

**МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ СЕЛАДОНИТА В МЕТАВУЛКАНИТАХ И АГАТАХ
ЦЕОЛИТОВОЙ ФАЦИИ ВОСТОЧНЫХ РОДОП (БОЛГАРИЯ),
КАРАДАГСКОГО МАССИВА (КРЫМ) И НОРИЛЬСКОГО РЕГИОНА
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

**Э.М. Спиридонов¹, Е.В. Путинцева², Е.С. Семиколенных², А.Я. Докучаев³,
Ю.В. Фролова¹, В.М. Ладыгин¹, Н.Н. Кривицкая¹**

1. *Московский гос. университет, Москва, Россия, ernstspiridon@gmail.com*

2. *Санкт-Петербургский гос. университет, Санкт-Петербург, Россия.
lputintseva@mail.ru*

3. *Институт геологии и геохимии рудных месторождений РАН, Москва, Россия*

Региональный метаморфизм – одно из грандиозных геологических явлений в литосфере Земли. Продукты низкоградного метаморфизма (НГМ) погружения (и нагружения) в условиях цеолитовой фации ЦФ, пренит-пумпеллиитовой фации ППФ, пумпеллиит-актинолитовой фации ПАФ широко распространены в складчатых областях, охватывая почти весь объём геосинклинального комплекса и частично орогенного, и в плитном комплексе платформ (Coombs et al., 1959; Thompson, 1970; Zen E-an, 1974; Миясиро, 1976; Остащенко, 1983; Спиридонов, 1989; Спиридонов и др., 2000; Philpotts, Auge, 2009 и др.). Характерные образования НГМ – мандельштейны = миндалекаменные породы, продукты метаморфизма пористых вулканитов, обычно базальтов.

Агаты – одни из популярных самоцветов, которыми человек любовался и собирал со времён раннего палеолита. Это ритмично-полосчатые и узорчатые агрегаты халцедона. Структура халцедона близка к структуре α -кварца, в которой часть атомов кислорода в тетраэдре $[\text{SiO}_4]$ замещена гидроксилом, часть $[\text{SiO}_4]$ замещена на $[\text{AlO}_4]$. Величина этих замещений меняется от одной пирамиды роста к другой, поэтому кристаллы халцедона нитевидные (чрезвычайно тонко расщеплены) и часто закручены. Агаты в вулканитах заполняют миндалины, трещины гидроразрыва и полости выщелачивания. Выделяют агаты бразильского типа – с концентрически-зональным рисунком и уругвайского – с параллельно-слоистым рисунком.

Ранее считалось, что после извержений в вулканитах циркулируют гидротермы, под действием которых заполняются пустоты, возникают мандельштейны. В результате проведенных исследований нами установлено, что вулканиты четвертичного и позднеэоценового возраста имеют открытую пористость, вторичных минералов в них нет. Ни мандельштейны, ни агаты вслед за завершением извержений вулканов не возникают. Разрыв между временем формирования свежих вулканитов и мандельштейнов с цеолитами и агатами составляет не менее 5-6 млн. лет (Спиридонов и др., 2014) и достигает 180 млн. лет (Остащенко, 1983). Таким образом, мандельштейны с агатами – образования не диагенетические, а эпигенетические. Агатоносные вулканиты возникают в процессе низкоградного метаморфизма погружения – нагружения. Агаты в метавулканитах – продукты метаморфогенно-гидротермальной дифференциации их вещества при повышенной $f \text{CO}_2$. При метаморфизме слабо обводнённых вулканических толщ образуются агаты уругвайского типа, сильно обводнённых – агаты бразильского типа. «Рождение» агатов происходит в самом начале цеолитовой фации, когда свежие вулканиты начинают превращаться в зеленокаменные – с селадонитом, альбитом, кальцитом, корренситом, цеолитами. В условиях низкоТ части ЦФ возникают нежные агаты с муаровой игрой, обычно слабо окрашенные. В условиях среднеТ части ЦФ возникают ярко окрашенные нежные агаты. В условиях высокоТ ломонитовой субфации ЦФ агаты заметно перекристаллизовываются, теряют тонкую «игру». В метавулканитах

ППФ, ПАФ и в фациях зелёных и голубых сланцев агаты превращены в яшмы и кварциты (Спиридонов и др., 2014).

