КАНАЛЫ ТРАВЛЕНИЯ В ГРАНАТАХ ИЗ АЛЛЮВИЯ Р. СЮЗЬЮ (ЮЖНЫЙ ТИМАН)

Н. Ю. Никулова, И. Н. Бурцев, Б. А. Макеев, В. Н. Филиппов, Д. О. Машин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

nikulova@geo.komisc.ru, burtsev@geo.komisc.ru, makboris@mail.ru, denis.mashin@gmail.com

Гранаты, пронизанные многочисленными каналами травления, обнаружены в шлиховой пробе из аллювия р. Сюзью (Южный Тиман). Морфологические особенности, внутреннее строение и химический состав граната изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Установлено, что это типичные для скарнов андрадит-гроссуляры, однако обладающие несвойственными им отрицательными формами рельефа — каналами травления и клиновидными впадинами. Подобные образования, традиционно считающиеся типоморфным признаком пиропов алмазонасных ассоциаций, впервые обнаружены в кальциевых гранатах. Сделано предположение о том, что возникновение отрицательных форм рельефа обусловлено эпигенетическими изменениями в результате пребывания минерала в коре выветривания.

Ключевые слова: гранат, микроструктура, скарн, каналы травления, кора выветривания.

ETCH CHANNELS IN GARNETS FROM ALLUVIUM OF SYUZYU RIVER (SOUTH TIMAN)

N. Yu. Nikulova, I. N. Burtsev, B. A. Makeev, V. N. Filippov, D. O. Mashin

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

We found garnets, penetrated by numerous etch channels, in a stream-sediment sample from alluvium of the Syuzyu River (South Timan). We studied morphological features, internal structure and chemical composition of the garnet by a scanning electron microscope. We established that they were andradite-grossulars, typical for skarns, but with peculiar negative relief — etch channels and wedge-shaped depressions. Such forms, which are traditionally considered a typomorphic feature of pyropes of diamondiferous associations, were for the first time discovered in calcareous garnets. We assumed that the negative forms of relief was conditioned by epigenetic changes resulted from occurring of the mineral in the weathering crust.

Keywords: garnet, microstructure, skarn, etch channels, weathering crust.

На северо-восточном склоне Южного Тимана, в верховье р. Сюзью, левого притока р. Ижмы (рис. 1), в шлиховой пробе из аллювия, дренирующей в зону несогласного контакта глинисто-известняковой верхнедевонской ижемской ($D_3^{iž.}$) и псаммитовой среднеюрской сысольской ($J_{2ss.}$) свит, обнаружены зерна граната с необычным внутренним строением. Морфологические и химические особенности характе-

ризующегося устойчивостью к механическому и химическому выветриванию граната позволяют устанавливать условия образования содержащих его магматических и метаморфических пород, получать сведения об источниках обломочного материала и их постдиагенетических преобразованиях осадочных пород, использовать его в качестве минерала-индикатора при поиске и разведке различных типов месторождений полезных ископаемых. Наличие геолого-геофизических предпосылок обнаружения в районе коренной алмазонасности, а также присутствие проявлений редкоземельно-редкометалльной минерализации делают актуальным получение сведений об источниках обнаруженных нами обломочных гранатов.

В геологическом строении северной части Южного Тимана принимают участие метатерригенные образования рифейско-вендского фундамента, среднедевонско-верхнепермского, среднеюрского с реликтами коры выветривания в основании и неоген-кайнозойского структурных ярусов [4, 5]. Моноклиальное залегание пород осложнено разрывными нарушениями северо-западного простирания и оперяющими их мелкими разломами. По геофизическим данным, подтвержденным результатами бурения, к юго-западу от места находки изученных гранатов установлены тела вендских биотитовых микроклин-плагиоклазовых гранитов нижнеомринского комплекса (γVno), прорывающих породы фундамента и перекрытых алевролитами джерской свиты (D_3^{dz}) верхнего девона. К западу расположены раннефранские субинтрузивные образования Канино-Тиманского долеритового комплекса (βD_3^{kt}), по петрохимическим параметрам отвечающие толито-вым долеритам, в зонах контактов с вмещающими породами имеющие повышенную щелочность, глинозелистость или карбонатность.

