ниже описаниями рудоносных магматогенно-флюидогенных брекчий, сопряженных с магмой кислого состава (Калгутинское месторождение), а также краткой характеристикой брекчий, сформированных флюид-расплавами, сопряженными с магмами основного (Коршуновское месторождение), ультраосновного (Якутская алмазоносная провинция) и карбонатитового (Карасугское месторождение, Центральная Тува) составов.

1.2.1. Брекчиевые образования с редкометалльным оруденением (Калгутинское месторождение, Горный Алтай)

Калгутинский рудный район (описание приводится главным образом по материалам Н. И. Гусева [Гусев и др., 2010]; А. А. Поцелуева [Поцелуев и др., 2006; Калгутинское ... , 2008]; И. Ю. Анниковой [Анникова и др., 2004] и др.) – составная часть одноименной рудно-магматической системы южной части Горного Алтая западного сектора Центрально-Азиатского складчатого пояса. Система представляет собой блок в составе антиклинорного поднятия.

В строении поднятия на российской территории установлены два структурных этажа: *раннепалеозойский* (терригенные отложения турбидитовых фаций) и *среднепалеозойский* (раннедевонские осадочно-вулканогенные отложения, стратиграфически и структурно несогласные по отношению к породам ранних каледонид). Завершают строение антиклинорного поднятия магматические образования *мезозойского активизационного этапа* развития региона. Зонам активизации с гранитовыми массивами отвечают региональные понижения значений магнитной напряженности (–200 нТл) и зоны минимумов значений напряженности гравитационного поля. При этом на границе гранитовых массивов с вмещающими вулканитами положительные аномалии магнитного поля (с 400 до 5000 нТл) чередуются с отрицательными «фоновыми».

Район Калгутинского рудного поля локализован внутри девонской вулканогенно-тектонической кольцевой структуры диаметром около 50 км. Структура приурочена к узлу пересечения трех зон линейных разломов (северо-западных, северо-восточных и близширотных) и тяготеет к внутренней зоне эксцентрично расположенных кольцевых разломов, выявленных при

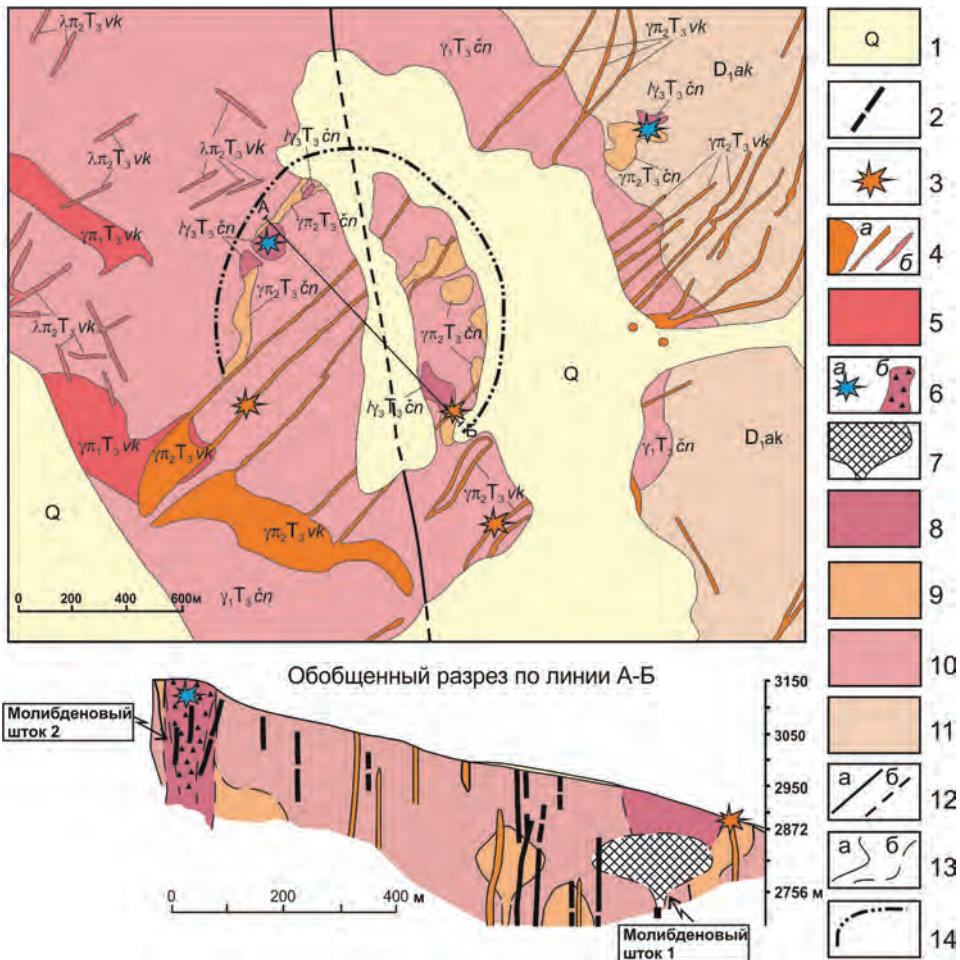


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Калгутинского рудного поля, по [Гусев и др., 2010; Поцелуев и др., 2006] с изменениями

1 – четвертичные отложения; 2 – рудоносные кварцевые жилы; 3 – немасштабные тела рудоносных брекчий II группы; 4, 5 – восточно-калгутинский комплекс (T_3vk): 4 – малые интрузивы и дайки эльванов, онгонитов (а), дайки риолит-порфиров (б); 5 – малые интрузивы гранит-порфиров; 6 – тела брекчий I группы немасштабные (а), на разрезе – «Молибденовый шток 2» (б); 7 – рудное тело «Молибденовый шток 1»; 8–10 – чиндагатуйский комплекс ($T_3\epsilon n$): 8 – лейкограниты (III фаза), 9 – биотитовые гранит-порфиры (II фаза), 10 – порфиroidные биотитовые граниты (I фаза); 11 – раннедевонские туфы кислого и среднего составов (D_1ak); 12 – разрывные нарушения, установленные (а) и предполагаемые (б); 13 – геологические границы, достоверные (а), предполагаемые (б); 14 – внутренняя зона кольцевой структуры

космоструктурном анализе региона. Все сопряженные с брекчиями рудные проявления расположены преимущественно во внутренней части структуры [Дашкевич и др., 1991; Калгутинское ... , 2008]. Девонские вулканиты интродированы гранитами Калгутинского плутона и прорывающими их малыми телами и дайками гранит-порфиров, риолитов, онгонитов и эльванов. Пояс даек мощностью около 5–6 м, протяженностью десятки, редко первые сотни метров имеет северо-восточное простирание (рис. 5).

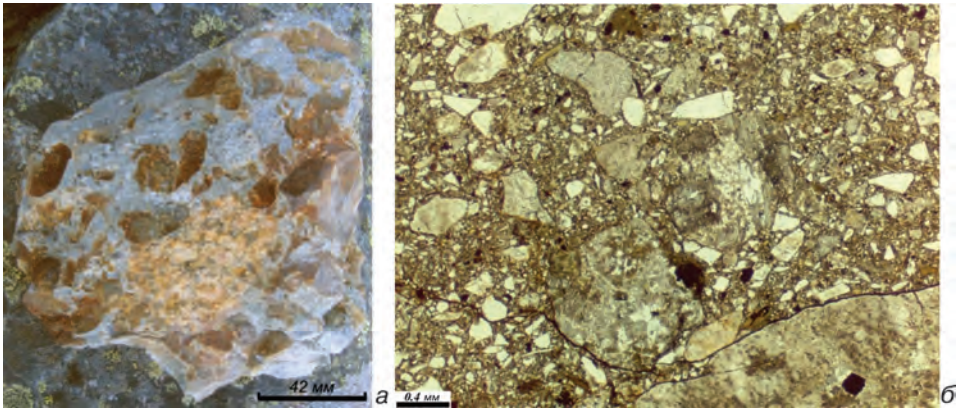


Рис. 6. Образец брекчии «Молибденового штока 2» (а) и фотография шлифа (без анализатора) брекчии с округленными обломками измененных гранитов (б)

Эксплозивные брекчии являются неотъемлемой частью рудных участков Калгутинского поля, где они ассоциируют [Гусев и др., 2010] как с гранитоидами Калгутинского массива (брекчии I группы), так и с названными выше дайками (брекчии II группы).

Брекчии I группы проявлены в пределах «Молибденового штока 2» (рис. 5) – «слепое» округлое, трубообразное тело диаметром около 100 на 310 м (в глубину по штольням), образованное преимущественно брекчиевыми породами. Тело зонально: периферийные крупнообломочные брекчии сменяются внутренними брекчиями с мелкими и округленными обломками, отчетливо перемещенными, и иногда с «вихревыми» текстурами. По падению этого тела объем брекчий постепенно убывает, и они сменяются гранит-порфирами.

Брекчии I группы – атакситовые породы, сложенные несортированными обломками (до 70–80 %) вмещающих и перемещенных пород, а также минеральными зернами, погруженными в кварц-серицитовую массу (рис. 6), иногда со следами течения, выраженными направленным расположением минералов. Минеральные зерна (протомагматические, обломочные, реже новообразованные) – кварц, калиево-натриевый полевой шпат, плагиоклаз и биотит составляют до 60–65 % связующей массы.

Преобладающий в брекчиях **кварц** разнообразен по форме зерен: угловатые, почти округлые, а иногда и вполне правильной формы. Среди них большая часть – это минералы с признаками процессов как компрессионных, предшествующих брекчированию (блокование, растрескивание, фрагментация зерен (рис. 7)), так и декомпрессионных (рис. 8). В отдельных зернах наблюдаются компрессионные кинкбанд-структуры, образующиеся в относительно пластичных протомагматических минералах и выраженные параллельными полосками, напоминающими полисинтетические двойники (рис. 9). Зерна кварца могут быть разбиты трещинами, несколько растащены, а трещины «залечены» новообразованным кварцем и турмалином (левая часть рис. 9). При этом в обломочном кварце хорошо проявлена «взорванность» зерен с их дроблением и «залечиванием» трещин новообразованными турмалином, мусковитом, цементом брекчии (рис. 8). Это

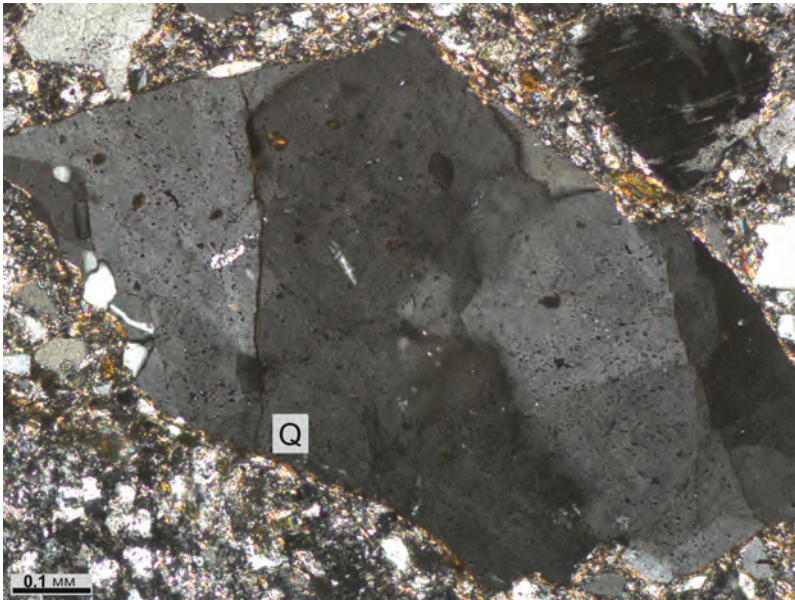


Рис. 7. Блокованное зерно кварца (шлиф с анализатором)

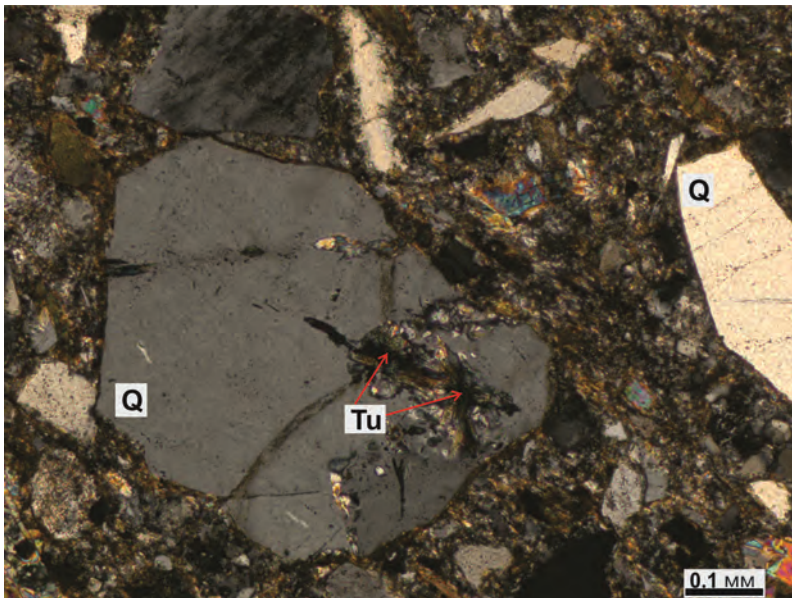


Рис. 8. «Взорванный» кристалл кварца (шлиф с анализатором)

Q – кварц, Tu – турмалин

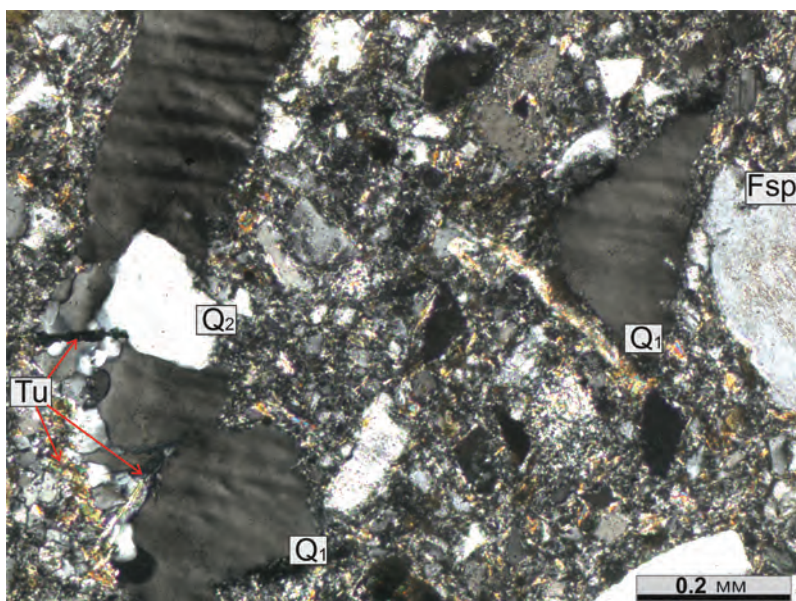


Рис. 9. Кинкбанд-структура в кварце (шлиф с анализатором)

Q₁ – протомогматический кварц, Q₂ – новообразованный, Tu – турмалин,
Fsp – калиево-натриевый полевой шпат

явление объясняется «взрывом» в зернах первичных флюидов вследствие снятия избыточного внутреннего напряжения зерна при эксплозивных декомпрессиях.

Новообразованный кварц возникает в цементе, а также на границе минеральных зерен при их взаимодействии с составляющими цементирующей ассоциации с образованием кварцево-полевошпатовых реакционных кайм с хлоритом, эпидотом (рис. 10, а), мусковитом и турмалином (рис. 10, б).

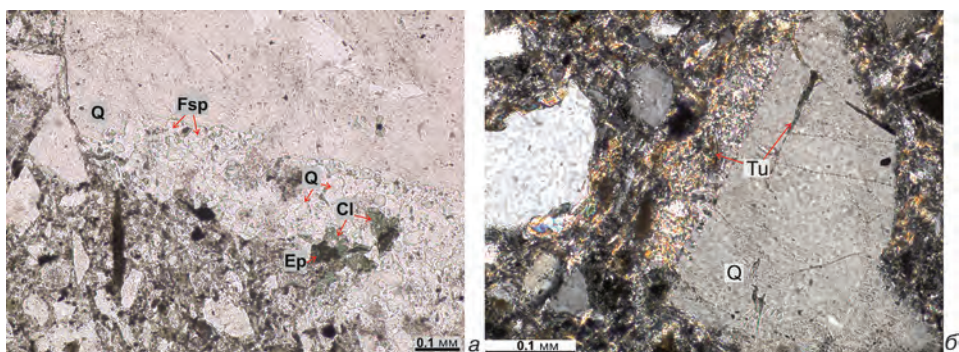


Рис. 10. Реакционные взаимодействия кварца со связующей массой (шлиф с анализатором)

Q – кварц, Tu – турмалин, Ep – эпидот, Cl – хлорит, Fsp – полевой шпат

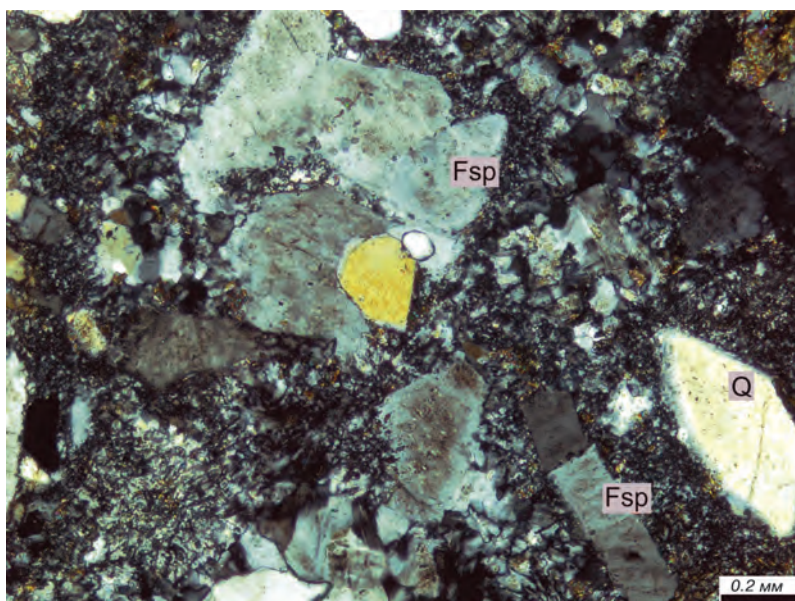


Рис. 11. Блоканный полевой шпат (шлиф с анализатором)

Q – кварц, Fsp – калиево-натриевый полевой шпат

Зерна *полевых шпатов*, преобразованные, а иногда замещенные тонкочешуйчатым мусковитом, имеют таблитчатую форму, свидетельствующую об их протоматическом происхождении. Им также свойственны компрессионное блокование, иногда с изменением ориентировки микроблоков и проникновением связующей массы в межблоковые трещины, а также реакционные отношения со связующей массой (рис. 11). Призматические зерна *биотита* содержат включения различных акцессорных минералов и являются также протоматическими, что подтверждается установленными признаками пластической их деформации с образованием компрессионных кинкбанд-структур (рис. 12) и замещения различными флюидогенными минералами – флюоритом, мусковитом, рудными, хлоритом, аналогичными таковым в цементирующей массе.

Цемент брекчий – тонкокристаллический кварц-серицитовый или кварц-мусковитовый агрегат с редкими зернами полевого шпата и со спутанно-чешуйчато-зернистой структурой. Отмечаются отдельные скопления темноцветной слюды, крупных новообразованных зерен флюорита и акцессорные минералы – циркон, апатит, турмалин и рудные минералы (магнетит?, пирит). Характерны реакционные отношения цемента с литокластами и минеральными зернами и проникновение цемента в них по тонким трещинам. Это подтверждает высокую агрессивность флюидного вещества в процессе формирования брекчиевых пород.

Приведенная петрографическая характеристика брекчий I группы указывает на сочетание в их составе элементов различного происхождения – магматогенного и флюидогенного, отражающих последовательные этапы формирования этих брекчий и позволяющих классифицировать их как магматогенно-флюидогенные.

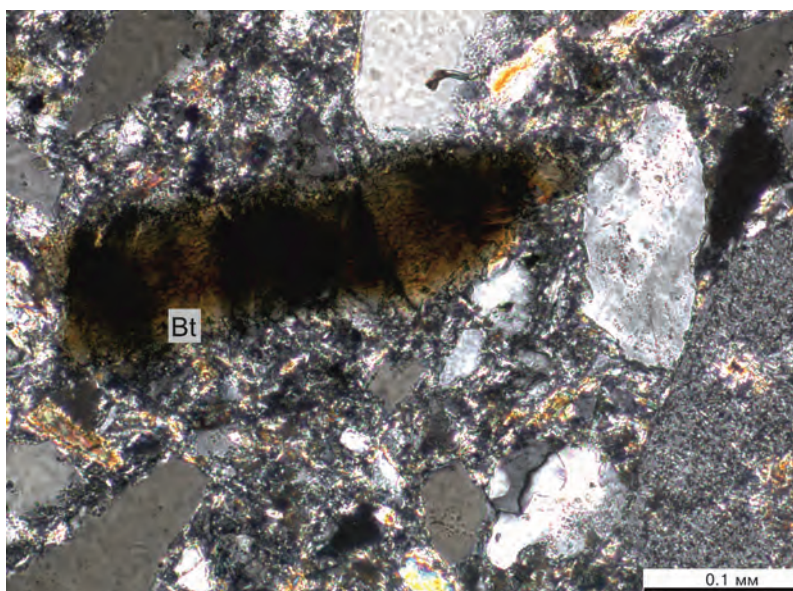


Рис. 12. Кинкбанд-структура в биотите (шлиф с анализатором)
Bt – биотит

Брекчии II группы сопряжены с породами даек и малых тел восточно-калгуитинского комплекса – ультраредкометалльными онгонитами и эльванами. Это атакситовые породы с литокластами в основном гранитов, а также грейзенов, аплитов. Форма литокластов угловатая и округленная, размер до 10 см в поперечнике (рис. 13).

В брекчиях II группы кроме литокластов присутствуют также (до 20 % связующей массы) зерна *протомагматических минералов* (0,5–3,0 мм), иногда близкие по форме к идиоморфным: кислый плагиоклаз, калиево-натриевый

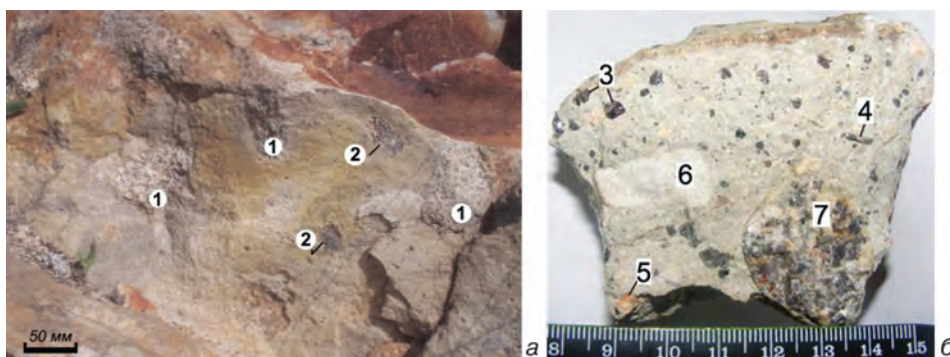


Рис. 13. Брекчиевые эльван (а) и онгонит (б) [Гусев и др., 2010]

1, 2 – обломочные «галочки» (1 – граниты, 2 – грейзены); 3–5 – порфировые выделения: 3 – кварц, 4 – мусковит, 5 – ортоклаз; 6, 7 – угловатые обломки (6 – аплит, 7 – крупнозернистый гранит)

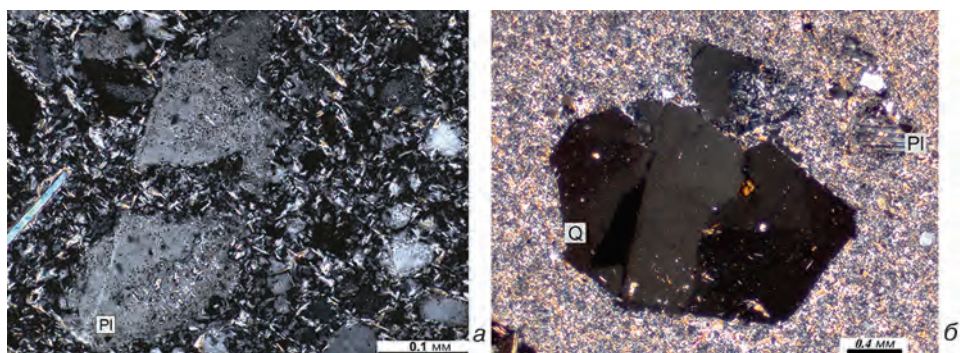


Рис. 14. Дезинтегрированные зерна плагиоклаза (а) и кварца (б) (шлиф с анализатором)

Q – кварц, Pl – плагиоклаз

полевой шпат, кварц, редкие мелкие пластинки слюды (мусковита?), а также их гломеропорфировые сростки.

Дезинтеграция и «расташенность» зерен и проникновение связующей массы в образовавшиеся трещины наблюдаются в протемагматических минералах, отмечаются также округленные (галтованные) в процессе эксплозий зерна минералов, в том числе трещиноватые или блокованные зерна кварца, иногда с реакционными их отношениями со связующей массой (рис. 14).

Помимо зерен протемагматических минералов, в той или иной мере деформированных, в брекчиях присутствуют также явно *обломочные зерна* – угловатые, часто удлинённые осколки, размер которых на порядок меньше размера протемагматических минералов. Для большинства обломочных зерен характерны неровные реакционные границы. Специфической, типоморфной особенностью ультраредкометалльных онгонитовых и эльвановых брекчий является присутствие в виде порфировых выделений и в составе связующей массы апатита (до 1–2 %), в связи с чем они, как и эльваны, получили название апатитсодержащих онгонитов – «калгутитов». Кроме апатита, в качестве аксессуарных минералов присутствуют также циркон, флюорит, турмалин, биотит, хлорит, рудные минералы и др.

Цементирующая масса брекчий II группы – тонкозернистая с чешуйчато-зернистой структурой, массивной, иногда флюидално-полосчатой текстурой магматогенно-флюидогенная полевошпатово-кварц-слюдистого состава. Кварц образует неправильной формы зерна, слюдистые минералы (серицит, мусковит) – тонкие пластинки или чешуйки. Наименее распространенный полевой шпат встречается в виде зерен, близких к изометричным, и скорее всего является магматогенным.

По сочетанию составляющих и их характеру брекчии II группы Калгутинского рудного района следует также рассматривать как магматогенно-флюидогенные. Детальное обоснование такой интерпретации приведено при характеристике брекчий I группы.

Геохимическая характеристика рудоносных брекчиевых образований. С брекчиевыми образованиями Калгутинского рудного поля сопряжены устойчивые геохимические аномалии, отражающие их рудоносную специализацию (рис. 15, 16).

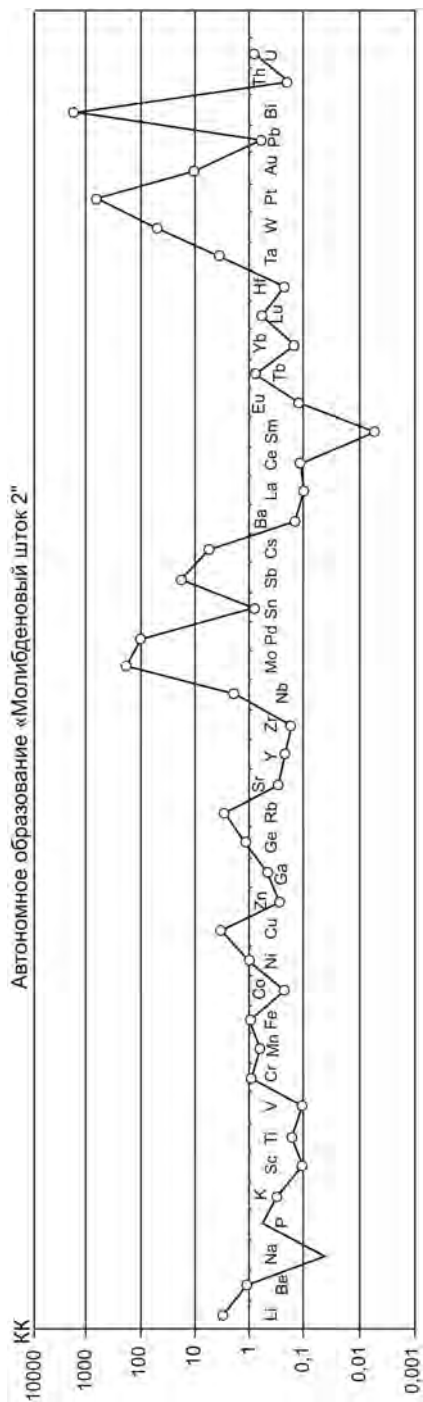


Рис. 15. Кривые распределения химических элементов в брекчиях I группы – «Молибденный штрок 2» [Поледуев и др., 2008], нормированные по содержанию в земной коре (Тейлор, 1988). КК – кларк концентрации

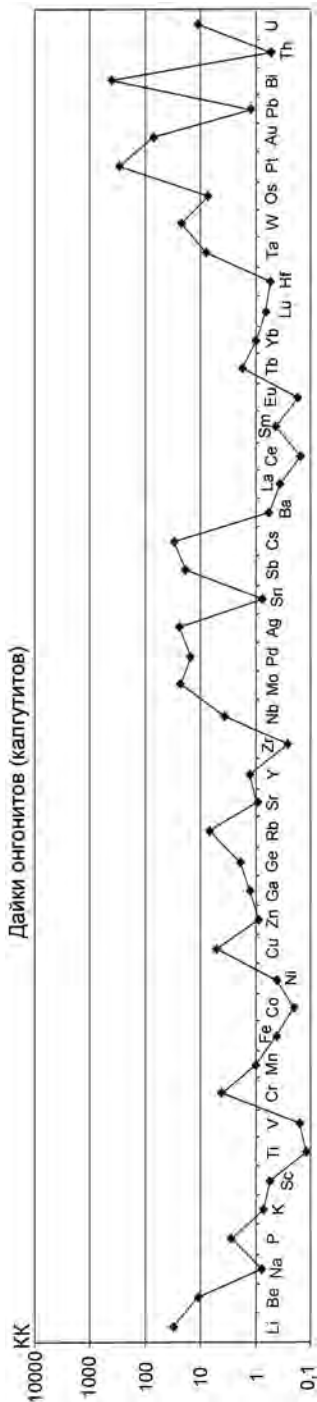


Рис. 16. Кривые распределения химических элементов в брекчиях II группы (дайки онгонитов) [Калгутинское ... , 2008], нормированные по содержанию в земной коре (Тейлор, 1988). КК – кларк концентрации

В брекчиях наибольшие уровни накопления фиксируются для основных рудных элементов месторождения Bi, Mo, W и Cu при некотором преобладании Mo над W. Наряду с перечисленными выше элементами отмечаются высокие концентрации благородных металлов – Pt, Pd, Au, Ag. Надкларковыми уровнями характеризуются также Cs, Li, Rb, Ta, Nb, а повышенное содержание Cг (до 5 КК) сочетается с низким уровнем накопления других сидерофильных элементов: Co 0,2, Ni 0,4, Fe 0,4. Крайне низким уровнем накопления характеризуются Ti, V, PЗЭ (0,1–0,2 КК), Zr [Калгутинское ... , 2008].

Спецификой Калгутинской структуры является присутствие в пост-брекчиевых рудных жилах графита [Поцелуев и др., 2006; Калгутинское ... , 2008] с «легким» изотопным составом углерода и высокими концентрациями многих элементов. Этот факт указывает на то, что процесс формирования по крайней мере части руд Калгутинского месторождения происходил при активном участии углерода в составе металлоносных флюидов. Источником углерода, очевидно, являлись глубинные металлоносные флюиды восстановленного характера [Калгутинское ... , 2008 и др.], а присутствие графита в рудах месторождения согласуется с современными представлениями о составе глубинных флюидов мантийного происхождения [Летников, 2001].

Рудная минерализация брекчиевых образований. Брекчиевая рудная минерализация в пределах месторождения имеет внутрирудный характер и сопряжена с пятью этапами его формирования [Калгутинское ... , 2008].

Рудная минерализация второго этапа, сопряженная с магматогенно-флюидогенными брекчиями I группы, представлена тремя морфологическими типами [Дашкевич и др., 1991]: рудной брекчией, прожилково-вкрапленными брекчиевыми рудами и жильными образованиями. Основная масса рудного вещества сконцентрирована в кварц-слюдистом цементе брекчий и по периферии обломков; рудные минералы – молибденит, пирит, халькопирит и незначительное количество вольфрамита. Прожилково-вкрапленные руды характерны для периферийных зон тела брекчий, жильный тип – для серии вольфрамит-кварцевых жил, секущих оруденелые брекчии.

Минерализация четвертого этапа (брекчии II группы) – это ультраредкометалльные высоко Li-Cs руды по онгонитам (калгутитам) и эльванам. Основными минералами руд промышленного значения являются вольфрамит, молибденит, берилл, висмутин и висмутовые минералы, халькопирит. В рудах, наряду с распространенными оксидами, сульфидами и сульфосолями, встречаются самородные элементы – золото, висмут, медь, углерод (графит и аморфные его разновидности).

Подчеркнем основные черты калгутинских редкометалльных брекчий:

– приуроченность магматогенно-флюидогенных брекчиевых образований к зоне мезозойской активизации палеозойской стабилизированной подвижной системы, развивавшейся на сиалическом фундаменте;

– широкое проявление в зоне активизации линейных разрывных нарушений различных направлений и зон трещиноватости пород; приуроченность брекчий к внутренней части изометричной структуры телескопированных кольцевых и дуговых зон;

– сопряженность брекчий с поздними фазами активизационных флюидизированных гранитов и с онгонитами дайковых малых тел;

– сингенетичность брекчиевых образований и сопряженных с ними редкометалльных руд – производных единой эволюционирующей магматогенно-флюидогенной системы, что подтверждается близостью их вещественных признаков и радиологического возраста.