Типичнейшие минералы метавулканитов ЦФ и агатов в метавулканитах, придающие породам зеленокаменный облик, – высококремнезёмистые феррислюды: селадонит $\text{KMgFe}^{3+}[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ и ферроселадонит $\text{KFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. В высокотемпературной части ЦФ развит железистый алюмоселадонит $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})(\text{Al},\text{Fe}^{3+})[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. Ферроселадонит и селадонит появляются в самом начале цеолитовой фации в ассоциации с самыми низкоТ цеолитами – клиноптилолитом и морденитом. Ферроселадонит придаёт метавулканитам голубоватую окраску, селадонит – зелёную. Таковы раннетретичные метавулканиты ЦФ, развитые на юго-востоке Родоп в Болгарии. Наиболее эффектные из них вскрыты карьером строительного камня Груево (рис. 1-3).



Рис. 1. ЮВ Болгария. Родопы. Груево. Высота стенки 8 м. Трахиандезито-базальты слабо метаморфизованы в условиях низкотемпературной морденитовой субфации ЦФ. Интенсивность метаморфизма гораздо выше в зонах дробления – в них метавулканиты содержат массу ферроселадонита и селадонита.

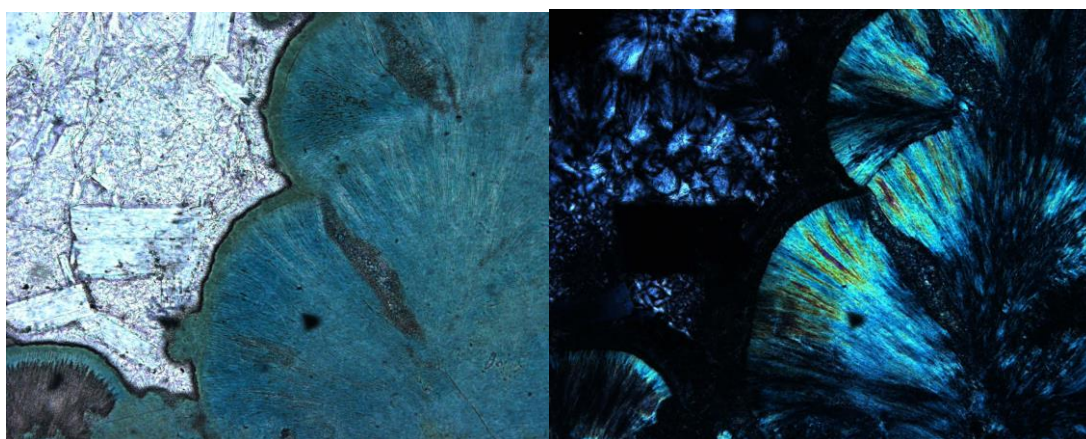


Рис. 2. ЮВ Болгария. Родопы. Груево. Метаморфизованные в условиях начала ЦФ трахиандезито-базальты из зон дробления. Агрегаты ферроселадонита (голубоватый при 1 никеле), селадонита (зелёный при 1 никеле), клиноптилолита (призматические рельефные кристаллы при 1 никеле), морденита и халцедона (низко рельефные при 1 никеле). В проходящем свете, слева – при 1 никеле, справа – николи х. Ширина поля зрения 3 мм.

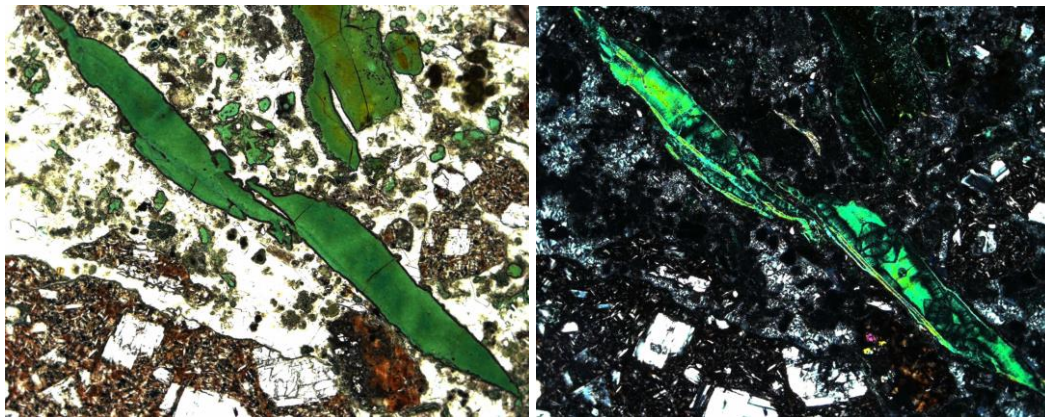


Рис. 3. ЮВ Болгария. Родопы. Груево. Метаморфизованные в условиях начала ЦФ трахиандезито-базальты из зон дробления. Агрегаты селадонита, клиноптилолита, морденита, халцедона, гётита (буро-коричневый при 1 николе). В проходящем свете, слева – при 1 николе, справа – николи х. Ширина поля зрения 4 мм.

