

Флюидолиты Полярного Урала

Владимир Александрович ДУШИН^{1*}

Сергей Геннадьевич СУСТАВОВ^{1**}

Денис Игоревич ПРОКОПЧУК^{1***}

Вениамин Сергеевич КОЗЬМИН^{1****}

Елена Николаевна ВОЛЧЕК^{2*****}

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

²Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы – выяснение роли наиболее молодых гипогенно-гипергенных процессов в рудоносности мезозойско-кайнозойского мегакомплекса Полярного Урала.

Цель работы – исследование геологии, минерального состава и рудоносности флюидолитов как своеобразных нетрадиционных эндогенных образований, связанных с функционированием флюидно-газовых и флюидно-магматических потоков в пределах активизированных тектонических структур Уральского Севера.

Методология и методы исследования – обобщение, анализ и синтез материалов многолетнего изучения геологии и минерагении Полярного Урала, включая проведение ГДП-200/2 листов R-40-XXXI, XXXII, Q-42-I, II, VII, VIII и Программы «Приоритет 2030». Изучение морфологии, внутреннего строения, химического состава флюидолита осуществлено в ЦА ФГБОУ ВО УГГУ (г. Екатеринбург). Морфологическое изучение было проведено с помощью оптического микроскопа МБС 10 в отраженном свете и сканирующего электронного микроскопа VEGA LMS фирмы TESCAN; состав минералов определялся с использованием энергодисперсионной приставки Xplore 30 Oxford Instruments, программы “Aztec” $U = 20$ кВ, $I = 3$ нА. Рентгенографические исследования выполнены с помощью дифрактометра POWPIX 600.

Результаты. Флюидолиты как продукты флюидно-газовых и флюидно-магматических процессов приурочены к оперяющим швам северо-западной системы разломов. В районе р. Малая Хуута они имеют сложный полиминеральный состав, в котором преобладают водные сульфаты железа и магния – магнезиокопиапит, эпсомитом и продукты их дегидратации – фиброферрит, славикит. В других структурах флюидолиты представлены в виде карбонатно-кремнистых, кварц-карбонатно-гидрослюдистых брекчиевых составов, в том числе псевдоконгломератов, контролирующих благороднометалльное, редкометалльное и урановое оруденение. Установленное сопряжение эндогенных и коровых (экзогенных) процессов в одиночных или сближенных структурах формирует своеобразную гипогенно-гипергенную зональность.

Выводы. Получены новые данные по минералогическому составу и рудоносности флюидолитов как продуктов гипогенных флюидно-газовых процессов квартера, близких к фумарольным явлениям, в пределах Полярного Урала.

Ключевые слова: Полярный Урал, флюидолиты, активизированные структуры, минерагения, кора выветривания, славикит, мезозойско-кайнозойский.

Введение

Интересной и важной проблемой геологии Уральского Севера, да, по-видимому, и всего Урала является понимание роли наиболее молодых мезозойско-кайнозойских экзогенных и эндогенных процессов и их значения в рудогенезе и формировании геологического облика территории. Как известно, возникший сравнительно недавно термин эндогенно-экзогенный (эндогенно-гипергенный) тип оруденения [1] предполагает и содержит весьма определенный смысл относительного сопряжения во времени и пространстве проявлений химических кор выветрива-

ния и глубинных рудно-метасоматических процессов, ведущих к формированию комплексных рудных объектов на определенных стадиях развития подвижных поясов и стабильных областей.

Если вопросы мезозойско-кайнозойского корообразования более-менее разработаны и отражены в значительном количестве публикаций [2–4], то второе важнейшее эндогенное направление все еще недостаточно освещено в литературе. Это всем хорошо известные сведения, касающиеся вопросов тектономагматической активиза-

✉ Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru; snige@m.ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9657-6324>

**Sustavov.s@ursmu.ru

***uva9090@mail.ru

****Veniamin.Kozmin@m.ursmu.ru

*****volchek@igg.uran.ru

ции (ТМА) постколлизийного мезозойско-раннекайнозойского и верхнекайнозойского повторноколлизийного платформенных этапов [5]. При этом если информация по первому весьма обширна, то наиболее молодой четвертичный период эндогенной активности практически не освещен в литературе [6, 7]. Представления геологов относительно вклада мезозойско-кайнозойского тектонического и рудогенеза в современную структуру и металлогению Урала весьма расходятся. Большинство из них, как и авторы, положительно его оценивают, а широко распространенное мнение о серьезном ослаблении и даже прекращении эндогенной активности в платформенный, постколлизийный этап развития Урала опровергается результатами геологоразведочных работ последних десятилетий. С мезозойско-кайнозойской рифтогенной активизацией связано формирование золотого, полиметаллического, редкометалльного, редкоземельного, уранового оруденения разных масштабов, а также флюорита, алмазов и многих других полезных ископаемых, которые, как правило, являются комплексными и чаще полихронными [7, 8].

На Уральском Севере экзогенный рудогенез, вызванный коровыми процессами, активно начал изучаться в связи с находками сотрудниками ЗапСибНИГНИ Л. Я. Островским, Л. Ф. Шадриним и В. Г. Криночкиным обломочных рудных фосфоритов по руч. Развильному (Софроновское месторождение). Первое упоминание о корях выветривания находим в отчете А. Д. Миклухо-Маклая (1955) при характеристике карбонатных пород харотской свиты [9], а затем в отчете по ГСР-50 В. И. Краснокутского подобные образования были выделены им в районе оз. Естото, где характеризовались повышенными содержаниями фосфора, алюминия, никеля, марганца. В этот же период в среднем течении р. Нярма-Яха при проведении групповых геолого-съемочных работ тюменскими геологами (Ю. Ю. Эрвье) совместно с сотрудниками Шабровской экспедиции было выявлено первое рудопроявление гипогенно-гипергенных урансодержащих брекчиевых фосфоритов. Все перечисленные находки, естественно, послужили отправной точкой к пристальному изучению молодых мезозойско-кайнозойских процессов, пород и структур их проявления, особенно в связи с ярко выраженной потенциальной рудоносностью последних.

Становление ограниченно развитого мезозойско-кайнозойского мегакомплекса Уральского Севера, наследующего формации и структуры позднепалеозойско-раннемезозойского коллизийного этапа, протекало в платформенной обстановке. Мезозойско-кайнозойские отложения развиты, главным образом, в отрицательных депрессионных структурах, таких как Софроновская, Верхнепайпудинская, Лаборовская, Прибайдарцкая, а четвертичные континентальные осадки, в том числе современных водотоков, практически полностью, за исключением скальных выходов, перекрывают всю территорию Урала.

Методика исследования

Представленная работа посвящена краткому описанию геологии флюидолитов, обнаруженных в наиболее молодых тектонических структурах Полярного Урала. Приведена характеристика коренного выхода своеобразных слаболитифицированных рыхлых пород (флюидоли-

тов), вероятных индикаторов наиболее «молодых» современных (кайнозойских) эндогенных процессов. Показана возможная связь с ними широко спектра полезных ископаемых. Работы выполнялись в рамках геологического доизучения масштаба 1 : 200 000 (ГДП-200/2) листов R-42-XXXI, XXXII; Q-42-I, II, VII, VIII и программы «Приоритет 2030» ФГБОУ ВО УГГУ на 2021–2030 гг. Исследования включали широкий круг задач – от изучения петрографии, петрохимии пород до выяснения их геохимического, минералогического составов, а также геологического строения, тектонических и геоморфологических особенностей и минерации территории.