1.2.2. Брекчиевые образования железорудные (месторождение Коршуновское, Сибирская платформа)

Примером брекчиевой структуры, сопряженной с магматитами основного состава, может служить Коршуновское месторождение — типовой объект железорудных брекчиевых образований Ангаро-Илимского региона юго-запада Сибирской платформы. Эти образования тяготеют к южной краевой части Тунгусской синеклизы платформенного чехла, осложненной пологими куполами и депрессиями, контролирующими интенсивную разрывную тектонику и скопление интрузивов и даек основного состава (Страхов, 1978; Одинцов и др., 1980). Кроме того, эта часть синеклизы тяготеет к области сочленения скрытых линейментов рифтовой природы, проявленных как в приподнятом докембрийском основании, так и в фанерозойском чехле платформы.

В строении брекчиевой структуры и месторождения (2400 × 700 м) принимают участие отложения E_2-O_1 (ангидриты с пластами каменной соли, известняки, терригенные породы и мергели), терригенные толщи O_2 и, наконец, красноцветные и кварцевые песчаники O_3 . Широко развиты в пределах месторождения дайки габбродолеритов и долеритов пермо-триасового возраста [Ангаро-Илимское ... , 1960]. Отложения платформенного чехла прорваны пятью минерализованными трубками брекчий, переходящими по латерали в зоны дробления и практически исчезающие на глубине свыше 800 м, сменяясь зонами разрывных нарушений и трапповыми интрузивами.

В строении брекчиевых тел установлены два крупных этапа образования брекчий, разделенных внедрением даек базальтов.

Первый этап — образование брекчий (по осадочным породам и прорывающим их долеритам) в виде трубообразных с горизонтальными ответвлениями тел, причем установлено не менее трех генераций брекчий. Среди них (рис. 17): 1) карбонатно-серицитовые с зернами как протомагматических, так и новообразованных минералов — диопсида, граната, эпидота, гематита, магнетита; 2) хлорит-серпентин-карбонатные с магнетитом, апатитом, амфиболом, эпидотом, кварцем; 3) поздние хлорит-магнетитовые, цементирующие брекчии более ранних импульсов.

Второй этап — образование вкрапленных и массивных рудных жил (50 × 500 м), внутренние зоны которых содержат интервалы пород с брекчиевой структурой, по которым образована руда. Жилы сложены полосами магнетита с «прослойками» хлорита, серпентина и кальцита, иногда игольчатого апатита, тесно ассоциирующего с магнетитом. Внутри и вне брекчиевых тел присутствуют крутопадающие дайки габбродолеритов, долеритов, базальтов.

Специфической петрографической особенностью брекчиевых тел является присутствие в их составе линзовидных зон (1–4 × 50–100 м) с развитием оолитовых структур, обусловленных концентрически-зональными агрегатами магнетита. Такие «оолитовые жилы» (рис. 18, А) присутствуют на всем вертикальном протяжении (более 800 м) брекчиевого магнетитового оруденения, подчеркивая их гипогенное происхождение [Ланда, 1971; Соловьев, 2011]. В ядрах оолитов отмечаются зерна магнетита, обломки более ранних оолитов, долеритов или полосчатых магнетитовых руд. Оолиты или тесно сближены друг с другом, или разобщены и сцементированы кальцитом или зернистым магнетитом (рис. 18, Б). Отмечаются также хлорит-апатит-магнетитовые оолиты, иногда содержащие во внутренних зонах обломки пород, окруженные концентрическими полосами, меняющимися по составу от магнетитовых через апатит-магнетитовые к апатитовым. Обычны также игольчатые радиальные кристаллы апатита.

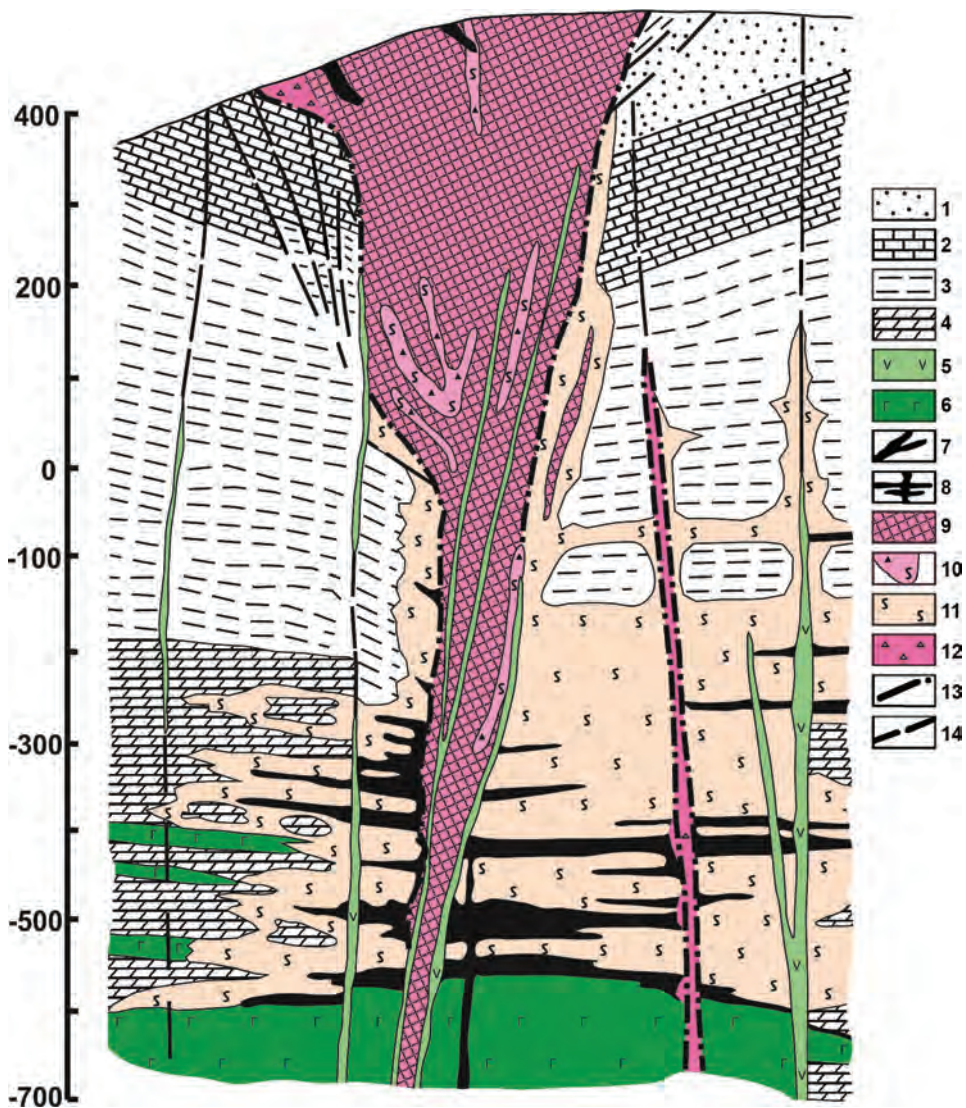
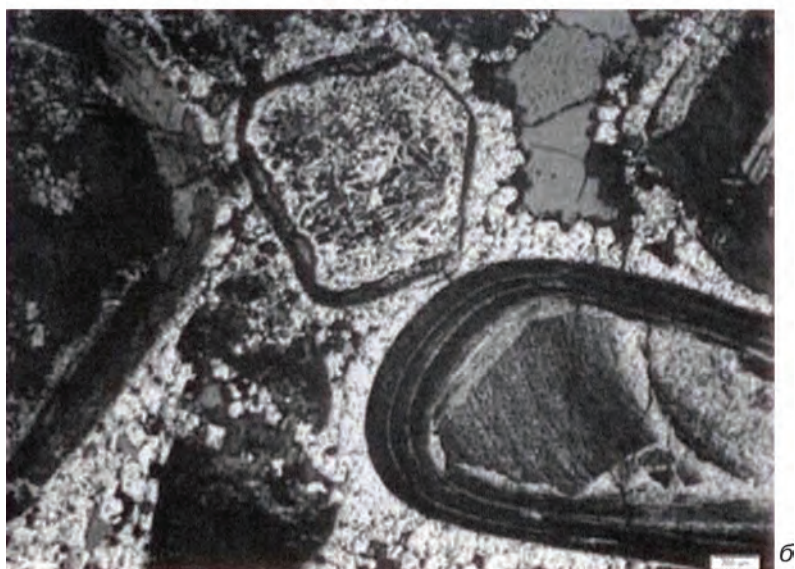
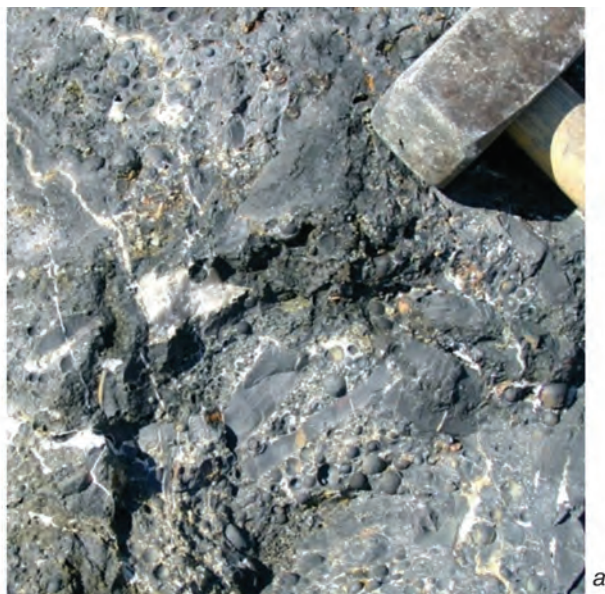


Рис. 17. Геологический разрез Коршуновского м-ния
[Ангаро-Илимские ... , 1960]; (Архипенкова и др., 1981)

1 – песчаники; 2 – известняки; 3 – аргиллиты; 4 – доломиты; 5 – базальты; 6 – долериты. Брекчии II этапа: 7 – массивные руды субвертикальных тел; 8 – массивные и вкрапленные руды в субгоризонтальных субсогласных телах. Брекчии I этапа: 9 – вкрапленные хлорит-магнетитовые; 10 – карбонатно-серицитовые; 11 – карбонатные по осадочным породам; 12 – аутигенные брекчии. 13 – контуры трубэк взрывных брекчий; 14 – разломы



**Рис. 18. Брекчиевые руды Коршуновского м-ния
[Спиридонов и др., 2006]; (Ефремов и др., 2012)**

a – обломки полосчатых магнетитовых руд, в промежутках – агрегаты оолитов магномагнетита и кальцита; *б* – оолиты с инородными включениями в ядерной части

Процесс формирования железорудных брекчий Коршуновского месторождения происходил длительно и носил, по мнению ряда исследователей (Корабельников и др., 1960ф), пульсирующий характер с изменяющейся с каждым импульсом минерализацией. Отложение железа происходило скорее всего из сопряженной с магмой основного состава газовой-водной (H_2O , CO_2) флюидной составляющей с широким участием Ca, Mg, Fe, частично SiO_2 , P, S, Mn, Cr, Ni, V, Co.

Связующая масса брекчиевых рудных тел имеет флюидогенный характер. Об этом свидетельствуют состав цемента, состоящего в основном из флюидогенных минералов – карбоната, серицита, хлорита, серпентина, псевдоморфозы новообразованных минералов по протоматматическим, и наконец, неправильная трубообразная форма карбонатно-рудных тел. Кроме того, нечеткое обособление типов руд, наличие резко выраженных явлений телескопирования их текстур, а также отсутствие доказанной вертикальной зональности на месторождении свидетельствуют о близкостоящих условиях формирования брекчиево-рудных тел.

Термобарогеохимическое изучение флюидных включений в минералах брекчий, проведенное Л. С. Пузановым [1975] и М. М. Пухнаревичем [1985], привело к заключению [Соловьев, 2011], что рудная минерализация формировалась высокосолеными флюидами с вовлечением в процесс водно-хлоридных рассолов, полученных из эвапоритовых пачек, развитых во вмещающих породах [Полозов, 1994]. Дополнительными признаками флюидогенного происхождения минерализации являются преобладание железозоксидного, бедного сульфидами оруденения и низкие отношения Si/Fe (Barton, Johnson, 2000), а также присутствие борной, сульфатной и галитовой минерализации. Эта точка зрения, безусловно, подтверждается распространением мощных (до 600 м) соленосных эвапоритовых горизонтов, подстилающих весь Ангаро-Илимский регион. Термометрическими исследованиями установлено также, что породы рудоносных магматогенно-флюидогенных брекчий обладают высокой декрепитационной активностью. Это обусловлено большой насыщенностью газовыми и газовой-жидкими включениями цемента брекчий и ее обломков за счет составляющей флюидизированной магмы, обеспечивающей формирование брекчиевой структуры и ее минерализацию [Туговик, 1984].

Рудоносность брекчиевых образований. В пределах Коршуновского месторождения (Лукин и др., 1959ф) по текстурным особенностям установлены различные типы руд, все они образуют единую рудную залежь.

Подавляющая часть запасов руд приурочена к Главному трубообразному брекчиевому телу (рис. 17) и его непосредственному окружению, включающему зону аутигенного брекчирования осадочных пород. Оруденение центральной части структуры образует единую крупную сложнопостроенную залежь трубообразной формы с двумя основными обособлениями. Рудные тела имеют многочисленные ответвления на различных уровнях, в том числе послонные, уходящие в блоки осадочных пород как внутри Главного тела, так и в его окружении. При этом основной объем магнетитового оруденения ангаро-илимских месторождений коршуновского типа был сформирован на ранних и, вероятно, на средних стадиях формирования месторождений, что подтверждено результатами изучения флюидных включений.

На основании модели железорудных брекчиевых образований, построенной по материалам Коршуновского и аналогичных месторождений,

выявлены следующие основные признаки (критерии) для железорудных брекчиевых структур ангаро-илимского типа:

– приуроченность к платформенной синеклизе, усложненной куполами и впадинами, а также «скрытыми» линеamentами, возможно рифтогенной природы, проявленными как в докембрийском основании, так и в фанерозойском (Pz–Mz) чехле;

– присутствие в разрезе региона наряду с преобладающими известково-терригенными отложениями соленосно-эвапоритовой пачки (E₁) и трапповых туфов и туфобрекчий, пронизанных телами габброидов (P₂–T);

– проявление положительных магнитных аномалий высоких амплитуд и большой контрастности и остаточных положительных аномалий силы тяжести, усложненных в ряде случаев заливообразными ответвлениями изоманомал и локально повышенными значениями поля;

– присутствие субвертикальных тел брекчий, перемежающихся во времени с проявлениями траппового магматизма и приуроченных к участкам мозаично-блокового строения локальных брахисинклиналий и к сложно-дислоцированным узлам призмковых частей горстантиклиналей, изобилующих зонами трещиноватости;

– специфические признаки магматогенно-флюидогенных брекчий – **1)** присутствие обломков не только вмещающих, но и «глубинных» пород фундамента, а также «брекчий в брекчии»; **2)** проявление брекчий нескольких генераций с протоматматическими и новообразованными минеральными ассоциациями и с цементом, несколько различающимся по составу, но отражающим сопряженность брекчий с магмой основного состава; **3)** содержание минеральной ассоциации, свойственной породам основного состава и включающей магнетит, диопсид, а также таких нетрадиционных для этой ассоциации минералов, как гранат, гематит в сочетании с второстепенными минералами – эпидотом, хлоритом, амфиболом, кальцитом, серпентином, кварцем; **4)** формирование рудоносных брекчий при широком участии флюидных составляющих H₂O, CO₂, SiO₂ (частично), P, S и, кроме того, таких элементов, как Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Ni, V, Co; **5)** сингенетичность брекчиевых образований и сопряженной с ними рудной минерализации – магнетит-манганомангнетитовой с примесью апатита.

1.2.3. Брекчиевые образования, алмазоносные кимберлитовые (Западная Якутия)

Характеристика брекчиевых образований этого типа, сформированных флюидизированной магмой щелочно-ультраосновного состава, подготовлена на основе материалов по кимберлитовым трубкам Вилюйской субпровинции Западной Якутии (Мир, Удачная и др.), обладающим высокой промышленной алмазоносностью.

Вилюйский блок Сибирской платформы – часть литосферы с аномальной мощностью кристаллической коры (до 45–54 км) и литосферы и сочетанием высокоскоростной и высокоплотной мантии и базифицированной земной коры с областью аномальных сейсмических, плотностных, электрических и тепловых параметров [Калашник и др., 2010]. Фундамент состоит из архейских вулканогенно-осадочных пород, метаморфизованных до гранулитовой фации (Rozen et al., 1994): осадочный чехол (менее 4 км) – позднерифейские и юрские терригенно-карбонатные и терригенные отложения [Эринчек и др., 2000].

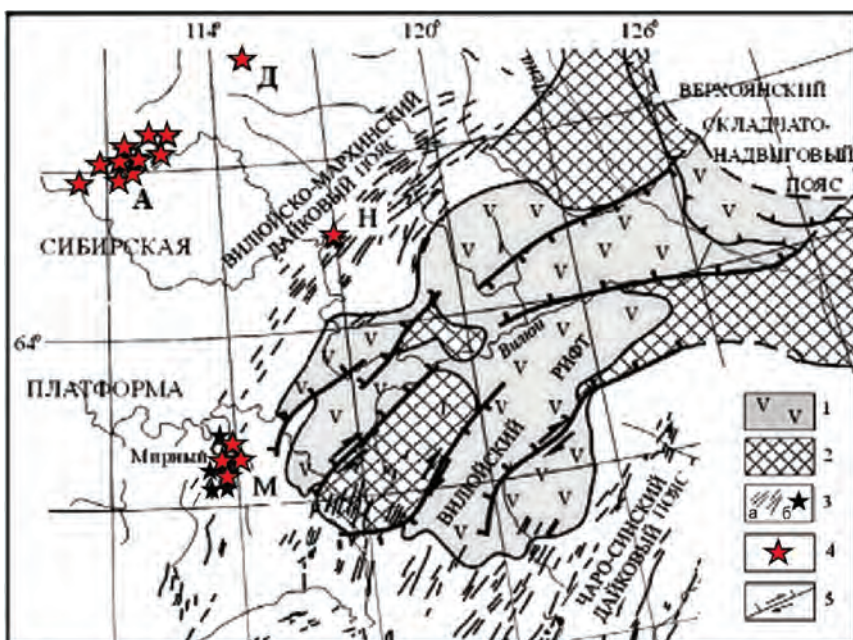


Рис. 19. Схема строения среднепалеозойской Вилуйской рифтовой системы, по [Этапы ... , 2012] с изменениями

1 – эффузивно-осадочные толщи рифтовых впадин; 2 – участки относительных поднятий (реликты палеосвода); 3 – дайки долеритов (D_2-C_1) – а, базальтовые трубки взрыва – б; 4 – алмазоносные кимберлиты (D_3-C_1), 5 – разломы. М – Мирнинское, Н – Накынское, А – Алакитское, Д – Далдынское кимберлитовые поля

В целом устойчивое тектоническое развитие региона на платформенном этапе было нарушено в среднем палеозое режимом растяжения литосферы, вызванного развитием Вилуйско-Патомского палеорифта (Вилуйско-Патомского авлакогена) северо-восточного простирания [Эринчек и др., 2000]. Эта крупная линейная зона контролировала образование очагов кимберлитовой магмы и обусловила приуроченность кимберлитовых полей к протяженным зонам повышенной проницаемости на плечах структур этой зоны (рис. 19). Проницаемые зоны контролировали также развитие поясов долеритовых даек и базальтовых трубок взрыва.

Материалы по алмазоносным кимберлитовым брекчиям весьма обширны, поэтому в настоящих, ограниченных по объему рекомендациях остановимся лишь на основных признаках этих брекчий, которые могут служить критериями их прогнозирования, выявления и оценки рудоносности.

Региональные структурно-тектонические критерии:

– приуроченность к стабильным блокам земной коры с архейским возрастом фундамента и преимущественно к центральным частям кратона, не переработанным более поздними процессами [Clifford, 1966], к краям кратонов алмазоносность кимберлитов снижается;

– приуроченность к областям литосферы с определенными параметрами – переходным корово-мантийным слоем на границе коры и мантии [Волюнин, Гринсон, 2000]; увеличением мощности кристаллической коры

(45–58 км); инверсионным поднятием внутрикоровых границ; контрастным двухслойным разрезом коры при уменьшении мощности верхней коры (10–12 км) (Манакон, Гарат, 2000). Для этих областей характерно сочетание высокоскоростной и высокоплотной мантии и базифицированной земной коры с областью аномальных сейсмических, плотностных, электрических и тепловых параметров [Калашник и др., 2010]. Кимберлиты, не содержащие алмазов, не имеют четкой пространственной связи с геофизическими полями [Манакон, Гарат, 2000];

– приуроченность к протяженным зонам повышенной проницаемости на плечах крупных линейных тектонических структур – авлакогенов и связанных с ними рифтогенных структур более низкого порядка.

Критерии среднемасштабного и локального геологического прогнозирования сводятся в основном, по мнению ряда исследователей, к приуроченности к зонам и участкам, которые имеют следующие черты геологического строения [Вольнин, Гринсон, 2000]: **1)** осложнение строения поверхности Мохо либо прибортовых частей грабенообразных впадин этой поверхности экстремальными величинами V_p/V_s ; **2)** пересечение протяженных линейных зон повышенной проницаемости глубинными разломами трансформного типа и коровыми разломами различных порядков, в том числе кольцевыми, а также флексурными перегибами; **3)** присутствие локальных растяжений, образованных одним или несколькими разрывными нарушениями (дуплексы растяжения и т. д.) [Игнатов и др., 2001], часто на фоне купольных структур; **4)** присутствие повышенной трещиноватости в фундаменте и чехле и изменений физико-механических свойств пород [Вольнин, Гринсон, 2000].

Локальные геофизические критерии: кимберлитовые поля и отдельные взрывные трубки отражаются в параметрах физических полей локальными аномалиями трубчатого типа на фоне вмещающих пород [Калашник и др., 2010]: вертикальные электропроводящие зоны повышенной электропроводности [Жандалинов и др., 2000], повышенные магнитные аномалии и отрицательные гравитационные. Они фиксируют связанные с кимберлитовыми трубками депрессии в фундаменте, сопутствующие образованию взрывных структур, изменениям физических параметров пород в околотрубчатом пространстве.

Модель формирования кимберлитовых брекчий предполагает, что они стали результатом активизации астеносферного слоя с последующим восхождением (прорывом) флюидизированной магмы к поверхности Земли. Образование локальных очагов флюидизированной кимберлитовой магмы провоцировало флюиды в условиях гетерогенной литосферы. При этом образование кимберлитовых брекчий происходило в случаях достижения флюид-расплавом критического декомпрессионного уровня давления, резкой его дегазации (вскипания H_2O и CO_2) – ретроградного кипения, энергетически обеспечивающего процесс декомпрессионной эксплозии (Харрис и др., 1972). Грунтовые воды обеспечивали дополнительный флюидный поток, повышая флюидное давление и усиливая взрывной процесс. Кроме того, поднимающийся флюид-расплав мог также обогащаться CO_2 из вмещающих карбонатных толщ.

Кимберлитовые брекчии составляют основной объем диатремовых структур, имеющих форму усеченного перевернутого конуса, хотя в их строении помимо брекчий принимают участие и массивные порфировые кимберлиты (рис. 20). Контакты с вмещающими породами обычно резкие,

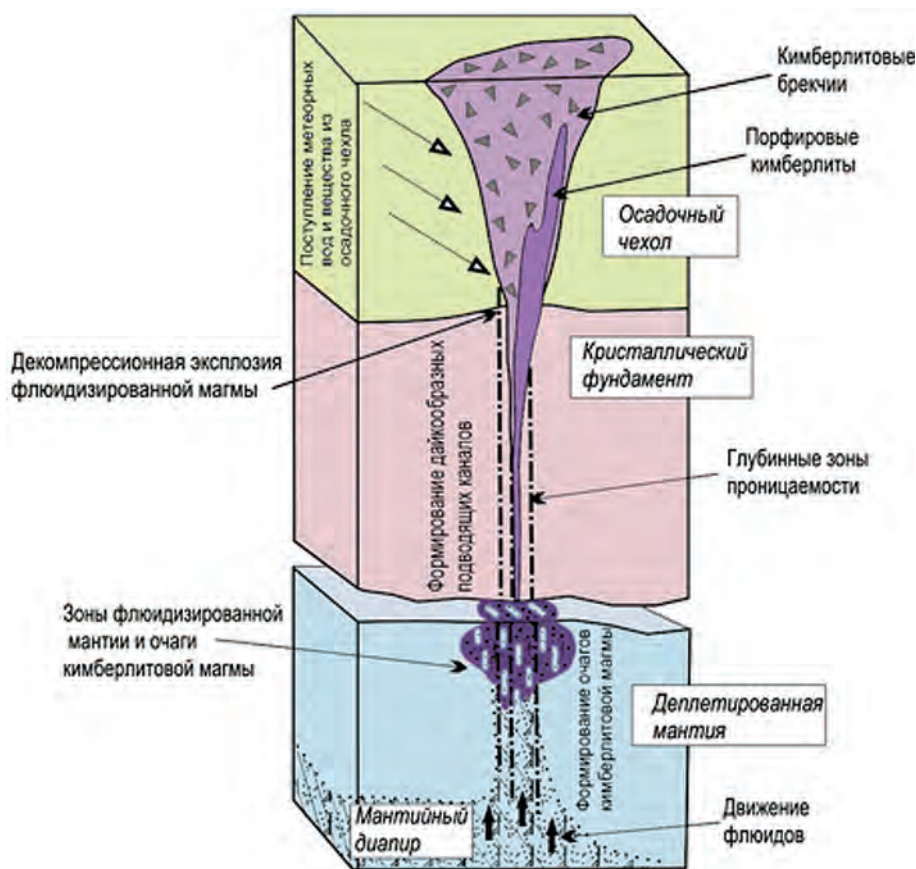


Рис. 20. Модель формирования кимберлитовых брекчий с использованием [Карбонатиты и кимберлиты, 2005]

иногда постепенные, через краевую брекчиевую зону к породам окружающей рамы. Концентрация значительной части ксенолитов приурочена к периферии диатрем.

Вещественные признаки кимберлитовых брекчий обусловлены, с одной стороны, особенностями состава кимберлитовой магмы, с другой, составом участвующего в их формировании флюидного вещества и обломочного материала.

Сопряженность брекчий со щелочно-ультраосновной магмой обеспечивает их главные *петрографические* признаки, а также их алмазоносность. Взрывной характер образования — благоприятные условия для сохранности алмаза, обеспечивающие быструю его транспортировку к поверхности и наименьшее влияние температурного воздействия. Брекчии, особенно автолитовые, характеризуются насыщенностью высокобарическими минералами алмазной ассоциации [Егоров и др., 2008; Костровицкий, 2009]. Наиболее широко брекчии развиты в верхних частях структур, что является основной причиной понижения алмазоносности пород кимберлитовых трубок с глубиной [Маракушев, 1985].

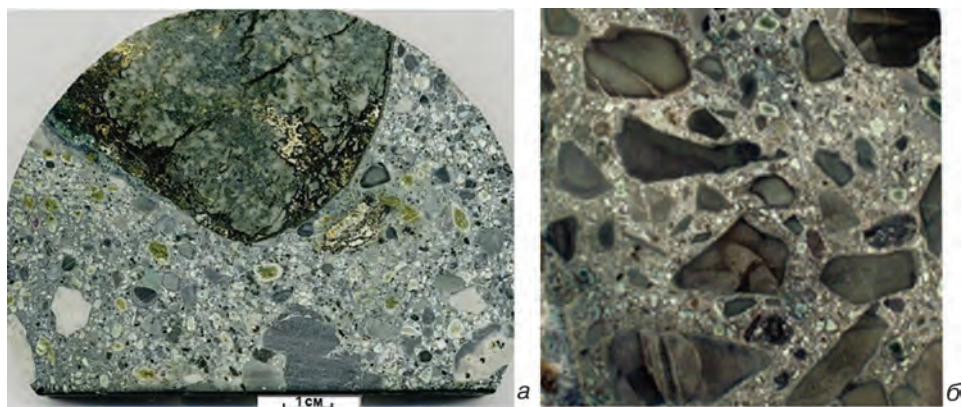


Рис. 21. Морфология ксенолитов в кимберлитовых брекчиях

а – крупный округлый ксенолит перидотита и мелкие угловатые обломки осадочных пород, трубка Удачная; *б* – угловатые обломки осадочных пород [Костровицкий, 2010]

Кимберлитовые брекчии – гетерогенные гибридные породы с брекчиевой текстурой и кристалло-литокластической структурой, состоящие из разноразмерного обломочного материала корового и мантийного происхождения, порфировых вкрапленников и связующей массы. Форма обломков угловатая, угловато-округленная, округленная (рис. 21).

Важнейшую роль для диагностики кимберлитовых брекчий играют мантийные ксенолиты – нодулы [Доусон, 1983]: от преобладающих алмазо-содержащих гранатовых перидотитов и эклогитов, образующихся в области стабильной кристаллизации алмаза (150–200 км), до ультрабазитов и пироксенитов (50–60 км) [Харьков, Зинчук, Крючков, 1998]. Глубинным ксеногенным материалом являются также зерна – порфиорокласты различных минералов, в том числе высокобарических – оливина I, пироба, пиропальмандина, флогопита I, пикроильменита I, хромшпинелида I, клино- и ортопироксенов, редко циркона, апатита, титанклиногумита, муассанита, корунда, титанита, графита, алмаза и др. Многие из этих минералов содержатся в алмазах в виде включений, что подтверждает их сингенетичность. Они, как правило, несут на себе следы взаимодействия с кимберлитовым флюид-расплавом, проявляющиеся в виде их растворения, резорбции, оплавления; иногда они насыщены вторичными флюидными и расплавленными включениями. В ксенолитах на контакте с цементирующей массой отмечается развитие магнетита и келифитовых кайм, сложенных хлоритом с переменной примесью флогопита и кальцита [Зинчук, 2011]. Зернам алмаза свойственно развитие коррозионного рельефа, свидетельствующего об активном взаимодействии агрессивного кимберлитового расплава с алмазом при продвижении его к поверхности (Самосоров, 2007; Помазанский и др., 2011).

В брекчиях часто отмечаются следы твердофазных хрупких и пластических деформаций минеральных зерен, составляющих эти породы, особенно глубинного происхождения: полосы деформации, волнистое погасание или периферическая рекристаллизация [Доусон, 1983]. В оливине, например, механические деформации проявляются в раздробленности, в пластинчатых зернах флогопита в виде изгиба, иногда типа кинкбанда (рис. 22),

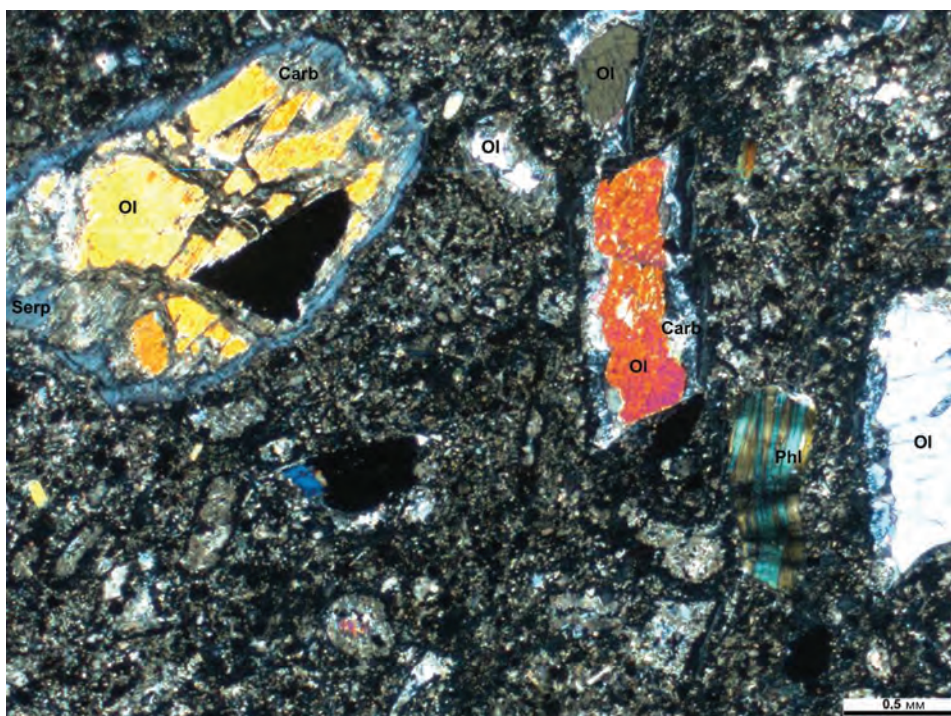


Рис. 22. Деформированная пластинка флогопита со структурой кинкбанд

Раздробленное крупное округленное зерно оливина с ненарушенной серпентин-карбонатной оторочкой и более мелкие остроугольные обломки оливина, где дробление происходило вместе с оторочкой кальцита. Трубка Удачная-Восточная

излома или расщепления. Иногда интенсивно деформируются не только крупные ксеногенные зерна, но и мелкие пластинки в связующей массе (Алтухова, 2010).

Механические и протомагматические сколы наблюдаются также на некоторых кристаллах алмаза (Самосоров, 2007; Помазанский и др., 2011 и др.), а иногда отмечаются и следы пластической деформации. Согласно минералогическим исследованиям (Орлов, 1973), деформация алмазов происходит в результате быстрой декомпрессии при выбросе их с больших глубин на более высокие уровни. Содержание и состав высокобарических минералов-спутников алмаза коррелируют со степенью алмазности кимберлитовых брекчий, на чем и основаны минералогические критерии алмазности кимберлитовых пород.

Связующая масса брекчий представляет собой крипто-микрозернистый или микролитовый флогопит-карбонат-серпентиновый цемент (раскристаллизованный флюид-расплав) с мелкими обломками, а иногда автолитовыми обособлениями. Она содержит также порфиновые вкрапленники – субидiomорфные фенокристаллы оливина II (форстерита), реже флогопита II. Не всегда можно четко установить, являются ли порфиновые выделения собственно фенокристаллами цемента или представляют собой продукты дезинтегрированных мантийных пород [Зинчук, 2011]. Присутствуют также магнетит, титаномагнетит, ильменит, хромшпинелид, хромит, монтичеллит,

апатит, рутил, перовскит, хлорит, сульфиды, редко джерфишерит [Магматические ... , 1988; Харьков, Зинчук, Крючков, 1998; Шарыгин и др., 2014]. Кальцит (частично), серпентин, хлорит, возможно сульфиды, магнетит, а также иногда кварц, смешаннослойные и некоторые другие минералы образовывались, по-видимому, из флюидной фазы. Текстура связующей массы нередко флюидалная за счет субпараллельно ориентированных удлиненных псевдоморфов по кристаллам оливина, пластинок и чешуек флогопита и лейст кальцита.

