

7. Malitch K.N., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Petrov O.V., Tuganova E.V., Belousova E.A., Pearson N.J., Knauf V.V., Presnyakov S.L. Zircon from the economic ultramafic-mafic Kharaelakh intrusion (Russia): first U-Pb and Hf-isotope constraints on timing and source composition // Abstracts. Int. Conf. «Geochemistry of magmatic rocks-2009». Moscow: GEOKHI RAS, 2009 (in press).

8. Malich K.N., Petrov O.V., Badanina I.Yu., Presnyakov S.L. Zircons from ultramafic-mafic intrusions at Noril'sk area (Russia): a compositional and U-Pb study // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2007. V. 71. № 15S. P. A616-A616.

9. Scherer E., Munker C., Mezger K. Calibration of the lutetium-hafnium clock // *Science*. 2001. V. 293. P. 683-687.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО ТИПА (РОССИЯ): S И Cu ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ

**Малич К.Н., Петров О.В., Туганова Е.В.,
Шевченко С.С., Бочаров С.Н., Капитонов И.Н.**

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ),
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dunite@yandex.ru*

ISOTOPE-GEOCHEMICAL CRITERIA IN EXPLORATION FOR PGE-CU-NI SULPHIDE ORES OF THE NORIL'SK-TYPE INTRUSIONS (RUSSIA): INSIGHTS FROM S AND Cu ISOTOPE DATA

**Malitch K.N., Petrov O.V., Tuganova E.V.,
Shevchenko S.S., Bocharov S.N., Kapitonov I.N.**

*All-Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia
e-mail: dunite@yandex.ru*

The study presents the extensive results of a multi-technique approach, which utilized isotope systematics of S and Cu of PGE-Cu-Ni sulphide ores and occurrences associated with economic, subeconomic, prospective and non-economic ultramafic-mafic intrusions of the Noril'sk and Taimyr provinces (Russia). In S-Cu isotope systematics, disseminated and massive sulphide ores from economic deposits form a negative trend of isotope compositions, with distinct S and Cu isotope values at Kharaelakh, Talnakh and Noril'sk-1, indicative of notably different ore material evolution. The restricted range of $\delta^{34}\text{S}$ values along with defined S and Cu isotopic variations, which closely match those from sulphide-rich ores associated with economic intrusions, can be employed as useful fingerprints during the assessment of a deposit productivity. Accordingly, the Chernogorsk and Mikchangda intrusions of the Noril'sk area are considered as prospective for exploration of massive PGE-Cu-Ni sulfide ores.

Целью исследования являлось выявление изотопно-геохимических особенностей главных типов платиноидно-медно-никелевых сульфидных руд и рудопроявлений Норильской и Таймырской провинции, которые могут быть использованы для оценки масштабов оруденения, ассоциирующего с ультрамафит-мафитовыми интрузивными образованиями севера Восточной Сибири.

Изотопно-геохимические результаты (^{224}S и ^{99}Cu изотопных анализов) базируются на изучении сульфидного вещества руд из опорных разрезов (1) *промышленно-рудноносных* интрузивов Норильск-1, Талнах и Хараелах, (2) *резервных* месторождений, связанных с Черногорским, Зуб-Маркшейдерским, Имангдинским, Вологочанским и Южноясинским интрузивами, (3) *потенциально рудоносных* Микчангдинского, Бинюдинского, Дюмталейского и *слаборудоносных* непромышленных Нижнеталнахского, Нижненорильского и Зеленогривского интрузивов.