Изучение морфологии, внутреннего строения, химического состава флюидолитов, проявленных на поверхности натечных новообразований в виде сульфатных корок, проводилось в лабораториях ФГБОУ ВО УГГУ (г. Екатеринбург). Морфологическое изучение было проведено с помощью оптического микроскопа МБС 10 в отраженном свете и сканирующего электронного микроскопа VEGA LMS фирмы TESCAN (параметры съемки $U = 20$ кВ, $I = 300$ pA, $WD = 15$ мм); состав минералов определялся с использованием энергодисперсионной приставки Xplore 30 фирмы Oxford Instruments, программа "Aztec" $U = 20$ кВ, $I = 300$ pA, (аналитик И. А. Власов, ФГБОУ ВО УГГУ). Рентгенографические исследования выполнены с помощью дифрактометра POWPIX 600. Параметры съемки: Cu – анод, $U = 30$ кВ, $I = 10$ mA, фильтр – Ni 20 μ m (аналитик Г. М. Воротинова), научно-исследовательская и испытательная лаборатория вещественного состава пород и руд (НИИЛ ВСПиР) ФГБОУ ВО УГГУ.

Объект исследования

Полярный Урал, северное окончание Уральского подвижного пояса, представляет собой горноскладчатую страну, большую часть территории которой занимает Центрально-Уральское поднятие. Горные цепи последнего на западе круто сменяются увалами Западно-Уральской зоны складчатости, переходящими в равнину Восточно-Европейской (Русской) платформы. На северо-западе они сочленяются с грядями Пай-Хоя, а восточный склон Полярного Урала полого опускается к низменности Западно-Сибирской плиты.

Рассматриваемая территория расположена в пределах арктической части Уральской аккреционно-складчатой системы, включающей Полярно-Уральскую, Харбейско-Марункеускую и Карскую структурно-формационные зоны (СФЗ) байкалид (доуралид), осложненных автохтонными отложениями Бельско-Елецкой и аллохтонными Сакмаро-Лемвинской и Щучинско-Войкарской СФЗ палеозоя (уралид), которые перекрыты чехлом мезозойских и кайнозойских осадков Уральской и Зауральской СФЗ. Доуралиды картируются в ядрах антиклинорных блоков-террейнов Манитаньрдском, Оченьрдском, Харбейском и дискордантны к палеозойским отложениям. Уралиды, сложенные терригенными комплексами Бельско-Елецкой СФЗ, нарушены чешуйчато-надвиговыми дислокациями Карско-Нярминского паравтохтона, Байдарцкого и Орангского аллохтонов, относимых к Сакмаро-Лемвинской СФЗ. Все структурно-формационные зоны отделены глубинными разломами различной кинематики, достаточно четко отражаются как в физических

полях, так и фиксируются аэрокосмометодами и прямым геологическим картированием (рис. 1).

В геологическом строении этой территории участвуют структурно-вещественные мегакомплексы 4 структур-

ных этажей: дорифейского, рифейско-нижнекембрийского, кембрийско-верхнепалеозойского и мезозойско-кайнозойского, отвечающих соответственно карельской, байкальской (кадомской), каледоно-варисской и альпийской

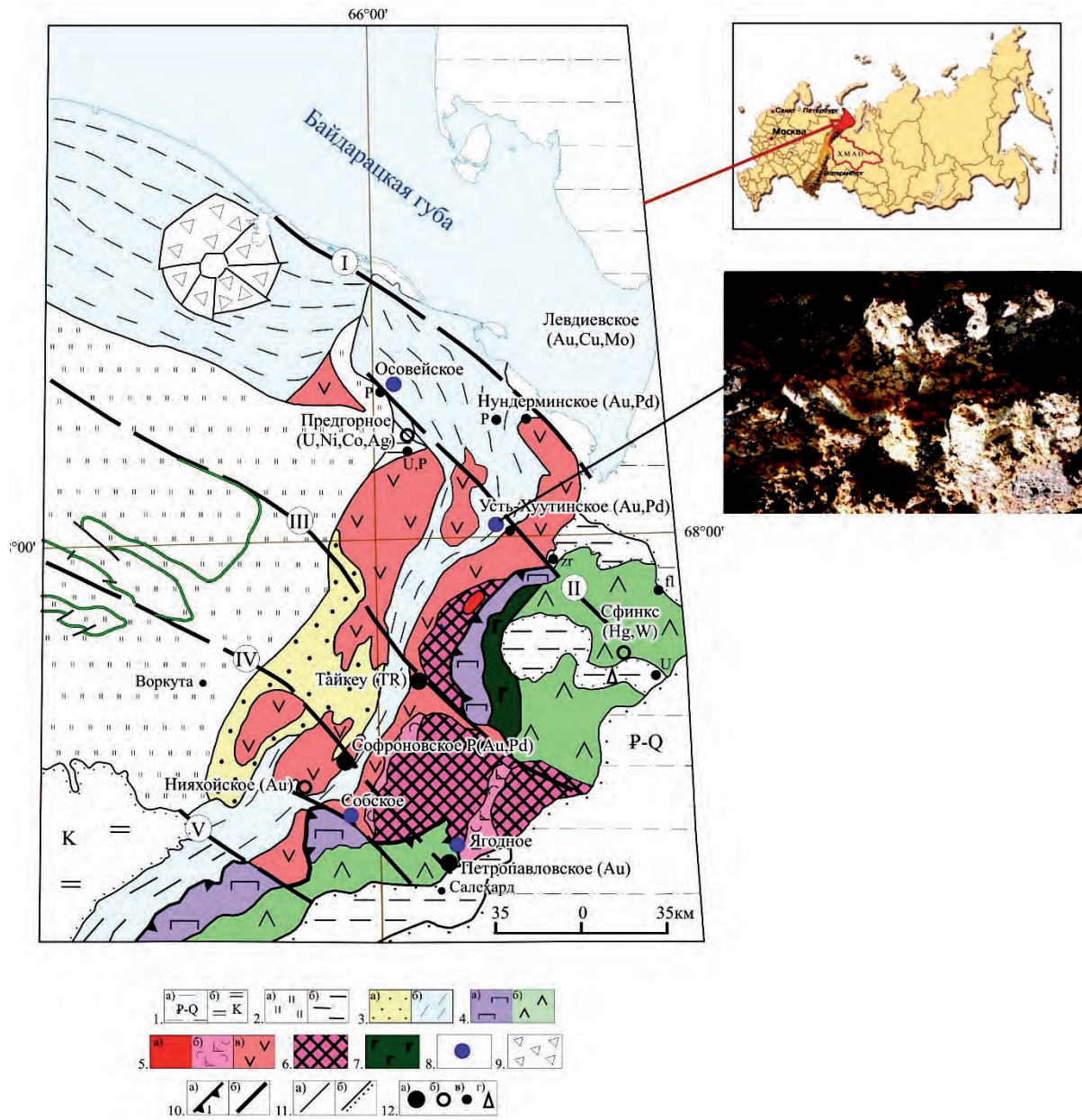


Рисунок 1. Структурно-формационная схема Уральского Севера с элементами металлогении: 1 – палеоген-четвертичные плитные комплексы Западно-Сибирской (а) и меловые Восточно-Европейской (б) платформ; 2 – мезозойские осадочные формации: а – Предуральского прогиба (Р–К); б – Западно-Сибирской плиты (Т–К); 3 – палеозойские (С₃–С) осадочные формации: а – Елецкой; б – Лемвинской структурно-формационных зон (СФЗ); 4 – палеозойские (О–С) океанические (а) и островодужные (б) магматические формации Щучинско-Войкарской СФЗ; 5 – рифейско-раннекембрийские формации палеоконтинентального сектора: гранитовая (а), metabasalt-doleritовая (б), вулканогенно-терригенные (в); 6 – архейско-раннепротерозойские отложения; внутриплитный магматизм: 7 – малькский метагаббровый комплекс; 8 – проявления флюидолитов; 9 – аллогенные брекчии Карской астроблемы; 10 – тектонические нарушения: Главный Уральский надвиг (а); поперечные дизъюнктивы (б); 1 – Приморский, II – Себета-Хуутинский, III – Лонготский, IV – Собско-Салехардский, V – Паерский; 11 – геологические границы: а – согласные; б – несогласные; 12 – рудные объекты: а – месторождения, б – проявления минерализации, в – проявления минерализации, з – газопроявления