Минералогическими критериями алмазности кимберлитовых брекчий служат типоморфные признаки содержащихся в них минералов главным образом шлиховой фракции. Обнаружение алмаза в шлиховой фракции – прямой признак алмазности. Положительным можно считать преобладание алмазов I разновидности (преимущественно бесцветных октаэдров, ромбододекаэдров), переходных форм ряда октаэдр–ромбододекаэдр, псевдогемиморфных кристаллов, кубоидов и бесформенных осколков без признаков кристаллографической огранки с «тяжелым» изотопным составом углерода. Такие алмазы характерны для промышленно-алмазных кимберлитов.

К *косвенным минералогическим критериям* выявления алмазных брекчий относится обнаружение ореолов барофильных минералов со специфическими параметрами состава, парагенетически связанные с алмазом, – минералов «алмазной ассоциации»: пироп, пикроильменит, оливина, хромдиопсида, хромшпинелида и др. При региональном прогнозе – контрастных ореолов, при локальном – высококонтрастных ореолов с минералами-спутниками ближнего сноса [Вольнин, Гринсон, 2000]. Эти критерии основаны на том, что барофильные минералы, парагенетически связанные с алмазом, обладают специфическими параметрами состава.

Сущность петрохимических критериев алмазности кимберлитовых брекчий заключается в установлении корреляции между содержанием породообразующих оксидов пород и их алмазностью. Наиболее алмазны высокомагнезиальные кимберлитовые брекчии [Милашев, 1990], большинство же месторождений с более низким уровнем алмазности относятся к магнезиально-железистому петрохимическому типу.

Геохимические критерии алмазности проявляются в характеристиках, обусловленных особенностями мантийных источников. В алмазных кимберлитах отмечаются более высокие содержания Ni, Cr, Li и Pt, а в низко- и неалмазных Co, Mn, V, Ti, Sc, Be, Ga, Ba, Sr, Zr, Nb, Ta, REE, Zn и Sn при примерно равных количествах Rb, Pb, Mo, Th и U [Ротман, Герасимчук, 2013]. Критериями алмазности кимберлитовых брекчий могут служить также изотопные данные: наиболее отчетливые различия между разновозрастными алмазными и убогалмазными кимберлитами установлены по содержанию стронция в валовом составе основной связующей массы кимберлитов и ее карбонатной фракции и по соотношению величин Rb/Sr отношений со значениями первичного изотопного состава стронция [Этапы ... , 2012].

Поисковые *геохимические* признаки кимберлитов: литогеохимическая ассоциация, индикаторная для ультраосновных пород (Cr, Ni, Mg), и редкоземельная, типоморфная для высококалийного щелочного магматизма (Ce, La, Y, Yb) [Калашник и др., 2010]; гидрохимическая ассоциация (Zn, Ni, Co, Cr, V, Ga, Cu); биогеохимическая в растениях (Ni, Cr, Ti) (Лукашев, 2010); аэрогеохимическая в связи с дегазацией и миграцией к поверхности

мантийных флюидов, углеводородных (CH_4 , C_3H_8 и др.) и атмосферных газов (H_2 , CO_2 , N_2 , O_2) [Главатских, 1992], (Кутинов и др., 2009); повышенное содержание гелия и аргона (Дюжиков, Фридман, 1987).

1.2.4. Брекчиевые образования карбонатитовые с барит-флюорит-железо-уран-редкоземельным оруденением (месторождение Карасугское, Центральная Тува)

Флюидонасыщенные карбонатитовые магмы (флюид-расплавы, рас-сол-расплавы), обуславливают широкое развитие карбонатитовых, силикатно-карбонатных и фосфатно-карбонатных и фоскоритовых брекчиевых образований, сопряженных с массивами магматитов ультраосновного-щелочного состава и часто являющихся рудоносными. Среди них Ковдорский, Тульокский и другие массивы Карело-Кольской карбонатитовой провинции, Гулинский, Ыраасский массивы Маймеч-Котуйской провинции, Томторский, Ильменогорско-Вишневогорский массивы, массивы Куонамской группы и еще многие другие. В последнее время особое внимание геологов привлекают не имеющие аналогов золотосодержащие карбонатные брекчии, выявленные в восточной части Таймырской складчатой системы [Проскурнин и др., 2010].

Представляемый пример карбонатитовых брекчиевых образований базируется на основе изученных рудных объектов, расположенных на юге Алтае-Саянской складчатой области, в Центральной Туве. К этим объектам относятся комплексное крупное барит-флюорит-редкоземельно-уран-железорудное Карасугское месторождение и ряд проявлений, сходных с ним по генетическому и формационному типу, минералогическим и геохимическим особенностям. Эти объекты пространственно группируются в прибортовых частях Центрально-Тувинского тафрогенного прогиба (D–C) в два рудных узла – Карасугский и Улайский (рис. 23).

Структурно-тектонические признаки брекчиевых структур. Карбонатиты в Центральной Туве распространены на территории площадью около 3000 км², образующей вытянутый субмеридиональный ареал (Чаа-Хольская редкоземельная зона). Этот ареал контролируется, как предполагается [Никифоров и др., 2005], мантийными структурами, отражающими полосовидную трансрегиональную рудоконтролирующую зону рассредоточенной проницаемости общекорового заложения.

В геолого-тектоническом плане ареал развития карбонатитов расположен в пределах сочленения Восточно-Тувинской салаирской (V–E) и Западно-Саянской каледонской (E–S) подвижных систем (Матросов, Шапошников, 1988), [Рудные узлы ... , 2001]. Образования этих систем перекрыты отложениями континентальной молассы (D–C) Центрально-Тувинского тафрогенного прогиба (посторогенного рифтогенного, по [Государственная ... , М-46 – Кызыл, 2008]). В мезозойское время сформировались юрские угленосные впадины, дайки долеритов и лампрофиров, а также тела рудоносных карбонатитовых брекчий (улайский карбонатитовый комплекс).

По геофизическим данным изолинии аномального поля силы тяжести в центральной части Тувы имеют восток-северо-восточную ориентировку, согласную с общим направлением структур района. Однако в пределах полосовидного ареала, от Улайского узла на юге по направлению на север к Карасугскому, значения аномальной силы тяжести увеличиваются [Гравиметрическая карта ... , 1999], как и мощность земной коры. Значения аномального магнитного поля района Центральной Тувы отрицательны

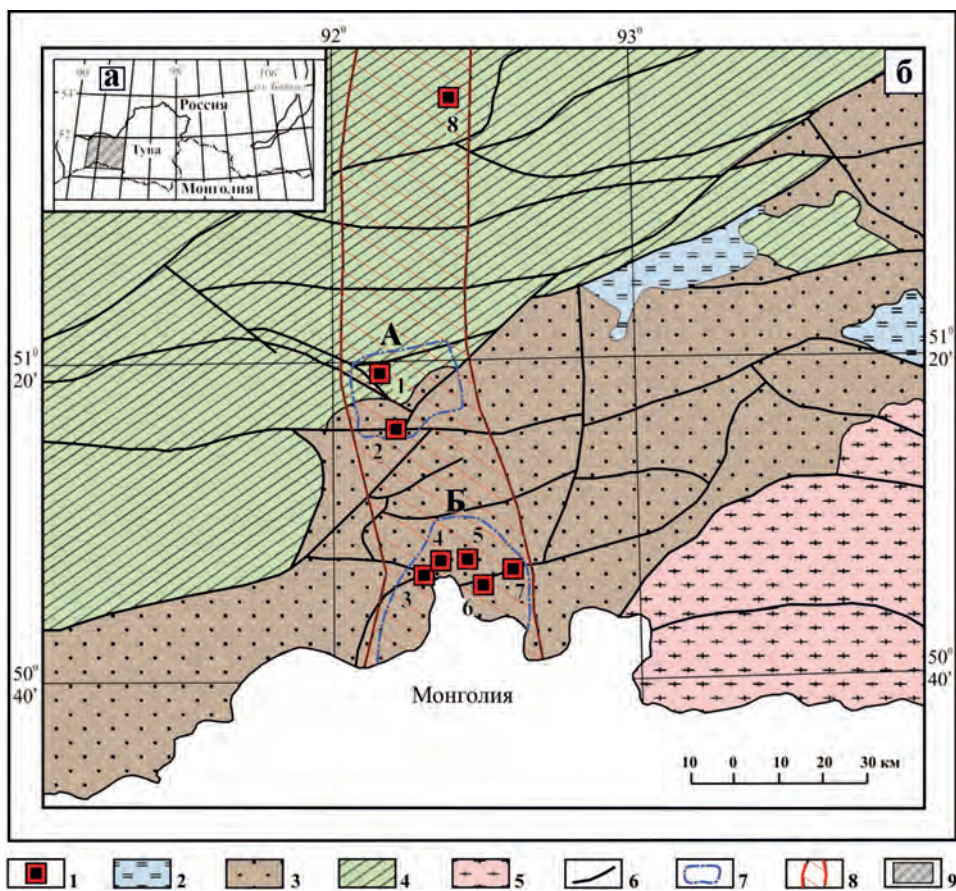


Рис. 23. Область проявления рудоносных брекчиевых карбонатитов южной части России
а – врезка; *б* – схема расположения брекчиевых карбонатитов в геологических структурах центральной части Тувы, по [Никифоров и др., 2005]

1 – брекчиевые карбонатиты (МЗ) с редкоземельно-железородным оруденением (м-ние Карасугское – 1, проявления Чаахольское – 2, Улаитское – 3, Тээли-Оргудыдское – 4, Северо-Чозское – 5, Южно-Чозское – 6, Торгалыкское – 7, Чайлюгхемское – 8); *2* – терригенные угленосные отложения (J); *3* – молассоидно-вулканогенные континентальные отложения (D–С) тафрогенного прогиба; *4* – флишоидные терригенно-карбонатные отложения (Є–S) Западно-Саянской каледонской складчатой системы; *5* – вулканогенно-осадочные отложения (V–Є) Восточно-Тувинской салаирской складчатой системы; *6* – разрывные нарушения; *7* – рудные узлы: А – Карасугский, Б – Улаитский; *8* – полосовидный ареал развития брекчиевых карбонатитов, Чаахольская редкоземельная рудная зона; *9* – район развития рудоносных брекчиевых карбонатитов в центральной части Тувы (на врезке)

и близки к нулевым, лишь районы Карасугского и Улаитского рудных узлов характеризуются положительными магнитными аномалиями.

Типовой объект брекчиевых карбонатитов – Карасугское месторождение. В геологическом строении рудного поля месторождения (рис. 24) принимают участие нижнекембрийские осадочно-вулканогенные и трансгрессивно залегающие на них ордовикско-силурийские терригенно-известняковые отложения. В зонах брекчирования среди отложений ордовика и силура

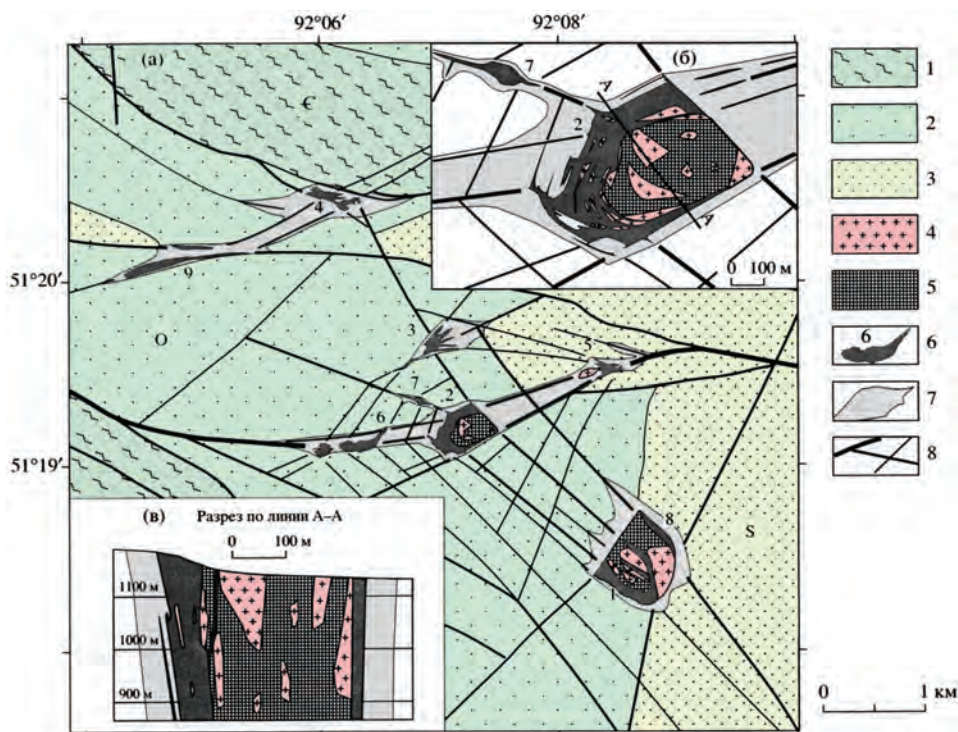


Рис. 24. Геолого-структурная схема Карасугского рудного поля (а), план второго рудного тела (б) и разрез через него (в) [Никифоров и др., 2005]

1–3 – отложения (1 – раннекембрийские осадочно-вулканогенные, 2 – ордовикские терригенные, 3 – силурийские терригенно-известковистые); 4 – граниты; 5 – анкерит-кальциевые карбонатитовые брекчии; 6 – рудные флюорит-барит-сидеритовые брекчии и номера сложенных ими тел; 7 – брекчированные вмещающие породы; 8 – разломы различной значимости

установлены небольшие ксенолитоподобные тела карбонатизированных и грейзенизированных гранитов предположительно раннемелового возраста [Болонин, 1999].

Тектонические нарушения образуют систему сопряженных разноориентированных разрывов в синклиальной ордовикско-силурийской структуре рудного поля. Ведущую роль в размещении и морфологии брекчиевых тел играют субширотные долгоживущие разломы и зоны трещиноватости субмеридионального и северо-западного простирания, в узлах пересечения которых эти тела локализованы [Государственная ... , М-46 – Кызыл, 2008]. Карбонатитовые брекчии хорошо опознаются в наземных физических полях по высокой намагниченности (до 1000 нТл) и дефициту плотности в гравитационных полях трубчатого типа.

Форма тел брекчиевых пород Карасугской структуры трубообразная. Это крутопадающие тела (670 × 750 м), прослеженные на глубину свыше 550 м без выклинивания. С вмещающими терригенными породами, трещиноватыми, брекчированными, лимонитизированными, карбонатизированными, альбитизированными, они имеют резкие контакты. Иногда в брекчиях фиксируются глыбы и блоки песчаников и гранитоидов.

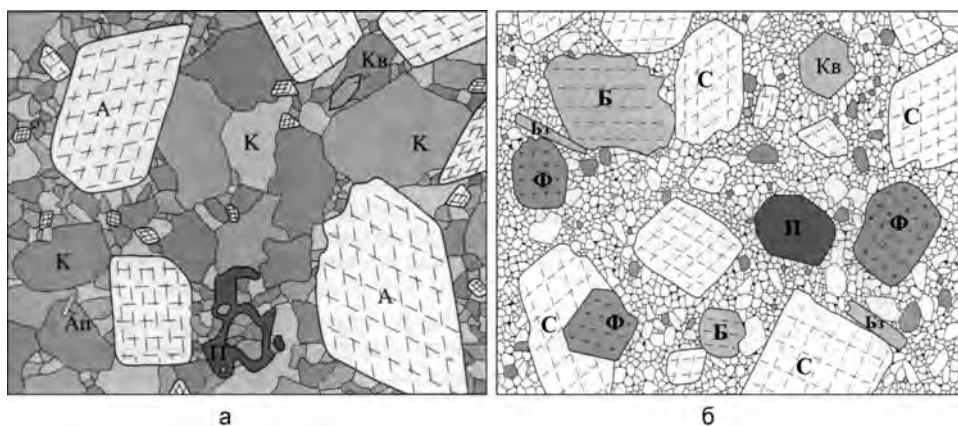


Рис. 25. Порфиroidная структура связующей массы карбонатитовых брекчий [Болонин, 1999; Никифоров и др., 2004, 2005]

а – анкерит-кальцитовые; *б* – флюорит-барит-сидеритовые с цементирующим флюорит-сидеритовым агрегатом. Ув. 10. Минералы: А – анкерит, С – сидерит, К – кальцит, П – пирит, Ф – флюорит, Б – барит, Ап – апатит, Кв – кварц, Бз – бастнезит

Вещественные признаки. Брекчиевые породы состоят из хаотично ориентированных, преимущественно угловатых обломков (до 30–50 см, в редких случаях до 3–5 м) разнообразных вмещающих пород и гранитов, а также пород, перенесенных карбонатитовым флюид-расплавом с более глубоких горизонтов геологического разреза. Все они погружены в мелко-среднезернистую связующую карбонатитовую массу двух типов – анкерит-кальцитового и флюорит-барит-сидеритового.

Анкерит-кальцитовые брекчиевые карбонатиты – массивные породы белого цвета с гипидиоморфнозернистой или порфиroidной структурой цемента и сравнительно равномерно распределенными выделениями изометрично-зернистого кальцита (60–45 %), вкрапленниками ромбоэдрических кристаллов анкерита (35–50 %). Около 5 % породы составляют идиоморфные зерна второстепенных минералов (пирита, апатита, кварца, мусковита) и аксессуарных – монацита, паризита, спорадически рутила, магнетита, молибденита, торита и др. (рис. 25, *а*). **Флюорит-барит-сидеритовые брекчиевые карбонатиты** – мелко-среднезернистые породы массивной, иногда директивной текстуры и порфиroidной структуры (рис. 25, *б*). В светлосером сидеритовом агрегате (до 60 %) равномерно распределены вкрапленники зерен белого барита (20 %), фиолетового флюорита (12 %), а также второстепенные (пирит, кварц, мусковит, бастнезит, апатит) и аксессуарные минералы (монацит, паризит, уранинит и молибденит). Встречаются также зерна магнетита, мусковита, рутила, содержание которых не превышает 1 мас. %. Сидерит образует как ромбоэдрические вкрапленники, так и вместе с флюоритом входит в тонкозернистую связующую массу. Вкрапленники, составляющие более половины объема породы, частично подвержены деформационным процессам.

Механизм формирования. Образование брекчиевых карбонатитов протекало в две стадии: в первую образовались анкерит-кальцитовые, во вторую флюорит-барит-сидеритовые с бастнезитом. Взаимоотношения этих двух

разновидностей наблюдаются в наиболее крупных трубообразных телах карбонатитов Карасугского месторождения с отчетливо проявленной центростремительной латеральной зональностью (рис. 24). Внутренний шток анкерит-кальцитовых карбонатитов окружен полукольцевыми, часто дайкоподобными телами флюорит-барит-сидеритовых, внешние контакты которых падают к центру брекчиевого тела. Эпигенетические изменения в зоне экзоконтакта и иногда в обломках выражены в развитии выделений минералов карбонатитов. Более широко наложенные новообразования фиксируются в анкерит-кальцитовых карбонатитах вблизи с секущими их флюорит-барит-сидеритовыми. Контакты этих разновидностей отчетливы, но количество сидерита, барита и флюорита в анкерит-кальцитовых карбонатитах в форме порфиробластовых и прожилковых выделений может достигать половины объема пород.

Первичный химический и минеральный составы карбонатитов, а также текстуры и структуры пород относительно выдержаны по всему объему тел. Очевидно, что они формировались не вследствие замещения какого-либо субстрата, а в результате эксплозивной инъекции (импрегнации) подвижного карбонатитового флюид-расплава во вмещающие породы. При этом формировались эксплозивные брекчии в том объеме, который они занимают в настоящее время.

Петрогеохимические признаки брекчиевых карбонатитов. Диаграмма составов брекчий в координатах $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}$ (рис. 26) демонстрирует, как и петрографические признаки, существование двух их видов, один из которых тяготеет к кальциевым карбонатитам, а другой к феррокарбонатитам. В повышенных количествах в брекчиях присутствуют иттрий, марганец, фосфор, молибден, кобальт и серебро. Резко повышенные относительно кларка содержания S, Ba, Sr, редких земель Ce

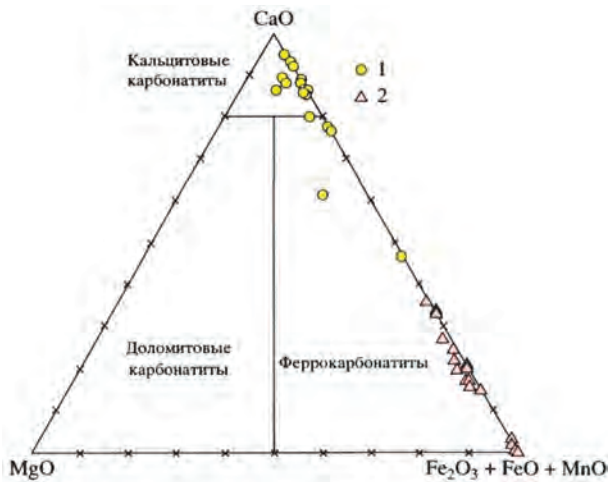


Рис. 26. Диаграмма $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}$ (мас. %) составов брекчиевых карбонатитов Центральной Тувы [Никифоров и др., 2005]

1 — анкерит-кальцитовые, 2 — флюорит-барит-сидеритовые карбонатиты

группы, Мо, F, а также Fe и повышенное содержание урана при низком торий-урановом отношении (0,15–0,5). Поисковый признак выявления брекчиевых карбонатитов – геохимические ореолы распространения этих элементов.

Для обоих типов брекчиевых карбонатитов установлены диапазоны первичных значений изотопного состава кислорода, углерода, сульфидной и сульфатной серы, стронция, которые указывают на генетическое родство обоих видов карбонатитов и мантийную природу их источника [Никифоров и др., 2006]. Термобарометрические исследования газовой-жидких включений во флюорите, барите и кварце из флюорит-барит-сидеритовых брекчиевых карбонатитов показали, что они возникли из высококонцентрированных солевых расплав-рассолов сульфатно-хлоридно-карбонатного состава при температурах 700–300 °С и давлениях 2,5–3,5 [Прокопьев и др., 2011], возможно, 4–6 кбар [Пузанов, 1975]. Возраст формирования брекчиевых карбонатитов Центральной Тувы Rb-Sr-изохронным методом определен в 118 ± 9 [Никифоров и др., 2006] и 110 млн лет [Государственная ... , М-46 – Кызыл, 2008].

Рудоносность брекчиевых карбонатитов. Карасугское месторождение – это крупный объект с комплексными рудами. Рудные залежи месторождения – крутопадающие линзообразные тела (в плане от 260×20 –100 до 1550×15 –165 м при глубине до 100–300, а иногда и 500 м), сложенные брекчиевыми карбонатитами флюорит-барит-сидеритового состава, содержащими барит-флюорит-редкоземельно-уран-железорудное оруденение.

Первичные руды состоят в основном из сидерита, флюорита, барита и гематита. Ведущая роль в комплексных рудах принадлежит редким землям цериевой группы, носителями которых являются бастнезит, паризит, апатит, монацит, в меньшей степени флюорит; промышленное значение также имеют железо, барит, флюорит, стронций и уран.

Магматогенно-флюидогенные брекчии обладают чертами, переходными от магматогенных брекчий к флюидогенным. Их отличает умеренная неоднородность и в различной степени выраженная такситовость пород при сочетании угловатых и округленных полимиктовых обломков; присутствие магматических минеральных зерен часто со следами протоклаза (что свойственно главным образом брекчиям этого типа) наряду с флюидогенными минералами; катаклаз обломков и минеральных зерен. Цементирующая масса этих брекчий – магматогенно-флюидогенная, сочетающая минеральные зерна магматического происхождения (результат кристаллизации материнской магмы) с флюидогенной минеральной ассоциацией. Для магматогенно-флюидогенных брекчий характерна сингенетичная рудная минерализация, определенная в значительной мере составом магмы, а также флюида.

Вещественные критерии диагностики магматогенно-флюидогенных брекчий обычно связаны между собой генетически и могут быть использованы совместно. Однако наибольшая эффективность и надежность прогнозных и оценочных работ достигается при использовании вещественных критериев в сочетании со структурно-тектоническими.

1.3. Флюидогенные криптоэксплозивные брекчии

Брекчии этого типа представляют собой породы, в формировании которых ведущая роль принадлежала компрессионным, eksploзивным и декомпрессионным явлениям в существенно газовой или жидко-газовой среде, содержащей силикатную фазу в количестве, отчетливо подчиненном флюидной и потому не оказывающей значительного влияния на процессы образования брекчий. «Текучая» флюидная среда, обладая высокой потенциальной эксклюзивностью, способна, кроме того, при декомпрессиях переохлаждаться ниже температуры ликвидуса силикатной составляющей. Это обуславливает преобладание при формировании цемента брекчий близких по времени процессов экстрагирования, выпадения из флюида минеральной ассоциации, в том числе рудной.

Флюидогенные брекчии весьма неоднородны и сложны как по составу, так и по строению. Это объясняется тем, что они отражают не только состав исходного флюида, но и состав всех тех компонентов, которыми он насыщается при его формировании и по пути следования к приповерхностной зоне Земли. Флюидные потоки, зарождаясь в определенных геодинамических условиях на различных глубинах земной коры и приобретая высочайшую подвижность, способны переносить во взвешенном состоянии протоматматические минеральные зерна из источника флюидов и фрагменты магматических пород. Кроме того, по пути следования к поверхности флюидные потоки насыщаются обломочным материалом и химическими компонентами боковых пород, а в местах их eksploзий и разгрузки – вмещающих пород, а также составляющих метеорных вод. Сочетание перечисленных компонентов различного генезиса в составе флюидогенных брекчий определяет их структурно-вещественную неоднородность и минеральную неравновесность. Это не типично для эндогенных пород других типов, однако весьма характерно для флюидоэксплозивных пород [Лукьянова и др., 2001, 2005; Шарпенюк, Лукьянова, 2003; Флюидно-эксплозивные ... , 2008; Шарпенюк и др., 2005; Петрографический кодекс, 2009; Атлас ... , 2011; Шарпенюк, Кухаренко, Костин, 2015].

Флюидоэксплозивные брекчии (ФЭБ) – породы, состоящие из разно-размерных обломков пород различного генезиса и возраста (вмещающих и перемещенных, в том числе глубинных) ксеногенных минеральных зерен, возможных магматических обособлений, захваченных флюидом из порождающего его первоисточника, а также протоматматических минералов; присутствуют также регенерированные и новообразованные минеральные зерна и их ассоциации. Они погружены в связующую массу – цемент, состоящий из минеральной ассоциации флюидогенного генезиса и содержащий некоторое количество тонкообломочной фракции. ФЭБ, в отличие от других брекчий, не имеют непосредственной связи с магматическими породами, однако присутствие в них во многих случаях протоматматических минералов или реликтовых магматических обособлений позволяют в той или иной мере судить об источнике флюидов.

Механизм формирования флюидогенных брекчий, в соответствии с представлениями Г. Л. Пospelова (1963), У. Файфа с коллегами (1981), В. Б. Наумова (1982), Н. С. Остапенко и О. Н. Нероды [2007] и других исследователей, основывается на признании важнейшей роли в брекчие- и сингенетичном рудообразовании определенных флюидодинамических процессов [Шарпенюк, Кухаренко, Костин, 2015]: 1) миграции флюидного вещества с одного

уровня земной коры на другой, т. е. при последовательной смене барических условий, сопровождаемой его декомпрессионными вскипаниями в связи с увеличением внутреннего давления или уменьшения давления внешнего; 2) физико-химического взаимодействия флюидных потоков при миграции и в условиях их накопления в приповерхностных условиях с веществом пород различного происхождения, в том числе рудоносных; 3) достижения флюидным веществом в «накопителе», в том числе при его смешении с метеорными водами, критического давления, приводящего к взрывным явлениям с дроблением твердых составляющих системы; 4) поствзрывных декомпрессий в системе с инъекцией и импрегнацией составляющих флюидогенного потока («смеси») во вмещающую среду с образованием брекчиевых пород.

Обязательное условие проявления этого механизма формирования брекчий – присутствие на гипабиссальном или приповерхностном уровнях экранирующих структур и барьерных зон, способствующих концентрации значительных объемов флюидов и накоплению их энергетического потенциала для дальнейшего саморазвития флюидогенной системы.

Морфология тел инъективных флюидоэкссплозивных брекчий весьма многообразна. Флюидопоток как субстанция легкоподвижная заполняет прежде всего хорошо развитые тектонические трещины, что определяет во многих случаях веерообразно-коническую форму брекчиевых тел. Эта форма может сосуществовать с субсогласными линзовидными и пластовидными телами брекчий. Известны штокверковая, силлообразная, трубо-, конусо-, подково- и дайкообразная формы тел флюидоэкссплозивных брекчий, сложно разветвляющиеся жилы и грибообразные тела. Всему разнообразию брекчиевых тел этого происхождения свойственны неровные контуры контактов, инъекционные соотношения с вмещающими породами, древовидные разветвления, апофизы и жилки, мощность которых, постепенно уменьшаясь, часто достигает 1–2 мм при протяженности в десятки сантиметров (рис. 27). По своим размерам тела брекчий также многообразны, однако подавляющее их большинство измеряется в поперечнике десятками и сотнями метров до первых километров. На глубину они прослеживаются, как правило, до 200–300, редко до 500–600 м и более.

Вещественная характеристика брекчий. Многообразие процессов флюидогенного брекчиеобразования приводит к формированию весьма специфических признаков флюидоэкссплозивных брекчиевых пород. Важнейшую

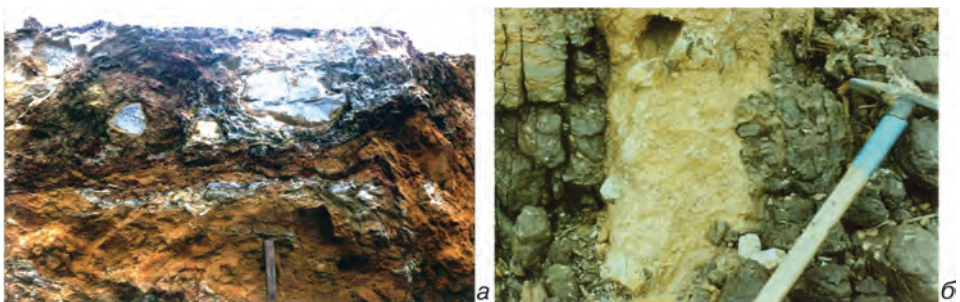


Рис. 27. Инъекционные тела флюидоэкссплозивных брекчий (светлые на фоне более темных вмещающих пород) [Алмазоносные ..., 2011] – а, б

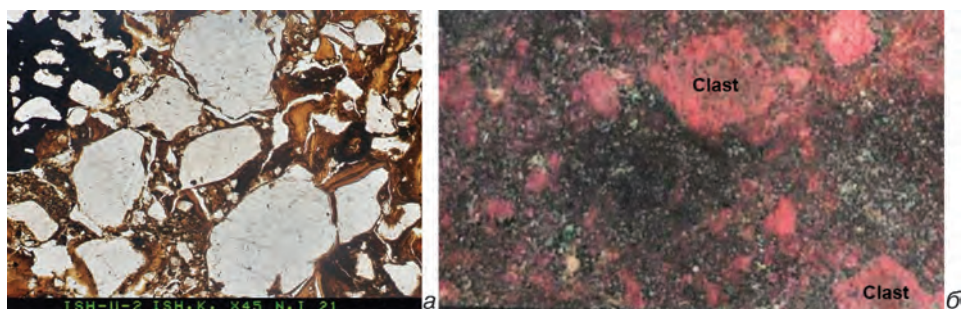
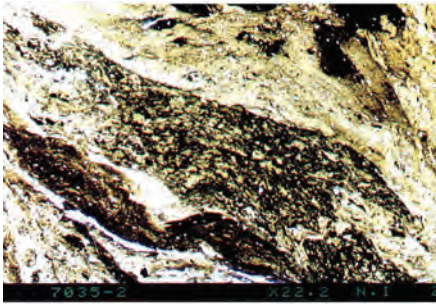


Рис. 28. Полимиктовая брекчия (а) и «тенивые обломки» гранитов в брекчии (б)

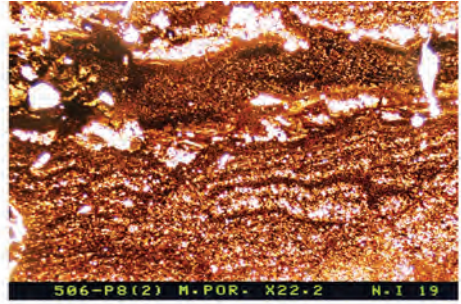
роль при их характеристике приобретают следующие исследования: выявление протоматмических и новообразованных минералов; установление деформационных признаков в минеральных зернах и литокластах; определение состава и структуры цементирующей массы; изучение газово-жидких включений. Подобные исследования отражены в работах [Курбацкая, Рыбальченко, Савченко, 2001; Лукьянова и др., 2001; Шарпенко, Лукьянова, 2003; Государственная ... О-39-VI, Р-39-XXXVI, 2008; Флюидно-эксплозивные ... , 2008; Петрографический кодекс, 2009; Алмазоносные ... , 2011; Атлас ... , 2011; Шарпенко, Кухаренко, Костин, 2015] и многих других. Детальные петрографические исследования этих пород и их составляющих, в том числе при больших увеличениях и в отраженных электронах, приобретают первостепенное значение.

Петрографические признаки ФЭБ в основном сводятся к следующему: **а) крайняя неоднородность** (такситовость) брекчиевых пород; **б) полимиктовость** обломочной составляющей; **в) закономерное сочетание обломков разной формы:** угловатых, угловато-округлых, округленных (за счет галтовки), тенивых (рис. 28); **г) разнообразный облик брекчий: туфовидный** (объясняется присутствием в цементе мелко- и тонкообломочной фракции, в связи с чем породы получили наименование «туффизит»); **игнимбрито- и лавовидный** как результат расслоения неоднородного по составу флюидогенного вещества (рис. 29); **д) сонахождение незаконномерных («запрещенных») с позиций магматического минералообразования парагенезов.** Такое сонахождение обусловлено сочетанием в брекчиях протоматмических минеральных зерен (оливина, хромшпинелидов, пиропы, пироксенов, полевых шпатов, кварца, карбонатов, рудных и др.) – отторженцев материнских пород; зерен ксеногенного происхождения, в том числе неизвестных на уровне становления брекчий и, наконец, новообразованных флюидогенных минералов (кварца, биотита, мусковита, гидрослюда, карбонатов, каолинита, хлорита, гематита, смешаннослойных минералов и др.); **е) признаки сингенетических брекчиеобразования процессов** – деформации (компрессии, декомпрессии) составляющих брекчий, кристаллизации и перекристаллизации минералов, реакционного взаимодействия, замещения составляющих под воздействием флюида (рис. 30).

