

Хлоритовые минералы в гидротермально-измененных андезибазальтах Южно-Камбального Центрального термального поля (Камчатка)

Сандиминова Е.И., Рычагов С.Н., Филоsofova Т.М.

Chlorite minerals in hydrothermally altered andesibasalts of South Kambalniy Central Thermal Field (Kamchatka)

Sandimirova E.I., Rychagov S.N., Filosofova T.M.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: sand@kscnet.ru

С помощью электронно-зондового микроанализа определен химический состав хлоритовых минералов в гидротермально-измененных обломках андезибазальтов на одном из термальных полей Камбального вулканического хребта. Минералы относятся к группе ди- и дитриоктаэдрических Al-хлоритов, представлены судоитом и донбасситом.

Введение

В областях современного вулканизма, в зонах разгрузки термальных вод, породы подвергаются интенсивному гидротермально-метасоматическому изменению, формируются определенные парагенетические минеральные ассоциации [3]. Для низкотемпературных метасоматитов (аргиллизитов) характерно широкое развитие глинистых минералов, в том числе хлоритовых. Химический состав хлоритовых минералов чувствителен к физико-химическим параметрам среды минералообразования, что позволяет рассматривать эти минералы в качестве индикаторов определенных геологических сред, использовать их как геотермометр и поисковый признак на различные полезные ископаемые [1-3, 6-8 и др.].

В пределах термальных полей Камбального вулканического хребта аргиллизация пород происходит в условиях мощной разгрузки парогидротерм в виде водных и грязеводных котлов, пульсирующих источников, парогазовых струй и парящих площадок при температуре около 100 °С на дневной поверхности. Термопроявления характеризуются контрастными физико-химическими параметрами [4, 5]. Предполагается, что на полях разгружается поток глубинных восходящих минерализованных растворов щелочного типа, при смешении которых с метеорными водами и конденсатом пара формируются кислые термальные воды также с повышенной минерализацией [4].

Несмотря на широкое распространение хлоритовых минералов в гидротермально-измененных породах Камбального вулканического хребта, информации о химическом составе этих минералов практически нет. В настоящей работе впервые приводятся данные по химическому составу хлоритовых минералов из гидротермально-измененных андезибазальтов Южно-Камбального Центрального термального поля, которые, на наш взгляд, представляют несомненный интерес для решения ряда петрологических задач.

Методика исследований

Образцы пород подвергались полировке и напылению углеродом, а затем изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA3, оснащенного аналитической приставкой OXFORD instruments X-MAX80 с фирменным программным обеспечением AZtec, при соблюдении всех стандартных условий (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, аналитик Т.М. Филоsofova, оператор Е.И. Сандиминова).

Характеристика гидротермально-измененных пород

Обломки пород размером от 5 мм до 3 см были отобраны в одном из кипящих котлов Южно-Камбального Центрального термального поля. Воды в котле имеют щелочной (pH 7.6), гидрокарбонатно-сульфатный аммониевый (кальций-аммониевый)

состав, насыщены углекислым и сернистыми газами, с минерализацией ≥ 700.0 мг/л. Породы представлены порфировыми андезибазальтами. Порфировые включения размером до 0.7 мм состоят из сростков анортита (An_{89-92}), авгита и титаномагнетита. Основная масса сложена микролитами плагиоклазов, достигающих состава андезина, моноклинными пироксенами (авгитом, пижонитом) и титаномагнетитом с решетчатыми структурами распада ильменита в титаномагнетите. Микроструктура основной массы пилотакситовая. Обломки по краям выщелоченные, пористые. Породы пиритизированы, пирит отлагается по микротрещинам и замещает, в первую очередь, титаномагнетит и темноцветные минералы. В ассоциации с пиритом в порах и микротрещинах присутствуют агрегаты пластинчатого барита размером до 25 мкм.

Морфология и химический состав хлоритовых минералов

Хлоритовые минералы встречаются в основной массе андезибазальтов в виде пластинчатых и колломорфных образований угловатых или округлых форм; развиваются по трещинам и краям порфировых сростков (рис. 1).