Figure 1. Structural-formational scheme of the Ural North with elements of metallogeny: 1 – Paleogene-Quaternary plate complexes of the West Siberian (a) and Cretaceous East European (b) platforms; 2 – Mesozoic sedimentary formations: a – Cis-Ural trough (P–K); b – West Siberian plate (P–K); 3 – Paleozoic (C₃–C) sedimentary formations: a – Yelets; b – Lemva structural-formational zones (SFZ); 4 – Paleozoic (O–C) oceanic (a) and island-arc (b) igneous formations of the Shchuchinsko-Voikarskaya SFZ; 5 – Riphean-Early Cambrian formations of the paleocontinental sector: granite (a), metabasalt-dolerite (b), volcanogenic-terrigeneous (v); 6 – Archean-Early Proterozoic deposits; intraplate magmatism: 7 – Malyk metagabbro complex; 8 – fluidolite manifestations; 9 – allochthonous breccias of the Kara astrobelt; 10 – tectonic faults: Main Ural thrust (a); transverse disjunctives (b); I – Primorsky, II – Sebета-Khuutinsky, III – Longotsky, IV – Sob-Salekhardsky, V – Paersky; 11 – geological boundaries: a – conformable; b – unconformable; 12 – ore objects: a – deposits, b – ore manifestations, v – manifestations of mineralization, z – gas manifestations

эпохам складчатости. Они имеют различные структурные планы, часто с элементами унаследованности, разделены угловыми и азимутальными несогласиями с нередко крупными перерывами в осадконакоплении.

Карельская эпоха, связанная с проявлением проплатформенного режима, обусловила формирование мафитовых, мафит-ультрамафитовых, мигматит-гранитовых и метатерригенных ассоциаций, превращенных в амфиболит-гнейсовый мегакомплекс, слагающий фундамент региона и картируемый в Харбейском и Марункуском блоках-террейнах. Рифейско-раннекембрийский мегакомплекс сложен метаморфизованными в условиях эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма магматическими и осадочными породами, сформированными в океанически-островодужно-коллизийном режиме, для которых характерно сложное сочетание палеовулканических и дисплекатных структурных элементов в строении толщ. Палеозойский этаж образован в различной степени метаморфизованными (зеленосланцевая фация) осадочными, вулканогенно-осадочными, океанически-островодужно-коллизийными, шельфовыми и склоновыми вещественными комплексами, осложненными разломной тектоникой. Мезозойско-кайнозойский мегакомплекс представлен слаболифитизированными и рыхлыми осадочными формациями морского и континентального генезиса, интродуцированными в мезозое сосредоточенным магматизмом рифтовой природы [10, 11].

В связи с обсуждением проблемы проявления наиболее молодых мезозойско-кайнозойских эндогенных и отчасти экзогенных процессов на Полярном Урале представляется необходимым раскрыть некоторые особенности тектонического развития территории. Так, в условиях сохранения общей унаследованной, отчасти субширотной тектонической напряженности, в регионе отмечается предпочтительная субмеридиональная и северо-западная ориентировка разломов сбросового типа, формирующих горстовые и грабеновые структуры.

Установленные в пределах сопрягающихся блоков Урала поперечные структуры выражены по-разному, но практически везде их ограничения обусловлены проявлением тектонических нарушений глубинного характера, сопровождаемых сменой формаций и складчатых структур докембрия и палеозоя. В связи с этим современный тектонический облик Урала во многом определялся развитием мезозойской блоковой тектоники, наложенной на палеозойские и более древние геологические образования. Тектоническая активизация региона явилась следствием ранне-среднемезозойских процессов, протекавших в пределах Западно-Сибирской плиты, имевших, по-видимому, плюмовую природу (Сибирский суперплюм) и реализованных в интенсивной перестройке земной коры в области сочленения Урала и Западно-Сибирской платформы.

Наиболее крупными поперечными разломами, фиксируемыми на рассматриваемой территории, являются системы Приморских, Себета-Хуутинских, Лонготских, Собско-Салехардских дизъюнктивов северо-западного ($310\text{--}320^\circ$) простирания (рис. 1). Данные структуры отчетливо выражены гидросетью, прекрасно дешифрируются и отражаются локальными аномалиями магнит-

ного и гравитационного полей. Это, как правило, значительные по мощности (от первых до сотен метров и даже километров) зоны дробления, брекчирования и расланцевания с зеркалами скольжения и обилием кварц-карбонатных, кварц-сульфидных и монокварцевых жил (мощностью до 2 м). Для них характерны сбросо-сдвиговые и сбросовые деформации и отмечается связь с последующими неотектоническими дислокациями [12]. Примером последних могут быть микрограбеновые системы оз. Большое Щучье и Малое Щучье, перепад глубин которых колеблется от 700 до 900 м (глубина оз. Большое Щучье 136 м). Большинство из поперечных структур трассируются разновозрастным (пермь–мел) щелочно-кислым (торасовейский, лонготский, поньинский комплексы), толеитовым (мусюрский комплекс) и щелочно-базит-ультрабазитовым (яляяхинский, марунский, немзияхинский, осовейский комплексы) внутриплитным магматизмом [12, 13]. Это, как правило, малые тела изометричной (штоки), либо линейно вытянутой (дайки) формы размером от первых метров до десятков метров в поперечнике и прослеженных иногда на расстояние до километра. Исследованиями последних лет установлена приуроченность части эндогенного оруденения к перечисленным поперечным структурам, импрегнированным разновозрастным мезозойским магматизмом, и более молодым неоген-четвертичными флюидопроявлениями, близким к классическим травертинам [14], флюидно-эксплозивным брекчиям и псевдоконгломератам. Как правило, их проявления сопровождаются коровыми процессами линейного типа. Не останавливаясь на описании флюидопроявлений Собское, Развильненское, Немурское, Нестеровское, руч. Обрывистого-Придорожного, описанных в литературе [7, 14], остановимся на характеристике флюидно-эксплозивных новообразований (флюидолитов), выявленных нами в приустьевой части р. Малая Хуута (рис. 1). Это заполняющие пустоты и трещины натечные, достаточно рыхлые с поверхности, новообразования светло-серого и желтовато-серого цветов. Они локализованы в трехметровой зоне повышенной трещиноватости и расланцевания среди отложений орангской (E_3-O) свиты и принадлежит к одной из опережающих структур (аз. пад. $40^\circ\text{--}60^\circ \angle 78^\circ\text{--}80^\circ$) Себета-Хуутинской системы северо-западных нарушений. Данные натечные образования ввиду их растворимости в воде сохраняются только на «отрицательных» скальных выходах и в небольших пустотах, трещинах и т. п. Из вмещающих пород следует отметить интенсивно дислоцированные аповулканогенные сланцы, алевросланцы, в том числе углеродсодержащие, а также наличие маломощных (0,3) тальцитов по пикритам, либо ультрабазитам. В этой же зоне картируются кварц-карбонатные и кварцсодержащие линзы и прожилки (аз. пад. $60^\circ\text{--}40^\circ \angle 80^\circ$).