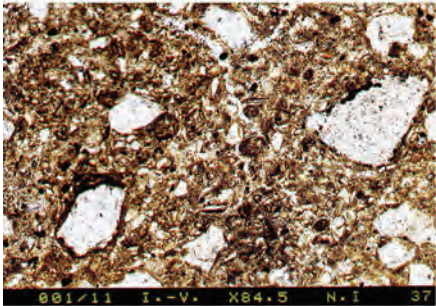
Цемент брекчий – преимущественно флюидогенный: аргиллизитовый (рис. 31, А); кварцево-слюдистый, иногда с орбикулярными включениями (рис. 31, Б); карбонатно-кремнистый; рудный гематитовый (рис. 31, В) и других составов. Цемент при этом, как правило, является полиимпульсным, полифазным. Это обусловлено одновременной кристаллизацией



A

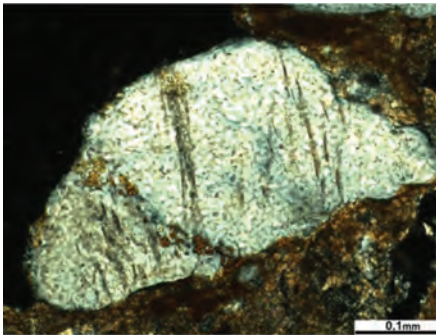


Б

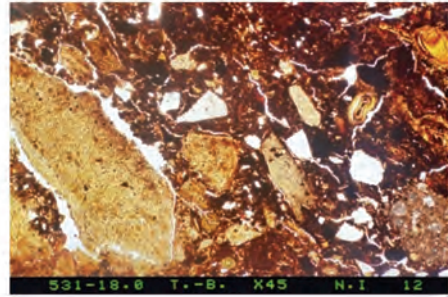


В

**Рис. 29. Туфо- (А),
игнимбрито- (Б) и лавовидный (В) облик
флюидогенных брекчий**



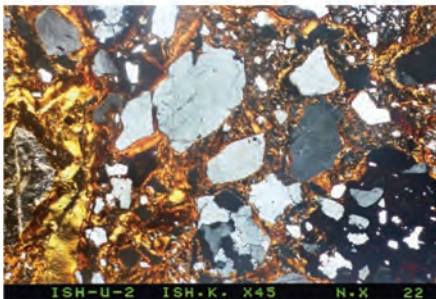
A



Б

**Рис. 30. Признаки процессов,
сингенетичных брекчиеобразованию**

А – кристаллокласт кварца с корродированными границами, сегментацией и планарными деформационными трещинами (николи +);
Б – ФЭБ с кристалло- и литокластами, иногда замещенными цементом; В – ФЭБ с обломками брекчий предыдущего импульса и разнообразными кристаллокластами; связующая масса брекчий железисто-иллит-сметитовая



В

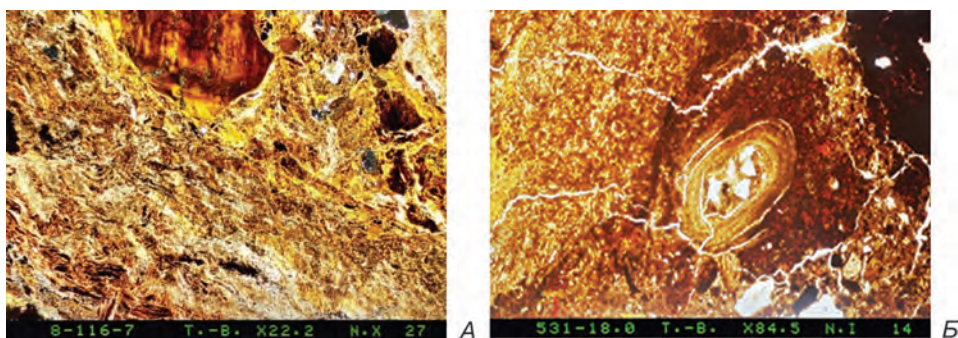


Рис. 31. Различные типы цемента флюидогенных брекчий

А – аргиллизитовый; *Б* – кварцево-сланцевый с орбикулярными включениями; *В* – рудный гематитовый (Belperio et al., 2007)



вещества при проявлении ряда последовательных импульсов эксплозивно-декомпрессионного процесса (рис. 32).

Петрогеохимические характеристики ФЭБ на основе их анализа и оценки на примере различных объектов имеют определенную специфику. Брекчии, как известно, – аддитивный результат взаимодействия составляющих различного происхождения, как глубинного, так и приповерхностного. В связи с этим об их петрогеохимическом составе можно судить, лишь сравнивая породы, образующие брекчиевую структуру, с породами обрамления, а также с породами или веществом предполагаемого источника флюидов. При этом выявляются специфические особенности брекчий, позволяющие судить о перспективах сопряженной с ними минерализации. Среди этих особенностей – характер распределения петрогенных элементов, РЗЭ и тугоплавких литофилов, уровень отношений индикаторных элементов

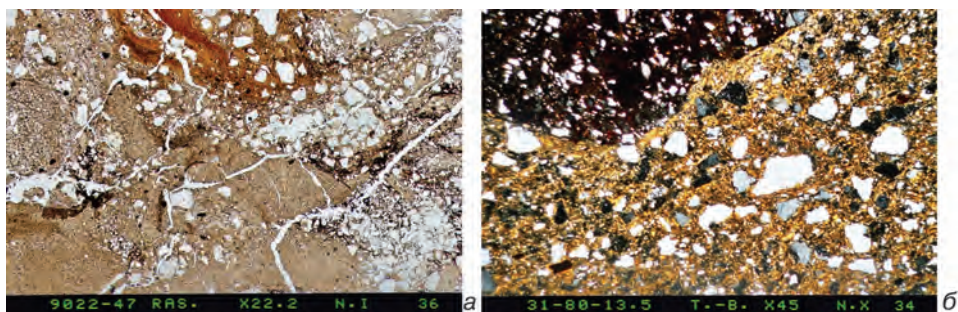


Рис. 32. Полиимпульсная, полифазная структура цемента брекчий – а, б

(Rb/Sr, U/Th и др.), а также характер изменчивости содержаний элементов на различных диагностирующих диаграммах [Смолин, 1970; Главатских, 1992; Никифоров и др., 2006; Алмазоносные ... , 2011].

Рудоносность ФЭБ. Флюидогенным брекчиям в целом свойствен аддитивный характер, обусловленный вещественно-структурной неоднородностью и минеральной неравновесностью пород. Однако важнейшей их особенностью является *исключительная обогащенность рудными компонентами* – золотом, редкими металлами, редкоземельными элементами, медью, железом, ураном, свинцом, цинком, ртутью, никелем, платиной, алмазами и др. Это подтверждается многочисленными публикациями [Максимов, 1968; Туговик, 1974, 1984; Нурбаев и др., 1977; Полетаев и др., 1978; Шеглов, 1994; Reynolds, 2000; Спиридонов и др., 2006; Алмазоносные ... , 2011; Петров, Шатов, Шарпенко и др., 2012; Портнов, 2012; Макарьев и др., 2016] и др. Эта специфика ФЭБ обусловлена тем, что из «текучих» веществ эндогенного происхождения флюид-рассолы являются наиболее перспективными концентраторами рудных компонентов на всех этапах развития системы. В соответствии с этим с флюидогенно-брекчиевыми структурами, как правило, сопряжена рудная минерализация, во многих случаях приводящая к образованию комплексных месторождений, вплоть до гигантских. Примеры таких структур приведены ниже.

1.3.1. Брекчиевые образования с железо-золото-медно-урановым оруденением (месторождение Олимпик-Дам, Австралия)

Месторождение Олимпик-Дам (рис. 33) – флюидоэксплозивная структура с рядом импульсов-фаз рудоносных брекчий [Reynolds, 2000]. Границы

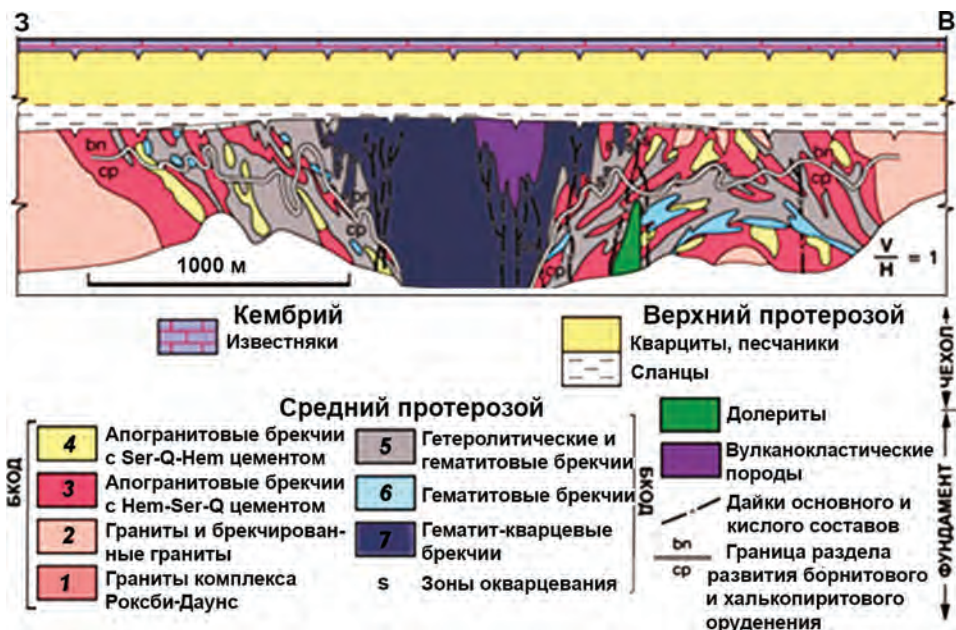


Рис. 33. Схематический разрез брекчиевого комплекса Олимпик-Дам (БКОД), м-б 1 : 50 000 [Reynolds, 2000]

разновидностей брекчий этого комплекса нечеткие, с фазовыми и фаціальными переходами. По количеству в цементе гематита выделяются отдельные зоны или крупные тела северо-западной ориентировки, а по содержанию цемента в брекчиевых породах намечается увеличение его количества в породах от периферии к центру структуры. В строении БКОД проявлена грубоконцентрическая зональность, несколько осложняемая перемежаемостью разновидностей брекчий.

Фазы гетеролитических и гематитовых брекчий – основная часть рудных запасов месторождения медно-ураново-золото-серебряного типа, фазы гематит-кварцевых брекчий – собственно золоторудный тип руд. Руды месторождения характеризуются высоким содержанием Cu до 8, U до 0,1 %, Au до 0,52, Ag до 15,6 г/т, ΣREE до 1 при преобладании Ce до 0,5 %. Отмечается повышенное количество органического вещества до 0,5 %, что, вероятно, связано с наличием графита; содержание фтора до 1,11, бария до 0,85 %. Руды богаты также железом – содержание Fe_2O_3 достигает 68,8 %.

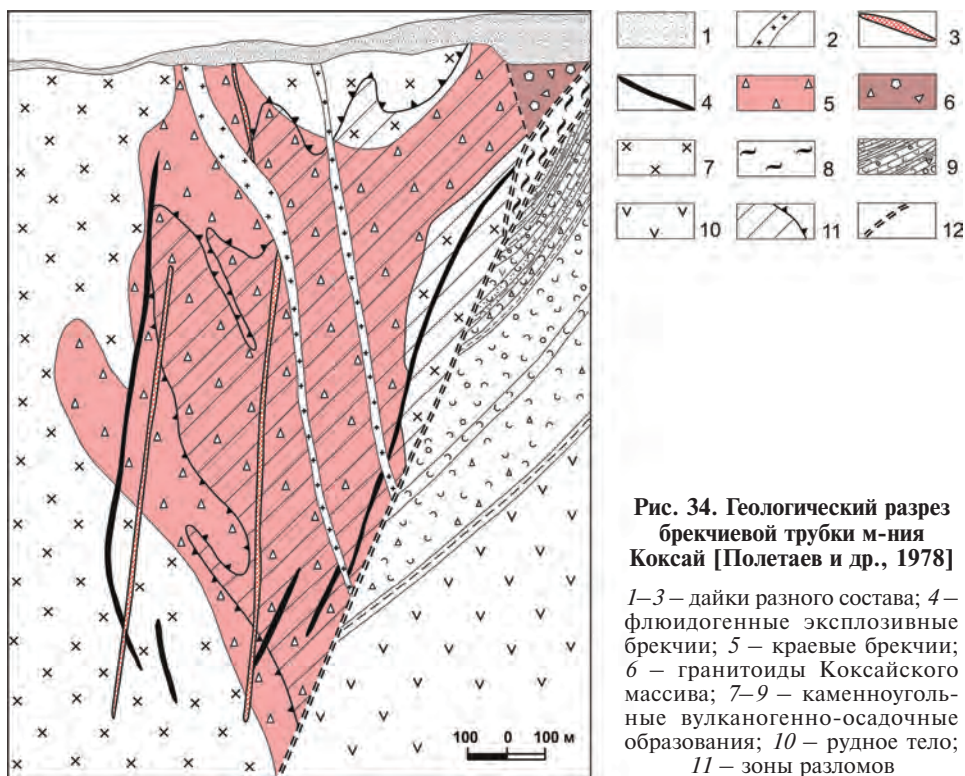
1.3.2. Брекчиевые образования с молибден-медно-порфировым оруденением (месторождение Коксай, Казахстан)

Брекчии, слагающие трубку, – пятнистые за счет различной окраски обломков и цементирующей массы породы, внешне напоминающие туфы и туфобрекчии [Нурбаев и др., 1977]. Обломочный материал в них состоит главным образом из гранитоидов, связующая масса брекчий – микробрекчия, цемент – флюидогенный кварц-полевошпатовый агрегат с сульфидами. Иногда брекчии слагают силло- и дайкообразные тела, имеющие характер «галечных даек» с яйцевидными и шаровидными обломками гранитоидов.

Рудная залежь почти полностью размещается в брекчиевой трубке и повторяет ее форму (рис. 34). В большинстве случаев основная рудная молибдено-медная минерализация (главные рудные минералы – пирит, магнетит, халькопирит, борнит, молибденит) наблюдается как в обломках, так и в связующей массе брекчий двух разновозрастных импульсов. Однако в пределах месторождения встречаются брекчии, в которых подобная минерализация отмечается только в обломках, а в цементе устанавливается более поздняя молибден-полиметаллическая, что свидетельствует о развитии по крайней мере трех импульсов флюидогенного рудообразования [Нурбаев и др., 1977].

1.3.3. Брекчиевые образования с оловянным оруденением (месторождение Хинганское, Дальний Восток)

В строении месторождения установлена многоэтапность формирования брекчиевых образований (рис. 35). Выделяемые грубообломочные предрудные и рудные брекчиевые тела различаются по времени образования и по составу связующей массы: тонкообломочной для первых и флюидогенной кварцево-рудной для вторых. При этом среди рудных брекчий установлены импульсы двух типов. Брекчии первого типа – касситерит-хлорит-кварцевые с примесью сульфидов – образуют воронкообразной формы тела, тяготеющие к верхним частям разрезов. Брекчии второго, касситерито-сульфидно-хлорито-флюоритового типа тяготеют к телам трубообразной формы, резко сужающимся с глубиной и выклинивающимся. Пространственно брекчии этого типа залегают на средних и глубоких горизонтах месторождения. Рудные тела имеют зональное строение: центральная часть тел – брекчии с крупными обломками, к периферии – штокверковая зона с густой сетью ветвящихся прожилков.



**Рис. 34. Геологический разрез
брекчиевой трубки м-ния
Коксай [Поletaев и др., 1978]**

1–3 – дайки разного состава; 4 – флюидогенные эксплозивные брекчи; 5 – краевые брекчи; 6 – гранитоиды Коксайского массива; 7–9 – каменноугольные вулканогенно-осадочные образования; 10 – рудное тело; 11 – зоны разломов

Оловянной рудой месторождения является касситерит. Распределение его неравномерное и зависит от характера брекчиевых пород. Участки повышенной концентрации касситерита фиксируют зоны максимального брекчиеобразования.

1.3.4. Брекчиевые образования с золотым оруденением (месторождение Дельмачикское, Восточное Забайкалье)

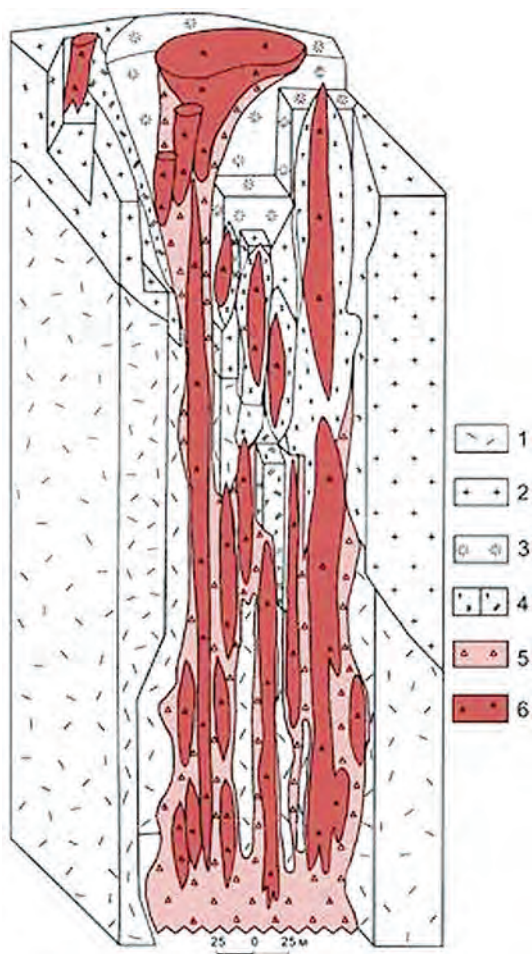
В Восточном Забайкалье широко развиты месторождения и рудопроявления, в строении которых участвуют флюидоэксплозивные структуры Дарасунское, Балейское, Илинское, Ключевское, Дельмачикское [Фогельман, 1964, 1968; Максимов, 1968; Тимофеевский, 1972; Туговик, 1984; Абрамов, 2014, 2015] и ряд других. Пространственно они тяготеют к ветвям Монголо-Охотской сугуры, что обусловлено ее повышенной проницаемостью как для рудопродуцирующих магматических расплавов, так и для золотоносных флюидов.

На Дельмачикском объекте (рис. 36) брекчиевые тела и сопряженные с ними рудные залежи тяготеют к зоне проявления дайкового комплекса северо-западного направления, характеризующегося многоэтапностью формирования. В брекчиевых телах установлены рудоносные брекчи «кварц-турмалиновой» и «полиметаллической» стадий.

В первую стадию формировались брекчи, содержащие кварц, турмалин, хлорит, в небольшом количестве – пирит, мусковит, эпидот, рутил, апатит. Установлено, что в турмалине присутствуют вроски перечисленных

Рис. 35. Блок-диаграмма месторождения Хинганского [Копылов и др., 2004, 2010], генерализованная

1 – риолиты; 2 – гранит-порфиры; 3 – порфиновые риолит- и 4 – серицито-хлорито-кварцевые породы; 5, 6 – флюидоэксплозивные брекчии (5 – предрудные; 6 – рудные касситеритовые тела)



минералов и включения золота трех форм нахождения: связанного с сульфидами, свободного и связанного в структуре кварца.

Брекчии второй, «полиметаллической», стадии представляют собой парагенез кварца и пирита, иногда образующего гнезда пиритовых руд, реже присутствуют арсенопирит и халькопирит, рассеянные в кварцевой массе. Все минеральные ассоциации этой стадии несут микроскопическое золото в разных количествах, но концентратом его являются парагенезы с арсенопиритом и халькопиритом.

1.3.5. Брежчиевые образования алмазоносные (месторождение Ефимовское, Пермский край)

В составе месторождения установлено [Лукиянова и др., 2000, 2001, 2004, 2005; Лукьянова, Шарпенюк, 2004; Алмазоносные ... , 2011] не менее трех фаз-генераций брежчиевых пород (рис. 37), отличающихся вещественным составом, текстурно-структурными особенностями и, наконец, алмазонасностью. В первую фазу сформировались грубообломочные туфовидные брежчии с кварцем округленной формы; во вторую – умеренно насыщенные

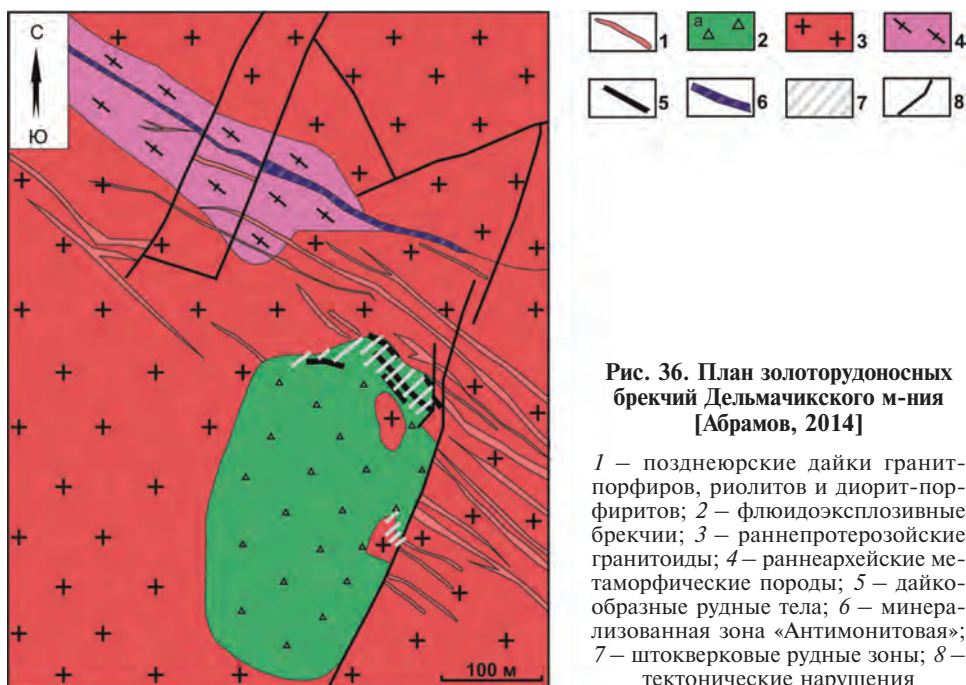


Рис. 36. План золоторудных брекчий Дельмачикского м-ния [Абрамов, 2014]

1 – позднеюрские дайки гранит-порфиров, риолитов и диорит-порфиров; 2 – флюидоэксплозивные брекчи; 3 – раннепротерозойские гранитоиды; 4 – раннеархейские метаморфические породы; 5 – дайкообразные рудные тела; 6 – минерализованная зона «Антимонитовая»; 7 – штокверковые рудные зоны; 8 – тектонические нарушения

обломками брекчий, сцементированные смектит-гидрослюдистой флюидогенной минеральной ассоциацией, содержащей алмазы; в третью образовались плотные аргиллитовые породы с небольшим количеством обломочного материала.

Формирование алмазоносной флюидной системы происходило в нестабильных РТ условиях как при ее зарождении на глубинном мантийном уровне, так и при последующей ее эволюции [Жуков, 2000, 2001]. Нестабильность системы на мантийном уровне обусловила прежде всего дискретность среды кристаллизации барофильных минералов, в частности алмазов. В этой среде периоды их роста в расплаве чередовались с периодами растворения. Именно это определило резкое преобладание во флюидогенных брекчиях относительно крупных кривогранных алмазов (уральский, или бразильский тип) при незначительном содержании плоскогранных кристаллов. Обнаружение на исследуемой территории кривогранных алмазов – прямой критерий выявления алмазоносных флюидогенных брекчиевых образований.

Важнейшим признаком структур, образованных флюидоэксплозивными брекчиями, является исключительно высокая, различная и чаще всего комплексная, главным образом сингенетичная образованию брекчий рудоносность. Это объясняют преимущественно следующие признаки-критерии:

– **высокая подвижность и физико-химическая агрессивность** генерирующих брекчий флюидных потоков – производных магматических очагов различной глубинности. В связи с этим по пути следования к приповерхностной зоне земной коры они обогащаются компонентами различного происхождения, в том числе рудными, обладающими высокой растворимостью во флюидной фазе;



Рис. 37. Геологический разрез (II–II) северного участка месторождения (Петухов, Тетерин, 2007ф)

1 – четвертичные отложения; 2 – левонские песчаники; 3 – силурийские доломиты; 4–6 – брекчии ефимовского комплекса: 4 – аргиллизитовые третьей фазы, 5 – туфовидные («туффизитовые») алмазные второй фазы, 6 – грубообломочные первой фазы; 7 – точки находок алмазов

- *полигенное происхождение рудной составляющей флюида*, что обеспечивается различными по составу и глубинности источниками флюидов, содержащими ту или иную рудную компоненту; обогащением исходных флюидов в процессе миграции рудными компонентами из боковых пород; обогащением флюидов на уровне формирования брекчий компонентами вмещающих пород, а также седиментационных (возможно, и фильтрационных) вод;
- *преобладание при формировании брекчий explosивно-декомпрессионного минералообразования*, способствующего экстрагированию, «выпадению» из флюида рудных компонентов различного происхождения;
- *полифазное, полиимпульсное формирование брекчий*, обеспечивающее появление с каждой последующей эксплозией изменение состава флюида и обогащение брекчиевых пород новыми рудными компонентами или новыми их концентрациями;
- *закрытость брекчиеобразующей системы*, способствующая полноте и разнообразию проявления explosивных процессов и предотвращающая рассеяние полезных компонентов;
- *смена постепенно ослабевающих рудогенерирующих эксплозий в ряде случаев пневмолитовым и гидротермально-метасоматическим минералообразованием*, что приводит к формированию сложных по происхождению рудных залежей, как правило, богатых и поликомпонентных.

Глава 2

КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА СТРУКТУР, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ БРЕКЧИЕОБРАЗОВАНИЯ

Эндогенным рудоносным брекчиевым образованиям свойственно большое разнообразие признаков. Установление среди этих признаков специфических, свойственных каждому из генетических типов брекчиевых структур и прогнозных для их выявления, — одна из важнейших задач настоящих рекомендаций.

Сравнительный анализ рудоносных магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых образований в типовых структурах (примеры приведены в предыдущем разделе) показал, что они отчетливо различаются по ряду признаков, служащих основными критериями их выявления и оценки перспектив их рудоносности на различные виды твердых полезных ископаемых:

— **геолого-структурные критерии** (региональные и локальные), отраженные в геофизических полях. Основные из них — глубинное строение региона и строение отдельных его участков; характер разрывных нарушений и присутствие зон повышенной проницаемости, в том числе контролирующих размещение брекчиевых образований; литологические особенности геологического разреза региона; интенсивность проявления магматических пород и др.;

— **вещественные критерии**: *минералого-петрографические*, отражающие характер связи брекчий с магматизмом или с предполагаемыми источниками флюидных потоков; *минерагенические*, отражающие специфику сингенетичной минерализации, рудоносности.

2.1. Геолого-структурные критерии

Значимость и место различных критериев в процессе выявления рудоносных структур различна. Очевидно, что до обнаружения брекчиевых пород возможность их выявления должна основываться главным образом на их геолого-структурных признаках. Эти признаки, как известно, свойственны любым геологическим объектам, однако они имеют определенную специфику для рудоносных брекчиевых структур, при этом особенно специфичны закономерные их совокупности.

Геологическое строение регионов и отдельных их участков.

Магматогенно-флюидогенные брекчиевые образования, как установлено при сравнительном анализе рудоносных структур различных регионов России, приурочены, как в пределах стабилизированных подвижных поясов, так и в пределах древних платформ, к локальным активизационным зонам,

тяготеющим при этом к внутренним частям этих структур, а также к зонам повышенной проницаемости, в том числе трансрегиональным.

В подвижных поясах локальные зоны активизации характеризуются интенсивной раздробленностью фундамента скрытыми глубинными разломами и широким развитием разрывных кольцевых и линейных нарушений. В геофизических полях зоны, к которым тяготеют рудоносные брекчиевые образования, сформированные эксплозиями флюидизированных гранитоидных магм, фиксируются региональными и локальными проявлениями. Среди них пониженные значения магнитной напряженности, зоны гравитационных минимумов, локальные протяженные градиенты гравитационных и магнитных полей (Калгутинское месторождение (рис. 5) и др.).

В стабилизированных структурах подвижных поясов в ряде случаев отмечаются поперечные по отношению к ним скрытые трансрегиональные полосовидные активизированные зоны повышенной проницаемости, отраженные только в геофизических полях. Эти зоны характеризуются раздробленностью фундамента скрытыми, в том числе ремобилизованными долгоживущими разломами подвижных систем и интенсивной приповерхностной трещиноватостью пород. Именно к пересечениям ремобилизованных разломов с зонами трещиноватости, как правило, приурочены рудоносные брекчиевые образования, порожденные флюидизированными карбонатитовыми магмами, возникшими на глубоких уровнях земной коры (брекчии Карасугского месторождения (рис. 24), Улатайского и др.)

В пределах древних платформ и их кратонных зон магматогенно-флюидогенные брекчиевые образования приурочены в одних случаях к линейным активизационным зонам. Эти зоны повышенной проницаемости с разломами различных порядков расположены на плечах авлакогенов (рифтов) и тяготеют к центральному частям кратонов с аномально большими мощностями земной коры и небольшими мощностями чехла. Они характеризуются высокоскоростной и высокоплотной мантией, контрастным двуслойным разрезом коры и корово-мантийной смесью на границе кора—мантия. К этим зонам и их пересечениям приурочены кимберлитовые алмазоносные брекчиевые образования Якутии, фиксируемые геофизическими аномалиями трубчатого типа (рис. 20).

В других случаях магматогенно-флюидогенные брекчии тяготеют к активизированным зонам на древних платформах — синеклизам, усложненным скрытыми линеаментами и трогами как в их основании, так и в чехле платформ, содержащем пачки соленосно-эвапоритовых отложений. В пределах таких структур в сложнислоцированных узлах участков мозаично-блокового строения локализуются железорудные брекчии (месторождения Коршуновское (рис. 17), Рудногорское, Копаевское и др.), которые отражены в геофизических полях положительными магнитными аномалиями и аномалиями силы тяжести.

Флюидоэксплозивные брекчиевые образования, в отличие от рассмотренных выше магматогенно-флюидогенных, приурочены главным образом к граничным зонам как древних платформ, так и подвижных систем. Во всех случаях главной геолого-структурной закономерностью их проявления является их тяготение к зонам, швам между блоками различного строения или между различно развивающимися структурами, что обеспечивает продвижение флюидного потока к поверхностному уровню.

В пределах подвижных областей флюидоэксплозивные брекчиевые структуры приурочены к глубинным разломам или тектонически ослабленным

зонам, отделяющим вулcano-плутонические пояса от зон с иным развитием или разделяющим различно развивающиеся подвижные системы области. Такими являются медно-молибден-порфириновые, иногда с золотом, месторождений (Коксай (рис. 34), Сорское, Коунрад, Эль-Тениенте, Рио-Бланко и др.), а также редкометалльных оловорудных и вольфрам-оловорудных (Хинганское (рис. 35), Тигриное, Янтарное Дальнего Востока и др.). В геофизических полях эти структуры фиксируются зональными минимумами гравитационного поля со знакопеременными значениями или минимумами положительного магнитного поля.

Особое место в пределах подвижных поясов занимают флюидоэксплозивные брекчиевые структуры с золотым и золото-серебряным оруденением. Все они примыкают к протяженным глубинным шовным зонам – сутурам, разделяющим разновозрастные подвижные системы и блоки с различным глубинным строением и являющимся флюидопроводниками. В геофизических полях им соответствуют интенсивные положительные гравитационные аномалии, отражающие блоки с неглубокозалегающей нижней корой (Дельмачикское м-ние (рис. 36), Дарасунское, Балейское, Илинское и др.).

К краевым частям древних платформ, испытавших влияние соседних подвижных зон, приурочены флюидоэксплозивные брекчии комплексных железоокисно-медно-золото-редкоземельно-урановых месторождений Олимпик-Дам в Южной Австралии (рис. 33), алмазоносные брекчии Пермского Приуралья (рис. 37) и др. В региональных геофизических полях такие пограничные зоны характеризуются сложнодифференцированными магнитными и градиентными зонами слабодифференцированных гравиметрических полей. При этом собственно брекчиевые тела характеризуются аномальными значениями гравитационного и повышенными значениями магнитных полей.

Изложенный материал отражает достаточно отчетливую закономерность в отношении приуроченности каждого из типов брекчиевых образований к определенной геолого-структурной позиции. Это позволяет считать геолого-структурную позицию одним из важнейших критериев для выявления рудоносных брекчиевых образований того или иного типа. Детальный анализ геологических структур с целью выявления в них благоприятных условий для проявления рудоносных брекчий приведен в гл. 3.

Литологическая специфика строения регионов. Возможность образования и локализации брекчиевых структур, как и образование рудной минерализации, во многом обеспечивается специфическими литологическими особенностями геологического строения регионов. Известно, что для образования магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых пород кроме «критического» давления необходимы также определенные благоприятные литологические условия: 1) присутствие в регионе или на отдельных его участках экранирующих отложений, как правило, терригенных, алевритоглинистых, вулканогенно-осадочных, которые способствуют накоплению значительных объемов флюидов и обеспечивают высокое флюидное давление; 2) широкое развитие и отложений песчаных, туфовых, известковистых и других пород, представляющих собой благоприятную среду (коллектор) для локализации брекчий; 3) присутствие галогенных, эвапоритовых, карбонатных и обводненных пород в разрезах региона, представляющих собой дополнительные источники компонентов, в том числе летучих, способствующих эксплозивным явлениям; 4) интенсивное проявление магматических образований и некоторые другие.