Ферроселадонит-халцедоновые агрегаты цветом похожи на бирюзу. Агаты среди метавулканитов ЦФ нередко содержат селадонит (рис. 4-5).

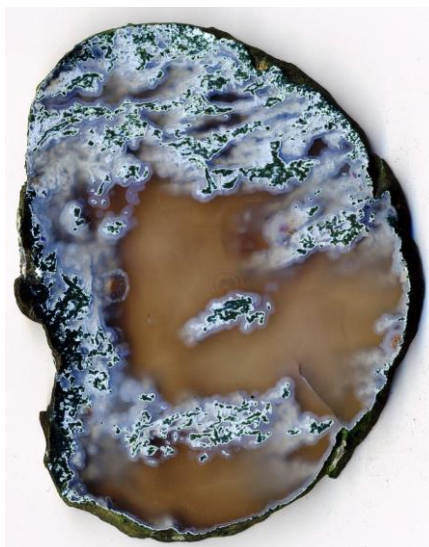


Рис. 4. ЮВ Болгария. Родопы. Груево. Моховой агат из метаморфизованных трахиандезито-базальтов. Халцедон, низкий кристобалит, селадонит. Высота 61 мм.

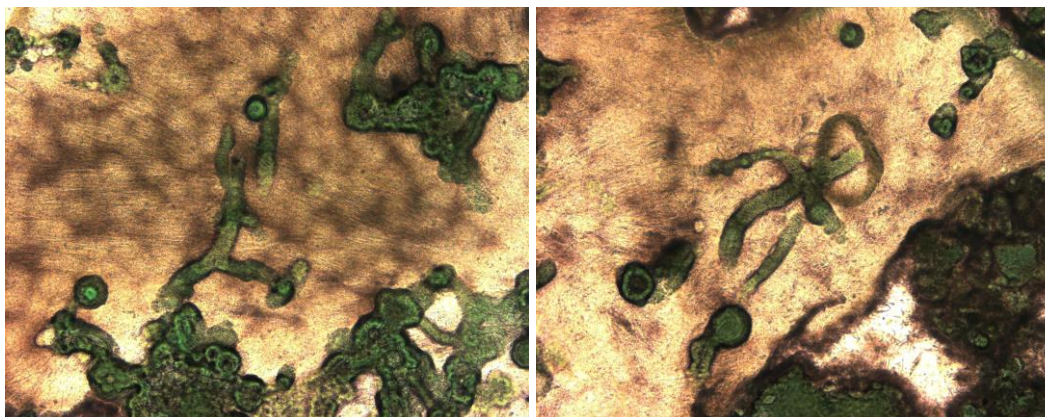


Рис. 5. ЮВ Болгария. Родопы. Груево. Моховые агаты из метаморфизованных трахиандезито-базальтов. Агрегаты халцедона, низкого кристобалита, селадонита. В проходящем свете при 1 николе. Ширина поля зрения 1.5 мм.

Метаморфизованные – палеотипные вулканы широко распространены в среднеюрском вулканическом массиве Карадаг в Крыму (Левинсон-Лессинг, 1933). Здесь развиты в основном метавулканы среднеТ – гейландитовой субфации ЦФ с обильным селадонитом (рис. 6-7). Селадонит на Карадаге впервые диагностировал С.Д. Четвериков (Четвериков, Фиолетова, 1935). Набор и состав минералов - метаморфических новообразований повсеместно одинаков: селадонит, альбит, калишпат, гейландит, корренсит, халцедон, титанит, кальцит, клиноцоизит, хлорит, лепидокрокит, пирит. Количественные соотношения метаморфогенных минералов сильно изменчивы.