Рис. 1. Схема расположения участка работ (1)
Fig. 1. Location of the work site (1)

Рис. 2. Особенности строения и состава граната: а–с общий вид и внутренняя структура зерна, обр. N-5-2: а — в отраженном свете, б — в проходящем свете; с — устья каналов на поверхности зерна, обр. 2; d — каналы различных размеров и ориентировки на полированном срезе, обр. N-5-1; e — полированная поверхность с неравномерно распределенными устьями каналов и клиновидными впадинами, обр. N-5-2; f — микрослойное строение внутренней поверхности канала, обр. N-5-1; g — микрокристалл золота (1) в устье канала, заполненного микрозернами плагиоклаза, гематита и кварца, обр. N-5-2; h — спектр микрокристалла золота, обр. N-5-2

Fig. 2. Features of structure and composition of garnet: a — c general view and internal structure of the grain, sample N-5-2: a — in reflected light, b — in transmitted light; c — mouth of channels on surface of the grain, sample 2; d — channels of various sizes and orientation on a polished section, sample N-5-1; e — polished surface with unevenly distributed mouths of channels and wedge-shaped depressions, sample N-5-2; f — microlayer structure of inner surface of the channel, sample N-5-1; g — gold microcrystal (1) at the mouth of a channel filled with plagioclase, hematite and quartz micrograins, sample N-5-2; h — spectrum of gold microcrystal, sample N-5-2

Объектом исследования является гранат из гравийно-песчано-глинистых аллювиальных отложений р. Сюзью (рис. 1). В тяжелой фракции шлиховой пробы № 280 (96°15'50.55" с. ш; 70°83' 07.0" в. д.) установлены: циркон, турмалин, гранат, шпинель, пироксен, амфибол, эпидот, ставролит, пирит, сфалерит, рутил, анатаз, ильменит, лейкоксен, золото. Гранат представлен прозрачными и полупрозрачными, в разной степени окатанными кристаллами и их обломками различной насыщенности розового, розовато- и желтовато-

коричневого и темно-бурого цвета. В пробе обнаружено несколько зерен граната, обладающих необычной организацией внутреннего пространства, видимой под бинокуляром.

Зерна граната извлечены из шлиховой пробы объемом 20 л. Изучение морфологических особенностей, внутреннего строения и химического состава гранатов проведено в ЦКП «Геонаука» на сканирующем электронном микроскопе JSM–6400 с энергетическим спектрометром Link. Ускоряющее напряжение и ток на

образцах — 20 кВ и 2×10^{-8} А соответственно. В качестве стандартов использовались сертифицированные стандарты фирмы Microspec.

Морфология, внутреннее строение и состав граната

Гранат представлен розовато-коричневыми слабокатанными обломочными зернами размером 0.5–1.5 мм, в которых при больших увеличениях под оптическим микроскопом выявляется неоднородность внутреннего строения — весь объем зерна пронизан тончайшими трубчатыми каналами шестигранной формы, многократно изгибающимися под прямым углом в различных направлениях (рис. 2, а–с). На полированных срезах зерен видно, что каналы в кристаллах распределены неравномерно и имеют различную площадь сечения, а на поверхности зерен присутствует еще один тип отрицательных форм рельефа — клиновидные впадины (рис. 2, е). Внутренняя поверхность стенок каналов микрослоистая (рис. 3, ф). Некоторые устья каналов заполнены микрочастицами гематита, плагиоклаза, кварца, сереброносодержащего золота с соотношением Au:Ag примерно 4:1 (рис. 2 г, h).

Гранаты андрадит-гроссулярового ряда ($\text{Ca}_{3.16-3.37}\text{Mg}_{0-0.05}\text{Mn}_{0-0.01}\text{Al}_{1.67-1.76}\text{Fe}_{0.19-0.24}\text{Ti}_{0-0.03}\text{Si}_{2.73-2.89}\text{O}_{12}$) не содержат включений минералов и имеют одинаковый состав краевых и внутренних частей зерен (см. таблицу, рис. 3).

Обсуждение результатов

Образование отрицательных форм рельефа в виде различных каналов травления, развивающихся по дефектам кристаллической решетки, присуще гранатам Якутской алмазоносной провинции [1, 2, 8]. Гранаты из кимберлитов лишены ростовых дефектов структуры и зональности, свойственных иным типам гранатов, а дефекты структуры в форме дислокаций имеют эпигенетический характер, связаны с пластическими деформациями решетки граната под действием течения вещества мантии и проявляются в форме каналов травления, соответствующих краевым дислокациям в структуре гранатов. При этом изгибы каналов травления соответствуют блокам, параллельным плоскостям поверхности кристалла. Эти наблюдения подтверждены экспериментальными исследованиями, показавшими возможность появления каналов травления в гранатах в обычных Р-Т-условиях в присутствии смеси органических кислот [3]. Гранаты с таким типом коррозии становятся механически менее устойчивыми и в ореолах дальнего сноса практически отсутствуют. Эта особенность пиропов из мезозойских кор выветривания использовалась в качестве одного из диагностических признаков генезиса гранатов для шлихового метода поисков кимберлитовых тел в Малоботуобинском алмазоносном районе [1, 2, 8].