Рассматриваемые сульфатные отложения сложены кавернозным обломочным материалом желтого и белого цвета, мощностью до 1,5 см. Исследование материала под микроскопом в отраженном свете привело к выявлению следующего состава минералов.

Преобладающий минерал представлен натечным мелкоглобулярным, на отдельных участках скорлуповатым агрегатом желтой окраски. Отдельные глобулы достигают

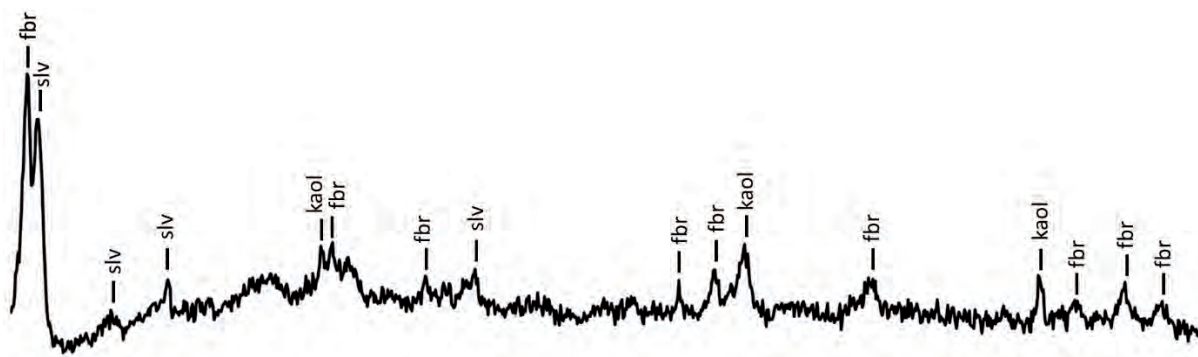


Рисунок 2. Дифрактограмма игольчатого сульфата. Дифракционные отражения фиброферрита – fbr, славикита – slv, каолинита – kaol

Figure 2. Diffraction pattern of acicular sulfate. Diffraction reflections of fibroferrite – fbr, slavikite – slv, kaolinite – kaol

1,0–1,5 мм. В агрегате глобулы собраны в слои, из которых в дальнейшем формируются более крупные скорлуповатые и сплошные образования, постепенно слагающие весь их объем. Образовавшийся агрегат обладает обилием пустот различного размера и формы.

Часть глобул обрастает более поздними белыми сульфатами, нередко совмещенными с обломочным материалом. Некоторые полости частично заполнены вторичными сульфатами, возникшими позже. На поверхности отдельных полостей видны остаточные трещины дегидратации. В них присутствуют участки, состоящие из нескольких субпараллельных трещин разрыва, которые впоследствии были залечены.

Изучение минерального состава сульфатных отложений с помощью рентгенофазового анализа показало присутствие в дифракционном спектре следующих основных отражений: 9,33(85)–6,20(75)–5,60(80)–5,35(40)–4,22(100), которые соответствуют магнезиокопиапиту. Под электронным микроскопом поверхности глобул состоят из агрегата тонкопластинчатых кристаллов, видимый размер которых не превышает 10 мкм по ребру. При изучении минералов группы копиапита в ней было выявлено семь минералов [15, 16].

Совместно с магнезиокопиапитом в корке присутствуют эпсомит с продуктами его дегидратации и волокнистые скопления фиброферрита. Наиболее интенсивные линии эпсомита нашли свое отражение на дифрактограмме и имеют следующие значения: 5,35(26)–4,21(100)–3,79(13)–2,880(20)–2,677(24)–2,659(22). При понижении влажности эпсомит ступенчато дегидратирует, теряя каждый раз по молекуле воды и меняя при этом структуру. Процесс заканчивается на одноводном представителе кизерите. Наиболее интенсивные отражения этих минералов присутствуют в дифракционном спектре сульфатных отложений.

Фиброферрит представлен бесцветными и белыми волокнистыми или волосовидными индивидами, собранными в «метелки» или образующими параллельно-волокнистые выделения с перламутровым блеском. Длина некоторых волокон приближается к 1,0 мм при поперечном сечении, составляющем сотые доли миллиметра. Он нарастает на поверхности глобул магнезиокопиапита и заполняет полости в нем. В некоторых случаях слагаются

изолированные участки вытянутой формы до 7 мм в длину и до 2 мм в поперечнике.

Для уточнения минерального состава волокнистого сульфата, отражения которого отсутствовали на исходном спектре, была получена дифрактограмма, которая показала его идентичность фиброферриту (рис. 2). Единичные волокна были отнесены к минералам ряда галотрихит–пиккерингит или гипсу.

В волокнистых скоплениях фиброферрита были обнаружены мелкие изометричные, псевдооктаэдрические кристаллики славикита – $(\text{H}_3\text{O}^+)_3\text{Mg}_6\text{Fe}_{15}(\text{SO}_4)_{21}(\text{OH})_{18}\cdot 98\text{H}_2\text{O}$, обычно слегка уплощенные в плоскости базипинакоида, размер которых в поперечнике не превышает 20 мкм (рис. 3, а, б). Его идентификация была подтверждена съемкой дифрактограммы игольчатого сульфата, где наряду с дифракционным спектром фиброферрита присутствуют основные отражения славикита (рис. 2).

Это третья находка данного сульфата в России. Впервые он определен в 1940 г. в зоне окисления оловорудного месторождения Эге-Хая (Якутия) совместно с фиброферритом. В 2015 г. диагностирован А. В. Касаткиным по материалам сборов А. И. Тищенко в 1999 г. в Петропавловском карьере в Крыму, где славикит присутствует в зоне окисления сульфидной вкрапленности юрских вулканогенных отложений и слагает светло-желтые корки в ассоциации с алуногеном и гипсом [17, 18].

Вместе с тем среди выделений фиброферрита со славикитом присутствует каолинит, отражения которого зафиксированы на дифрактограмме (рис. 2). Внешне кристаллы каолинита близки по форме кристаллам славикита, только, по-видимому, более мелкие и образуют с ним сростки. Количество его существенно меньше, и он редко фиксируется при электронно-микроскопическом изучении.

В сульфатных отложениях встречаются небольшие изолированные участки овальной формы. В них вместе с сульфатами присутствуют очень мелкие выделения силикатов, в составе последних наряду с кремнием принимают участие алюминий и калий. Выделения силикатов в большинстве случаев имеют округлую или близкую к изометричной форму, они имеют размеры до 10 мкм и менее. Состав их, по-видимому, представлен мусковитом, образованным из газовой фазы.