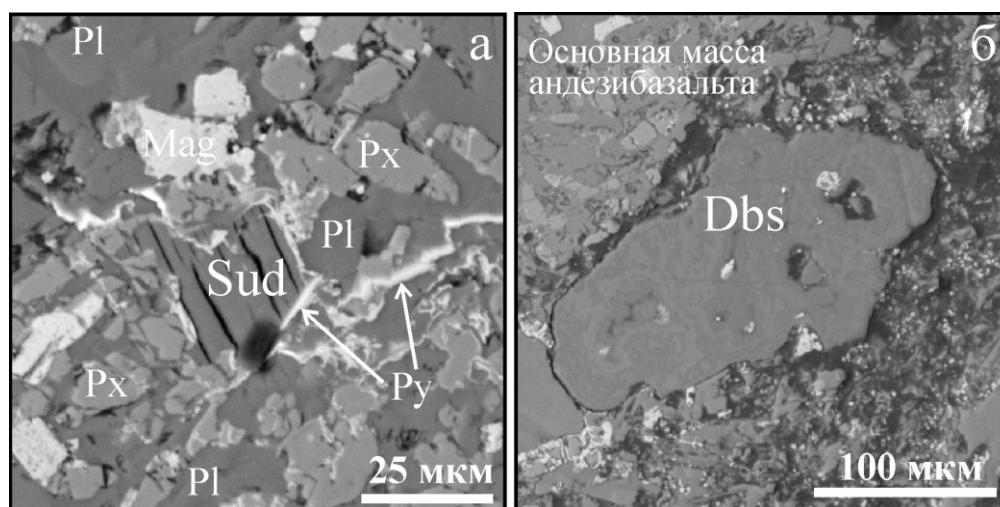


Рис. 1. Пластинчатый sudoит в основной массе андезибазальта (а); колломорфный донбассит в краевой части обломка выщелоченного андезибазальта (б). Dbs – донбассит; Mag – титаномагнетит; Pl – плагиоклаз (An_{50-70}); Px – пироксен (авгит); Py – пирит; Sud – sudoит.

Согласно классификации [12], хлоритовые минералы представлены ди- и дитриоктаэдрическими Al-хлоритами II типа – sudoитом и донбасситом (рис. 2, табл.). Подобные минералы широко распространены в Японии в толщах зеленых туфов, в том числе в приуроченных к этим туфам сульфидных полиметаллических месторождениях типа куроко [9]. Магнезиально-железистый sudoит, вероятно, можно отнести к более ранним образованиям. Он отлагается в виде пластинчатых агрегатов в основной массе слабо измененного андезибазальта в центральной части обломков. Маложелезистые колломорфные агрегаты донбассита являются более поздними образованиями. Они отлагаются большей частью в краевых частях обломков, где также встречаются колломорфные агрегаты sudoит-донбасситового состава. Донбассит частично замещается смектитом, который практически не содержит магния и железа. В ассоциации со смектитом донбассит также выполняет трещины в порфировых кристаллах анортита и замещает анортит по краям. В некоторых случаях анортит и плагиоклазы основной массы замещаются колломорфным донбасситом почти полностью. Таким образом, наблюдается последовательное отложение глинистых минералов с уменьшением в них магния и железа – sudoит \rightarrow донбассит \rightarrow смектит. В колломорфных агрегатах донбассита по трещинам усыхания отлагаются пирит-марказитовые агрегаты в срастании с мелкими зернами сфалерита, т.е. сульфиды отлагаются позже хлоритовых минералов. Необходимо также уточнить, что, вероятнее

всего, sudoит и донбассит представляют собой смешанослойные образования со смектитом. Кроме того, состав донбассита имеет сходство с составом смешанослойных каолинит-монтмориллонитов, поэтому для точного определения минералов требуются дополнительные рентгеноструктурные исследования.

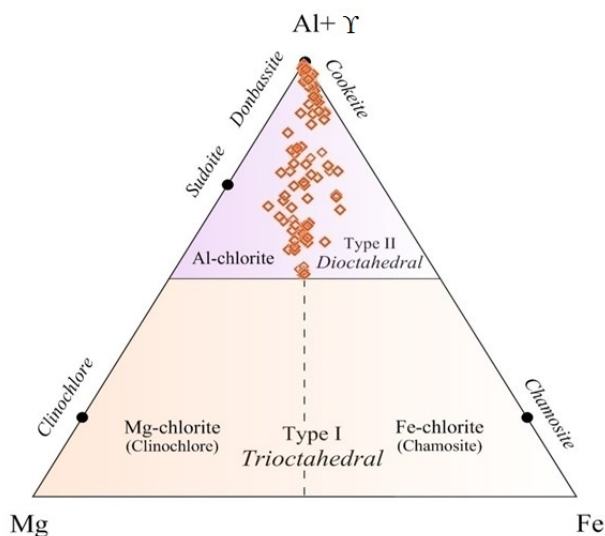


Рис. 2. Распределение составов хлоритовых минералов из обломков аргиллизированных андезибазальтов Южно-Камбального Центрального термального поля на диаграмме Mg – Fe_{общ.} – Al+Y [12], где: Mg, Fe_{общ.} и Al – количество атомов в октаэдрической позиции; Y – количество вакантных мест в октаэдрической позиции.