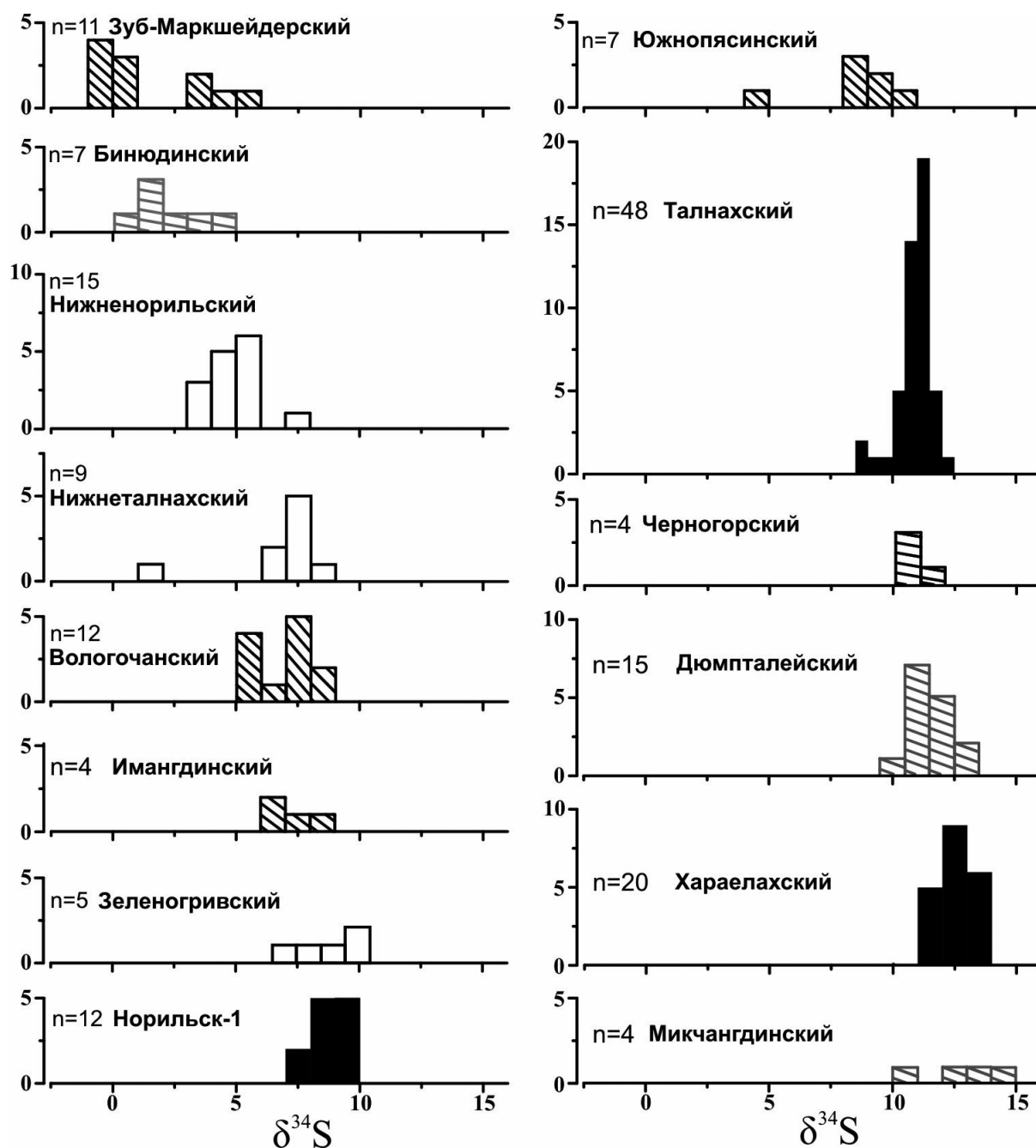


Рис. 1. Вариации изотопного состава S во вкрапленных сульфидных рудах ультрабазит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций.

Изученные руды *промышленно-рудноносных* интрузивов представлены тремя главными типами. Первый тип характеризуют массивные платиноидно-медно-никелевые сульфидные руды промышленных месторождений, которые тяготеют обычно к нижнему экзоконтакту Талнахского и Хараелахского интрузивов. Второй тип представлен вкрапленными рудами, расположенными в нижних частях интрузивов, сложенных ультраосновными породами и вторичными разновидностями мафитов с такситовой текстурой, сформировавшихся по ультрамафитам. Третий тип образует малосульфидный обогащенный платиноидами горизонт, который приурочен к верхним частям интрузива Норильск-1. Для *рудноносных* и *потенциально рудноносных* интрузивов характерны вкрапленные платиноидно-медно-никелевые сульфидные руды, тогда как слаборудносные интрузивы обладают вкрапленными сульфидными Cu-Ni рудами без платиноидов. Среди сульфидов вкрапленных и массивных руд доминируют пирротин, халькопирит и пентландит.