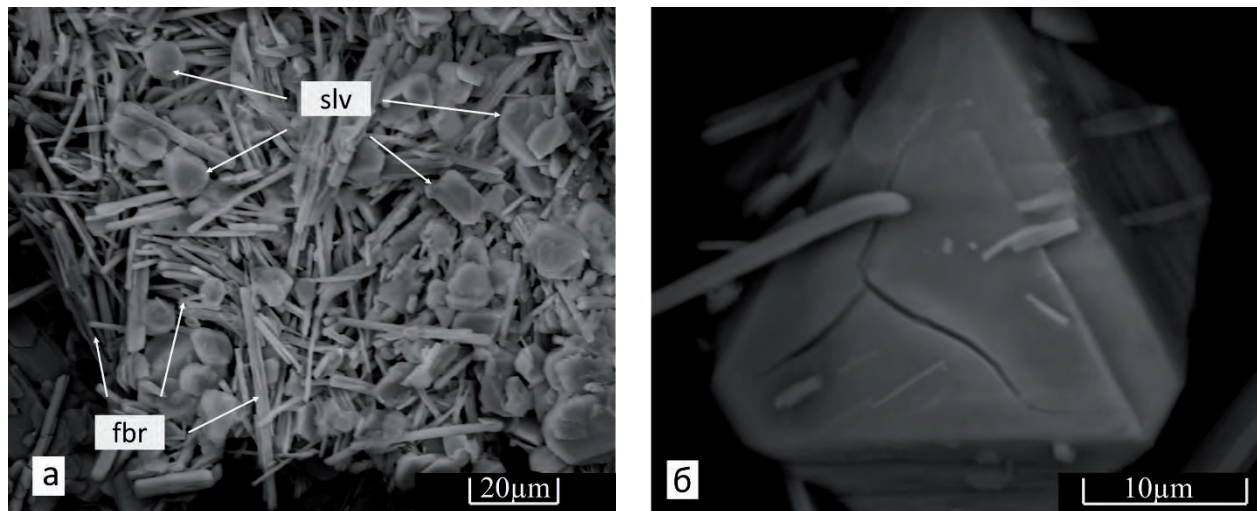


Рисунок 3. Минералы сульфатной корки: а – игольчатый агрегат фиброферрита с включениями таблитчатых кристаллов славикита (slv); б – псевдооктаэдрический кристалл славикита с наросшими иголками фиброферрита. BSE-изображение

Figure 3. Sulfate crust minerals: а – acicular fibroferriite aggregate with inclusions of tabular slavikite crystals (slv); б – pseudooctahedral slavikite crystal with overgrown fibroferriite needles. BSE image

Таблица 1. Химический состав флюидолитов в мас. %* и г/т**
Table 1. Chemical composition of fluidolites in wt. %* and ppm**

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	П. п. п.	S _{общ}	Σ
05-40/1*	6,74	0,032	3,26	18,78	0,22	0,077	9,89	1,45	0,07	< 0,01	0,12	0,10	46,35	13,00	99,99
05-40/1*	7,36	0,034	3,26	18,72	0,20	0,882	9,86	1,45	0,07	< 0,01	0,12	0,12	46,30	13,01	100,59
	Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
	8	0,036	13	500	< 0,04	60	2000	150	120	800	400	8	0,41	51	2,1
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce
Д-24**	2,3	14	5	5	0,27	0,15	0,16	1,2	0,13	0,28	0,12	0,07	40	0,4	1
	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W
	0,14	0,8	0,4	0,15	0,71	0,12	0,8	0,16	0,6	0,09	0,8	0,14	0,1	0,025	0,5
	Tl	Pb	Bi	Th	U										
	0,13	5	0,051	0,4	0,9										

Примечание: * лаборатория УГГУ, аналитик Н. В. Пенкина; ** ЦКП «Геоаналитик» УрО РАН; п. п. п. – потери при прокаливании; S_{общ} – содержание серы; Σ – сумма петрогенных оксидов.

Наряду с этим здесь присутствуют и единичные обломки зерен кварца, относительно крупные гидратированные чешуйки мусковита с перламутровым блеском, которые попали в них из окружающих пород.

Таким образом, сульфатные образования, отобранные в зоне активизации, имеют сложный полиминеральный состав. В ней наряду с преобладающими водными сульфатами железа и магния – магнезиокопиапитом, эпсомитом с продуктами его дегидратации и фиброферритом – присутствует более редкий славикит. Помимо этого, в корке иногда находится гипс как в виде классических кристаллов, так иногда в виде мелких иголок. Единичные волокна могут быть сложены минералами ряда галотрихит-пиккерингит. Помимо этого, среди них встречены обломки зерен кварца и гидратированные чешуйки мусковита. Вместе с обломочным силикатным материалом среди игольчатых скоплений фиброферрита выявлены

мелкие кристаллы каолинита и обнаружены участки «микрокавернозного» строения, где между сульфатов относительно равномерно размещен алюмосиликатный тонкодисперсный материал, в котором иногда встречаются микронные скопления, обогащенные калием.

Обсуждение результатов

В настоящее время среди горных пород стали выделять особую группу под общим названием флюидолиты, которые не относятся к магматическим, осадочным и метаморфо-метасоматическим образованиям. Их становление обязано функционированию водно-газовых потоков, под давлением поднимающихся из глубоких горизонтов литосферы или даже мантии. Эта водно-газовая суспензия в процессе движения захватывает частицы вмещающих пород, а также продукты взрыва и вступает в реакции у поверхности как с кислородом воздуха, так и на глубине с содержащимися в них элементами, образуя новые минералы [12].

Описанные сульфатные соединения можно рассматривать в качестве проявления своеобразных флюидолитов, имеющих сложный минеральный состав. Как установлено, в них наряду с преобладающими водными сульфатами магния и железа – магнезиокопиопитом, эпсомитом и продуктами его дегидратации и фиброферритом – отмечены более редкие, такие как славикит. Здесь же иногда присутствует гипс и минералы ряда галотрихит-пиккерингит, а также встречаются обломки зерен кварца, чешуйки гидромусковита и мелкие кристаллы каолинита.

Приведенный минеральный состав хорошо коррелируется с результатами химического состава флюидолитов (табл. 1).

При анализе вещества Н. В. Пенкиной допускается присутствие в составе флюидолитов углеводородов и азотистых гидратированных соединений.

Это допущение хорошо коррелируется с проявлениями (выбросами) газа в скважинах В-103,104,129,3,К-4, происшедших из песчаных толщ неоген-четвертичного возраста в Щучинском блоке [19] в пределах юго-восточного сегмента Себета-Хуутинской зоны диагональных (310–330°) разломов (рис. 1). Подобное газовое «сопровождение» отмечено и в других проявлениях флюидолитов и низкотемпературных (аргиллизитовых) метасоматитах (Ягодное). Природа сульфатных отложений весьма разнообразна. Это, как правило, техногенные проявления, в том числе и горелые отвалы угольных месторождений [20–22], а также они обычные представители поствулканической сольфатарно-фумарольной деятельности и гидротермальных процессов. В данном случае нас интересует происхождение изучаемых сульфатных отложений. Рассмотрим его на примере состава конденсатов фумарольных газов вулкана Безымянный [23]. В одной из проб этого конденсата состав следующий, г/л: SO_4^{2-} – 0,2680, Cl^- – 0,0955, HCO_3^- – 0,1210, Na^+ – 0,0360, K^+ – 0,0105, Ca^{2+} – 0,1200, Mg^{2+} – 0,0105, Fe^{3+} – 0,0068, Al^{3+} – 0,0104, H^+ – 0,0002, H_2SiO_3 – 0,0280. Основная масса катионов и анионов конденсата фумарольных газов заключена в составе сульфатных отложений. Помимо этого в состав конденсата входит кремниевая кислота, которая приведет к образованию силикатов в случае падения активности аниона более реакционноспособной серной кислоты. Это мы наблюдаем в нашем случае в сульфатных отложениях. Известно, что в долгоживущих тектонически активных зонах выделяется значительная энергия, в том числе и тепловая, способствующая частичному плавлению пород. При этом образующаяся газовая составляющая мигрирует к поверхности по проницаемым системам, приводя к отложению подобных сульфатно-силикатных составов. Эти процессы идут почти параллельно с выветриванием, в том числе нередко неся рудно-метасоматическую составляющую, и установлены в подавляющем большинстве северо-западных тектонических нарушений, таких как Приморский, Себета-Хуутинский, Лонготский, Собско-Салехардский.