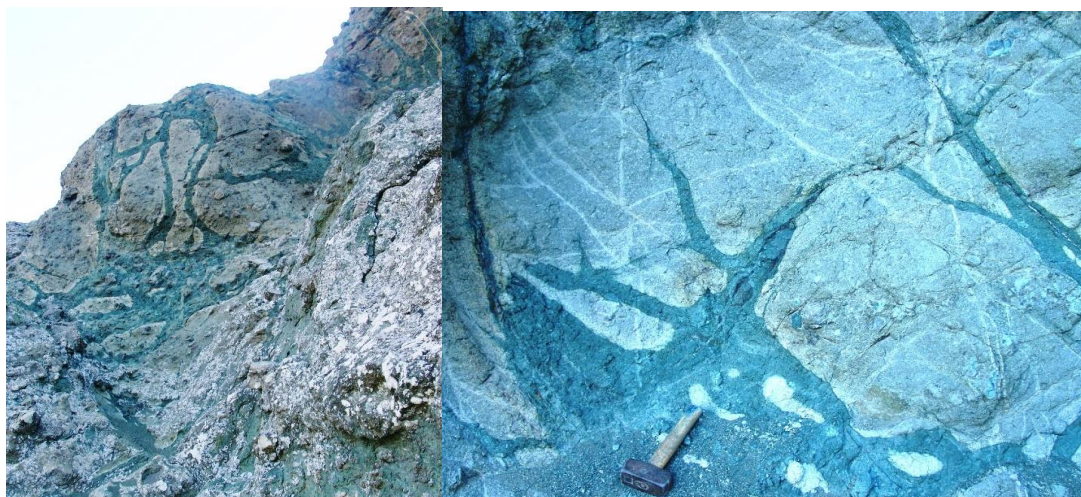


Рис. 6. Горный Крым. Карадаг. Западный склон хребта Карагач (со стороны Биостанции). Слева - высота обнажения 35 м. Интенсивно метаморфизованные туфы базальтов (муджиеритов). В зонах дробления (флюидопроводниках) масса селадонита.

Среди метавулканитов Карадага встречаются ритмичные селадонит-халцедоновые агрегаты (Супрычѳв, Макаров, 1968).

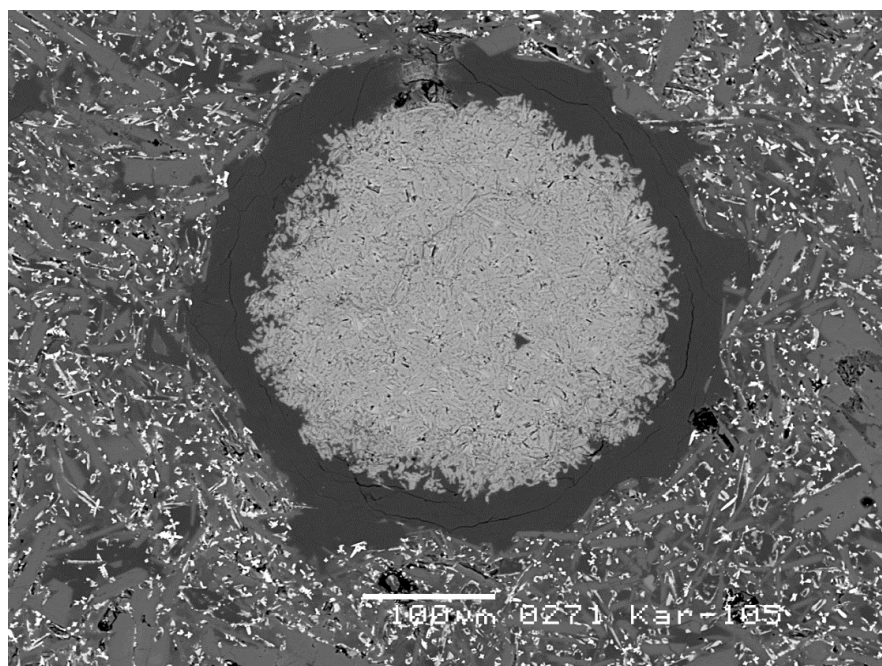


Рис. 7. Горный Крым. Карадаг. Хребет Карагач. Скала Ф.Ю. Левинсона-Лессинга. Мандельштейны - метаморфизованные андезитов-дациты. Миндалины заполнены агрегатами селадонита (светлый) и халцедона (тѳмный). В отражѳнных электронах.