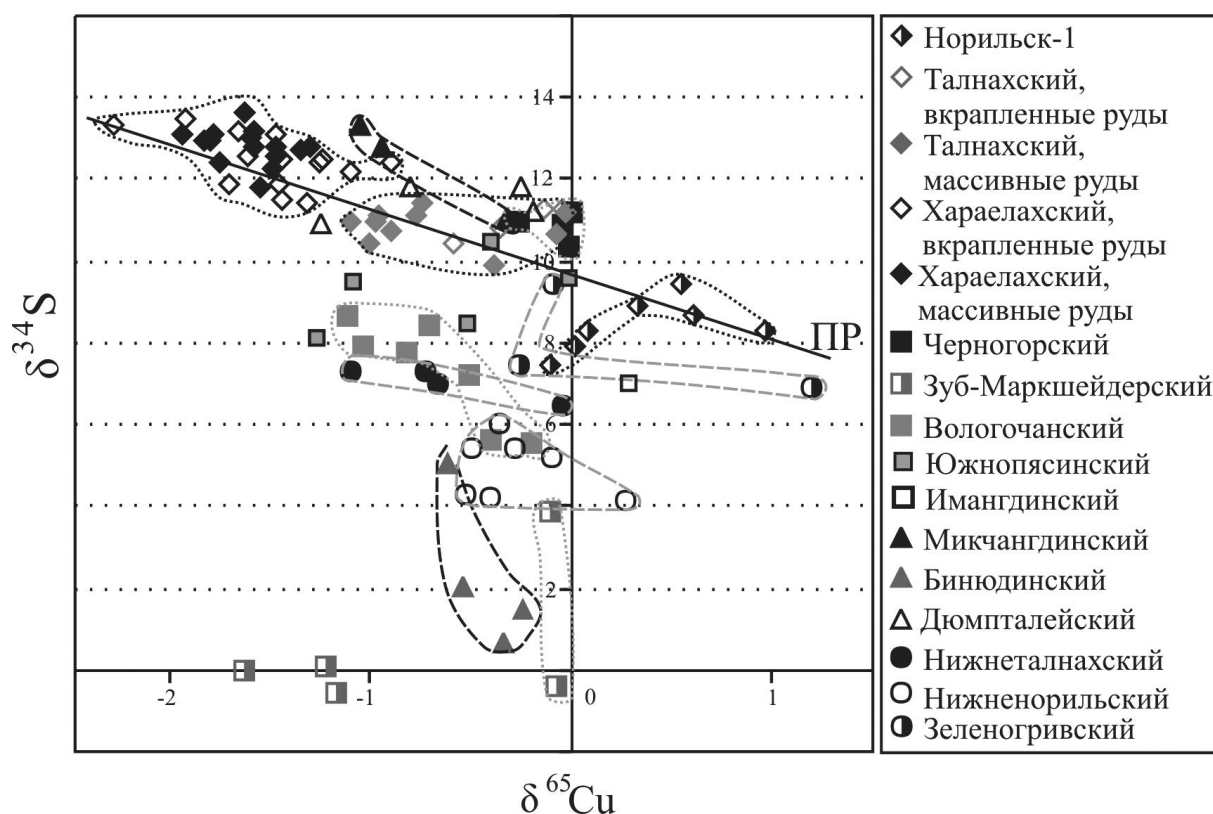


Рис. 2. Вариации S и Cu изотопных составов сульфидных руд промышленно-рудноносных, рудоносных, потенциально рудоносных и слаборудоносных интрузивов Норильской и Таймырской провинций.