Характер связи брекчиевых пород с магматитами. Как следует из названия типов брекчиевых пород и соответствующих брекчиевых структур, их связь с магматитами различна и может служить критерием их диагностики. Связь с магматитами *магматогенно-флюидогенных брекчиевых пород*, формирование которых сопряжено с эксплозиями флюидизированных магм различного состава, является пространственно-генетической фациально-фазовой. Они могут представлять собой чаще всего фазы, реже фации по отношению к собственно магматическим породам. В то же время связь *флюидогенных брекчий* и образованных ими структур с магматитами не всегда очевидна. Чаще всего предполагается возможный парагенетический характер связи этих брекчий с пространственно отдаленными магматическими источниками, в том числе мантийными, а их образование обуславливается эксплозиями отделившихся от этих источников флюидных потоков. Но в целом активное, длительное проявление процессов магматизма служит важным фактором для выявления брекчиевых структур, особенно магматогенно-флюидогенных.

2.2. Вещественные критерии

Из перечисленных признаков-критериев только вещественные (минерало-петрографические и минерагенетические), как правило, характеризуют брекчиевые породы того или иного типа или подтипа, что позволяет классифицировать выявленные образования и прогнозировать их минерализацию.

Минерало-петрографические критерии – это специфические признаки, а точнее, совокупность таких специфических признаков пород, которая свойственна только брекчиям того или иного генетического типа, что придает им статус диагностических. Таковы в определенной мере форма обломков и их распределение в породе, степень неоднородности и такситовости пород, наличие или отсутствие магматических или протоматматических минеральных зерен, реликтовых обособлений магматических пород и, наконец, состав и структура связующей массы и цемента брекчий.

Магматогенно-флюидогенные брекции обладают чертами, переходными от магматогенных брекчий к флюидогенным. Эти черты достаточно подробно рассмотрены при характеристике пород (см. п. 1.2), однако необходимо привлечь внимание к тем из них, которые в значительной мере отличают магматогенно-флюидогенные брекции от эндогенных брекчий других типов. Среди них следует отметить следующие: **1)** относительно умеренную неоднородность и неярко выраженную такситовость пород; **2)** практически постоянное присутствие магматических минеральных зерен со следами протоклаза, а также катаклазированных обломков пород и минеральных зерен; **3)** признаки проявления сингенетичных образованию пород процессов – *компрессионных, эксплозивных, кристаллизационных, замещения*; **4)** характерную цементирующую массу этих брекчий, сочетающую магматические минеральные зерна, т. е. производные магматической составляющей флюидизированной магмы, с флюидогенной минеральной ассоциацией; **5)** значительное, как правило, проявление рудной минерализации.

Флюидоэксплозивные брекции характеризуются специфическими чертами (см. п. 1.3), еще раз подчеркнем следующие: **1)** крайнюю неоднородность полимиктовых брекчиевых пород с атакситовыми и эвтакситовыми структурами; **2)** практически постоянное присутствие кристалло- и литокластов,

не принадлежащих к вмещающим брекчии породам, а вынесенных из нижележащих образований, в том числе глубокорасположенных; 3) отсутствие сортировки при возможном кинетическом перераспределении обломков; 4) неравновесность (с позиций магматического минералообразования) минеральных парагенезов, обусловленная различным их происхождением – протоматматическим, ксеногенным, перекристаллизации, новообразования, а также присутствием реликтовых обособлений магматических пород; 5) ярко выраженные проявления сингенетичных брекчиеобразованию процессов: *компрессионных, эксплозивных, микровзрывной фрагментации зерен, кристаллизационных, замещения и др.*; 6) флюидогенный цемент брекчий, состав которого отражает прежде всего состав источника флюидов, усложненный, однако, абсорбированным веществом различного происхождения; 7) как правило, полиимпульсный характер образования брекчий; 8) исключительно разнообразная по сочетанию при значительных содержаниях рудная минерализация.

Минерагенические критерии. Как уже отмечалось (см. п. 1.2 и 1.3), высокая и разнообразная сингенетичная минерализация – это один из важнейших специфических признаков магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых пород, образующихся в условиях относительно закрытых систем. Объясняется это главным образом следующим: 1) обогащенностью брекчиеобразующего флюида компонентами различного происхождения, в том числе рудными, обусловленной его высокой подвижностью и физико-химической агрессивностью на всех этапах его существования; 2) высокой металлоносностью и полигенностью рудной составляющей флюида; 3) флюидодинамическим концентрированием рудоносных флюидов в благоприятных геологических структурах и существованием контрастных геохимических барьеров при рудоотложении; 4) преобладанием при формировании брекчий эксплозивно-декомпрессионного минералообразования, способствующего «выпадению» из флюида рудных минералов; 5) полифазным, полиимпульсным формированием брекчиевых образований, обеспечивающим с каждым из новых импульсов обогащение пород новыми рудными компонентами; 6) возможной сменой постепенно ослабевающих рудогенерирующих эксплозий пневматолит- и гидротермально-метасоматическим минералообразованием, что способствует формированию комплексных месторождений, в том числе крупнейших.

Следует подчеркнуть, что процесс выявления рудоносных брекчиевых образований должен основываться не на отдельных охарактеризованных ранее специфических признаках, а главным образом на их совокупности. Именно совокупности признаков-критериев определяют комплекс методов, использование которых, с одной стороны, будет способствовать выявлению эндогенных брекчиевых образований при ГСР-1000/3 и -200/2, с другой, позволит оценить перспективы рудоносности выявленных образований.

Специфика каждой из этих совокупностей для брекчиевых образований различных типов вполне определена и будет продемонстрирована на конкретных примерах при рассмотрении методов выявления рудоносных брекчиевых образований.

Глава 3

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ РУДОНОСНЫХ ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Процесс выявления и последующего изучения рудоносных брекчиевых образований осуществляется в определенной последовательности, в две основные стадии. *I стадия* – совокупность методов анализа геологического строения территории с целью выявления структур, перспективных для формирования брекчиевых образований. Эта стадия применима главным образом при проведении ГСР-1000/3, но при необходимости может быть использована при работах иного масштаба. *II стадия* – совокупность методов геологических работ, направленных на оконтуривание и изучение брекчиевых образований: геологическое картирование образуемых ими тел, диагностика пород и оценка перспектив их рудоносности. Эти работы должны осуществляться главным образом при проведении ГСР-200/2.

3.1. Стадия выявления геологических структур, благоприятных для формирования рудоносных брекчиевых образований

Методы исследований этой стадии, используемые, как уже отмечалось, главным образом при ГСР-1000/3, направлены на анализ геологического строения изучаемой площади. Цель этого анализа – выявление в ней структур, перспективных для формирования потенциально рудоносных брекчиевых образований. Основан анализ на использовании специфических признаков-критериев, свойственных брекчиевым образованиям (см. предыдущие разделы) и характеризующих эти образования в геологических структурах различного строения. Анализируются при этом материалы, отражающих самые разнообразные стороны геологии региона: поверхностное и глубинное строение; результаты дистанционного зондирования; геофизические параметры; интенсивность проявления магматизма; характер проявления разрывных нарушений и зон повышенной проницаемости; литологические особенности геологического разреза и др.

Проведенный нами обзор опубликованных материалов по месторождениям с различной рудной минерализацией позволяет говорить о том, что, несмотря на недостаточное во многих случаях внимание исследователей к брекчиевым породам, рудоносные брекчии установлены во многих регионах территории России. Они известны в пределах различных геотектонических элементов земной коры: в подвижных поясах и на выступах основения в пределах этих поясов, в различных частях платформ, в областях

активизации, на границах разнотипных структур, в трансрегиональных зонах проницаемости. В то же время установлено, что различным геотектоническим структурам свойственны брекчиевые образования различных типов. В связи с этим прогнозирование их выявления должно иметь вполне определенную направленность, основанную на закономерностях их проявления в мегаструктурах.

Анализ размещения типовых геологических структур в пределах подвижных поясов. В пределах поясов, как следует из «Схемы размещения...» (рис. 38), установлены многочисленные и разнообразные месторождения, в составе которых присутствуют рудоносные брекчии, сопряженные с различными структурными элементами.

Магматогенно-флюидогенные брекчиевые структуры с редкометалльным оруденением известны в Забайкалье (Шерловогорское месторождение [Абрамов, 2010]), на юге Киргизии (месторождения Трудовое, Учкошкон), на юге Горного Алтая – месторождение Калгутинское (рис. 5). Все они приурочены к зонам активизации стабилизированных подвижных систем, характеризующихся интенсивной раздробленностью фундамента, широко проявленными линейными разрывными нарушениями различных направлений и телескопированными кольцевыми и дуговыми зонами. Брекчиевые породы этих структур ассоциируют с породами поздних фаз активизационных флюидизированных гранитов и с постгранитовыми онгонитами дайковых малых тел – производных развития единой эволюционирующей магматогенно-флюидогенной системы.

Магматогенно-флюидогенные карбонатитовые брекчиевые образования с комплексной барит-флюорит-редкоземельно-железорудной минерализацией образуют субмеридиональный ареал (Карасутский и Улатайский рудные узлы юга Алтае-Саянской области, рис. 24), контролируемый, как предполагается [Никифоров и др., 2006], мантийными структурами, образовавшимися также на этапе мезозойской активизации стабилизированной подвижной системы и представляющими собой трансрегиональную скрытую полосовидную зону повышенной проницаемости.

Флюидогенные брекчиевые образования с оруденением медно-молибден-порфирового, иногда с золотом, и олово-порфирового типов широко проявлены в подвижных областях. Первые присутствуют, например, в девонском и позднепалеозойском поясах Центрального Казахстана (месторождения Коксай, Коунрад, Актогай и др.), в Алтае-Саянской области (Сорское), в орогенных структурах Аргуно-Верхнеамурского массива (Шахтаминское, Жирекенское). Брекчии с олово-порфировым оруденением выявлены на Дальнем Востоке – Хинганское, Янтарное [Копылов и др., 2004; Родионов, 2005]. Все они приурочены к внутри- или окраинно-континентальным вулканоплутоническим структурам, тяготеют к блокам с консолидированной земной корой. Контролируются они глубинными линейными разломами, разграничивающими крупные различные по строению зоны земной коры (подвижного и устойчивого развития, первичные и вторичные подвижные системы и др.) или узлами пересечений этих разломов. Сходное геологоструктурное положение в западных приграничных зонах северной части Охотско-Чукотского вулканического пояса занимают месторождения золото-серебряные Дукат и Купол и золото-порфировое Песчанка. В составе рудоносных пород этих месторождений, по мнению ряда исследователей ([Каминский, 1989; Мигачев, 1995], Читалин и др., 2012 и др.), также принимают участие брекчиевые образования.

Некоторые золоторудные брекчиевые образования в пределах подвижных поясов занимают специфическое геолого-структурное положение. Среди них золоторудные брекчиевые структуры Восточного Забайкалья, которые сформировались в процессе мезозойской активизации региона. Пространственно они сопряжены с глубинными шовными зонами Монголо-Охотской сутуры, разделяющей крупные блоки земной коры (стабилизированные разновозрастные подвижные системы). К этим объектам относятся месторождения Дарасунское [Тимофеевский, 1972], Бaleyское [Максимов, 1968], Илинское [Фогельман, 1964; 1968; 1969] и ряд других, расположенные либо практически на сутуре, либо со смещением от нее на первые десятки километров вдоль поперечных по отношению к сутуре разломам.

Весьма перспективны для поисков рудоносных флюидоэксплозивных образований пограничные зоны разнотипных и разновозрастных структур. Это ярко проявлено в зоне сочленения Предуральского краевого прогиба Восточно-Европейской платформы с Западно-Уральской структурно-фациальной зоной. В пределах подвижных ее частей, усложняющих краевые части кратона, и при раздробленности фундамента разрывными нарушениями различного характера сформировались алмазоносные флюидогенные брекчиевые образования – месторождения Вишерское, Ефимовское (рис. 37), Рыбьяковское и др.

Анализ геологических структур в пределах древних платформ (рис. 38). Типовыми объектами магматогенно-флюидогенных брекчиевых образований, сопряженных с магматитами основного состава, являются железорудные месторождения Ангаро-Илимского региона юго-запада Сибирской платформы. Их формирование обусловлено тем, что в южной краевой части Тунгусской синеклизы платформенного чехла, осложненной пологими куполами и депрессиями, интенсивно проявлены разрывные нарушения, что подтверждается скоплениями долеритовых интрузивов и даек (Страхов, 1978; Одинцов и др., 1980). Кроме того, эта часть синеклизы – область сочленения скрытых линеаментов рифтовой природы, проявленных как в приподнятом докембрийском основании, так и в фанерозойском чехле платформы.

В стабильных блоках центральных частей Сибирской платформы с архейским кристаллическим фундаментом и большой мощностью земной коры формировались алмазоносные кимберлитовые брекчии. Устойчивое тектоническое развитие платформы в среднем палеозое было нарушено развитием Вилуйско-Патомского палеорифта. Эта крупная линейная зона контролировала образование очагов кимберлитовой магмы и обусловила приуроченность кимберлитовых полей к протяженным участкам повышенной проницаемости на плечах структур этой зоны (рис. 19). Проницаемые участки контролировали также развитие поясов долеритовых даек и базальтовых трубок взрыва.

Несомненно, перспективны для проявления брекчиевых образований пограничные зоны платформ, что подтверждается присутствием этих пород в Норильском и Талнахском месторождениях на северо-западе Сибирской платформы и алмазоносными брекчиевыми образованиями Зимнебережного района на границе чехла с основанием Восточно-Европейского кратона.

Особое положение на схеме (рис. 38) в пределах Таймыро-Североземельской складчатой области занимают выявленные зоны развития раннемезозойских «карбонатитовых брекчий нетрадиционного типа» с золотосодержащим сульфидным медно-полиметаллическим и флюорит-баритовым

оруденением. Определение места этих образований в клане брекчиевых образований требует дальнейших исследований.

Завершая обзор критериев выявления в пределах регионов с различным геологическим строением геолого-структурных элементов, перспективных для поисков рудоносных брекчиевых образований, необходимо подчеркнуть, что эти образования во всех случаях тяготеют к ослабленным участкам земной коры, к зонам повышенной проницаемости. Эти зоны могут быть результатом раздробленности фундамента с формированием глубинных разломов, в том числе сдвиговых и надвиговых; активизации шовных зон тектонических блоков; узлов пересечения разломов различной ориентации. Весьма перспективны также структурные «ловушки» на пути продвижения к поверхности флюидного вещества – участки пересечения глубинных разломов, имеющих мантийное заложение, участки их примыкания к бортам крупных структур, зоны сместителя сдвига-надвигов, а также внутрикоровые разломы, в том числе кольцевые.

Зоны повышенной проницаемости, как уже отмечалось, часто образуются в связи с шовными зонами, разделяющими крупные тектонические структуры – платформы и подвижные области (алмазоносные брекчии Пермского края), складчатые системы с различным возрастом складчатости, сутурные зоны, зоны на плечах авлакогенов и крупных рифтовых структур и другие (рис. 38).

Особое значение имеют протяженные линейные зоны повышенной проницаемости скрытого типа – Карасугское месторождение (рис. 24). На земной поверхности они могут быть выражены мелкими нарушениями простиранья пород, границ мощностей и фаций осадков, цепочек наложенных понижений и др. Причем одна и та же сквозная зона на ее протяжении может маркироваться разными признаками.

Следует отметить, что если крупные протяженные линейные структуры (глубинные швы, зоны проницаемости и др.) контролируют возможное размещение брекчиевых тел, то локализуемыми для них являются разломы или зоны трещиноватости более мелких порядков. Таким образом, наиважнейшее значение при прогнозировании выявления рудоносных брекчиевых образований имеют узлы пересечения разломов и проницаемых зон различных масштабов и морфологии.

Анализ материалов аэрокосмосъемок. Предварительное прогнозирование выявления рудоносных брекчий должно основываться на анализе не только геологических карт, но также и аэрокосмоснимков, прежде всего дистанционных основ Госгеолкарт. В результате анализа материалов аэрокосмосъемок (аэрофотосъемки, космической радиолокационной, инфракрасной, спектральнозональной и т. д.) выявляются структуры, которые могут контролировать размещение брекчиевых образований [Коробейников, 2001, 2009], а также морфоструктуры, которые могут отражать в рельефе воздействие магматогенно-флюидогенных потоков на земную кору или присутствие самих брекчиевых образований. К ним относятся:

1) сводово-глыбовые поднятия, возникшие в процессе активизации, глубинного палеодиапиризма, магматизма и других эндогенных процессов;

2) линейные сквозные зоны, секущие общий структурный план территории, которые могут быть контролируемыми для процессов рудо- и брекчиеобразования;

3) очагово-купольные и кальдерообразные структуры, обладающие кольцевым, радиально-концентрическим строением и контролируемые

размещение связанных с ними взрывчатых структур, рудных узлов, рудных полей.

В процессе анализа и интерпретации аэрокосмических материалов нередко выявляются скрытые глубинные структуры, зоны проницаемости, которые, как уже отмечалось, иногда не находят отражения в геологическом строении верхнего структурного этажа, но которые тем не менее являются контролирующими для энерго-, магмо- и флюидопотоков, обеспечивающих взрывчатые процессы и рудообразование. Зачастую такие зоны могут быть обнаружены лишь с помощью специальных приемов морфоструктурного анализа и дешифрирования макротрещиноватости [Ануфриев, 2007].

Помимо линейных, особое внимание должно уделяться кольцевым и радиальным морфоструктурам, как положительным, так и отрицательным, поскольку с этими структурами могут быть сопряжены флюидогенные и магматогенно-флюидогенные проявления, в том числе сами тела взрывчатых брекчий, чаще всего обладающие именно такой геометрией [Коробейников, 2009]. Так, субпровинции кимберлитового магматизма в пределах платформ пространственно ассоциируют с овоидно-радиальными структурами диаметром 1–2 тыс. км, которые фиксируют головную часть мантийных плюмов [Летников, 2001]. В земной коре они проявлены дугвыми и линейными зонами повышенной проницаемости. Районы кимберлитового магматизма маркируются в ландшафтах радиально-концентрическими структурами диаметром 180–220 км, которые, как правило, располагаются в узлах пересечения дугвых и радиальных элементов, образующих системы планетарного и регионального рангов. Эти структуры могут осложняться структурами меньшего диаметра – 75–85, 20–30, 8–10 км [Серокуров, 2011]. Однако наиболее благоприятны для выявления взрывчатых брекчиевых структур участки сопряжения кольцевых и линейных структур (рис. 39).

При анализе дистанционных данных наиболее эффективны [Коробейников, 2009] последовательная детализация аэрокосмических материалов, использование комплекта аэрокосмических материалов разных видов, комплексная интерпретация аэрокосмических, геофизических, геохимических данных и материалов других исследований.

Анализ геофизических материалов. На региональном уровне этот анализ позволяет получить информацию о глубинном строении регионов и служит необходимым элементом регионального прогнозирования брекчиевых образований, перспективных на различные виды полезных ископаемых. В основе получения этой информации лежит комплексная интерпретация всех материалов региональных геофизических исследований (грави- и магнитных съемок, геоэлектрических и сейсмических измерений). Для изучения глубинного строения территорий при составлении среднемасштабных карт геологического содержания используются методы ГСЗ, ВЭЗ–МОВ в профильном и площадном вариантах, а также методы сейсмической томографии. При региональном прогнозе основными информативными параметрами являются глубины залегания слоев коры (гранитно-метаморфического, гранулит-базитового), мощность консолидированной коры, плотность теплового потока, а также показатели, характеризующие геотектоническое состояние (стабильность или активность) земной коры и мантии, как литосферной, так и астеносферной. Определение этих параметров необходимо при количественном сравнении изучаемых объектов с районами с установленным минерагеническим профилем [Кузнецов, 2002].

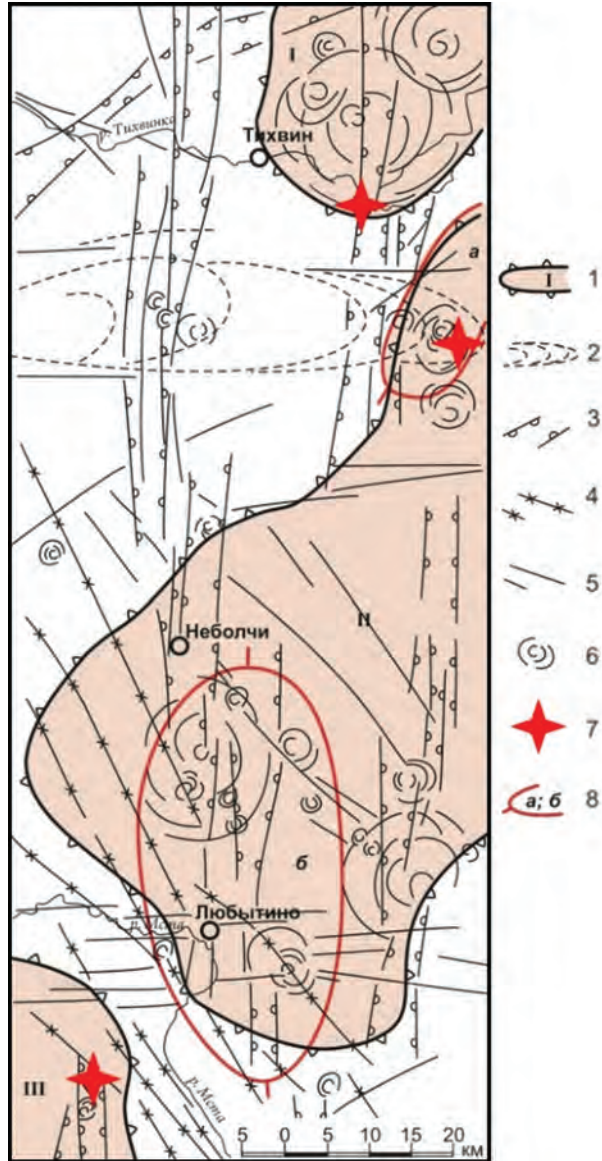


Рис. 39. Структурно-тектоническая карта Тихвинско-Боровичской зоны, по материалам дистанционного зондирования [Ядута, 2012]

Унаследованные пликативные региональные формы, проявленные в осадочном чехле: 1 – сводово-блоковые поднятия (I – Тихвинско-Пашское, II – Шереховичское, III – Окуловское); 2 – приразломное валовообразное поднятие; 3 – активизированные зоны повышенной трещиноватости и проницаемости пород осадочного чехла, наследующие структуры фундамента; 4 – Любытинская долгоживущая зона разломов фундамента; 5 – разломы различного морфогенеза; 6 – кольцевые структуры; 7 – флюидоэксплозивные трубки (по геологическим данным); 8 – локальные поднятия в осадочном чехле по геологическим данным (а – Бокситогорское; б – Любытинское)

Перспективны для прогнозирования брекчиевых образований районы с повышенной мощностью земной коры и с аномально повышенными параметрами мантии, свидетельствующими о том, что здесь имели место процессы эндогенной активности. Подобные аномальные параметры, характеризующие подъем мантийного диапира, свойственны, например, глубинному строению Мирнинского кимберлитового поля [Ваганов, Голубев, Минорин, 2002].

К анализу глубинного строения регионов относится также изучение систем глубинных разломов и зон повышенной проницаемости, выявляемых при региональных геофизических исследованиях. Разломам земной коры, выделенным по гравимагнитным данным, в осадочном чехле соответствуют разрывные нарушения, валообразные и флексуриобразные дислокации, выявляемые сейсморазведкой (методами отраженных волн (МОВ), общей глубинной точки (МОГТ), корреляционным методом преломленных волн (КМПВ)) и электроразведкой – методом теллурических токов (метод ТТ) [Кузнецов, 2002]. Глубинный характер зон «скрытых» нарушений, которые выявляются зачастую только геофизическими методами, подтверждается на «псевдоплотностных» разрезах земной коры субвертикальными зонами разуплотнения и зонами максимального градиента «псевдоплотности», которые прослеживаются до глубины 40–45 км [Государственная ... М-46 – Кызыл, 2008].

Анализ степени насыщенности региона магматическими образованиями.

При анализе геологического строения регионов на перспективы выявления брекчиевых образований особое внимание следует уделять присутствию долгоживущих центров магматической активности с многократными проявлениями магматизма, в том числе различных уровней глубинности (вулканического, гипабиссального, плутонического). Примером может служить Дарасунско-Балейский золоторудный район Забайкалья, где широко развиты рудоносные эксплозивные брекчии и где крайне интенсивно проявлен гранитоидный магматизм (позднеюрский, среднеюрский, триасовый и палеозойский), а также, хотя и в значительно меньшем объеме, отмечаются разновозрастные магматиты среднего и основного составов (рис. 40).

Золотоносные брекчиевые образования, как следует из приведенной схемы, в большинстве случаев сопряжены с проявлениями магматизма. В соответствии с этим присутствие в пределах анализируемой территории магматических образований того или иного состава и особенно многократность их проявлений или сосредоточенность в пределах обособленных узлов, отражающих ослабленные зоны земной коры, могут служить косвенным признаком для выявления рудоносных брекчий.

Анализ литолого-фациального состава пород региона. Обязательным на стадии прогнозирования рудоносных эндогенных брекчиевых образований является анализ литолого-фациального состава присутствующих в разрезе региона пород. Необходимость применения этого метода обусловлена тем, что перспективность выявления рудоносных брекчий во многих случаях и в значительной мере определяется широким развитием отложений – благоприятной средой для локализации внедряющихся флюидов, а также отложений, экранирующих продвижение флюидов к поверхности. Кроме того, в разрезе региона важно присутствие образований (например, солевых, карбонатных, углеродистых), служащих дополнительным источником углерода и металлов-катализаторов для формирования рудной минерализации.

Карбонатные, а также соляные (гипс- и ангидритсодержащие или хлоридные) породы могут служить дополнительным источником также

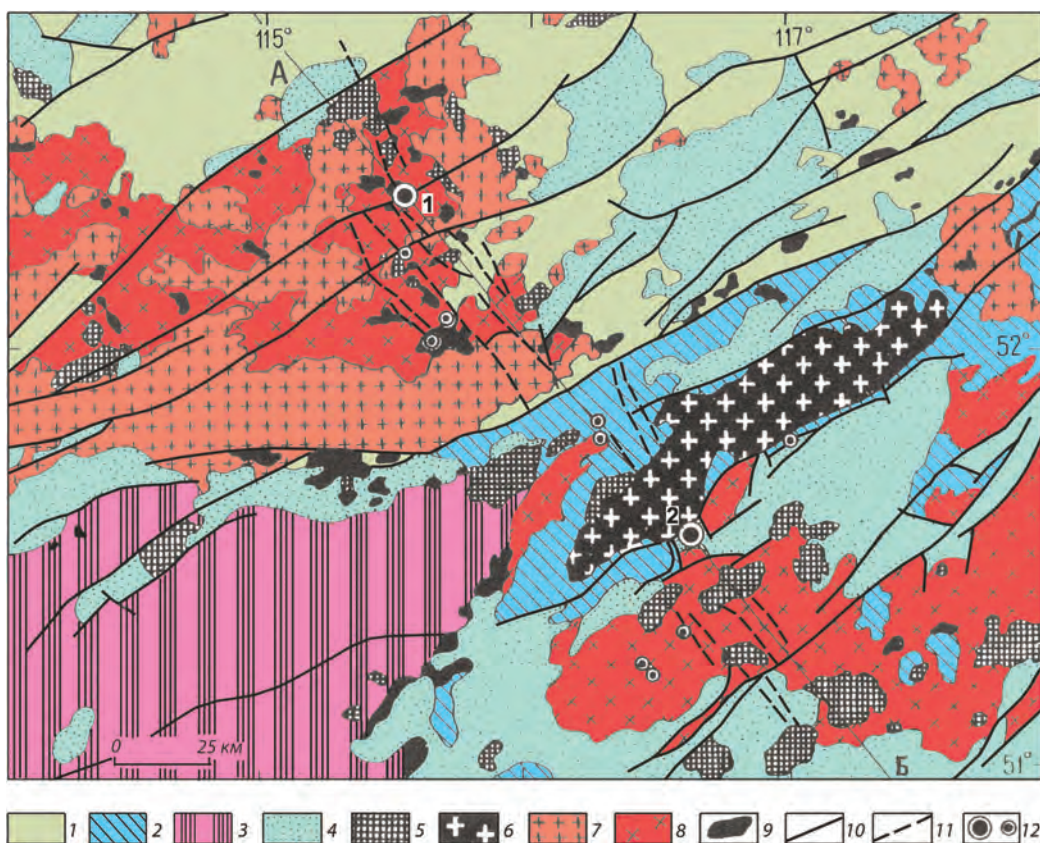


Рис. 40. Геолого-структурная схема Дарасунско-Балейского золоторудного района Забайкалья [Константинов и др., 1998]

1 – метаморфические образования Селенгино-Яблоновой области (AR–PR); 2 – метаморфические и осадочные толщи Монголо-Охотской области (PR–PZ₁); 3 – Агинское поднятие (PZ); 4 – вулканогенно-осадочные толщи мезозойских наложенных прогибов; 5 – разновозрастные (докембрийские – мезозойские) породы среднего и основного составов; 6–9 – гранитоидные комплексы: 6 – палеозойские гранодиориты, кварцевые диориты, 7 – триасовые граниты, гранодиориты, 8 – среднеюрские граниты, 9 – позднеюрские гранитоиды; 10 – крупнейшие разломы; 11 – разрывные нарушения системы скрытого Дарасунско-Балейского глубинного разлома; 12 – флюидогенно-брекчиевые месторождения Дарасунское (1), Балейское (2) и рудопроявления золота

и летучих компонентов (хлора, соединений серы, углерода), способствующих повышению флюидного давления и соответственно эксплозивной активности флюидной системы. Большое значение также имеет степень обводненности пород, являющихся источником метеорных вод, играющих значительную роль во флюидных системах многих месторождений, сопряженных с флюидогенным и магматогенно-флюидогенным брекчиеобразованием (гл. 1).

Лито-фациальный анализ состава пород региона следует дополнять анализом материалов **шлихо-минералогического опробования** территории с выявлением контрастных региональных ореолов индикаторных минералов.

3.2. Стадия локализации, картирования и изучения рудоносных брекчиевых образований

Методы исследований этой стадии необходимы и обязательны при проведении ГСР-200/2 на площадях и участках изучаемой территории, признанных перспективными для проявления брекчиевых образований. Они объединяют исследования, направленные на выявление и картирование локальных признаков-критериев брекчиевых образований (гл. 2), на диагностику пород и на оценку перспектив их рудоносности (п. 1.2 и 1.3). В соответствии с этим используется комплекс методов, включающий прежде всего анализ структурно-геологических материалов различных масштабов, результатов геофизических и геохимических работ и шлихового опробования. В случае выявления тех или иных признаков, свойственных брекчиевым образованиям, проводится детальное геологическое картирование перспективных участков с использованием петрографических, минералогических и других методов изучения структурно-вещественного состава пород.

3.2.1. Методы геологического изучения перспективных участков

Локализация проявления explosивных брекчиевых образований при ГГК-200 требует повышенного внимания к следующим фактам геологического строения территории: к изучению границ несогласного залегания пород; к зонам резкого изменения физико-химических свойств пород; к участкам понижения рельефа, обусловленного эрозионными депрессиями; к участкам повышенной трещиноватости и дробления коренных пород, являющихся локальными зонами повышенной проницаемости. Все перечисленные границы, зоны, участки перспективны для формирования explosивных брекчий, а приуроченность брекчий к зонам повышенной проницаемости отчетливо зафиксирована на Ефимовском месторождении алмазов Пермского Предуралья (рис. 37).

Необходимы для выявления брекчиевых образований также сведения о наличии в районе пластов, толщ, магматических тел или глубокозалегающих горизонтов подземных вод, которые могли бы служить коллекторами или различного рода флюидоупорами (петрофизическими, геохимическими, термодинамическими и другими) для флюидов или флюидизированных магм и соответственно либо способствовать, либо препятствовать explosивным процессам.

Присутствие на гипабиссальном или приповерхностном уровнях флюидонакопителей и флюидоэкранирующих образований – необходимое условие для реализации механизма explosивного брекчиеобразования. Коллекторами, как правило, служат алевролиты, песчаники, пористые карбонатные породы, а хорошими флюидоупорами – содержащие глины осадочные толщи, а также вулканогенно-осадочные и кремнистые породы, углеродсодержащие осадки, пологие дайки, силлы магматических пород. Часто в качестве барьеров для флюидов выступают пологие разломы, надвиги.

Благоприятным условием для локализации брекчий являются также зоны контактов контрастных по составу и проницаемости горных пород. Петрофизические барьеры, образующиеся на границе пород с контрастными параметрами плотности и пористости (рис. 41) – одни из наиболее распространенных в природе барьеров [Копылов, 2010].

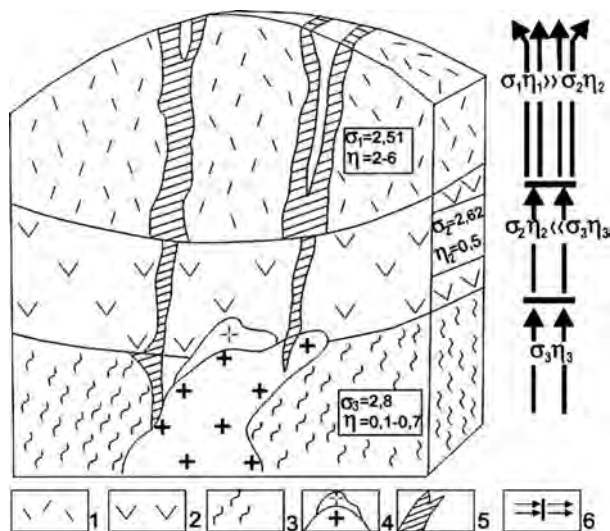


Рис. 41. Схема петрофизического барьера. Хинганский рудный район [Копылов, 2010]

1 – риолиты; 2 – андезиты; 3 – породы фундамента; 4 – граниты, гранит-порфиры; 5 – зоны оловорудных брекчий; 6 – движение растворов и барьеры (плотность σ , г/см³, пористость η , %)

На рис. 41 тело оловоносных флюидогенных брекчий в толще плотных андезитов имеет характер «подводящего канала», которое резко расширяется и становится ветвисто-трубообразным в значительно менее плотных и более пористых риолитах.

Примером локализации брекчий на контакте гранитов с вулканогенно-осадочными и осадочными породами могут служить рудные брекчиевые жилы балейского типа (рис. 42).