Состав изученных андрадит-гроссуляров аналогичен составу гранатов из скарнов по мраморизованным известнякам на контакте штока гранитов в Джидинском рудном районе в Западном Забайкалье [9], гранатов ранней генерации из золотоносных эндоскарнов Коммунарского рудного поля Саяно-Алтайской золотоносной провинции [6] и мраморов [7]. Для гранатов Коммунарского рудного поля А. Ф. Коробейников [6] методом нейтронной активации установил содержа-

Химический состав (мас. %), формульные коэффициенты и миналы

Chemical composition (wt. %), formula coefficients and minals

Оксид Oxide	№ точки / № point							
	N-5-1					N-5-2		
	1	2	3	9	8	1	2	3
MgO	—	0.38	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	18.05	18.13	18.36	19.37	18.97	18.44	17.92	19.97
SiO ₂	35.53	34.76	35.93	36.01	37.11	35.43	34.54	37.2
CaO	36.93	37.67	36.69	40.86	40.91	39.28	39.85	40.61
TiO ₂	0.32	0.57	—	—	—	—	—	—
MnO	—	0.17	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	3.6	4.01	3.49	3.41	4.12	3.45	3.9	3.3
Сумма	94.43	95.69	94.47	99.65	101.11	96.60	96.21	101.08
Si ⁴⁺	2.86	2.76	2.89	2.74	2.79	2.78	2.73	2.79
Al ³⁺	1.71	1.70	1.74	1.74	1.68	1.71	1.67	1.76
Ti ⁴⁺	0.02	0.03	0	0	0	0	0	0
Fe ³⁺	0.22	0.24	0.21	0.20	0.23	0.20	0.23	0.19
Mg ²⁺	0	0.05	0	0	0	0	0	0
Ca ²⁺	3.19	3.21	3.16	3.33	3.30	3.31	3.37	3.26
Mn ²⁺	0	0.01	0	0	0	0	0	0
Пир	0	1.38	0	0	0	0	0	0
Спес	0	0.35	0	0	0	0	0	0
Андр	12.18	13.89	10.82	10.1	12.18	10.67	12.2	9.54
Грос	87.82	84.2	89.18	89.9	87.82	89.33	87.8	90.46

Рис. 3. Фигуративные точки состава гранатов
Fig. 3. Figurative points of garnet composition

ние золота от 0.1 до 22.1 мг/т. Золотосодержащие скарны сформировались в ходе становления гранитоидных интрузий, воздействовавших на вмещающие известково-песчанниковые породы, результатом чего стала мраморизация известняков и образование биотитовых роговиков. На метаморфические породы накладывались пневматолитические процессы или процессы выщелачивания, сменившиеся после затвердевания гранитов в приконтактовых частях, вблизи ослабленных зон дробления, гидротермальными.

Таким образом, изученные гранаты отличаются по строению, но сходны по составу с гранатами из скарнов и, наоборот, сходны по особенностям строения, но отличаются по составу от пиропов Якутской алмазоносной провинции. Общей особенностью изученных гранатов и якутских пиропов является их пребывание в лагеритной коре выветривания.

Заключение

Проведенное изучение состава и строения гранатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Воздействие гидротермальных растворов на имеющие дислокационные дефекты гранаты могло привести к образованию каналов травления, однако мы считаем наиболее вероятным связь появления отрицательных форм рельефа в изученных нами зернах граната с гипергенными процессами в раннемезозойской коре выветривания, реликты которой установлены в основании мезозойского структурного этажа. Микрозерна различных минералов, в том числе золота, попали в каналы и клиновидные впадины механическим путем. Заполнение клиновидной впадины микрозернами хорошо различимо на срезе зерна (рис. 2, е).

2. Поскольку единственный в районе гранитный комплекс имеет вендский возраст, перекрыт чехлом осадочных отложений и не затронут ни мезозойским, ни современным эрозионным врезом, можно утверждать, что источник описанных гранатов расположен вне рассматриваемого района, а промежуточным коллектором для них предположительно являлась досреднеюрская кора выветривания в основании разреза сысольской свиты.

Образование отрицательных форм рельефа, свойственное пиропам, может возникать и в гранатах другого состава в результате выщелачивания вещества органическими кислотами во время пребывания минерала в коре выветривания.

Авторы благодарят д. г.-м. н. И. И. Чайковского и д. г.-м.н. А. М. Пыстина за консультации.