Выявлен относительно гомогенный изотопный состав **серы** ($\delta^{34}\text{S}$, ‰) для вкрапленных и массивных руд *промышленно-рудноносных* Талнахского (8.7-11.3, среднее 10.9 и 9.9-11.4, среднее 10.8, соответственно) и Хараелахского (11.4-13.5, среднее 12.6 и 11.7-13.0, среднее 12.7, соответственно) интрузивов. Изотопный состав **серы** во вкрапленных и массивных сульфидных рудах *промышленно-рудноносных* интрузивов нами сравнивается с вкрапленными сульфидными рудами и рудопроявлениями интрузивов, характеризующихся различным металлогеническим потенциалом. Интрузивы в порядке увеличения значения $\delta^{34}\text{S}$ расположены следующим образом (рис. 1): Зуб-Маркшейдерский (-0.7...+5.7), Бинюдинский (0.7-4.7), Нижненорильский (3.8-7.7), Нижнеталнахский (1.8-8.0), Вологочанский (5.1-8.5), Имангдинский (6.4-8.7), Зеленогривский (6.8-9.7), Норильск-1 (7.5-9.4), Южноясинский (4.31-10.5), Талнахский (8.7-11.3), Черногорский (10.4-11.2), Дюмпталейский (9.9-12.9), Хараелахский (11.4-13.5) и Микчангдинский (11.0-14.0).

Изотопный состав **серы** сульфидов из оруденелых габбро-троктолитов рудоносного Зуб-Маркшейдерского интрузива, несмотря на его расположение в сульфатоносных отложениях девона, которые им ассимилированы, характеризуется минимальной долей так называемого «корового» компонента, вплоть до полного его отсутствия ($\delta^{34}\text{S} = -0.4$ до $+0.2\%$, рис. 1), указывая на мантийное происхождение серы. Данное обстоятельство ранее позволило [1] подвергнуть сомнению использование высокого содержания $\delta^{34}\text{S}$ в качестве критерия потенциальной продуктивности ультрамафит-мафитового интрузива. Учитывая относительно гомогенный изотопный состав **серы** для Талнахского ($\delta^{34}\text{S} = +10.9 \pm 0.1\%$) и Хараелахского ($\delta^{34}\text{S} = +12.6 \pm 0.1\%$) интрузивов, представляется, что контаминация глубинных магм «коровым» компонентом происходила не на этапе внедрения интрузивных тел, а в более глубинных условиях, возможно в промежуточном очаге на уровне *мантия-кора*, где была достигнута гомогенизация изотопного состава серы. В данной связи примечательно, что с увеличением масштаба месторождения наиболее распространенные значения $\delta^{34}\text{S}$ возрастают при одновременном сужении интервала колебаний этой величины (*Хараелах – Талнах – Норильск-1*, рис. 1). Отметим также, что единичные анализы сульфидов из габбро-диоритов *промышленно-рудноносных* интрузивов характеризуются наи-

более «тяжелым» изотопным составом **серы** ($\delta^{34}\text{S}=+15\%$), который действительно связан с контаминацией коровым компонентом in-situ.

Подобно выявленной дискретности по изотопному составу **серы**, платиноидно-медно-никелевые сульфидные руды *промышленно-рудоносных* интрузивов также обладают разным изотопным составом **меди**. Действительно, изотопный состав **меди** ($\delta^{65}\text{Cu}$, ‰) в массивных и вкрапленных рудах *Хараелахского* интрузива характеризуется сходными значимо «изотопно-легкими» параметрами ($-2.28 \dots -0.9$). В сравнении с хараелахскими рудами для большинства вкрапленных и массивных руд *Талнахского* интрузива наблюдается незначительное «облегчение» изотопного состава **меди** ($\delta^{65}\text{Cu} = -1.1 \dots -0.04\%$). «Изотопно-тяжелая медь» установлена во вкрапленных Cu-Ni сульфидных рудах интрузива Норильск-1 ($\delta^{65}\text{Cu} = -0.1 \dots +0.61\%$), с максимальным фактором «утяжеления» в горизонте малосульфидных руд ($\delta^{65}\text{Cu} = +0.19 \dots +0.96\%$). Данные по изотопному составу **меди** наглядно свидетельствуют о преобразовании первичного субстрата в результате эволюции рудного вещества промышленных месторождений.