Состав селадонита в миндаликах метаандезито-дацитов Карадага (рис. 7) - $(\text{K}_{0.95}\text{Ca}_{0.01})_{0.96}(\text{Mg}_{0.62}\text{Fe}^{2+}_{0.31}\text{Fe}^{3+}_{0.07})_1(\text{Fe}^{3+}_{0.72}\text{Al}_{0.21}\text{V}_{0.06}\text{Ti}_{0.01})_1[(\text{OH})_2/(\text{Si}_{3.95}\text{Al}_{0.05})_4\text{O}_{10}]$.

Селадонит широко распространён во многих иных регионах проявления НГМ, в том числе в Норильском регионе Восточно-Сибирской платформы. Здесь в плитном чехле платформы распространена толща платобазальтов трапповой формации P₂-T₁ мощностью до 4-5 км. Платобазальты от нижней ивакинской свиты до верхней моронговской свиты захвачены процессами НГМ в условиях цеолитовой фации от её низкоТ до высокоТ ломонтитовой субфации (Спиридонов и др., 2000). Метабазальты низкоТ и среднеТ субфаций ЦФ содержат селадонит. Типичный состав такого селадонита в метабазальтах сыверминской свиты –

$(\text{K}_{0.91}\text{Na}_{0.02}\text{Ca}_{0.01})_{0.94}(\text{Mg}_{0.60}\text{Fe}^{2+}_{0.20}\text{Fe}^{3+}_{0.20})_1(\text{Fe}^{3+}_{0.58}\text{Al}_{0.42})_1[(\text{OH})_2/(\text{Si}_{3.85}\text{Al}_{0.15})_4\text{O}_{10}]$.

В метабазальтах высокоТ ломонтитовой субфации ЦФ развит ферроалюмоселадонит, который в ассоциации с хлоритом, кальцитом и титанитом замещает основную ткань пород и выполняет в них миндалины. Типичный состав ферроалюмоселадонита метабазальтов ивакинской свиты –

$(\text{K}_{0.95}\text{Na}_{0.02}\text{Ca}_{0.01})_{0.98}(\text{Mg}_{0.64}\text{Fe}^{2+}_{0.15}\text{Fe}^{3+}_{0.21})_1(\text{Al}_{0.75}\text{Fe}^{3+}_{0.24}\text{Ti}_{0.01})_1[(\text{OH})_2/(\text{Si}_{3.79}\text{Al}_{0.21})_4\text{O}_{10}]$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-05-00490).

Литература

Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Дьяконова-Савельева Е.Н. Вулканическая группа Карадага в Крыму. Л.: изд. АН СССР. 1933. 150 с

Миясиро А. Метаморфизм и метаморфические пояса. М.: Мир, 1976. 536 с.

Остащенко Б.А. Метаморфогенное минералообразование на Северном Тимане // Тр. Института геологии Коми филиала АН СССР. 1983. Вып. 40. С. 45-58.

Спиридонов Э.М. Метаморфические и метасоматические образования Горного Крыма. В кн.: Геологическое строение Качинского поднятия. М.: изд. МГУ. 1989. Т. II. С. 136-152.

Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Анастасенко Г.Ф., Кулагов Э.А., Люлько В.А., Серeda Е.В., Степанов В.К. Метавулканиты пренит - пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: изд. МГУ. 2000. 212 с.

Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Янакиева Д., Фролова Ю.В., Семиколенных Е.С. Агаты в метавулканитах (геологические обстановки, параметры и время превращения вулканитов в мандельштейны с агатами) // Спецвыпуск вестника РФФИ. МОЛНЕТ. 2014. 66 с.

Супрычѳв В.А., Макаров Н.Н. Халцедоново-селадонитовые ритмические образования из вулканических пород Карадага (Крым) // Минералог. сб. 1968. № 22. Вып. 1. С. 91-93.

Четвериков С.Д., Фиолетова А.Ф. Селадонит из Коктебеля (Крым) // Докл. АН СССР. 1935. Т. 2. № 3-4. С. 269-272.

Coombs D.S., Ellis A.D., Fyfe W.S., Taylor A.M. The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal syntheses // Geochim. Cosmochim. Acta. 1959. Vol. 17. P. 3-107.

Philpotts A.R., Ague J.J. Principles of igneous and metamorphic petrology. Cambridge University Press, 2009. 667 p.

Thompson A.B. Laumontite equilibria and the zeolite facies // Amer. J. Sci. 1970. Vol. 269. P. 267-275.

Zen E-an. Prehnite and pumpellyite bearing mineral assemblages, west side of Appalachian metamorphic belt, Pennsylvania to new bound land // J. Petrol. 1974. Vol. 15. P. 197-242.