Литература

1. Афанасьев В. П., Харьков А. Д., Соколов В. Н. Морфология и морфогенез гранатов из кимберлитов Якутии // Геология и геофизика. 1979. № 3. С. 88–99.
2. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Геофилиал Издательства СО РАН; Манускрипт, 2001. 276 с.
3. Афанасьев В. П., Снегирев О. В., Козьменко О. А., Похиленко Н. П. Экспериментальное исследование выветривания гранатов из кимберлитов в лагеритной коре выветривания (путем травления в органическом травителе АТФ-На-соль) // ДАН. 2014. Т. 459. № 4. С. 459–463.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Тиманская. Лист Р-39-VI (Ухта). Объяснительная записка / Ф. Л. Юманов, Н. С. Сиваш, Н. Ф. Иванов, Л. И. Опаренкова, Н. В. Куделина. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2004. 251 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Мезенская серия. Лист Р-39 (Сыктывкар). Объяснительная записка / Н. М. Пармузин, К. Э. Якобсон, А. Ю. Вовшина, О. А. Воинова и др. СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ. 2016. 478 с.

6. Коробейников А. Ф. Гранаты золотоносных скарнов Саяно-Алтайской складчатой области // Известия Томского политехнического института. 1976. Т. 289. С. 37–46.

7. Соболев Н. В. Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 218 с.

8. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). Новосибирск: АРТА, 2008. 252 с.

9. Шмотов А. П. К вопросу об образовании скарнов и околоскарновых пород вокруг киммерийских гранитов в Джидинском рудном районе // Материалы по геологии рудных месторождений Западного Забайкалья / АН СССР, Сибирское отделение, Восточно-сибирский филиал (Труды Восточно-Сибирского Геологического Института. Серия геологическая. Вып. 1). Иркутск: Иркутское книжное издательство, 1960. С. 182–193.

References

1. Afanasyev V. P., Kharkiv A. D., Sokolov V. N. *Morfologiya i morfogenez granatov iz kimberlitov Yakutii* (Morphology and morphogenesis of garnets from kimberlites of Yakutia). Geology and geophysics, 1979, No. 3, pp. 88–99.
2. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. *Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimberlitov* (Morphology and morphogenesis of indicator minerals of kimberlites). Novosibirsk: Geo, Manuscript Publishing House, 2001, 276 p.
3. Afanasyev V. P., Snegirev O. V., Kozmenko O. A., Pokhilenko N. P. *Eksperimentalnoe issledovanie vyvetrivaniya granatov iz kimberlitov v lateritnoi kore vyvetrivaniya (putem travleniya v organicheskom travitele ATF-Na-sol')* (Experimental study of the weathering of garnets from kimberlites in the lateritic weathering crust (by etching in organic etcher ATF-Na-salt)). Doklady Earth Sciences, 2014, V. 459, No. 4, pp. 459–463.
4. State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200 000. Second edition. Timan Series. Sheet P-39-VI (Ukhta). Explanatory note. Yumanov F.L., Sivash N.S., Ivanov N.F., Oparenkova L.I., Kudelina N.V., St. Petersburg: VSEGEI, 2004, 251 p.
5. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1 million (third generation). Mezen series. Sheet P-39 (Syktvykar). Explanatory note. Parmuzin N. M., Yakobson K. E., Vovshina A. Yu., Voinova O.A., et al. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg map factories VSEGEI, 2016, 478 p.
6. Korobeinikov A. F. *Granaty zolotonosnykh skarnov Sayano-altaiskoi skladchatoi oblasti* (Garnets of gold-bearing skarns of the Sayano-Altai folded region). Proceedings of Tomsk Polytechnic Institute, 1976, V. 289, pp. 37–46.
7. Sobolev N. V. *Parageneticheskie tipy granatov* (Paragenetic types of garnets). Moscow: Nauka, 1964, 218 p.
8. Khmelkov A. M. *Osnovnye mineraly kimberlitov i ih evolyutsiya v protsesse oreolobrazovaniya (na primere Yakutskoi almazonosnoi provintsii)* (The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of halo formation (by the example of the Yakut diamond province)). Novosibirsk: ARTA, 2008. 252 p.
9. Shmotov A. P. *K voprosu ob obrazovanii skarnov i okokarnovykh porod vokrugh kimmeriiskikh granitov v Dzhdinskoy rudnom raione* (About formation of skarns and okokarn rocks around the Cimmerian granites in the Dzhdinsky ore district). Materials on the Geology of Ore Deposits in the Western Transbaikalia of the USSR AS Siberian Branch of the East Siberian Branch (Proceedings of the East Siberian Geological Institute), Irkutsk publishing house, 1960, pp. 182–193.