

НИКЕЛЕВЫЕ И АССОЦИИРУЮЩИЕ С НИМИ МИНЕРАЛЫ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ РУД ЛАВРИОНА, ГРЕЦИЯ: ОСОБЕННОСТИ КАТИОННОГО ИЗОМОРФИЗМА С УЧАСТИЕМ Ni

**А.Г. Турчкова¹, И.В. Пеков¹, Н.В. Чуканов², Д.А. Варламов³, П. Вудурис⁴,
А. Катеринопулос⁴, А. Магганас⁴**

¹Геологический факультет МГУ, Москва; annaturchkova@rambler.ru

²Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия

³Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка

⁴Факультет геологии и наук об окружающей среде, Афинский университет, Греция

NICKELOAN AND ASSOCIATED MINERALS FROM THE OXIDATION ZONE OF CHALCOGENIDE ORES OF LAVRION, GREECE: FEATURES OF CATION ISOMORPHISM INVOLVING Ni

**A.G. Turchkova¹, I.V. Pekov¹, N.V. Chukanov², D.A. Varlamov³, P. Voudouris⁵,
A. Katerinopoulos⁵, A. Magganas⁵**

¹Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, annaturchkova@rambler.ru

²Institute of Problems of Chemical Physics of RAS, Chernogolovka, Russia

³Institute of Experimental Mineralogy of RAS, Chernogolovka

⁴Faculty of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Greece

Среди многочисленных полиметаллических месторождений и проявлений знаменитого рудного района Лаврион (Аттика, Греция) особое место занимает рудопроявление «3-й км». Этот объект выделяется благодаря высокому содержанию в рудах никеля, что обусловило и развитие в зоне его окисления богатой никелевой минерализации. Первичные руды участка «3-й км» представлены серией секущих брекчированный мрамор карбонатно-кварцевых жил с галенитом, герсдорфитом, пиритом, сфалеритом и игольчатой Pb-Sb сульфосолю (предположительно буланжеритом: минерал нацело изменён в гипергенных условиях); в небольших количествах установлены раммельсбергит, никелин, сафлорит, ваэсит, миллерит, ульманнит. Зона окисления в основном сложена кавернозной кварц-лимонитовой породой с обильными реликтами кальцитового мрамора и фрагментов рудных жил разной степени измененности. Гипергенные минералы халькофильных элементов развиты в полостях, а также образуют массивные или ячеистые псевдоморфозы по гнездам галенита, герсдорфита и Pb-Sb сульфосоли. Наиболее интересна здесь никелевая минерализация, представленная аннабергитом $Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (отсюда происходят лучшие, видимо, в мире музейные образцы этого минерала), гаспеитом $NiCO_3$, никельцумкоритом $Pb(Ni,Fe^{3+})_2(AsO_4)_2(H_2O,OH)_2$, никельлотармейритом $Ca(Ni,Fe^{3+})_2(AsO_4)_2(H_2O,OH)_2$, никельаустинитом $CaNi(AsO_4)(OH)$ и гидросиликатами Ni, в первую очередь пекораитом $Ni_3Si_2O_5(OH)_4$. Никельцумкорит – новый минерал, описанный недавно именно из этого объекта (Pekov e.a., in press). Прочие минералы зоны окисления проявления «3-й км», идентифицированные нами, – это гётит, гипергенные генерации кварца, кальцита и доломита, арагонит, церуссит, миметизит, биндгеймит, ромеит, арсениосидерит, оксиды Mn.

Интересны изоморфные соотношения никеля с другими элементами (Mg, Zn, Mn, Fe) в разных гипергенных минералах этого объекта. Так, общеизвестно близкое кристаллохимическое родство никеля и магния. Тем не менее, из гипергенных никелевых минералов проявления «3-й км» роль примесного Mg существенна только для гаспеита – представителя структурного типа кальцита, в котором атомное отношение Mg:Ni достигает 0.5 (9.0–9.5 мас. % MgO). Примечательно, что тесно ассоциирующий с гаспеитом структурно родственный ему доломит содержит не более 1 мас. % NiO (как и кальцит). До 2 мас. % MgO зафиксировано в аннабергите, прочие же гипергенные никелевые минералы проявления «3-й км» бедны магнием, включая Ni-серпентин – пекораит. Для гаспеита и пекораита характерна заметная при-

мель цинка, причём существенно цинкистая разновидность первого (до 17 мас. % ZnO: промежуточный член ряда гаспеит–смитсонит) встречается здесь чаще магнезиальной. Пекораит содержит до 6.5 мас. % ZnO. Арсенаты никеля заметно беднее цинком (<1, редко до 2.5 мас. % ZnO), несмотря на существование в природе их Zn-аналогов. Специфическая черта никельцумкорита и никельлотармейерита, образующих на проявлении «3-й км» непрерывный изоморфный ряд, – это неперенное присутствие стабилизирующих структурный тип цумкорита примесных Fe^{3+} и/или Mn^{3+} (Effenberger e.a., 2000), которые во всех случаях более чем на $\frac{1}{4}$ замещают Ni. Среди трёхвалентных катионов обычно преобладает железо (до 10 мас. % Fe_2O_3), лишь изредка $\text{Mn} > \text{Fe}$ (до 5.5 мас. % Mn_2O_3), причём марганцевые разновидности более характерны для кальциевого члена ряда – никельлотармейерита, чем для свинцового – никельцумкорита. Поскольку условия образования всех гипергенных никелевых и Ni-содержащих минералов на проявлении «3-й км» можно считать практически одинаковыми, и минералы тесно ассоциируют между собой, а в псевдоморфозах по герсдорфит-галенитовым обособлениям наблюдаются отчётливые признаки совместного роста (индукционные поверхности) никелевых арсенатов друг с другом и с карбонатами, то можно уверенно говорить о том, что распределение компонентов между фазами, включая изоморфизм с участием Ni, обусловлено в наибольшей мере индивидуальными структурными особенностями минералов (это справедливо для системы именно с таким химизмом).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 14-05-00276-а.

Литература

Effenberger, H., Krause, W., Bernhardt, H.-J., Martin, M. On the symmetry of tsumcorite group minerals based on the new species rappoldite and zincgartrellite // *Miner. Mag.* 2000. V. 64. P. 1109–1126.

Pekov I.V., Chukanov N.V., Varlamov D.A., Belakovskiy D.I., Turchkova A.G., Voudouris P., Katerinopoulos A., Magganis A. Nickelsumcorite, $\text{Pb}(\text{Ni}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{AsO}_4)_2(\text{H}_2\text{O}, \text{OH})_2$, a new tsumcorite-group mineral from Lavrion, Greece // *Miner. Mag.* (в печати).