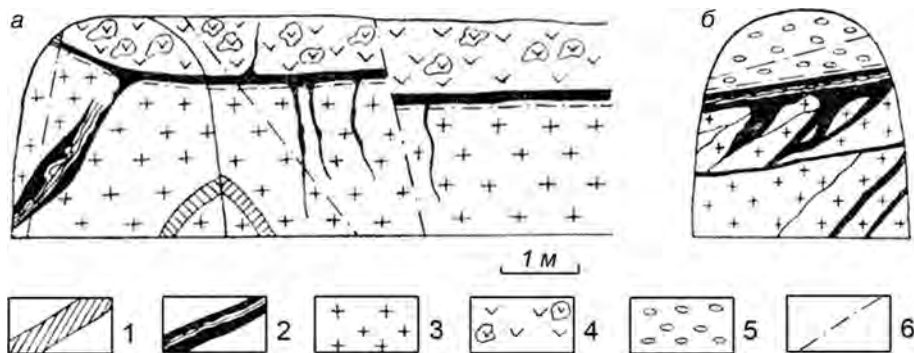


Рис. 42. Особенности залегания и морфология рудных, в том числе брекчиевых, жил балейского типа. Зарисовки забоев и стенок выработок, по [Балейское рудное ... , 1984]

а – пологая жила на контакте гранитоидов с вулканитами; б – пологая жила на контакте гранитоидов и конгломератов; 1 – кварцево-сульфидные жилы киммерийского возраста; 2 – рудные жилы балейского типа; 3 – граниты; 4 – туфобрекчии; 5 – конгломераты; 6 – тектонические нарушения

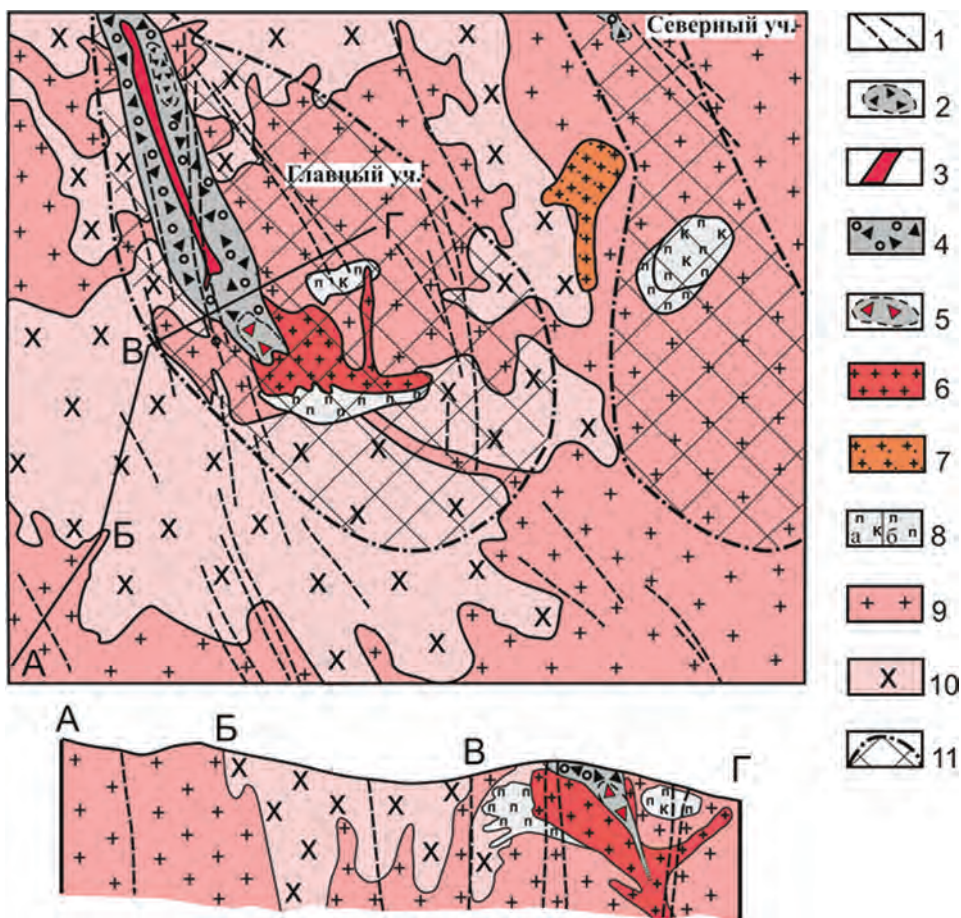


Рис. 43. Положение брекчиевых образований в районе медно-молибден-порфирового Сорского м-ния, по В. Т. Покалову [1983], с изменениями

1 – дайки долеритов, фиксирующие зоны тектонических нарушений и повышенной проницаемости, 2 – поздние флюидогенные брекчии; 3 – гранит-порфиры II стадии; 4 – ранние флюидогенные брекчии; 5 – магматогенно-флюидогенные брекчии; 6 – гранит-порфиры I стадии; 7 – граносиенит-порфиры; 8 – пегматоидные образования; 9 – лейкограниты тиртешского комплекса; 10 – монзонитоиды мартайгинского комплекса; 11 – штокервовое оруденение; 3, 6, 7 – породы сорского комплекса

Одним из возможных признаков, способствующих выявлению брекчий, может быть присутствие на изучаемой территории штокообразных тел порфировых пород (гипабиссальных, субвулканических, апофиз и апикальных частей крупных плутонов). С такими телами часто сопряжены проявления флюидогенных и магматогенно-флюидогенных брекчиевых образований, с которыми ассоциировано оловянное и медно-молибденовое оруденение порфирового типа (рис. 43).

Перспективны также на выявление брекчиевых образований тела литий-фтористых, топаз- и турмалинсодержащих гранитов, магмы которых обладают высоким флюидным потенциалом.

3.2.2. Методы оценки параметров рудоносных брекчиевых сооружений

1. Анализ и выявление геологических параметров тел магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых образований с целью их идентификации с приведенными в предыдущих разделах настоящих «Рекомендаций...» типовыми эндогенными брекчиевыми структурами.

Геологическими параметрами, позволяющими отнести брекчии к одному из охарактеризованных выше типов, могут служить морфология тел, характер взаимоотношений брекчий с вмещающими породами, текстурно-структурная специфика брекчиевых пород.

Морфология тел, образованных рассматриваемыми эндогенными брекчиями, как было показано ранее, весьма многообразна, однако флюид или флюидизированная магма, как вещества легкоподвижные, заполняют прежде всего хорошо развитые в породах трещины. Раскрытие трещин происходит по градиенту снижения литостатического давления, т. е. вверх и в стороны. В соответствии с этим рассматриваемые брекчии должны иметь секущие вмещающие породы тела, форма которых может быть изометричной или эллипсоидной в плане и трубно-, штоко-, воронкообразной в разрезе, реже субсогласной линзо- и пластовидной, а также дайкообразной (эксплозивные дайки, так называемые «галечные») и в меньшей степени силлообразной.

Контактные взаимоотношения эндогенных брекчиевых образований с вмещающими породами имеют следующие особенности: **а)** отсутствие во вмещающих породах, контактирующих с брекчиями, следов тектонического воздействия (участков милонитизации, глинки трения и, как правило, зеркал скольжения) и признаков блоковых перемещений; **б)** обычно отсутствие изгибания пластов вмещающих пород в экзоконтактных зонах брекчиевых тел; **в)** сосуществование как резких контактов, так и постепенных переходов (при уменьшении интенсивности брекчирования) от брекчиевых тел к вмещающим породам; **г)** развитие бухтообразных и прихотливо тонких до нитевидных заливов и апофиз брекчиевого (в том числе с очень тонкообломочной фракцией) материала во вмещающие породы; **д)** обычно незначительное термальное воздействие брекчий на вмещающие породы; **е)** частое присутствие ореола метасоматических образований вокруг брекчиевых тел.

Текстурно-структурная специфика брекчиевых пород эксплозивного генезиса выражается в сочетании в них как угловатых, так и часто хорошо округленных обломков. При этом крайне сложен гетерогенный состав обломочного материала, включающего литокласты и минеральные зерна пород из разных глубинных уровней района работ, а иногда также и из вышележащих пород, что позволяет предполагать участие в формировании брекчий процессов обрушения. Таким образом, перемещенность обломков может быть самой различной, т. е. от крайне небольшой до весьма значительной. Например, в брекчиях, сопряженных с очагами кислой магмы, встречаются породы, привнесенные с глубины в несколько сотен метров, а в кимберлитовых брекчиях – с глубины до 200 км и более (ксенолиты мантийных эклогитов и перидотитов). Вблизи многих рудоносных брекчиевых эксплозивных сооружений устанавливаются периферические брекчии, в составе обломков которых также отмечаются вмещающие породы.

2. Анализ и выявление критериев, отражающих масштабы брекчиевого сооружения на глубину.

Критерии, позволяющие правильно оценить перспективы рудоносной минерализации этих сооружений, должны в каждом конкретном случае основываться на представлениях о его строении. Брекчиевые тела, как

известно, характеризуются различной протяженностью по вертикали. Наиболее протяженными (порядка 2–5 км) являются развитые на платформе алмазоносные кимберлитовые трубки и сопряженные с долеритами железоносные тела брекчий. Эксплозивные образования, так или иначе сопряженные с кислой магмой, по условиям формирования обычно малоглубинные (до приповерхностных), но иногда имеют значительную протяженность по вертикали – до 500 м и более.

Для тел exploзивных брекчий, обычно субвертикальных, неприемлемо ориентироваться на оценку перспектив оруденения по площади их распространения. Особенно это касается тех из них, которые имеют незначительные параметры в плане и, наоборот, большую протяженность на глубину [Туговик, 1974]. В любом случае детальной разведке и оценке рудной минерализации выявленных брекчиевых сооружений должны предшествовать специальные горные работы (шурфы, канавы, неглубокое бурение и др.), направленные на изучение структурных их особенностей и глубины формирования.

3.2.3. Геофизические методы исследования перспективных участков

Для решения задач выявления перспективных брекчиевых структур оптимальный комплекс геофизических методов включает исследования различных физических полей [Калашник и др., 2010]:

- электроразведку, которая позволяет изучить разрез и выделить проводящие зоны, предположительно связанные с exploзивными структурами;
- магниторазведку, позволяющую выявить пространственное положение брекчиевых тел, обладающих дифференцированными магнитными свойствами;
- гравиметрию, при помощи которой проводятся выявление и картирование структур дезинтеграции, связанных с exploзивными процессами;
- радиометрические исследования.

Выявление exploзивных брекчиевых структур основывается на их проявленности в физических полях часто в виде локальных, близких к изометричным аномалий, обусловленных отличиями петрофизических свойств брекчий, слагающих эти структуры, от свойств вмещающих их пород [Калашник и др., 2010] – так называемые «аномалии трубочного типа», очень характерные, в частности, для кимберлитовых трубок.

Аномалии электропроводности, сопряженные с телами магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчий, выделяются чаще всего в виде электропроводящих зон за счет насыщенности сульфидами большей части exploзивных брекчий. Так, несмотря на низкую в целом проводимость кимберлитовых брекчий и их слабую контрастность по отношению к вмещающим породам [Жандалинов и др., 2000; Сараев и др., 2010], алмазоносные кимберлиты обладают устойчивым параметром вызванной поляризации. В качестве примера можно привести кимберлитовую трубку Амакинская (Мало-Ботубинский район), которая имеет в плане размеры 80 × 180 м и выходит на дневную поверхность, а местами перекрыта маломощными (до 5 м) четвертичными отложениями. Кора выветривания кимберлитовой трубки развита до глубины 30 м. По результатам проведенных работ зондирования методом переходных процессов (ЗМП) центральная часть кимберлитовой трубки выделяется аномалией повышенной проводимости (рис. 44).

Магнетитсодержащие exploзивные брекчий, обедненные сульфидами, напротив, выделяются понижениями напряженности E поля теллурических токов – ТТ (рис. 45).

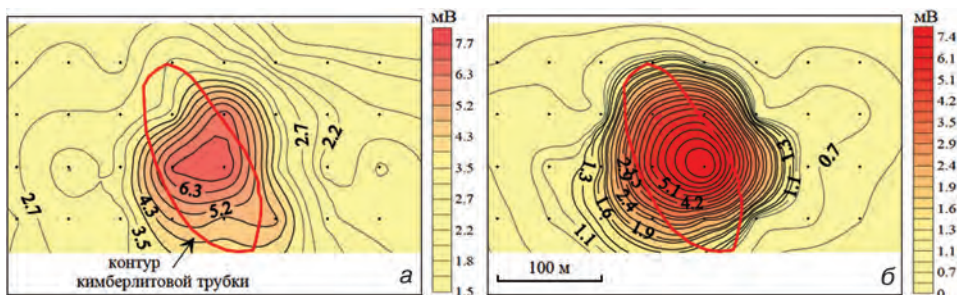


Рис. 44. План изолиний вертикальной (а) и радиальной (б) компонент скорости изменения неустановившегося электромагнитного поля (время наблюдения t 19 мкс) по результатам выносных ЗМПП на участке «Кимберлитовая трубка Амакинская» с генераторной установкой 50×50 м [Стогний, Коротков, 2010]

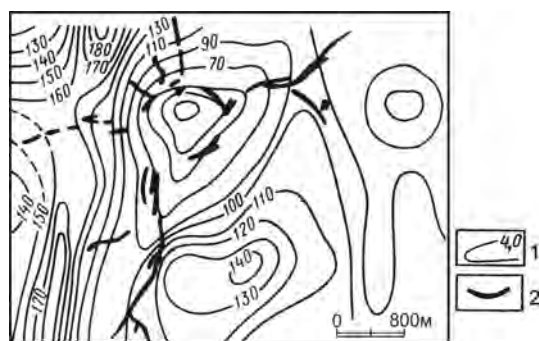


Рис. 45. План изолиний средней напряженности E поля ТТ (теллурических токов) Копяевского железорудного м-ния [Геофизические методы ... , 1980]

1 – изолинии (в усл. ед.); 2 – рудные тела

Магнитные аномалии, связанные с взрывными брекчиями, обусловлены дифференцированными на фоне вмещающих пород магнитными их свойствами. Эти свойства отражают количество и набор ферромагнитных минералов (магнетита, титаномагнетита, ферришпинелидов, ильменита, пирротина и др.), степени их окисленности и выраженности их ферромагнитных свойств. Магнитное поле над рудоносными брекчиевыми телами контрастно, часто с относительными или абсолютными минимумами положительного магнитного поля, связанными с флюидной проработкой, разрушающей ферромагнетики [Каминский, 1989; Лишневский, 1996], (Байдалинов, 2010). Например, на Дарасунском рудном поле (Забайкалье) на крупномасштабных планах магнитной индукции границы флюидоэксплозивных тел с золоторудной минерализацией четко картируются как по резкому понижению индукции, так и по спокойному характеру магнитного поля [Ерофеев, Орехов, 2009] (рис. 46).

Сорское медно-молибден-порфиоровое месторождение (Алтае-Саянская подвижная область), сопряженное с флюидоэксплозивными брекчиями, также приурочено к относительному понижению магнитного поля, имеющему

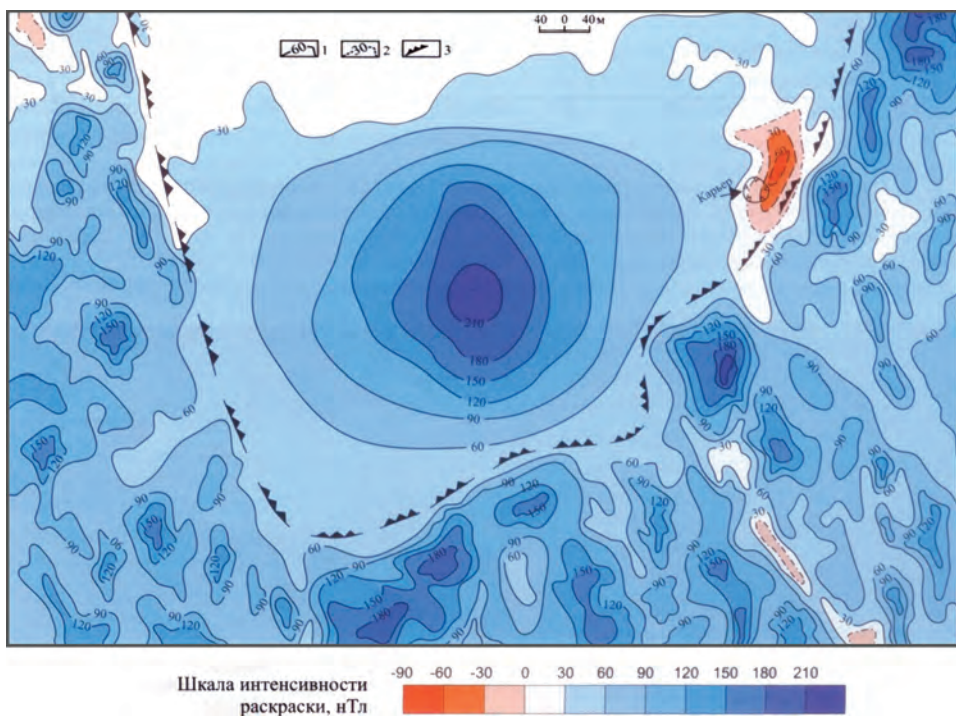


Рис. 46. Магнитное поле над флюидоэксплозивным телом Дельмачикского м-ния золота (Дарасунское рудное поле) [Ерофеев, Орехов, 2009]

1, 2 – изолинии приращений вертикальной составляющей индукции поля в нТл (*1* – положительные, *2* – нулевые); *3* – граница кальдеры

заливообразную форму [Лишневский, 1996] (рис. 47). Высвободившееся при разрушении ферромагнетиков железо входит в состав различных сульфидов (в основном в пириты), поэтому магнитные свойства и электропроводность часто связаны обратной зависимостью.

Однако в некоторых случаях при наличии сохранившегося магнетита рудоносные брекчии могут выделяться положительными магнитными аномалиями. Иногда отмечаются кольцевые аномалии магнитного поля с низкими значениями ΔT в ядерной части и повышением этих значений в периферийной зоне. Так, алмазные флюидоэксплозивные брекчии Пермского Приуралья характеризуются малоамплитудными положительными аномалиями магнитного поля, для выявления которых был успешно применен метод спектрально-пространственного анализа (СПАН), позволяющий строить глубинные разрезы [Петрова, Мавричев, 2004]. На этих разрезах отражаются изменения спектрально-пространственных магнитных характеристик, проявляющихся, в частности, в контрастах намагниченности слабомагнитных эксплозивных образований и вмещающих пород [Алмазные ... , 2011]. Совместный анализ методом СПАН магнитных и гравитационных полей позволяет получить более полную картину геофизического разреза и повышает достоверность интерпретации геолого-геофизического разреза при выявлении ослабленных зон, служивших

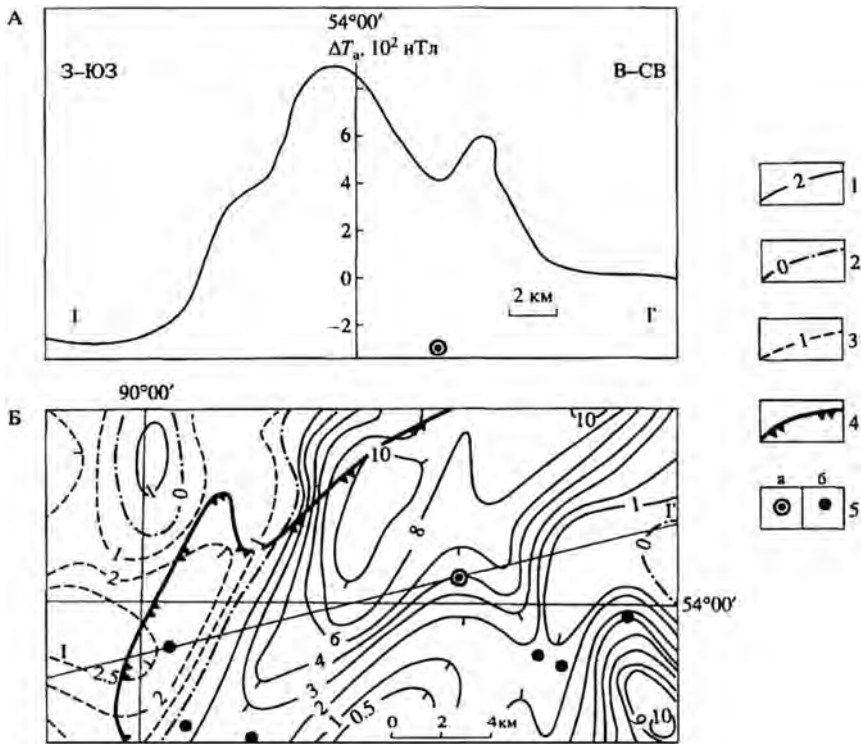


Рис. 47. Магнитное поле района Сорского медно-молибденового м-ния в центральной части полихронного гранитоидного массива: А – профиль, Б – план [Лишневский, 1996]

1 – изодинамы поля ΔT_a , 10^2 нТл: 1 – положительные, 2 – нулевые, 3 – отрицательные; 4 – контур гранитоидного массива на глубине; 5 – Сорское месторождение (а) и рудопроявления молибдена (б)

флюидопроводниками, выражающимися на геомагнитных разрезах локальными субвертикальными неоднородностями.

Брекчиевые трубки, с которыми связана железорудная минерализация, например месторождения Ангаро-Илимской железорудной провинции (Коршуновское, Рудногорское, Копаевское и другие), в которых магнетит является главным рудным компонентом, характеризуются, напротив, положительными магнитными аномалиями высоких амплитуд и большой контрастности.

Гравитационные аномалии. Тела explosивных брекчий (кроме железорудных) в гравитационном поле характеризуются, как правило, отрицательными аномалиями силы тяжести. В частности, гравитационными отрицательными аномалиями центрального типа фиксируются связанные с кимберлитовыми трубками депрессии в кристаллическом фундаменте, сопутствующие explosивным структурам дезинтеграции [Калашник и др., 2010], а также алмазоносные флюидоexplosивные брекчии Пермского Приуралья.

Брекчии с магнетитовой минерализацией, представляющие собой железорудные месторождения, выделяются положительными гравитационными аномалиями (рис. 48).

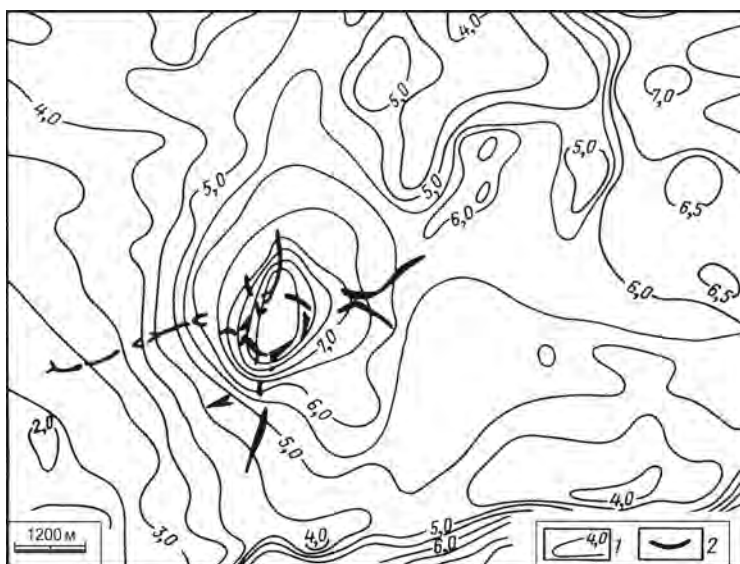


Рис. 48. Результаты аэрогамма-спектрометрической съемки на Копяевском м-нии, Ангаро-Илимская железорудная провинция. План изолиний остаточных аномалий Δg [Геофизические методы ... , 1980]

1 – изолинии поля в мГал; 2 – рудные тела

Повышенная радиоактивность свойственна большей части флюидогенных и магматогенно-флюидогенных брекчий, поэтому для их выявления рекомендуется в комплексе геофизических методов использовать также радиометрию. Например, в кимберлитовых брекчиях отмечается, как правило, повышенное содержание таких радиоактивных элементов, как уран и торий при высоком отношении Th/U (Распределение радиоактивных ... , 1974) (рис. 49). При этом в алмазонасных кимберлитах эти параметры обычно более высокие, чем в неалмазонасных. В виде аномалий повышенной радиоактивности проявляются и алмазонасные брекчии Пермского Приуралья (рис. 37).

3.2.4. Методы исследований вещественного состава брекчиевых пород

При выявлении на изучаемой территории брекчиевых пород их диагностика и идентификация потенциально рудоносных образований должны быть основаны на установлении тех их специфических черт, которые, в соответствии с охарактеризованными ранее критериями рудоносных брекчиевых образований, свойственны тому или иному типу брекчий. Наиболее оптимально для установления таких черт применение комплекса методов исследования вещественного состава, специфических при изучении магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчий петрографо-минералогических, геохимических, изотопно-геохимических и изучения флюидных включений.

При использовании вещественных методов для диагностирования брекчиевых образований и оценки их рудоносности следует учитывать, что они основаны на критериях, обычно связанных между собой генетическими причинами и могут быть использованы совместно.

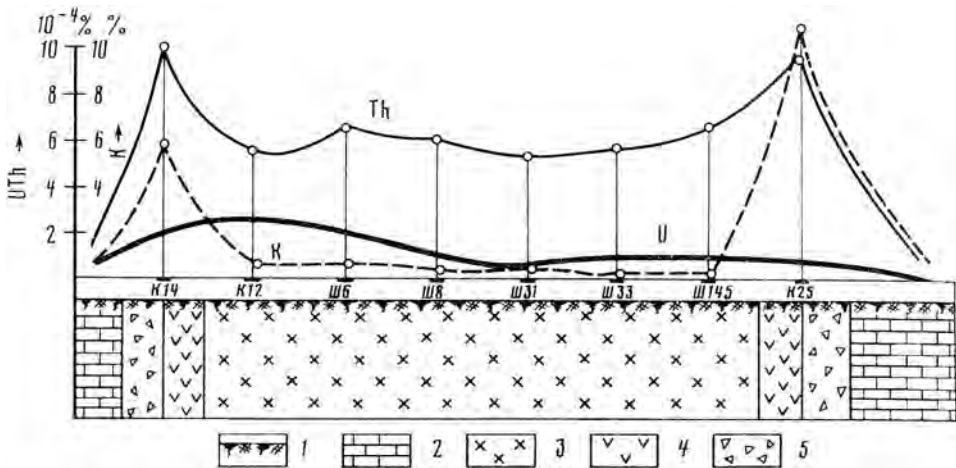


Рис. 49. Принципиальная схема распределения U, Th, и K в кимберлитовых трубках
(Распределение радиоактивных ... , 1974)

1 — элювий; 2 — известняк; 3 — порфировый кимберлит; 4 — окисленный кимберлит;
5 — кимберлитовая брекчия

Петрографические и минералогические исследования, в том числе при больших увеличениях и в отраженных электронах, — несомненно, важнейшие при изучении брекчиевых пород. Задача этих исследований — выявление таких особенностей пород, которые позволят, во-первых, диагностировать изучаемые породы как брекчии и, во-вторых, классифицировать их, отнеся их к тому или иному типу брекчиевых образований. Решение этих задач зачастую сопряжено с нетрадиционными для петрографии исследованиями и требует специфических методических подходов.

Изучение магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых пород — относительно новое направление в петрографии. Использование ряда определяющих для магматических пород характеристик, например петрохимического состава или последовательности кристаллизации минеральных зерен, для брекчиевых пород неприемлемо. Соответственно эти характеристики не могут быть классификационными или существенными для определения условий формирования брекчий. В то же время важнейшую роль приобретают, как было показано в предыдущих разделах, распознавание протоматических и новообразованных минералов, установление деформационных признаков в минеральных зернах и литокластах, определение состава и структуры цементирующей массы, выявление полиимпульсности процессов брекчиеобразования, изучение газово-жидких включений и ряда других методов.

Методы диагностики брекчиевых образований. Магматогенно-флюидогенные брекчии, будучи производными флюидизированных магм, по своим признакам переходные между магматогенными и флюидогенными брекчиями. В соответствии с этим они отличаются от тех и других сочетанием в своем составе (иногда примерно в равных долях) как ювенильной магматогенной, так и флюидогенной составляющих. Магматическими в них чаще всего являются вкрапленники минералов, кристаллизовавшихся непосредственно из магмы еще до момента эксплозии, в то же время цементирующая их масса — это преимущественно флюидогенная минеральная ассоциация.

Основные классификационные петрографические признаки магматогенно-флюидогенных брекчий приведены при характеристике этих образований как производных флюидизированных магм различного состава (рис. 4, 6–14, 18, 21, 22, 25), а также см. п. 2.2.

Флюидогенные брекчии (ФЭБ) в соответствии с их генезисом исключительно неоднородны по текстурно-структурным и вещественным признакам и неравновесны по минеральному составу. В них на небольшом расстоянии (даже в пределах шлифа) отмечается сочетание различных и весьма разнообразных текстурно-структурных и вещественных разновидностей как с инъекционными взаимоотношениями, так и с постепенными переходами. По разнообразию и характеру текстур флюидоэксплозивные брекчии часто трудноотличимы, на первый взгляд, от ряда пород иного происхождения – вулканокластических, осадочных, ледниковых, коптогенных и др., за которые их часто принимают и в таком качестве отражают при геологической съемке.

Классификационные петрографо-минералогические признаки флюидогенных брекчий рассмотрены в п. 1.3 (рис. 27–32), в том числе при характеристике этих образований в составе ряда месторождений (рис. 33–37), также см. п. 2.2.

Очевидно, что все многообразие как магматогенно-флюидогенных, так и флюидогенных брекчий определяется прежде всего по их внешним признакам, лишь косвенно отражающим их происхождение, но не являющимся генетическими. К таковым относятся размер, количество, состав, степень угловатости обломков и характер их распределения в породе; соотношения аутигенной и аллогенной составляющих, а также связующей массы и обломков в брекчиях; характер распределения и сортировка материала и некоторые другие.

Методы изучения признаков протокластических образований в брекчиях. Протоклаз – деформация составляющих рассматриваемых брекчий, возникающая не из-за тектонического воздействия на них, а являющаяся сингенетичной формированию этих пород и отражающая воздействие высокого давления на твердую фазу, находившуюся во флюид-расплаве или флюиде [Алексеев, 2008]. Установление признаков протоклаза в эндогенных брекчиях затруднений, как правило, не вызывает (рис. 7–9, 14). В то же время изучение этих образований – перспективный петрографический метод выявления процессов фрагментации, а порой и их последовательности в магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиях. Такого рода деформации отражают воздействие высокого флюидного давления на твердую фазу, находившуюся во флюид-расплаве. Особенно широко они проявлены в брекчиях, сопряженных с редкометалльными литий-фтористыми гранитами, т. е. являющихся производными флюидизированных магм [Марин, 1976].

Типичные признаки проявления протокластических деформаций индивидов минералов [Алексеев, 2008]:

1. Сочетание в агрегате деформированных и недеформированных индивидов порообразующих минералов одинакового размера, идиоморфизма и габитуса.
2. Деформация порфировых вкрапленников порообразующих минералов, размещающихся в недеформированной основной массе.
3. Обрастание деформированных минеральных индивидов каймами других минералов, не несущих следов катаклаза.
4. Преобладание деформаций пластического характера: изгибов индивидов, сопровождаемых полосами скольжения, разориентировкой фрагментов, нарушениями двойниковой

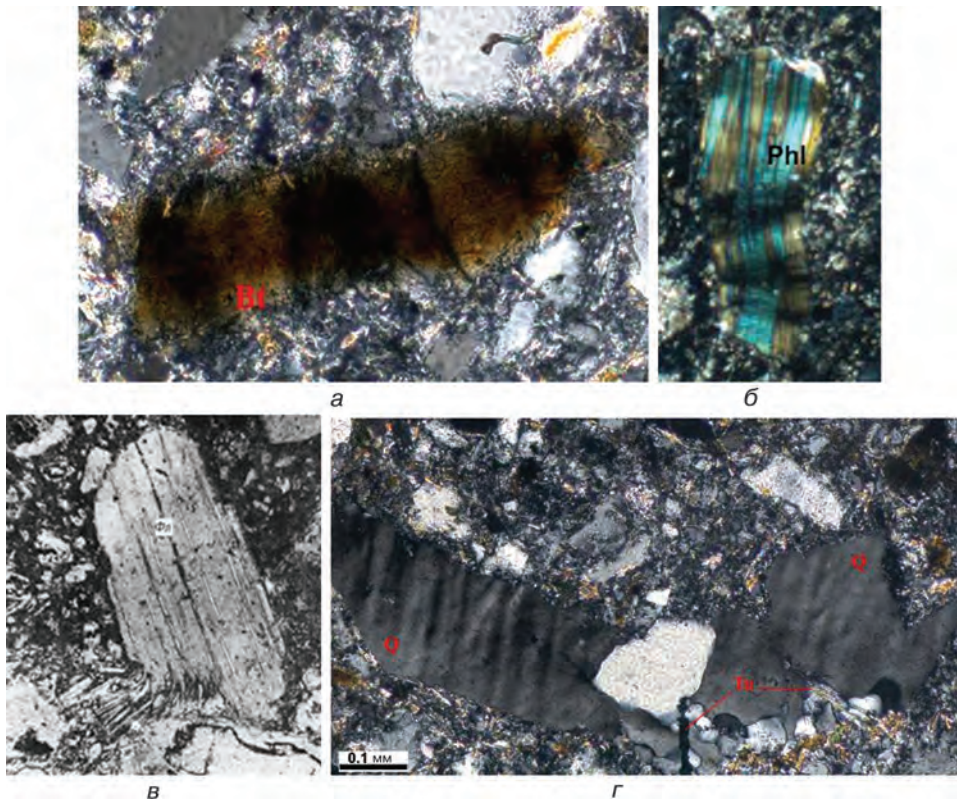


Рис. 50. Проявления деформаций (протоклаза), отражающие воздействие высокого давления на твердую фазу в магматогенно-флюидогенных расплавах: структура кинкбанд в биотите (а); структура кинкбанд во флогопите в кимберлитовой брекчии (б); расщепление пластинок флогопита в автолитовых кимберлитовых брекчиях [Атлас текстур ... , 1983] (в); структура кинкбанд в кварце (г)

структуры альбита; разрывов сплошности кристаллов и будинаж, сопряженные преимущественно с плоскостями спайности альбита, слюды и иногда с образованием структур кинкбанд (рис. 50, а), расщепления, флексуриобразных изгибов (рис. 50, б, в) и др. В кварце пластические деформации наблюдаются значительно реже, иногда они выражаются линейно-полосчатым погасанием (рис. 50, г). 5. Множественный характер проявлений локальной деформации минералов в породах.