Интересно, что выявленные линейные позднемезозойско-палеогеновые (палеоцен-эоценовые по В. И. Силаеву, 1996) коры выветривания, как правило, наследуют и развиваются по перечисленным поперечным линеamentам и их опережающим структурам. Это впервые было уста-

новлено на Софроновском месторождении, где наряду с фосфатами в брекчиевых рудах было выявлено золото (до 5 г/т) и платиноиды (Σ МПГ до 0,5–3,46 г/т) гипогенного типа [8, 24]. Как показали исследования, максимальные содержания золота приурочены к относительно пологим опережающим структурам юго-восточного падения, а в отдельных разрезах (скв. ФО-31, ФО-43) золотоносная зона практически совпадает с продуктивным телом фосфоритов, аномалиями серебра и свинца. Однако парная корреляция между золотом и фосфором отсутствует, а наблюдается значимая только с серебром, цинком, медью и мышьяком. Кроме того, в них отмечается широкое развитие слабоокисленного («свежего») пирита, а также оливина, хромшпинелидов, стекловатых шариков, флюорита, кианита, ставролита, корунда, силлиманита, шпинели, ксенотима, монацита, рутила, сфена, анатаза, лейкоксена, явно привнесенных из глубоких горизонтов литосферы. Золото, как правило, характеризуется «рудным» обликом, часто с включениями рудных минералов с хорошо сохранившимися первичными микроструктурами (моно-, полизернистое, концентрически-зональное), в нем отсутствуют признаки внутренних деформаций и рекристаллизации. Все это свидетельствует об эндогенной (флюидизатной) природе золотоносности в составе золото-аргиллизит-флюидолитовой формации. Химический состав (спектр) золота определяет присутствие следующих элементов-примесей, мас. %: Ag – 7–61; As – до 1,0; Te до 0,2; Hg до 0,1; Cu до 0,2. Проба – 388–935 [8, 7].

Установлено, что Собско-Салехардская система поперечных (северо-западных) дизъюнктивов контролирует не только Софроновское гипогенно-гипергенное месторождение золотосодержащих брекчиевых фосфоритов, но и Петропавловское золото-джаспероидное и рудопроявления Нияхойское и Нияюское, относимые к золото-теллуридной формации, а также Собское золото-железо-марганцевое карбонатно-флюидизатное. Последнее представляет собой объект, в котором сопрягается железо-марганцевая экзогенная рудоносность с эндогенной золото-ртутно-полиметалльной минерализацией флюидизатного (фумарольного) типа на рубеже олигоцена-плейстоцена. Содержание золота в травертиноподобном флюидолите до 0,5 г/т. Проба – 805,6–923,2. Химический состав самородного золота, мас. %: Au – 67,12–94,79; Ag – 4,52–19,48; Cu – 0,04–0,67; As – 0,22–0,49; Pd до 0,34; Te до 0,18; Hg – 0,04–1,87 [14]. Минералогическим анализом установлены гематит, оливин, ильменит, кианит, монацит, апатит, барит, пирит, рутил, анатаз, корунд, лейкоксен, флоренсит, муассонит, что очень близко к минералогическому спектру Софроновского гипогенно-гипергенного месторождения. Аналогичные Собскому проявлению были установлены подобные образования в районе руч. Кемь-Резь-Рузь.

С процессами позднемезозойско-кайнозойской активизации, по-видимому, связаны и проявления агатов, также контролируемых системой северо-западных Собско-Салехардских нарушений. Агаты локализованы в субширотных линейных зонах развития карбонатно-кремнистых брекчиевидных метасоматитов, сопряженных с корово-аргиллизированными образованиями толщ протерозойских амфиболитов ханмейхойской свиты (PR_1hn).

Агаты (месторождение Ягодное) выполняют линзы и миароловидные пустоты выщелачивания, нередко образуя в них натечные формы. При этом продуктивные зоны пересекают либо залегают в зальбандах микропегматитовых граносиенитов лонготского граносиенит-гранитового пермо-триасового комплекса. В метасоматитах установлено свободное золото (золото-кремнисто-карбонатная формация), ассоциирующее с мелким пиритом, халькопиритом, галенитом, ильменорутилом, пирротинном. Содержание металла до 2 г/т; проба – 668–886; микропримеси – серебро и ртуть (до 6,5 %), кроме того, присутствуют медь, мышьяк, а в единичных зернах палладий [6].

Менее яркая картина сопряжения коровых и низкотемпературных гидротермальных процессов, в том числе с участием флюидолитов, выявлена на рудных объектах, контролируемых Лонготской системой долгоживущих поперечных нарушений. Они спорадически интродуцированы мелкими телами лонготского граносиенит-гранитового (P_3-T_1), марунского щелочно-базитового (T_3-J_1), яляяхинского щелочно-габбродолеритового (T_3-J_1) комплексов. Однако здесь мы можем говорить только о широком распространении в мезозое вторичной урановой минерализации (отенит, торбернит), установленной на урановых и уран-редкометалльных объектах Пайпудынского, Оченьрдского, Харбейского и Тайкеуского рудных полей (165–195 млн лет), да о присутствии брекчированных небольших тел, в том числе псевдоконгломератов в долинах рек Бол. Харбей и Лонгот-Юган, руч. Мраморный. Интересно, что при изотопном датировании U–Pb-методом были выявлены очень молодые (65–137 млн лет) кластеры, вероятно, свидетельствующие о наиболее поздних процессах активизации.

Далее к северу с системой Себета-Хуутинских нарушений, как показал анализ рудной минерализации, связаны мезозойско-кайнозойские проявления цеолитов (Няропейское), ртути, флюорита (Тальбейское, Сфинкс), урана (Нижнешучьинское) в Щучьинском блоке, а в Оченьрдском и его северном обрамлении – фосфора и урана (Нестеровское, Високосное). При этом система глубинных нарушений кроме корово-рудно-метасоматических процессов контролируется мезозойским магматизмом. Это малые тела яляяхинского щелочно-габбродолеритового (T_3-J_1) комплекса и штокообразные, типа трубок взрыва, тела осовейского комплекса щелочных базальтов-трахитов (K_1). Последние представляют собой брекчии, цементом в которых выступает перетертый (микстивый) субстрат угловатых и округлых минералов (кварц, стекло, лейцит и др.), а обломки представлены калишпатом (кристаллокласты до 4 см в поперечнике), трахитами, субщелочными базитами; аксессуарии: ильменит, титанит, магнетит, гранат, хромшпинелиды, муассонит, рутил, корунд, циркон, барит, галенит, пирит. Порода в разной степени серицитизирована [12]. Подобный состав и строение позволяют отнести их к флюидолитам.

Самая северная система северо-западных нарушений контролируется магматизмом от поздней перми (тарасовейский, левдиевский граносиенит-гранитовые комплексы) до юры (немзияхинский лампроитовый комплекс) включительно с широким спектром таких минералов, как хромшпинелиды, муассонит, апатит, ильменит, золото, сфалерит, пирит. При этом на рубеже мезозоя и кайнозоя

в связи с мощнейшими ударными (Карская и Усть-Карская астроблемы) событиями произошло очередное подновление данных структур, вероятно, и более южных, таких как Себета-Хуутинские и им подобных, что привело, по-видимому, к реомобилизации эндогенных процессов вплоть до квартера включительно, на что указывают выбросы газа и других флюидно-эксплозивных процессов, охарактеризованных нами ранее.