Таблица. Химический состав ди- и дитриоктаэдрических хлоритов (масс. %) с их структурными формулами (apfu) и классификациями по данным энергодисперсионной спектроскопии

1	2	3	4	5
	1	2	3	4
SiO ₂	41.73	42.98	45.59	46.08
Al ₂ O ₃	18.35	14.40	36.14	37.36
FeO	13.65	17.07	2.42	2.49
MnO	0.19	0.00	0.04	0.00
MgO	10.06	9.61	0.68	0.00
CaO	0.19	0.25	0.17	0.00
Na ₂ O	0.11	0.20	0.08	0.16
K ₂ O	0.05	0.15	0.22	0.00
Total (wt %)	84.33	84.66	85.34	86.09
H ₂ O(c) (wt %)	12.23	12.06	13.61	13.74
Si	4.09	4.28	4.02	4.02
Al	2.12	1.69	3.76	3.84
Fe(2+)	1.12	1.42	0.18	0.18
Mn	0.02	0.00	0.00	0.00
Mg	1.47	1.43	0.09	0.00
Ca	0.02	0.03	0.02	0.00
Na	0.02	0.04	0.01	0.03
K	0.01	0.02	0.02	0.00
OH	8.00	8.00	8.00	8.00
Total (apfu)	16.86	16.90	16.11	16.07
[Si	4.09	4.28	4.03	4.02
Al(IV)	0.00	0.00	0.00	0.00
Total (apfu)] Tetrahedral	4.09	4.28	4.03	4.02
[Al(VI)	2.12	1.69	3.76	3.84
Fe(2+)	1.12	1.42	0.18	0.18
Mn	0.02	0.00	0.00	0.00
Mg	1.47	1.43	0.09	0.00
Total (apfu)] Octahedral	4.73	4.54	4.04	4.02
Octahedral vacant	1.28	1.46	1.97	1.98

Таблица. Продолжение

1	2	3	4	5
Ca	0.02	0.03	0.02	0.00
Na	0.02	0.04	0.01	0.03
K	0.01	0.02	0.02	0.00
Total Interlayer	0.05	0.08	0.05	0.03
Subgroup (R) [12]	di-tri, tri-di	di-tri, tri-di	di-di	di-di
Subgroup (Vacancy) [12]	di-tri, tri-di	di-tri, tri-di	di-di	di-di
Type [12]	Type-II	Type-II	Type-II	Type-II
Species [12]	Al chlorite	Al chlorite	Al chlorite	Al chlorite
Species [10]	Sudoite	Sudoite	Donbassite	Donbassite
Species (This study)	Sudoite	Sudoite	Donbassite	Donbassite

Примечание. Анализы выполнены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA3, оснащенного аналитической приставкой OXFORD instruments X-MAX80 с фирменным программным обеспечением AZtec (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, аналитик Т.М. Философова, оператор Е.И. Сандмирова), и рассчитаны с помощью программы WinCсac [11]. H₂O(c) – рассчитанное содержание H₂O на основе стехиометрии.

Заключение

Хлоритовые минералы в обломках андезибазальтов из кипящего котла Южно-Камбального Центрального термального поля формируются при относительно низкой температуре (менее 100 °С) в щелочной среде. Химический состав хлоритовых минералов зависит от исходного состава породы и отражает изменения физико-химических параметров среды минералообразования. Смена магнезиально-железистого sudoита на маложелезистый донбассит, а затем смектит, и последующее отложение пирита-марказита, свидетельствует о снижении щелочности среды и возрастании окислительного потенциала растворов.

Список литературы

1. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М: Наука. 1991. 176 с.
2. Минералы. М.: Наука. 1992. Т. IV. Вып. 2. 662 с.
3. Русинов В.Л. Метасоматические процессы в вулканических толщах. М.: Наука. 1989. 214 с.
4. Рычагов С.Н., Кравченко О.В., Нуржаев А.А. и др. Южно-Камбальное Центральное термальное поле: структурное положение, гидрогеохимические и литологические характеристики // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXIII научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2020. С. 198-201.
5. Фролова Ю.В., Рычагов С.Н., Чернов М.С. и др. Инженерно-геологические аспекты изменения вулканогенных пород в зоне кислотного выщелачивания Южно-Камбальных термальных полей (Южная Камчатка) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 1. С. 36-51. DOI: 10.25296/1993-5056-2020-15-1-36-51
6. De Caritat P., Hutcheon I., Walshe J.L. Chlorite geothermometry: a review // Clays and Clay Minerals. 1993. V. 41. № 2. P. 219-239.
7. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Layered Silicates Excluding Micas and Clay Minerals / Volume 3B: The Geological Society of London. 2009. 314 p.
8. Kranidiotis P., MacLean W. Systematic of chlorite alteration the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // Economic Geology. 1987. V. 82. P. 1898-1911.
9. Sudo T., Shimora S. Clays and Clay Minerals of Japan / Developments in sedimentology. 1978. V. 26. Kadasha LTD. Tokyo. 326 p.
10. Wiewióra A., Weiss Z. Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group // Clay Minerals. 1990. № 25. P. 83-92.
11. Yavuz F., Kumral M., Karakaya N. et al. A Windows program for chlorite calculation and classification // Computers & Geosciences. 2015. № 81. P. 101-113.
12. Zane A., Weiss Z. A procedure for classifying rock-forming chlorites based on microprobe data // Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali. 1998. Serie 9. P. 51-56.