Выявление стадийности, фазности, полиимпульсности процессов брекчиеобразования. Помимо диагностирования брекчиевых пород, важная задача исследований – выявление брекчиеобразований различных стадий и импульсов, поскольку они, как правило, в различной мере рудоносны. Это не всегда удастся при полевых исследованиях и потому обосновывается главным образом петрографическими методами.

Свидетельством полиимпульсного становления брекчий являются сочетания в пределах единых тел и даже в пределах одного шлифа эксплозивных брекчий с различными структурно-вещественными особенностями – брекчий разновозрастных генераций, между которыми наряду с постепенными,

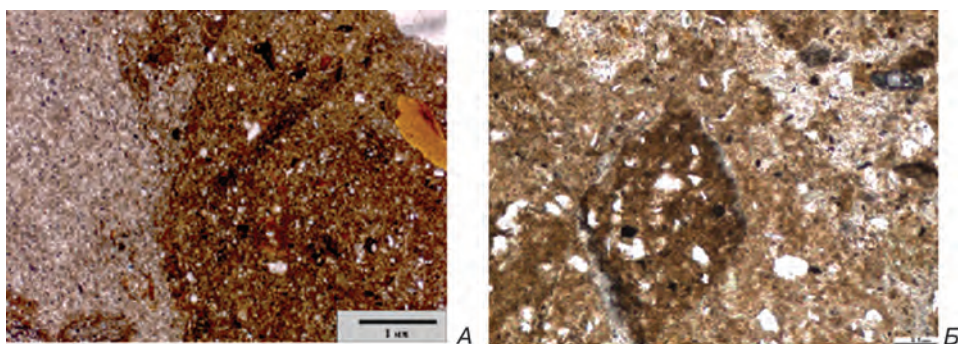


Рис. 51. Полиимпульсные ФЭБ, Пермское Приуралье

А – контакт брекчии ранней генерации (темно-бурая цементирующая масса) с брекчией более поздней генерации со светлым кварц-серицитовым цементом; *Б* – темно-коричневый оплавленный обломок брекчии ранней генерации в более светло-коричневой брекчии второй генерации, пронизанной в свою очередь светло-серой «струей» брекчии третьей генерации.

Шлифы без анализатора

нечеткими, расплывчатыми переходами часто устанавливаются инъекционные взаимоотношения (рис. 51).

Взаимоотношения между генерациями отражают проявление относительно близких во времени последовательных импульсов флюидоэксплозивного процесса. Возможна также смена эксплозивных проявлений пневматолит-метасоматическими и гидротермально-метасоматическими.

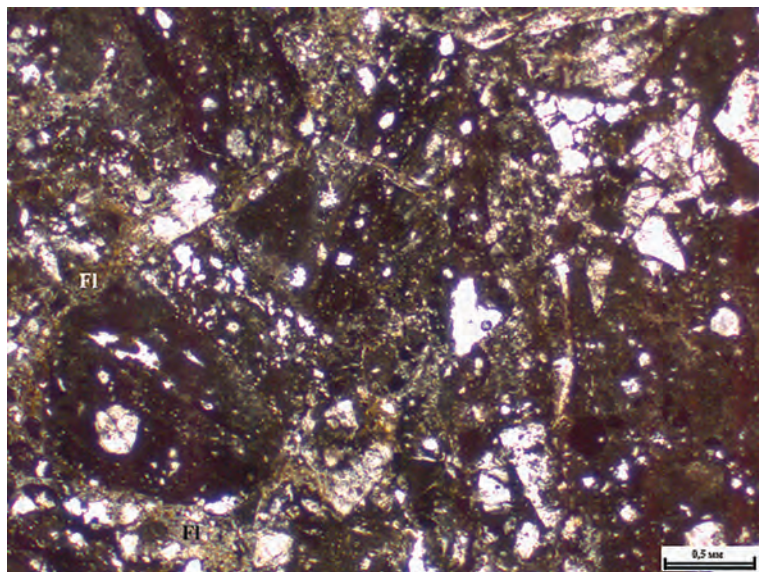


Рис. 52. Полиимпульсная брекчия с рудно-флюоритовым цементом; текстура «брекчия в брекчии» (шлиф без анализатора). Торгойская площадь, Маломурунский массив

При полиимпульсном развитии процессов формирования брекчий могут образовываться специфические текстуры «брекчия в брекчии». Примером может служить сложно и дискретно развивавшаяся взрыво-брекчиевая трубка на Торгойской площади (Маломурунский массив, Алдан), где установлен [Макарьев, Миронов, Кухаренко, Шарпенко, 2016] полистадийный и полиимпульсный (внутри стадий) характер брекчиеобразования (рис. 52). Петрографическими исследованиями здесь выявлены флюидогенные брекчии трех стадий с различным цементом: 1) с полигенным слюдисто-глинисто-полевошпат-эгириновым с рудными минералами; 2) с эгирин-биотит-полевошпат-гранатовым; 3) с рудно-карбонатно-кварцево-флюоритовым. При этом формирование брекчий некоторых стадий происходило в несколько импульсов. Различный состав цемента отражает смену состава и снижение температуры флюида от стадии к стадии. Последовательность стадий также была установлена петрографически: выявлено развитие граната по содержанию эгирина цементу, что однозначно указывает на более раннее образование последнего. Эти взаимоотношения не могли быть установлены при полевых исследованиях, поскольку изучение проводилось по материалам бурения.

Методы изучения рудных минералов. Результаты изучения брекчиевых пород в прозрачных шлифах необходимо дополнять исследованиями этих пород в полированных шлифах или в аншлифах. Это позволит определить минеральный состав рудной фазы, количество и соотношения рудных минералов, а также количество их генераций, установить стадии образования рудных минералов, их взаимоотношения как между собой, так и с обломочной и цементирующей частями брекчий. Результаты этих наблюдений позволят сделать выводы о том, является ли оруденение сингенетичным брекчиеобразованию, наложенным на брекчии, или же оно предшествовало их образованию.

В рудоносных брекчиях сингенетичные рудные минералы содержатся преимущественно в цементе, причем часто распределены неравномерно и приурочены к границам обломков, окаймляя их (рис. 53).

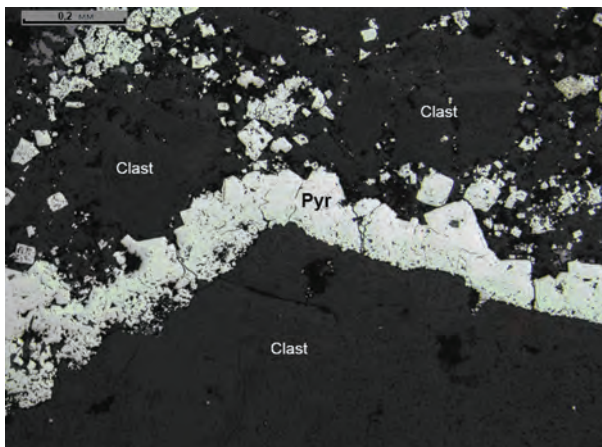


Рис. 53. Развитие пирита в цементе флюидоэксплозивной брекчии (аншлиф). Торгойская площадь, Маломурунский массив

В ряде случаев определенная рудная ассоциация содержится только в обломках, что свидетельствует о ее формировании в добрекчиевую стадию или в раннюю стадию (импульс) брекчие- и рудообразования. Примером может служить золото-молибденит-браннеритовое оруденение (Эльконский горст, Центральный Алдан), где урановая минерализация представляет собой брекчию с браннеритом. В составе цемента кроме браннерита присутствуют также карбонаты (доломит, анкерит), в небольшом количестве пирит, марказит, галенит, халькопирит, арсенопирит [Максимов, 2003]. Среди обломков в брекчии (до 30–70 %) присутствуют золотоносные пирит-карбонат-калиевошпатовые метасоматиты и кварц из дорудной барит-кварцевой ассоциации. Полиимпульсность брекчий с возникновением текстуры «брекчия в брекчии» довольно часто отмечается на малоглубинных эпиптермальных месторождениях, отражая множественность эпизодов вскипания водного флюида.

Методы электронной микроскопии. Минеральный состав брекчий определяется в основном оптическими методами в проходящем или отраженном свете, однако учитывая то, что цемент брекчий, особенно флюидоэксплозивных, имеет зачастую тонко- и криптозернистую структуру, диагностировать слагающие его минералы, установить их реакционные взаимоотношения и выявить специфику строения цемента бывает возможно лишь с применением электронной микроскопии, позволяющей проводить исследования при больших увеличениях с хорошим разрешением (рис. 54, 55), а также уточнять рентгеноспектральным анализом минералов. В ряде случаев полный состав цементирующей массы можно установить только методом рентгенофазового анализа.

Шлихо-минералогические методы сводятся к выявлению высококонтрастных ореолов шлиховой минеральной ассоциации, содержащей индикаторные минералы магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчий. При этом морфологические особенности (прежде всего степень износа) зерен этих минералов должны свидетельствовать об их ближайшем сносе. Набор индикаторных минералов индивидуален в зависимости от состава брекчий и их минерагенической специализации. Например, комплексом минералов-индикаторов для кимберлитовых брекчий Якутии являются минералы, парагенетически связанные с алмазом (высокохромистый пироп, пикроильменит, оливин, хромдиопсид, хромшпинелид и другие), а также сам алмаз. О близости источника сноса свидетельствуют присутствие оливина, небольшая степень износа зерен, в том числе сохранность келифитовых кайм на зернах граната и пироксена, разнообразие минералов спутников. Для кимберлитов Архангельской алмазонасной провинции набор минералов-спутников алмаза несколько иной, в нем на первое место по значимости выступает не пироп, а пикроильменит.

Геохимические методы. Необходимость их применения основана на том, что с рудоносными брекчиевыми образованиями сопряжены устойчивые геохимические аномалии, по геохимической специализации соответствующие рудоносным брекчиям. Так, в связи с флюидоэксплозивными брекчиями медно-молибденовых месторождений по результатам геохимического опробования устанавливаются первичные геохимические ореолы (например, на Сорском м-нии), в которых, помимо главных элементов Mo и Cu, присутствуют W, Ag, Zn, Bi, Mn, Sb [Страгис, 1976; Хомичев, Ломаев, 2013]. Эти ореолы четко проявлены главным образом в надбрекчиевых частях брекчиевых структур, снизу вверх отмечается следующая вертикальная зональность: Mo, Cu → Bi, Mn → W, Ag, Zn.

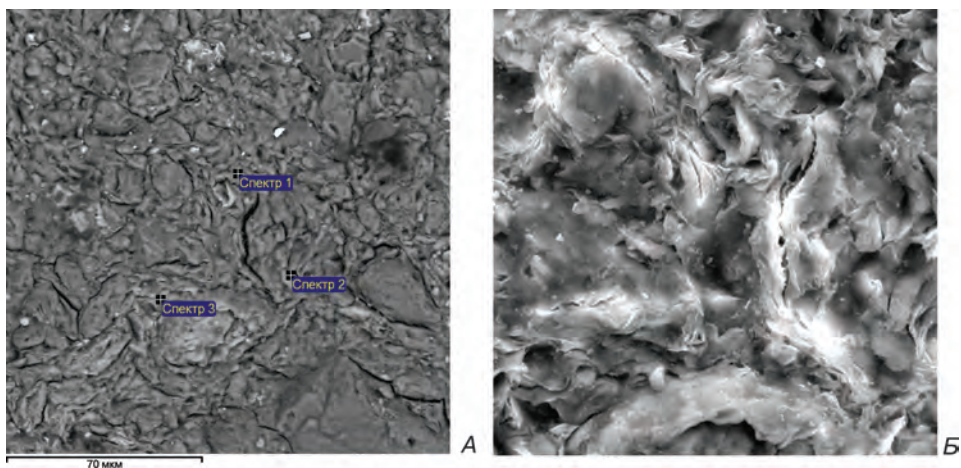


Рис. 54. Цемент флюидоэксплозивных брекчий в отраженных электронах (ЭМ Tescan VEGA 3, режим BSE, аналитик Ю.Л. Крецер, университет «Горный»)

А – неравномерно раскристаллизованный зернисто-тонкочешуйчатый цемент, состоящий из кварца, смешаннослойных минералов и иллит-сметитового агрегата (спектры 1–3) с укрупненными индивидами гетит-гидрогетита, зернами оскольчатого кварца и рудного минерала; *Б* – то же при очень большом увеличении: видны газовые углекислотные включения (черные пузырьки), зерна рудного минерала и оскольчатого кварца

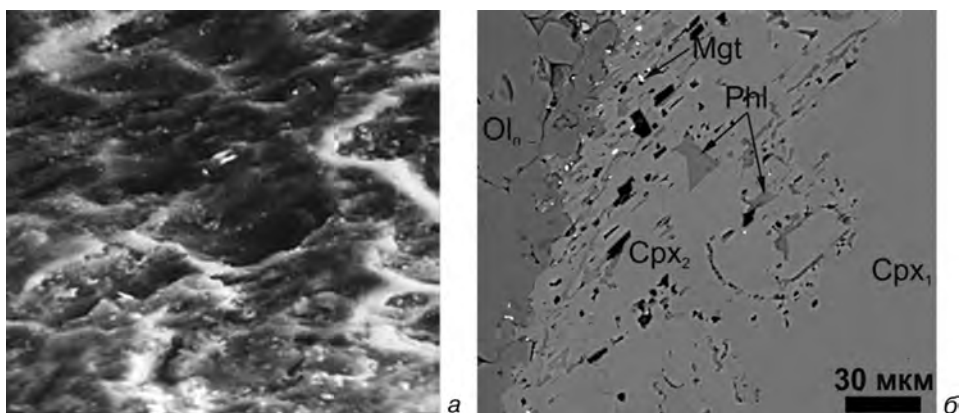


Рис. 55. Следы реакционного воздействия кимберлитового флюид-расплава на минералы глубоких ксенолитов

а – коррозионная поверхность зерна ксеноморфного оливина. Стереоскан. Трубка «Мир». Увел. 5000 [Портнов, 2012]; *б* – реакционные каймы вокруг породообразующего клинопироксена в контакте с ксенолитом деформированного перидотита. Трубка Удачная-Восточная; изображение в обратно-рассеянных электронах [Шарыгин, 2014]

Алмазоносным флюидоэксплозивным образованиям, сопряженным с очагами лампроитовой магмы, свойственны повышенные содержания хорошо коррелируемых между собой Ni, Mn, Zn, Pb, Cd, Ag, Y, Yb. Содержание Ni и Mn отражает скорее всего магматический источник породообразующего вещества, тогда как все остальные перечисленные элементы типичны для его флюидогенной составляющей.

Для кимберлитовых брекчий показательна литогеохимическая ассоциация, включающая основные элементы-индикаторы (Cr, Ni, Mg), характерные для кимберлитов различных алмазоносных провинций. Показательна и редкоземельная ассоциация (Ce, La, Y, Yb), типоморфная для высококалийного щелочного магматизма. При исследованиях на локальных участках наиболее достоверно указывают местоположение погребенных кимберлитовых тел и структур, вмещающих эти тела, интегральные геохимические показатели [Калашник и др., 2010].

Следует отметить, что геохимические поля и ореолы часто бывают отчетливо концентрически-зональными. Например, в пределах дарасунских золоторудных брекчий на фоне низкоконтрастного поля Cu-Au-Mo, Ag, Zn, соответствующего вмещающим габброидам, и незначительно повышенного геохимического поля редких элементов гранитоидов по периферии рудного узла контрастно выделяются полиэлементные геохимические поля концентрирования, а также моноэлементные геохимические поля Au и Ag, фиксирующие локальные выходы эксплозивных брекчий, к которым приурочены месторождения (рис. 56).

Геохимические поля имеют концентрически-зональное строение со сменной от центра к периферии следующих зон: Au-Ag-Cu-Mo-Sn-Pb → Au-Ag,

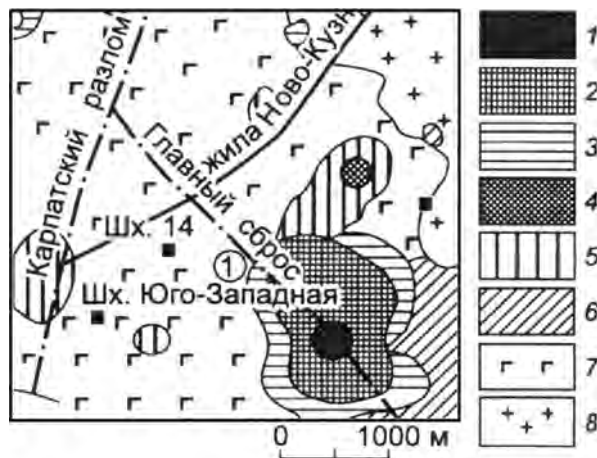


Рис. 56. Геохимические поля Дарасунского м-ния [Спиридонов и др., 2006]

1–3 – геохимические поля над месторождениями и рудопоявлениями: 1 – Au-Ag-Cu-Pb-Mo-Sn, Li, Sc, Ce, Gd-Be-Ba, Cr; 2 – Au-Ag, Pb, В, Мо, Ва-Ве, Cr,-Gd; 3 – Au-Ag, Cu, Pb, Ba, Sc-Hf; 4 – геохимическое поле (ГХП) ультраосновных пород (PZ₁): Cr-Au-Cu-Sc-Sr-Ba,Ce,La,Gd; 5 – геохимические поля концентрирования (ГПК) в габброидах (PZ₁): Cr-Sc-Au, Cu-B-Ag, Gd, Ba, Sr; 6 – ГПК в гранитоидах (PZ₂): Au-Ag, В, Li-Pb-Ce; 7 – ГХП центрального тела гранитизированных габброидов кручининского комплекса, вмещающих Дарасунское и Теремкинское месторождения: Cr-Sc-Cu, Ba-Au, В, Мо, Ce, La, Gd, Hf-Zn; 8 – ГХП гранитоидов крестовского комплекса: Gd-Cu, Cr, Ba, Sc, Ce, La, Hf, Y, Yb-Sn

Pb, В, Мо → Au-Ag, Cu, Pb → Au, Cu-B-Ag → Au-Ag, В-Pb [Спиридонов и др., 2006].

Использование литогеохимических исследований может быть дополнено также и другими методами, например, гидрогеохимическим, биогеохимическим, аэрогеохимическим [Главатских, 1992 и др.].

Изотопно-геохимические методы. Изучение изотопно-геохимического состава брекчиевых образований представляется необходимым методом при диагностике магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых пород, особенно учитывая сложность процесса их образования и частого сходства брекчий по некоторым параметрам, что отмечалось ранее, с осадочными породами.

Анализ результатов изотопно-геохимических исследований названных брекчий и их составляющих позволит решить ряд проблем их происхождения.

Прежде всего этот анализ во многих случаях позволит установить источник вещества флюидных и флюидо-магматических систем и соответственно судить о генезисе брекчиевых образований. Так, изотопно-геохимические исследования очень важны, например, при изучении карбонатных брекчий. По изотопному составу углерода и кислорода ($\Delta^{13}\text{C}-\Delta^{18}\text{O}$) устанавливается экзогенная или эндогенная природа этих образований, а по закономерному изменению изотопного состава кислорода, углерода, серы, водорода и стронция выявляется влияние различных процессов на первично-мантийную природу источников вещества карбонатитовых брекчий [Врублевский, Гертнер, 2005].

С помощью изотопно-геохимических методов можно выявить также, что присуще, например, кимберлитовым брекчиям Якутской алмазонасной провинции высокая насыщенность CO_2 и соответственно широкое развитие карбонатных минералов обусловлены как притоком вещества из пород рамы, имеющих преимущественно карбонатный состав, так и глубинной карбонатной компонентой. Кроме того, изучение изотопного состава Sr подтверждает вывод о гибридной природе карбонатной составляющей кимберлитов, в том числе кимберлитовых брекчий. Большинство кимберлитов отвечают значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (рис. 57), промежуточные между мантийным и осадочно-морским реперами [Костровицкий, 2009].

Стронциевый метод очень широко применяется также для обоснования представлений о коровом или мантийном характере источника вещества, а в последнем случае и о типе этого источника. Для выводов об источнике рудного вещества успешно используется также анализ изотопного состава свинца и серы.

Отдельной сложной задачей является установления радиологического возраста эксплозивно-брекчиевых пород с помощью изотопно-геохронологических методов, поскольку широко распространенный метод определения возраста по цирконам для них совершенно неприменим. Это

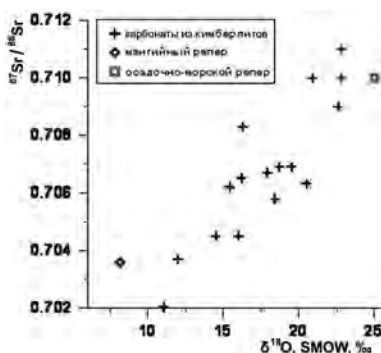


Рис. 57. Соотношение изотопных составов стронция и кислорода из карбонатов в кимберлитовых брекчиях Якутии [Костровицкий, 2010]

объясняется тем, что в брекчиевых породах могут присутствовать цирконы, захваченные флюидом или флюидизированной магмой из различных разновозрастных вмещающих или даже глубинных пород. В случае же участия в образовании брекчиевых структур процессов обрушения могут присутствовать цирконы из пород с более высоких стратиграфических уровней, чем уровень становления брекчий. В качестве примера можно привести попытку датирования по цирконам эксплозивных брекчий трещинных тел на Милоградском золото-серебряном месторождении (Восточно-Сихотэ-Алинский вулcano-плутонический пояс) [Позднемезозойские ... , 2012]. Здесь было проанализировано более 30 зерен, результаты определений показали широкий возрастной интервал от 47,8 до 80 млн лет и более, который отвечает возрастному интервалу формирования пород вулcano-плутонического пояса в целом.

Для установления возраста эксплозивных рудоносных брекчий можно рекомендовать определение возраста по силикатным минералам цемента — по биотиту, мусковиту, хлориту, калиевому полевоому шпату Rb-Sr или, что менее надежно, K-Ar методами. Возраст брекчий может быть также определен по возрасту сингенетичного оруденения, например, по изотопам свинца или осмия-иридия из сульфидов в цементе.

Изучение флюидных и расплавных включений в минералах. Флюидные (газовые, жидкие, газовой-жидкие, водно-солевые) и расплавные включения в минералах, как первичные (в минеральных зернах цемента брекчий), так и вторичные (рис. 58) (в протоматических и ксеногенных минеральных зернах), являются источником информации о составе, генезисе брекчие- и рудообразующих флюидов и флюидизированных расплавов, о термодинамическом и химическом режиме минералообразования, в том числе рудообразования.

В частности, вопрос об источниках рудообразующих флюидов, о связи (или отсутствии таковой) с магматическими комплексами — один из наиболее важных в исследованиях эндогенных рудоносных водно-флюидных брекчиевых систем. Теоретически существует возможность нескольких вариантов связей между магматическими и флюидогенными (в частности

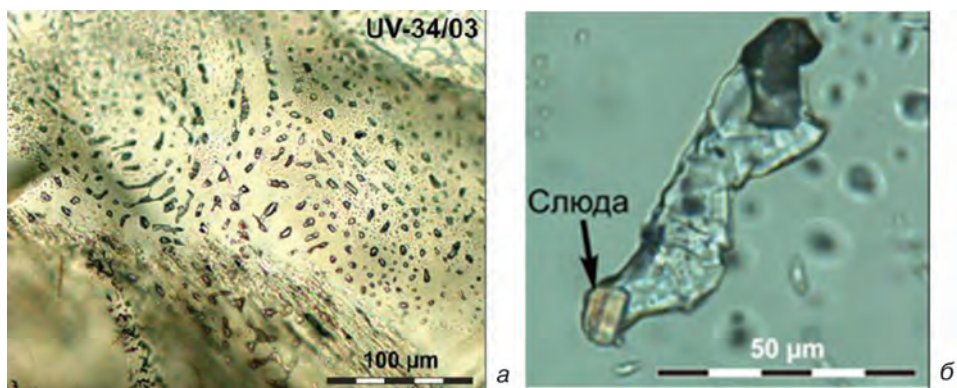


Рис. 58. Вторичные включения в минералах из ксенолитов деформированных перидотитов в кимберлитовой брекчии (Якутская алмазоносная провинция) [Шарыгин, 2014]: а — флюидные включения в ортопироксене; б — слюда в расплавном включении в оливине

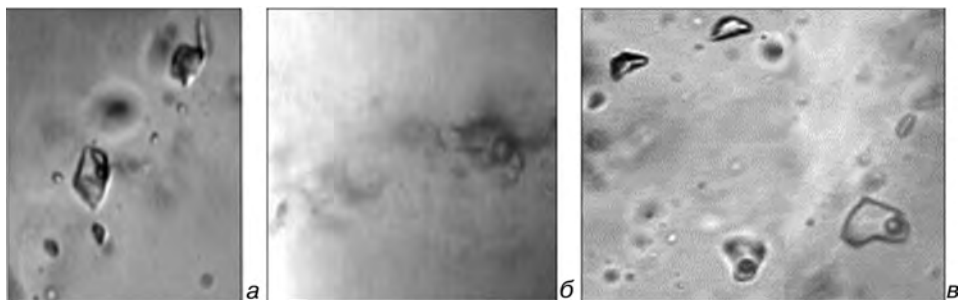


Рис. 59. Флюидные включения в регенерированном кварце брекчий

а – водно-солевые; *б* – газовые и газовой-жидкие; *в* – признаки «вскипания» флюида

гидротермальными) процессами, но выяснить, какой из них в природных условиях ведущий, можно только посредством изучения состава флюида конкретных объектов. В связи с этим важно, кроме традиционных геологических, петрографических и минералогических методов исследований, использовать методы термобарогеохимии, включающие волюмометрию, температуру гомогенизации флюидных включений, криометрию, декрепитацию, лазерно-спектральный анализ жидкой фазы включений [Пахомова, 2003].

При изучении флюидных включений могут решаться и другие задачи. На алмазном проявлении Малая Порожная (Пермское Приуралье) методом изучения газовой-жидких включений были подтверждены изначальная гетерогенность и расслоенность брекчиеобразующего флюида. В результате этих исследований в регенерированном кварце брекчий установлены флюидные включения различных типов (рис. 59) – водно-солевые и газовые или газовой-жидкие. Выявлены также признаки «вскипания» флюида (по Э. Реддеру [1987]), происходившего в результате резкого снижения давления во флюидном потоке (рис. 59, *в*) и проявленного в газовой фазе в сингенетичных газовой-жидких включениях. Флюид, по-видимому, был щелочным, так как в трещинках в кварце отмечается образование кубических изотропных кристаллов NaCl; газовая фаза в газовой-жидких включениях – это преимущественно пар H_2O , а вакуоли газовой фазы – газ CO_2 .

Глава 4

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Изложенный выше материал свидетельствует о том, что магматогенно-флюидогенным и особенно флюидогенным брекчиям свойственна высокая, а порой исключительно высокая и разнообразная рудоносность. В соответствии с этим методы оценки потенциальной рудоносности брекчиевых образований должны базироваться на тех факторах, которые в той или иной мере обуславливают формирование, появление рудоносных брекчий, а также тех, которые прямо или косвенно указывают на сопряженность с выявленными брекчиями полезной минерализации и в какой-то мере на ее тип. Такими факторами-критериями, а главное, благоприятным их сочетанием являются рассмотренные в гл. 2 и 3 определенные геолого-структурные параметры регионов, обусловившие формирование брекчий, а также структурно-вещественные признаки, свойственные тем или иным рудоносным брекчиям.

Подчеркнем значимость некоторых из перечисленных ранее параметров и признаков брекчиевых образований.

Геолого-структурные факторы. Потенциальная рудоносность брекчий, особенно с комплексной минерализацией, в значительной мере зависит от масштабов их проявления. В соответствии с этим важный фактор потенциальной рудоносности брекчий – геологическая позиция региона. Вмещающими для рудоносных брекчий могут быть как магматические, так и осадочные породы [Reynolds, 2000; Марченко, 2010], тогда как существуют элементы строения региона, предопределяющие и способствующие зарождению и миграции флюидов, а также присутствию в регионе флюидопроводящих структур. Как уже отмечалось в предыдущих разделах, таковы прежде всего разрывные нарушения различной природы, глубинности и формы и особенно их пересечения. В соответствии с этим потенциально рудоносные брекчиевые образования следует прогнозировать в пределах зон активизации стабилизированных подвижных систем или платформ, а также граничных зон разновозрастных и разнотипных мегаструктур, к которым, как следует из приведенных ранее примеров, обычно тяготеют флюидопроводящие нарушения.

Кроме того, потенциально рудоносны эндогенные брекчиевые образования, тяготеющие к глубинным шовным зонам – сутурам (рис. 36), разделяющим крупные, различно развивающиеся блоки земной коры; к линейным рифтогенной природы; к трансрегиональным зонам повышенной проницаемости, в том числе скрытым, и к некоторым другим.

Помимо флюидопроводящих структур, потенциальная рудоносность брекчий обеспечивается также присутствием в разрезе региона отложений, которые могли бы служить, с одной стороны, коллекторами или ловушками флюидов, а с другой, экранами, структурными, химическими или физическими барьерами. Кроме того, важным фактором возможной рудоносности брекчий являются присутствие в разрезе региона геохимически специализированных пород (особенно соленосных отложений), а также широкое развитие во вмещающих породах предшествующей образованию брекчий минерализации, полезные компоненты которой могли быть экстрагированы флюидами.

Большое значение для определения потенциальной рудной минерализации магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых образований имеют характер и интенсивность проявления магматизма в регионе.

Магматогенно-флюидогенные брекчии, сопряженные с различными по составу магмами, сопровождаются и различными типами минерализации. Так, выявленные в связи с кимберлитовыми или лампроитовыми образованиями брекчии могут быть потенциально алмазоносны. С карбонатитовыми проявлениями могут быть сопряжены брекчии с редкоземельной, урановой, апатитовой, железорудной, реже золотой и медной минерализацией. Магмы основного состава способствуют формированию брекчиевых структур с железорудными и медно-никелевыми месторождениями. Наконец, наиболее разнообразная потенциальная минерализация свойственна брекчиевым сооружениям, сопряженным с магматическими проявлениями среднего и особенно кислого составов. В них локализованы золоторудные, золото-серебряные, редкометалльные, полиметаллические, медные, ртутные, урановые и другие залежи.

Таким образом, знание минерального парагенезиса различных по составу магматитов может служить прогнозу возможного оруденения для того или иного эксплозивного образования [Туговик, 1974]. Кроме того, чем более интенсивно, длительно и разнообразно на исследуемой территории проявлены магматические образования, отражающие повышенную ее проницаемость, тем с большей вероятностью можно ожидать появления как брекчиевых образований, так и сопряженных с ними оруденений, в том числе промышленных.

Очевидно, что для оценки перспектив и запасов рудной минерализации в брекчиевых телах необходимо учитывать их размеры, а также сложность их внутреннего строения, обусловленного полистадийностью и полиимпульсностью их формирования.

Вещественные признаки. Потенциально рудоносны как магматогенно-флюидогенные, так и флюидогенные брекчии, что отражается в содержании в этих породах повышенного количества аксессуариев, сульфидных, оксидных и самородных рудных минералов, редкоземельных минеральных ассоциаций, а также индикаторных минералов, свойственных той или иной магматогенно-рудной системе. Так, например, главный косвенный минералогический критерий рудоносности кимберлитовых брекчий определяется зависимостью уровня алмазоносности от содержания в них граната, принадлежащего к низкокальциевому высокохромистому дунит-гарцбургитовому парагенезису [Соболев, 1973, 1974]. Важным критерием для оценки алмазоносности является также широкая распространенность в связующей массе кимберлитовых брекчий Ti-содержащих пикрохромитов с очень высоким содержанием хрома и низким содержанием Ti. Это свидетельствует

о зарождении формирующих ее кимберлитовых расплавов на очень больших глубинах в области термодинамической стабильности алмаза и косвенно указывают на их высокую потенциальную алмазоносность.

Эндогенные брекчии, как правило, потенциально рудоносны, если с ними сопряжены устойчивые геохимические аномалии и шлихо-минералогические ореолы, отражающие минерагеническую специализацию флюидизированных магм или флюидов, в том числе мантийных. В связи с этим методом предварительной оценки потенциальной рудоносности брекчий, особенно ее специализации, является определение содержаний и соотношений летучих компонентов в исходном флюиде, содержащемся во включениях. Так, для брекчиевых образований с месторождениями медно-молибден-порфирирового семейства за редким исключением отмечается тенденция к корреляции между соотношением фугитивности фтора и хлора и соотношением молибдена и меди в рудах (в объектах с молибденовым геохимическим профилем активность фтора повышенная). Установлено также снижение роли хлора и возрастание роли фтора в процессе дифференциации флюидизированных магм [Сотников, Берзина, 1993], причем эта тенденция прослеживается не только на объектах медно-молибденового, но и олово-порфирирового типов [Лучицкая, Наумов, 1986].

Оценки потенциальной рудоносности магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых структур обеспечиваются уровнем концентрации полезных компонентов во флюидах, т. е. степенью их металлоносности. Высокая концентрация рудных элементов в раствор-флюиде – необходимое условие образования богатых руд на месторождениях, особенно формирующихся при пульсационных взрывных явлениях. Кроме того, оруденение, сформированное растворами с низкой концентрацией полезных компонентов, будет иметь сравнительно небольшой размах, тогда как растворы с высокой концентрацией рудообразующих элементов способны формировать протяженные по вертикали и богатые рудные тела [Пахомова, 2003].

Признаки рудоносности на тот или иной вид полезных ископаемых специфичны для брекчий, в той или иной мере сопряженных с магмами различного состава или предполагаемыми глубинными источниками. В соответствии с этим они весьма многообразны, как многообразны и конкретные методы их выявления, относящиеся по большей части уже к поисковым и разведочным работам и поэтому не рассматриваемые в настоящих рекомендациях. В то же время при всем многообразии перечисленных выше методов основным фактором самой общей оценки потенциальной рудоносности брекчиевых образований является установление их принадлежности к тому или иному виду или разновидности рудоносных брекчий.