Вкрапленные руды Имангдинского и, вероятно, Зеленогривского интрузивов тяготеют к полю составов интрузива Норильск-1. Большинство других изученных образцов вкрапленных руд из рудоносных, потенциально-рудоносных и слаборудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов по изотопному составу **меди** соответствуют изотопным вариациям, характерным для талнахских руд.

Выявленная отрицательная корреляционная зависимость между изотопными составами **серы** и **меди** показана на бинарной диаграмме $\delta^{34}\text{S} - \delta^{65}\text{Cu}$ (рис. 2). Для *промышленно-рудоносных* интрузивов «изотопно-легкая медь» ($\delta^{65}\text{Cu} = -0,9 \dots -2,8\%$) наряду с наиболее «тяжелой серой» ($\delta^{34}\text{S} = 11.4-13.5 \%$) характерна для руд *Хараелахского* интрузива. Напротив, наименее «тяжелая сера» ($\delta^{34}\text{S} = 7.5-9.4\%$) и наиболее «тяжелая медь» ($\delta^{65}\text{Cu} = -0,1 \dots +0,61\%$) установлена во вкрапленных Cu-Ni рудах интрузива Норильск-1, с максимальным утяжелением изотопного состава **меди** и облегчением изотопного состава **серы** в горизонте малосульфидных руд. Для большинства вкрапленных и массивных руд *Талнахского* интрузива при сопоставлении изотопного состава **меди** и **серы** с таковыми *Хараелахского* интрузива и интрузива Норильск-1 наблюдаются промежуточные значения ($\delta^{65}\text{Cu} = -1.1 \dots -0.04\%$ и $\delta^{34}\text{S} = 9.9-11.4\%$). Таким образом, *промышленно-рудоносные* интрузивы в координатах $\delta^{34}\text{S} - \delta^{65}\text{Cu}$ образуют специфический тренд составов (*тренд ПР* на рис. 2), от «изотопно-легкой» **меди** и «тяжелой» **серы** *Хараелахского* интрузива до «изотопно-тяжелой» **меди** и относительно менее «тяжелой» **серы** интрузива Норильск-1. К этому тренду составов близки (рис. 2) вкрапленные платиноидно-медно-никелевые сульфидные руды *Черногорского* (перекрываются с полем изотопных составов сульфидов *Талнаха*), *Южноясинского* и *Дюмталейского* (частично перекрываются с полем изотопных составов *Талнаха*) интрузивов. *Потенциально рудоносный* *Микчангдинский* интрузив частично перекрывается с полями изотопных составов как *Талнахского*, так и *Хараелахского* интрузивов (рис. 2).

На основе сочетания изотопных составов **серы** и **меди** впервые (1) выявлены интрузивные тела с вкрапленными сульфидными рудами, обладающими параметрами рудного вещества, за счет которых были сформированы промышленные платиноидно-медно-никелевые месторождения; (2) установлены интрузивные тела с вкрапленными рудами, изотопные составы **серы** и **меди** в которых не соответствуют таковым в промышленных месторождениях и для которых промышленные скопления руд маловероятны. Наиболее перспективными на обнаружение богатых платиноидно-медно-никелевых руд являются *Черногорский* и *Микчангдинский* ультрамафит-мафитовые интрузивы *Норильской* провинции.

Таким образом, выявленные закономерности изотопных характеристик рудного вещества (а именно, зависимость между уменьшением дисперсии $\delta^{34}\text{S}$ и увеличением объемов платиноидно-медно-никелевых сульфидных руд и отрицательный тренд изотопных составов **меди** и **серы** в *промышленно-рудоносных* интрузивах) могут быть использованы при оценке масштабов оруденения в слабо изученных ультрамафит-мафитовых интрузивах севера Восточной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.К., Туганова Е.В. Новые данные по изотопному составу серы медно-никелевых руд северо-запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1977. № 4. с. 122-125.