Выводы

На Полярном Урале, на протяжении мезозойско-кайнозойского этапа активно функционировали северо-западные системы дизъюнктивов трансформной природы, которые контролировали проявление флюидно-магматических процессов. Последние реализованы внедрением как малых интрузий и даек кислого, основного и субщелочного составов, так и проявлением разномасштабных тел флюидолитов позднего мезозоя – квартера в обстановке континентального рифтогенеза. При этом в мезозойско-кайнозойский платформенный этап происходило параллельно образование кор выветривания, накладывающихся, либо предшествующих флюидно-рудно-магматическим, флюидно-фреатическим проявлениям флюидолитов. Подобная эволюция сформировала повсеместно устанавливаемую в настоящее время гипогенно-гипергенную зональную систему минералообразования в рудных системах Урала.

Ранее описанные флюидолиты как эндогенные горные породы реализованы в виде флюидно-эксплозивных образований, среди которых установлены брекчиевые, карбонатно-флюидизатные (травертиноподобные), водно-газовые флюидизатные составы. Изучение последних показало их полиминеральный состав, где наряду с преобладающими водными сульфатами железа и магния – магнизокопиапитом, эпсомитом с продуктами его дегидратации и фиброферритом – присутствуют более редкие минералы, такие как славикит, выявленные на Урале впервые. В них же иногда отмечается гипс как в виде классических кристаллов, так иногда в виде мелких иголок. Некоторые из них могут быть представлены минералами ряда галотрихит–пиккерингит. Вместе с этим в породе встречены обломки зерен кварца, гидратированных чешуек мусковита. Среди игольчатых скоплений фиброферрита установлены кристаллы каолинита и встречены участки «микрокавернозного» строения, где среди сульфатов сравнительно равномерно распределен алюмосиликатный тонкодисперсный материал, содержащий микронные скопления, в которых выявлен калий.

Впервые установленные и охарактеризованные флюидолиты как продукты флюидно-эксплозивных процессов, которые наряду с магматизмом и метасоматозом являются индикаторами проявления тектоно-магмато-генно-рудогенного активизационного режима на Полярном Урале в последние 240 млн лет. Установленное сопряжение эндогенных и коровых (экзогенных) процессов в единых или сближенных структурах формирует своеобразную сложнодиagnosticруемую гипогенно-гипергенную зональность на большинстве рудных объектов цветных, благородных, редких и радиоактивных металлов. Эту сложную комбинацию часто низкотемпературных минеральных ассоциаций необходимо уметь картировать и учитывать при проведении геологических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Известия УГГА. Сер. Геология и геофизика. 1998. Вып. 8. С. 94–99.
2. Хоханов В. И., Лукин А. А., Островский Л. Я., Лозовец В. Я. Первое месторождение фосфоритов на Полярном Урале // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейского Северо-Востока СССР: проблемы минерального сырья: труды XI геологич. конф. Коми АССР. Сыктывкар, 1994. С. 205–209.
3. Кривоносов В. Г., Островский Л. Я., Пенчук В. Н. Линейные тектонические зоны и оруденение Полярного Урала // Полярный Урал – новая минерально-сырьевая база России: труды Первой Полярно-Уральской науч.-практ. конф. Тюмень; Салехард. 1997. С. 36–41.
4. Силаев В. И. Минералогия фосфатных кор выветривания (Полярный Урал). СПб: Наука, 1996. 136 с.
5. Минерогенетический потенциал недр России. Вып. 2. Уральская покровно-складчатая область. Т. 1. Полярный и Северный Урал / А. А. Головин [и др.]. М.: Геокарт-Геос, 2013. 484 с.
6. Козьмин В. С., Душин В. А., Малюгин А. А. Золотое оруденение эпохи мезозоя и кайнозоя Полярного Урала // Известия УГГА. Сер. Геология и геофизика. 2001. Вып. 13. С. 109–113.
7. Душин В. А., Малюгин А. А., Козьмин В. С., Попова О. М. Минерально-сырьевой потенциал Полярного Урала по золоту, платиноидам, урану и алмазам // Полярный Урал – стратегия освоения: материалы Второй Полярно-Уральской науч.-практ. конф. Тюмень, 2004. С. 101–108.
8. Козьмин В. С. Эпигерцинская золотоносность Полярного Урала: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург. 2006. 24 с.
9. Калецкая М. С. Артемий Дмитриевич Миклухо-Маклай // Народное хозяйство Республики Коми. 1993. Т. 2. № 2. С. 259–264.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. второе. Сер. Полярно-Уральская. Лист R-42-XXXI, XXXII (оз. Бол. Нгосовой-То): объяснит. Записка / В. А. Душин [и др.]. СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2006. 197 с.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. второе. Сер. Полярно-Уральская. Лист Q-42-I, II (Лаборовая): объяснит. записка / В. А. Душин [и др.]. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 372 с.
12. Душин В. А. Магматизм и металлогения поперечных структур Уральского Севера // Горные ведомости. 2016. № 5/6 (144/145). С. 86–101.
13. Душин В. А. Активизированные шовные зоны – новый перспективный объект благороднометалльной металлогении на Полярном Урале // Региональная геология и металлогения. 2006. № 29. С. 73–87.
14. Малюгин А. А., Душин В. А., Козьмин В. С. Травертины – новый тип проявления золота на Урале // Известия УГГУ. 2014. Вып. 4(36). С. 19–23.
15. Bayliss P., Atencio D. X-ray powder-diffraction data and cell parameters for copiapite-group minerals // The Canadian Mineralogist. 1985. Vol. 23 (1). P. 53–56.
16. Jambor J. L., Nordstrom D. K., Alpers C. N. Metal-sulfate Salts from Sulfide Mineral Oxidation // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2000. Vol. 40. No. 1. P. 303–350. <https://doi.org/10.2138/rmg.2000.40.6>
17. Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья. URL: <https://webmineral.ru>
18. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / отв. ред. Л. П. Шарпенко. СПб: ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
19. Воронов В. Н., Бабушкин Л. А. Лаборовский рудный узел и его нетрадиционный для Урала комплекс полезных ископаемых // Труды III Полярно-Уральской науч.-практ. конф. Салехард. 2007. С. 198–223.
20. Герман Л. Д. Некоторые минералы зоны окисления Блявинского месторождения // Кора выветривания. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Вып. 3. С. 117–145.
21. Белогуб Е. В., Щербакоева Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала: распространенность, кристаллохимия, генезис. М.: Наука, 2007. 160 с.
22. Чесноков Б. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Обзор результатов за 1982–1995 гг. // Уральский минералогический сборник. 1997. № 7. С. 5–32.
23. Башарина Л. А. Фумарольная деятельность вулкана Безымянного в 1956–1957 гг. // Бюллетень вулканологической станции. 1960. № 29. С. 15–27.
24. Душин В. А., Бурмако П. Л., Козьмин В. С. Платиноносность Уральского Севера // Платина России: сб. науч. трудов. Красноярск, 2011. Т. III. С. 229–239.

Статья поступила в редакцию 03 мая 2024 года

Fluidolites of the Polar Urals

Vladimir Aleksandrovich DUSHIN^{1*}
Sergey Gennad'evich SUSTAVOV^{1**}
Denis Igorevich PROKOPCHUK^{1****}
Veniamin Sergeevich KOZ'MIN^{1*****}
Elena Nikolaevna VOLCHEK^{2*****}

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

²The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the work is due to the clarification of the role of the youngest hypogenic-hypergenic processes in the ore content of the Mesozoic-Cenozoic megacomplex of the Polar Urals.

The purpose of the work is to study the geology, mineral composition and ore content of fluidolites as peculiar unconventional endogenous formations associated with the functioning of fluid-gas and fluid-magmatic flows within the activated tectonic structures of the Ural North.