Разнообразная и часто исключительно высокая сингенетичная минерализация – это один из важнейших признаков, в различной степени свойственных брекчиевым породам, относящимся как к магматогенно-флюидогенному типу, так и к флюидогенному, что объясняют главным образом следующие признаки их генезиса:

– *высокая подвижность и физико-химической агрессивность* флюидизированных магм и флюидных потоков, генерирующих брекчии, что приводит к обогащению флюида, а затем и брекчий компонентами различного происхождения;

– *преобладание при формировании брекчий декомпрессионного минералообразования*, способствующего экстрагированию, «выпадению» из флюида рудных компонентов;

– *полифазное, полиимпульсное формирование брекчий*, обеспечивающее с каждой последующей эксплозией изменившегося по составу флюида обогащение брекчиевой структуры новыми рудными компонентами или новыми их концентрациями;

– *максимально возможная закрытость системы*, приводящая к образованию брекчий. В такой системе эксплозивные процессы проявляются в полной мере, полифазно, полиимпульсно с эксплозивными явлениями и преобладанием декомпрессионного минералообразования, в том числе рудного. Кроме того, относительно закрытая система предотвращает рассеяние полезных компонентов, тогда как в открытой системе флюид быстро «распыляется, растекается», ограничивая тем самым процессы как брекчие-, так и рудообразования;

– *степень насыщенности флюидом системы, приводящей к образованию брекчий*, в соответствии с чем брекчиевые породы рассматриваемых типов представляют собой ряд от малорудных (при незначительном участии флюида) через рудоносные магматогенно-флюидогенные (количество флюида близкосопоставимо с силикатной составляющей) к высокорудоносным флюидогенным (количество флюида преобладает над магматической составляющей);

– *физико-химические параметры обогащенной флюидом системы*, определяющие как характер эксплозивного процесса, так и вещественный состав главным образом связующей массы брекчий, и в свою очередь тип рудной минерализации брекчий.

Реализация потенциальной рудоносности брекчиевых образований в значительной мере обусловлена наличием благоприятных для рудообразования и рудолокализации факторов, в том числе выявляемых с помощью предложенного выше комплекса методов. С брекчиями можно ожидать значительных концентраций полезных компонентов, в том числе и промышленно значимых. Однако при проведении геологосъемочных работ следует учесть, что ни один из указанных выше методов, использованный отдельно, сам по себе не может быть достаточно эффективным. Лишь комплексное сочетание различных методов может дать достоверные положительные результаты. При этом при ГСР-1000 будет преобладать главным образом лишь прогнозирование выявления рудоносных брекчиевых образований, тогда как при ГСР-200 возможно непосредственное выявление брекчиевых образований, их диагностика и оценка их рудоносности.

Глава 5

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОТОБРАЖЕНИЮ ЭНДОГЕННЫХ БРЕКЧИЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА КАРТАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ

Геологические тела, образованные эндогенными брекчиевыми породами того или иного типа (магматогенными, магматогенно-флюидогенными, флюидогенными, тектоногенными), в силу их различной природы должны по-разному отображаться на геологических картах.

Магматогенные брекчии в качестве самостоятельных петрографических подразделений не выделяются, поскольку они не образуют автономных тел, а представляют собой фациальные разновидности магматических пород. Тектоногенные брекчии в качестве самостоятельных петрографических подразделений, как правило, также не выделяются, за исключением крупных зон тектонического меланжа.

В отличие от брекчий двух названных выше типов брекчиевые образования магматогенно-флюидогенного и особенно флюидогенного типов часто образуют автономные тела. При достаточной обоснованности этой автономности их следует выделять в качестве самостоятельных петрографических подразделений и геологических тел. В связи с различными задачами и масштабами геологических исследований должны быть предусмотрены подразделения различных рангов: базовые — **комплексы** и вспомогательные — **фазы (импульсы)**. Содержание этих подразделений соответствует принятому в Петрографическом кодексе [Петрографический кодекс, 2009] для всего разнообразия эндогенных кристаллических пород.

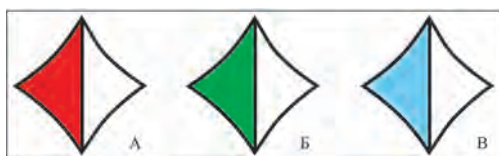


Рис. 60. Примеры использования внемасштабных знаков для отображения магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых образований на листах Госгеолкарт-1000 и -200

А — магматогенно-флюидогенные брекчии, производные флюидизированных магм кислого состава; *Б* — магматогенно-флюидогенные брекчии, производные флюидизированных магм основного состава; *В* — флюидогенные брекчии

Выделяемые в масштабе карты тела брекчиевых образований отображаются штриховкой фиолетового цвета с индексом, соответствующим типу брекчий. В случае, когда магматогенно-флюидогенные образования имеют фациальные или (чаще) фазовые отношения с магматическими образованиями, они могут входить в состав магматических комплексов в качестве фаз или фаций.

Учитывая важность рудоносных магматогенно-флюидогенных и флюидогенных брекчиевых образований для решения геологических и минерогенических задач, предлагается в случае малых размеров тел отображать их на листах Госгеолкарт-1000 и -200 немасштабными знаками (рис. 60).

Одна половина немасштабного знака для отображения магматогенно-флюидогенных брекчий заливается цветом, соответствующим цвету, обозначающему состав магматической породы, а знак флюидогенных брекчий – голубым. Обозначать комплексы флюидоэксплозивных образований предлагается индексом, отражающим флюидогенный характер петрографического подразделения (**mf** – магматогенно-флюидогенный, **f** – флюидогенный), время его образования и географическое название.

Предложения по выделению магматогенно-флюидогенных и флюидогенных эксплозивных подразделений на геологических картах среднего и мелкого масштабов следует внести в инструктивно-методические документы, регламентирующие составление листов Госгеолкарт и серийных легенд, а знаки для их отображения включить в ЭБЗ.

З а к л ю ч е н и е

На основании выявленных в результате анализа петрологических моделей типовых брекчиевых объектов геолого-структурных, геофизических, минералогических, петрографических и других значимых специфических признаков-критериев брекчиевых образований различных генетических типов определены комплекс и последовательность применения рациональных методов как для выявления эндогенных брекчиевых образований при проведении работ по созданию геологических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000, так и для изучения и диагностики выявленных образований, а также оценки их потенциальной рудоносности на различные виды твердых полезных ископаемых.

Предложенный комплекс методов включает в себя анализ следующих материалов: геологическое строение региона, в том числе глубинное; материалы аэрокосмосъемок региона; геофизические материалы; результаты шлихового опробования; первичные и вторичные геохимические ореолы; строение локальных геологических структур; результаты минералого-петрографических исследований; результаты изотопно-геохимических исследований; результаты изучения флюидных включений в минералах.

Эффективное решение поставленных задач не может быть достигнуто с применением одного или двух-трех методов, необходимо максимально полно использовать весь предлагаемый комплекс.

Показана важная роль геологической позиции эндогенных брекчиевых структур, однако особое внимание уделено петрографическим методам исследований как наиболее эффективным для диагностики брекчиевых образований различных генетических типов.

В рекомендациях показано, что потенциальная рудоносность брекчиевых образований в значительной степени зависит от насыщенности брекчиеобразующей системы флюидом, обогащенным полезными компонентами, и от степени закрытости этой системы. В соответствии с этим криптоэксплозивные магматогенно-флюидогенные и особенно флюидогенные брекчиевые образования наиболее перспективны для выявления связанных с ними различных видов твердых полезных ископаемых.

В рекомендациях использованы как опубликованные материалы, так и результаты собственных петрографических исследований ряда объектов. Изложены также предложения по выделению петрографических подразделений эндогенных брекчиевых образований и предложены способы отображения их на геологических картах внемасштабными знаками и индексами.

«Методические рекомендации по выявлению эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов и оценке их потенциальной рудоносности применительно к задачам Госгеолкарт» предназначены для широкого круга геологов и прежде всего для составителей геологических карт.

Л и т е р а т у р а

Абрамов Б. Н. Условия образования и петрогеохимические особенности флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Литосфера. – 2015. – № 1. – С. 86–97.

Алексеев В. И. Протоклаз гранитов как потенциальный признак эксплозивных рудно-магматических систем // Типоморфные минералы и минеральные ассоциации – индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд: материалы Всерос. науч. конф. Годичное собрание РМО. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. – С. 6–9.

Алексеев В. И. Протоклаз литий-фтористых гранитов как следствие их высокобарической кристаллизации // Материалы Федоровской сессии: тезисы докладов. – Апатиты, 2008. – С. 7–9.

Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья / отв. ред. О. В. Петров, Н. В. Межеловский, Л. И. Лукьянова. – М.; СПб.: ГЕОКАРТ: ГЕОС: ВСЕГЕИ, 2011. – 240 с.

Ангаро-Илимские железорудные месторождения трапповой формации южной части Сибирской платформы / Г. И. Антипов, М. А. Иващенко, В. В. Корабельникова, М. К. Косыгин, Г. А. Кузнецов, П. М. Пекарин, Г. В. Росляков, Л. Г. Страхов; ред. Г. Б. Чернышев. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 371 с.

Анникова И. Ю. Геолого-геофизическая модель формирования Калгутинской рудно-магматической системы (Южный Алтай) / И. Ю. Анникова, А. Г. Владимиров, С. А. Выставной, А. Н. Василевский, Л. В. Витте, Е. Н. Мороз // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 38–42.

Ануфриев А. М. Аэрокосмометоды в геологии. – Казань: КГУ, 2007. – 82 с.

Атлас текстур и структур кимберлитовых пород / В. П. Корнилова, К. Н. Никишов, В. В. Ковальский, Г. В. Зольников. – М.: Наука, 1983. – 183 с.

Атлас структур и текстур флюидно-эксплозивных пород [Электронный ресурс] / А. П. Казак, Н. Н. Копылова, В. Ф. Проскурнин, Е. В. Толмачева, К. Э. Якобсон; ред. К. Э. Якобсон. – СПб.: ГГУП СФ «Минерал», 2011. – 1 электрон. опт. диск.

Балейское рудное поле (геология, минералогия, вопросы генезиса) / под ред. Н. П. Лаврова. – М., 1984. – 271 с.

Болонин А. В. Никифоров А. В. Химический состав минералов карбонатитов Карасугского месторождения в Туве // Геология рудных м-ний. – 2004. – Т. 46. – С. 427–443.

Ваганов В. И., Голубев Ю. К., Минорин В. Е. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов: методич. руководство. Выпуск «Алмазы». Изд. 3-е. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 76 с.

Вольнин А. Ф., Гринсон А. С. Прогнозирование коренной алмазоносности на севере европейской территории России по геолого-геофизическим данным // Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века: тезисы докл. науч.-практ. конф. – СПб., 2000. – Кн. 2. – С. 248–289.

Врублевский В. В., Гертнер И. Ф. Природа карбонатитосодержащих комплексов складчатых областей: изотопные свидетельства мантийно-корового взаимодействия // Глубинный магматизм, его источники и связь с плюмовыми процессами: труды V Междунар. семинара. – Иркутск; Петропавловск-Камчатский, 2005. – С. 30–49.

Геофизические методы поисков железорудных месторождений на юге Восточной Сибири / ред. Г. С. Вахромеев. – М.: Недра, 1980. – 186 с.

Главатских С. П. Геохимические критерии и методы поисков алмазоносных кимберлитов (на примере Архангельской кимберлитовой провинции): Автореф. дис. ... канд.

геол.-мин. наук. — М.: Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 1992. — 211 с.

Голубева И. И. Магматогенные флюидизатно-эксплозивные образования Севера Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 138 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-46 — Кызыл. Объясн. записка / ред. Б. А. Блюман. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — 349 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Средневожская. Лист О-39-VI (Камский). Серия Мезенская. Лист Р-39-XXXVI (Сетва). Объясн. записка / ред. В. Р. Вербицкий. — СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2008. — 200 с.

Гравиметрическая карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000 / гл. ред П. П. Степанов, М. А. Янушевич. — М.: ВНИИ Геофизика, 1999.

Гусев Н. И. Магматизм и молибден-порфиоровое оруденение Калгутинского рудного поля (Горный Алтай) / Н. И. Гусев, А. И. Гусев, С. П. Шокальский, С. В. Кашин, В. И. Крупчатников, А. Л. Пономарев // Регион. геология и металлогения. — 2010. — № 43. — С. 83–97.

Дашкевич Г. Э., Морцев Н. К., Боровиков А. А. Эксплозивные брекчии на Калгутинском месторождении (Горный Алтай) // Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных комплексов Юга Сибири. — Новосибирск: Изд-во ОИГГМ СО РАН, 1991. — С. 44–49.

Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. — М.: Мир, 1983. — 300 с.

Егоров К. Н. Минералого-геохимические критерии алмазоносности кимберлитов многофазной трубки Юбилейная (Якутия) / К. Н. Егоров, Д. А. Кошкарёв, М. А. Карпенко, И. В. Маковчук, Р. А. Чернышов // Докл. РАН. — 2008. — Т. 422. — № 3. — С. 377–381.

Ерофеев Л. Я., Орехов А. Н. О возможностях магниторазведки при изучении золотоносных eksploзивных структур // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 7. — С. 35–37.

Жандалинов В. М., Яныгин Ю. Т., Гончаров Е. М. Повышение информативности электроразведки ЗСБЗ при поисках кимберлитовых трубок // Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века: тезисы докл. науч.-практ. конф. — СПб., 2000. — Кн. 4. — С. 61–62.

Жуков В. В. Классификация месторождений алмазов по морфогенетическим признакам кристаллов // Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века: тезисы докл. Всерос. съезда геологов и науч.-практ. геологической конф. — СПб., 2000. — Т. 2. — С. 253–254.

Жуков В. В. Систематика и модели образования месторождений алмазов с различной морфологией кристаллов // Регион. геология и металлогения. — 2001. — № 13/14. — С. 138–149.

Зинчук Н. Н. Особенности использования типовых моделей кимберлитовых трубок при поисках алмазов // Вестник ВГУ. Геология. — 2011. — № 1. — С. 133–144.

Иванкин П. Ф. Морфология глубоко вскрытых магматогенных рудных полей. — М.: Недр, 1970. — 278 с.

Иванкин П. Ф. О закрытых eksploзиях, сопровождающих гипабиссальные интрузии, и их роли при формировании рудных месторождений // Геология и геофизика. — 1965. — № 10. — С. 23–33.

Игнатов П. А. Новые приемы оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов / П. А. Игнатов, Я. И. Штейн, С. Д. Черный, Ю. Т. Яныгин // Руды и металлы. — 2001. — № 5. — С. 32–43.

Инишин П. В. О механизмах дифференциации магмы. — Алма-Ата: Наука, 1972. — 247 с.

Калашник А. А. Результаты поисковых работ по выявлению алмазоносных объектов в северо-восточной части Кировоградского блока Украинского щита / А. А. Калашник,

Е. Ю. Палкина, О. Ф. Макивчук и др. // *Збірник наукових праць УкрДГРІ.* – 2010. – № 3–4. – С. 44–60.

Каминский В. Г. Комплексная геолого-поисковая модель медно-порфирового месторождения Баимской зоны // *Советская геология.* – 1989. – № 11. – С. 46–56.

Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерогения, прогноз) / А. А. Фролов, А. В. Лапин, А. В. Толстов, Н. Н. Зинчук, С. В. Белов, А. А. Бурмистров; науч. ред. Н. Н. Зинчук. – М.: НИИ-Природа, 2005. – 540 с.

Копылов М. И. Физико-геологические модели формирования рудоносных систем Юга Дальнего Востока России: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Иркутск, 2010. – 33 с.

Копылов М. И., Плотницкий Ю. Е., Родионов С. М. и др. Хингано-Олонойский оловорудный район: геолого-геофизические характеристики, рудоносность, проблемы развития сырьевой базы. – Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2004. – 252 с.

Коробейников А. Ф. Комплексные золото-платиноидно-редкометалльные месторождения – резерв XXI века // *Известия ТПУ.* – 2001. – Т. 304. Вып. 1. – С. 169–182.

Коробейников А. Ф. Теоретические основы моделирования месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. 2-е изд. – Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2009. – 183 с.

Коробейников А. Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 253 с.

Короновский Н. В., Демина Л. И., Мышенкова М. С. Флюидолиты – горные породы нового генетического типа Эльбрусского вулканического района // *Докл. РАН.* – 2010. – Т. 434. – № 2. – С. 224–227.

Костровицкий С. И. Минералогия и геохимия кимберлитов Западной Якутии: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Иркутск, 2009. – 43 с.

Костровицкий С. И. Петрохимические типы кимберлитов и их минералогия / С. И. Костровицкий, Д. А. Яковлев, Н. В. Алымова, Л. Ф. Суворова // *Материалы VI Международной школы по наукам о Земле ISES-2010.* (<http://www.ises.su/archive/2010/kostrovitsky04.pdf>)

Кузбный В. С. Магматогенные брекчии Рудного Алтая и некоторые вопросы их генезиса / В. С. Кузбный, П. В. Иншин, П. Г. Ведерников, М. С. Шнайдер // *Геология и металлогения Рудного Алтая.* – Алма-Ата: Наука, 1970. – с. 49–62 (Тр. ИГН им. К. И. Сатпаева АН КазССР. Т. 29).

Кузнецов Г. Е. Региональный прогноз полезных ископаемых на основе геофизического изучения глубинного строения недр: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Казань, 2002. – 47 с.

Курбацкая Ф. А., Рыбальченко Т. М., Савченко С. В. Атлас микрофотографий терригенных и explosивно-инъекционных пород западного склона Северного и Среднего Урала. – Пермь, 2001. – 124 с.

Ланда Э. А. Об explosивной брекчии в Ковдорском железорудном месторождении // *ДАН СССР.* – 1971. – Т. 199. – № 6. – С. 1386–1388.

Летников Ф. А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // *Геология рудных м-ний.* – 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291–307.

Летников Ф. А. Синергетика геологических систем. – Новосибирск: Наука СО, 1992. – 230 с.

Лишевский Э. Н. Молибденовые месторождения в локальных аномалиях гравитационного и магнитного полей // *Геология рудных м-ний.* – 1996. – Т. 38. – № 6. – С. 512–526.

Ловеринг Т. С. Об изменении пород как поисковым признаке на руды в округе Восточный Тинтик. – М.: ИЛ, 1951. – С. 1–65.

Лукиянова Л. И. Субвулканические эксплозивные породы Урала – возможные коренные источники алмазных россыпей / Л. И. Лукиянова, В. В. Жуков, В. А. Кириллов, Г. П. Кузнецов, Н. С. Кузнецов, Э. А. Ланда, В. П. Лобкова, Г. Г. Морозов, В. Р. Остроумов, А. Я. Рыбальченко, И. П. Тетерин, Е. М. Шаденков // Регион. геология и металлогения. – 2000. – № 12. – С. 134–157.

Лукиянова Л. И., Ланда Э. А., Шафрановский Г. И. Алмазоносные породы зоны сочленения Урала и Сибирской платформы // Регион. геология и металлогения. – 2005. – № 26. – С. 103–114.

Лукиянова Л. И., Шарпенко Л. Н. Лампроитовые алмазоносные флюидиты Урала // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XIV геол. съезда Республики Коми. Т. IV. – Сыктывкар: Геопринт, 2004. – С. 50–53.

Лукиянова Л. И., Шарпенко Л. Н., Лобкова Л. П. Признаки эндогенности алмазоносных объектов Урало-Тиманского региона // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: материалы Всерос. совещ. – Сыктывкар, 2001. – С. 14–15.

Луцицкая М. И., Наумов В. Б. Изменение состава и концентрации минералообразующих растворов при формировании Хинганского оловорудного месторождения // ДАН СССР. – 1986. – Т. 288. – № 4. – С. 970–972.

Магматические горные породы. Т. 5: Ультраосновные породы. – М.: Наука, 1988. – 509 с.

Макарьев Л. Б. Рудоносность флюидоэксплозивных брекчий Мурунского магматического узла (Северное Забайкалье) / Л. Б. Макарьев, Ю. Б. Миронов, Е. А. Кухаренко, Л. Н. Шарпенко // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 2. – С. 13–20.

Максимов Е. П. Мезозойские рудоносные магматогенные системы Алдано-Станового щита: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Якутск, 2003. – 44 с.

Максимов С. С. О брекчиевых телах Балейского рудного поля // Геология и разведка месторождений полезных ископаемых Забайкалья: материалы III науч. конф. ЗабНИИ. – Чита, 1968. – С. 34–35.

Манаков А. В., Гарат М. Н. Методика регионального геофизического прогноза в алмазопоисковой геологии // Геологическая служба и минерально-сырьевая база России: тезисы докладов науч.-практ. конф. – СПб., 2000. – Кн. 2. – С. 271–272.

Маракушев А. А. Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // Очерки физико-химической петрологии. – М.: Наука, 1985. – С. 5–53.

Марин Ю. Б. Гранитоидные формации малых и умеренных глубин (выделение, структура, становление, эволюция). – Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. – 144 с.

Махлаев Л. В., Голубева И. И. Флюидизаты и их положение в систематике горных пород // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. – Сыктывкар, 1999. – Т. II. – С. 165–167.

Марченко Л. Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. – Алма-Ата: Интерпресс, 2010. – 146 с.

Мигачев И. Ф., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б. Меднопорфировое месторождение Песчанка // Руды и металлы. – 1995. – № 3. – С. 48–58.

Милашев В. А. Кимберлиты и глубинная геология. – Л.: Недра, 1990. – 166 с.

Наумов В. Б., Коваленко В. И., Дорофеев В. А. Магматические летучие и их участие в формировании рудообразующих флюидов // Геохимия рудных м-ний. – 1997. – Т. 39. – № 6. – С. 520–529.

Никифоров А. В. Геохимия изотопов (O, C, S, Sr) и Rb-Sr-возраст карбонатитов Центральной Тувы / А. В. Никифоров, А. В. Болонин, Б. Г. Покровский, А. М. Сугоракова, А. В. Чугаев, Д. А. Лыхин // Геология рудных м-ний. – 2006. – Т. 48. – № 4. – С. 296–319.

Никифоров А. В. Карбонатиты Центральной Тувы: геологическое строение, минеральный и химический состав / А. В. Никифоров, А. В. Болонин, А. М. Сугоракова, В. А. Попов, Д. А. Лыхин // Геология рудных м-ний. – 2005. – Т. 47. – № 4. – С. 360–382.

Нурбаев З. М. Брекчиевые трубчатые и дайковые тела Коксайского рудного поля / З. М. Нурбаев, Л. И. Полетаев, В. И. Сычев, Б. Е. Варнавских // Рудоносные брекчии и их поисковое значение. — Алма-Ата: Наука, 1977. — С. 136–153.

Остапенко Н. С. Основные факторы и механизмы эндогенной концентрации золота на примере месторождений Приамурья: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. — Благовещенск, 2007. — 46 с.

Остапенко Н. С., Нерода О. Н. Флюидное давление и гидроразрыв пород при гидротермальном рудообразовании (на примере золоторудных месторождений) // Тихоокеанская геология. — 2007. — Т. 26. — № 3. — С. 89–105.

Пахомова В. А. Флюидные включения как источник генетической информации о процессах рудообразования: На примере месторождений Дальнего Востока: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Владивосток, 2003. — 22 с.

Петров О. В. Раннемезозойские карбонатиты Восточного Таймыра / О. В. Петров, В. Ф. Проскурнин, А. В. Гавриш и др. // Регион. геология и металлогения. — 2010. — № 44. — С. 5–22.

Петров О. В. Выявление и изучение флюидоэксплозивных образований как инновационное направление оценки рудоносности территорий на различные виды твердых полезных ископаемых / О. В. Петров, В. В. Шатов, Л. Н. Шарпенко, Л. И. Лукьянова, Ю. Б. Миронов, Е. А. Кухаренко, А. Е. Костин // Современные проблемы связи геодинамики, магматизма и оруденения: материалы науч. конф. — Ташкент: Изд-во Фан АН РУз, 2012. — С. 85–88.

Петрова А. А., Мавричев В. Г. Геомагнитный метод прогноза коренных месторождений алмазов на примере Красновишерского района // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50): материалы науч.-практ. конф. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. — С. 261–263.

Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание третье, испр. и доп. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 200 с.

Позднемезозойские и кайнозойские эпохи магматизма и оруденения Дальнего Востока: критерии прогноза объемного медно-порфинового и серебряного оруденения на основе изотопно-геохимических исследований / В. Г. Сахно (рук.), В. И. Гвоздев, П. П. Сафронов, Ф. И. Ростовский, Л. С. Цурикова // Проблемы минерации России. — М.: Изд. ГЦ РАН, 2012. — С. 301–324.

Покалов В. Т. Геологические основы поисков и оценки эндогенных месторождений молибдена. — М., 1983. — 272 с.

Полетаев А. И., Варнавских Б. Е., Сычев В. И. Месторождение Коксай // Металлогения Казахстана: Рудные формации. Месторождения руд меди. — Алма-Ата: Изд-во «Наука» КазССР, 1978. — С. 103–113.

Полозов А. Г. Геохимия и минералогия сульфат-галитовой минерализации в железорудных месторождениях Ангарской провинции: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Иркутск: Ин-т геохимии СО РАН, 1994. — 24 с.

Портнов А. М. Кимберлиты — мантийные флюидизиты // Природа. — 2012. — № 12. — С. 42–48.

Поспелов Г. Л. Проблемы эндогенной динамической флюидитологии // Геология и геофизика. — 1969. — № 11. — С. 9–20; № 12. — С. 3–18.

Поцелуев А. А., Бабкин Д. И., Котегов В. И. Калгутинское комплексное месторождение (Горный Алтай): минералого-геохимическая характеристика, флюидный режим рудообразования // Геология рудных м-ний. — 2006. — Т. 48. — № 5. — С. 439–459.

Калгутинское редкометалльное месторождение (Горный Алтай): магматизм и рудогенез / А. А. Поцелуев, Л. П. Рихванов, А. Г. Владимиров и др. — Томск: STT, 2008. — 226 с.

Прокопьев И. Р., Борисенко А. С., Боровиков А. А. Химический состав рудообразующих флюидов Fe-F-REE карбонатитовых месторождений Центральной Тувы (Россия) // Тезисы Междунар. конф. «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма». — Минск, 2011. — С. 80–84.

Проскурнин В. Ф. Раннемезозойский пояс карбонатитов полуострова Таймыр / В. Ф. Проскурнин, О. В. Петров, А. В. Гавриш, П. Г. Падерин, И. Н. Мозолева, Б. С. Петрушков, А. А. Багаева // Литосфера. — 2010. — № 3. — С. 95–102.

Проскурнин В. Ф. Инъекционные ксенобрекчии карбонатных и ангидритовых пород в карбонатитах Павловского массива Восточного Таймыра / В. Ф. Проскурнин, В. А. Салтанов, О. В. Петров, В. И. Силаев, Д. Н. Ремизов, А. В. Гавриш // Зап. РМО. — 2016. — Ч. CXLV. — № 6. — С. 1–19.

Пузанов Л. С. О генетическом типе флюорит-барит-железородного оруденения Тувинской АССР // ДАН СССР. — 1975. — Т. 225. — № 3. — С. 669–672.

Пухнаревич М. М. Генезис рудообразующих флюидов Коршунковского железородного месторождения / М. М. Пухнаревич, В. Б. Наумов, Л. А. Банникова, А. Л. Девириц, В. Б. Шариф-Заде // Геология рудных м-ний. — 1985. — № 6. — С. 51–59.

Рафаилович М. С. Геология золота Центральной Азии: эволюция оруденения, метасоматические формации, эксплозивные брекчии. — Алма-Ата, 2013. — 423 с.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2-х томах. — М.: Мир, 1987. — Т. 1, 360 с.; Т. 2, 632 с.

Родионов С. М. Металлогения олова Востока России. — М.: Наука, 2005. — 327 с.

Ротман А. Я., Герасимчук О. В. Кимберлиты в системе моделирования и прогнозирования коренной алмазности Якутии // Збірник наукових праць УкрДГРІ. 2013. — № 1. — С. 86–102.

Рудные узлы России / под ред. Е. В. Плющева. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. — 416 с.

Сараев А. К. Возможности аудиомагнитотеллурических зондирований при решении структурных и поисковых задач в алмазоносных районах / А. К. Сараев, К. М. Анташук, А. Б. Никифоров, О. М. Прокофьев, Е. Н. Романова, Р. В. Денисов // Вопросы геофизики (Ученые записки Санкт-Петербургского государственного университета. Серия физических и геологических наук). — 2011. — Т. 443. — № 43. — С. 126–158.

Серокуров Ю. Н. Структурно-энергетические признаки локализации кимберлитового магматизма на древних платформах // Руды и металлы. — 2011. — № 6. — С. 28–35.

Смолин П. П. К петрохимической типизации интрузивных пирокластитов (с характеристикой эруптивных брекчии Алдана) // Жизнь Земли (сборник Музея землеведения МГУ, № 6). — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — С. 34–65.

Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазности кимберлитов // Геология и геофизика. — 1973. — № 3. — С. 61–72.

Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974. — 264 с.

Соловьев С. Г. Железооксидно-золото-медные и родственные месторождения. — М.: Научный мир, 2011. — 289 с.

Сотников В. И., Берзина А. Н. Режим хлора и фтора в медно-молибденовых рудно-магматических системах. — Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. — 133 с.

Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. — Новосибирск: ГЕО, 2006. — 291 с.

Стогний В. В., Коротков Ю. В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. — Новосибирск: Изд-во «Малотиражная типография 2D», 2010. — 121 с.

Страгис Ю. М. Эндогенный ореол эксплозивных брекчиевых рудных тел Сорского месторождения и его использование для оценки глубоких горизонтов // Ежегодник: отчет

о работе Ин-та геохимии Сиб. отд-ния АН СССР за 1974 год. – Новосибирск: Наука СО, 1976. – С. 248–251.

Тимофеевский Д. А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона // М.: Недра, 1972. – 260 с. (Труды ЦНИГРИ. Вып. 98).

Туговик Г. И. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. – М.: Наука, 1984. – 192 с.

Туговик Г. И. Эксплозии и рудный процесс. – М.: Недра, 1974. – 208 с.

Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений / М. М. Константинов, В. В. Аристов, М. Е. Вакин и др. – М.: ЦНИГРИ, 1998. – 155 с.

Флюидно-эксплозивные образования в осадочных комплексах / А. П. Казак, Н. Н. Копылова, Е. В. Толмачева, К. Э. Якобсон. – СПб.: ООО «Элексис Принт», 2008. – 38 с.

Фогельман Н. А. Эксплозивно-инъекционные золотоносные брекчии Илинского месторождения в Забайкалье // Бюлл. МОИП. Отд. геологии. – 1964. – Т. XXXIX (2). – С. 90–100.

Фогельман Н. А. Рудоносные эксплозивные брекчии криптовулканических аппаратов // ДАН СССР. – 1969. – Т. 188. – № 6. – С. 1357–1359.

Фогельман Н. А. Тектоника мезозойского сводового поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1968. – Вып. 84. – 196 с.

Фон-дер-Флаасс Г. С. Структурная и генетическая модель рудного поля ангароилимского типа (Сибирская платформа) // Геология рудных м-ний. – 1997. – № 6. – С. 461–473.

Фон-дер-Флаасс Г. С. Структура и генезис железорудных месторождений Ангарской провинции // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. – Пермь: Перм. ГУ, 2000. – С. 83–86.

Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998. – 555 с.

Хомичев В. Л., Ломаев В. Г. Сорское медно-молибденовое месторождение. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2013. – 264 с.

Чайковский И. И. Петрология и минералогия эксплозивно-грязевого вулканизма Волго-Уральской алмазонасной субпровинции: Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Сыктывкар, 2004. – С. 48.

Шарпенюк Л. Н. Флюидиты как новый тип эндогенных горных пород / Л. Н. Шарпенюк, И. И. Голубева, Л. И. Лукьянова, Л. В. Махлаев // Происхождение магматических пород: материалы Междунар. (X Всерос.) петрограф. совещ. – Апатиты, 2005. – Т. 2. – С. 281–283.

Шарпенюк Л. Н., Лукьянова Л. И. К систематике и классификации флюидно-эксплозивных горных пород // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2003. – С. 744–746.

Шарпенюк Л. Н., Кухаренко Е. А., Костин А. Е. Флюидогенные брекчиевые образования и их рудоносность // Петрография магматических и метаморфических горных пород: материалы XII Всерос. петрограф. совещ. с участием зарубежных ученых. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. – С. 572–574.

Шарыгин И. С. Акцессорные минералы ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): происхождение и петрогенетическое значение: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск, 2014. – 248 с.

Щеглов А. Д. О металлогении Южно-Африканской Республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранд и проблеме открытия их аналогов в России. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1994. – 44 с.

Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д., Колесник Н. Н. Глубинное строение и геодинамика районов проявления кимберлитового магматизма на Сибирской платформе // Регион. геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 209–228.

Этапы кимберлитового магматизма Сибирской платформы и их продуктивность: закономерности формирования и особенности прогнозирования коренных месторождений алмазов различных генетических типов, новые перспективные регионы / коллектив авторов; ред. Н. П. Похиленко // Проблемы минерагении России. – М.: Изд. ГЦ РАН, 2012. – С. 265–285.

Ядута В. А. Региональные и локальные признаки структурного контроля эксплозивного магматизма на северо-западе Русской плиты по материалам дистанционного зондирования // Минерал. – 2012. – № 1 (6). – С. 20–26.

Clifford T. N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces in Africa // Earth Planet. Sci. Lett. 1966. – P. 421–434.

Laznicka P. Breccias and Coarse Fragmentites: Petrology, Environments, Associations, Ores // Developments in Economic Geology. – Elsevier, New York, 1988. – Vol. 25. – 832 p.

Reynolds L. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit / T.M. Porter // Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. – Adelaide: PGC Publishing, 2000. – Vol. 1. – P. 93–104.

Reynolds D. L. Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites // Am. J. Sci. – 1954. – Vol. 252. – P. 577–613.

Sillitoe R. H. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs // Economic Geology. – 1985. – Vol. 80. – № 6. – P. 1467–1514.

Wright A. E., Bowes D. R. Classification of volcanic breccias: a discussion // Geol. Soc. of America Bull. – 1963. – Vol. 74. – P. 79–86.



ЭНДОГЕННЫЕ РУДОНОСНЫЕ БРЕКЧИЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ

**Методические рекомендации по выявлению
эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов
и оценке их потенциальной рудоносности
применительно к задачам Госгеолкарт**

Редактор и корректор *В.И. Гинцбург*
Технический редактор и компьютерная верстка *С. В. Щербакова*

Подписано в печать 04.06.2018. Формат 70 × 100/16.
Гарнитура NewtonС. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 8,2. Печ. л. 6,5
Тираж 300 экз. Заказ 80000542

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
Тел. 328-91-96 (доб. 23-23, 24-24)
E-mail: izdatel@vsegei.ru

Картографическая фабрика ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72. Тел. 328-91-90, факс 321-81-53