Research methodology and methods – Generalization, analysis and synthesis of materials from the long-term study of the geology and minerageny of the Polar Urals, including the implementation of GDP200/2 sheets R-40-XXXI, XXXII, Q-42-I, II, VII, VIII and the Priority 2030 Program. The study of the morphology, internal structure, and chemical composition of the fluidolite was carried out at the Central Research Institute of the Federal State Budgetary Educational Institution of the UGSU (Ekaterinburg). The morphological study was carried out using an optical microscope MBS 10 in reflected light and a scanning electron microscope VEGA LMS from TESCAN; the composition of minerals was determined using an energy dispersive prefix Xplore 30 Oxford Instruments, the program “Aztec” $U = 20$ kV, $I = 3$ hA. X-ray examinations were performed using a POWPIX 600 diffractometer.

Results. Fluidolites as products of fluid-gas and fluid-magmatic processes are confined to the feathering seams of the northwestern fault system. In the area of the Malaya Khuta river, they have a complex polymineral composition, which is dominated by aqueous iron and magnesium sulfates – magnesiocopiapite, epsomite and their dehydration products fibroferrite, slavikite. In other structures, fluidolites are represented in the form of carbonate-siliceous, quartz-carbonate-hydrous breccia compositions, including pseudoconglomerates controlling noble metal, rare metal and uranium mineralization. The established conjugation of endogenous and crustal (exogenous) processes in single or close structures forms a kind of hypogenic-hypergenic zonality.

Conclusions. New data have been obtained on the mineralogical composition and ore content of fluidolites as products of hypogenic fluid-gas processes of the quarter, close to fumarolic phenomena, within the Polar Urals.

Keywords: Polar Urals, fluidolites, activated structures, minerageny, weathering crust, slavikite, Mesozoic-Cenozoic.

REFERENCES

1. Barannikov A. G. 1998, Hypogene-hypergene type of gold mineralization in the Urals. *Izvestiya Ural'skoy Gosudarstvennoy Gornoy Akademii. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining Academy. Series Geology and Geophysics], issue 8, pp. 94–99. (In Russ.)
2. Khokhan V. I., Lukin A. A., Ostrovsky L. Ya., Lozovets V. Ya. 1994, The first phosphorite deposit in the Polar Urals. *Geologiya i mineral'no-syr'yevyye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka SSSR: problemy mineral'nogo syr'ya* [Geology and mineral resources of the European North-East of the USSR: problems of mineral resources], pp. 205–209. (In Russ.)
3. Krinochkin V. G., Ostrovsky L. Ya., Penchuk V. N. 1997, Linear tectonic zones and mineralization of the Polar Urals. Polar Urals – Russia's new mineral resource base: Proceedings of the I Polar-Ural scientific-practical conference. Tyumen; Salekhard, pp. 36–41. (In Russ.)
4. Silaev V. I. 1996, Mineralogy of phosphate weathering crusts (Polar Urals). St. Petersburg, 136 p. (In Russ.)
5. Golovin A. A. [et al.]. 2013, Mineragenic potential of the subsoil of Russia. Ural folded-nappe region, issue 2, Vol. 1, Polar and Northern Urals. Moscow, 484 p. (In Russ.)
6. Kozmin V. S., Dushin V. A., Malyugin A. A. 2001, Gold mineralization of the Mesozoic and Cenozoic era of the Polar Urals. *Izvestiya Ural'skoy Gosudarstvennoy Gornoy Akademii. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining Academy. Series Geology and Geophysics], issue 13, pp. 109–113. (In Russ.)
7. Dushin V. A., Malyugin A. A., Kozmin V. S., Popova O. M. 2004, Mineral and raw material potential of the Polar Urals for gold, platinum group metals, uranium and diamonds. Polar Urals – development strategy: Proceedings of the II Polar-Ural scientific-practical conference. Tyumen, pp. 101–108. (In Russ.)
8. Kozmin V. S. 2006, Epithermal gold-bearing capacity of the Polar Urals. PhD thesis. Ekaterinburg, 24 p. (In Russ.)
9. Kaletskaya M. S. 1993, Artemy Dmitrievich Miklouho-Maclay. *Narodnoye khozyaystvo Respubliki Komi* [National economy of the Komi Republic], vol. 2, no. 2, pp. 259–264. (In Russ.)

✉ Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru; snige@m.ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9657-6324>

**Sustavov.s@ursmu.ru

***uva9090@mail.ru

****Veniamin.Kozmin@m.ursmu.ru

*****volchek@igg.uran.ru

10. Dushin V. A. [et al.]. 2006, State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200,000. Second edition. Series: Polar-Ural. Sheet R-42-XXXI, XXXII (Lake Bol. Ngosovey-To): Explanatory note. St. Petersburg, 197 p. (*In Russ.*)
11. Dushin V. A. [et al.]. 2009, State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200,000. Second ed. Series: Polar-Ural. Sheet Q–42-I, II (Laboratory): Explanatory note. St. Petersburg, 372 p. (*In Russ.*)
12. Dushin V. A. 2016, Magmatism and metallogeny of transverse structures of the Ural North. *Gornyye vedomosti* [Mining News], no. 5/6 (144/145), pp. 86–101. (*In Russ.*)
13. Dushin V. A. 2006, Activated suture zones – a new promising object of noble metal metallogeny in the Polar Urals. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], no. 29, pp. 73–87. (*In Russ.*)
14. Malyugin A. A., Dushin V. A., Kozmin V. S. 2014, Travertines – a new type of gold occurrence in the Urals. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (36), pp. 19–23. (*In Russ.*)
15. Bayliss P., Atencio D. 1985, X-ray powder-diffraction data and cell parameters for copiapite-group minerals. *The Canadian Mineralogist*, vol. 23 (1), pp. 53–56.
16. Jambor J. L., Nordstrom D. K., Alpers C. N. 2000, Metal-sulfate Salts from Sulfide Mineral Oxidation. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 40, no. 1, pp. 303–350. <https://doi.org/10.2138/rmg.2000.40.6>
17. Minerals and deposits of Russia and neighboring countries. (*In Russ.*) URL: <https://webmineral.ru>
18. Sharpenok L. P. 2009, Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. St. Petersburg, 200 p. (*In Russ.*)
19. Voronov V. N., Babushkin L. A. 2007, Laborovsky ore cluster and its complex of useful minerals, which is unconventional for the Urals. Proceedings of the III Polar-Ural scientific-practical conference. Salekhard, pp. 198–223. (*In Russ.*)
20. German L. D. 1960, Some minerals of the oxidation zone of the Blyavinsky deposit. *Kora vyvetrivaniya* [Weathering crust]. Moscow, issue 3, pp. 117–145. (*In Russ.*)
21. Belogub E. V., Shcherbakova E. P., Nikandrova N. K. 2007, Sulfates of the Urals: Prevalence, crystal chemistry, genesis. Moscow, 60 p. (*In Russ.*)
22. Chesnokov B. V. 1997, New minerals from burnt dumps of the Chelyabinsk coal basin. Review of results for 1982–1995. *Ural'skiy mineralogicheskiy sbornik* [Ural Mineralogical Collection], no. 7, pp. 5–32. (*In Russ.*)
23. Basharina L. A. 1960, Fumarole activity of the Bezmyanny volcano in 1956–1957. *Byulleten' vulkanologicheskoy stantsii* [Bulletin of the Volcanological Station], no. 29, pp. 15–27. (*In Russ.*)
24. Dushin V. A., Burmako P. L., Kozmin V. S. 2011, Platinum content of the Ural North. Platinum of Russia: Collection of scientific works. Krasnoyarsk, vol. III, pp. 229–239. (*In Russ.*)

The article was received on May 03, 2024