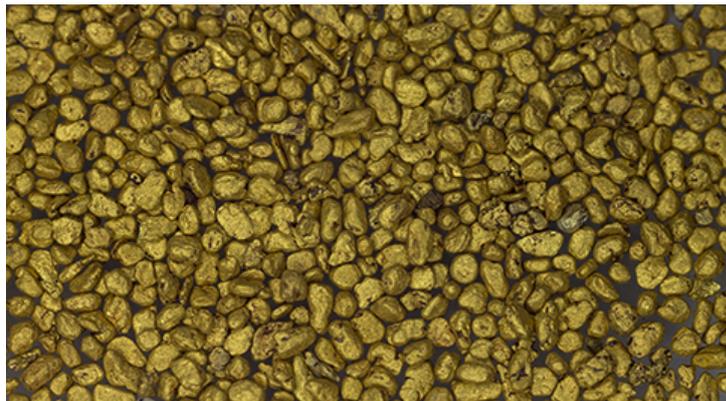


Учёные СФУ изучили, как формируются благородные металлы на месторождении золота

Учёные Сибирского федерального университета совместно с коллегами из научно-исследовательских организаций впервые [изучили](#) распределение элементов-примесей в рудных минералах Олимпиадинского месторождения золота (Красноярский край). Удалось выяснить, как химические элементы ведут себя при формировании месторождений золота, и как они выбирают себе минералы «по вкусу».



Олимпиадинское месторождение — уникальный золоторудный объект мирового значения. Общие запасы «олимпиадинского» золота составляют около 1500 тонн. При этом здесь встречается более 50 рудных минералов (к рудным минералам обычно относят сульфиды — соединения металлов и неметаллов с серой, самородные элементы и ряд других более редких минералов).

Учёные применили классический метод, включающий в себя детальные минералогические исследования и анализ распределения элементов-примесей в сульфидных минералах. Однако вместо стандартного определения таких примесей в самых распространённых минералах, они пошли значительно дальше.

«В большинстве случаев геологи изучают арсенопирит или пирит, которые наиболее часто встречаются на месторождениях и несут в себе «невидимое» золото. Мы же решили изучить как можно больше минералов — практически все, чей размер позволял это сделать. Такой подход более универсален и позволяет получить гораздо больше информации», — рассказал ведущий инженер кафедры геологии, минералогии и петрографии, сотрудник R&D центра «Норильский Никель» **Сергей Сильянов**. ✖

Вначале исследователи разобрались в том, какие минералы встречаются на месторождении и в какой последовательности они образовались, ведь, как предполагается, месторождение формировалось на протяжении почти 150 миллионов лет.

Для этого учёные взяли более 500 фрагментов руды месторождения и отполировали их (такие образцы называются аншлифами). Затем аншлифы детально изучили под микроскопом, определили их минеральный состав и взаимоотношения минералов между собой. Было установлено, что самыми первыми сформировались иголки арсенопирита (сульфида мышьяка и железа) и зерна пирротина (сульфида железа). Позже началось отложение сульфидов цветных металлов (меди, свинца, цинка) — халькопирит, галенит, сфалерит. Одновременно первые иголки арсенопирита изменялись и приобретали форму миниатюрных призм. Значительно позже сформировалась основная часть сурьмяной минерализации месторождения, представленная сульфидами сурьмы. В этот момент призм арсенопирита снова поменяли форму и стали выглядеть как две мини-пирамиды, склеенные в основании.

Около 60 полученных аншлифов было исследовано учёными с помощью электронного микроскопа, чтобы установить химический состав минералов и определить места для изучения элементов-примесей. После геологи определили концентрации элементов-примесей в минералах.

Минерал — это кристаллическое вещество с определенным, обычно постоянным, химическим

составом. Однако почти все природные минералы «загрязнены» другими элементами, количество которых может составлять десятитысячные доли процента. Именно их называют элементами-примесями. Они «встраиваются» в минералы чаще всего из-за сходства химических свойств атомов и условий образования минерала. Поэтому учёные, узнав распределение этих элементов, могут определить, как образовался тот или иной минерал.

«Хотя у каждого минерала строго определенный состав, в качестве примесей в нём можно обнаружить добрую половину периодической таблицы Менделеева. И примеси в данном случае являются своеобразными «отпечатками пальцев» для минералов, по которым возможно определить условия их образования и состав среды. Также можно проследить изменения минералов — например, как в данном исследовании, перераспределение золота в арсенопирите.»

*Данные по элементам-примесям в отдельных зернах минералов в большом количестве стали получать относительно недавно. Продолжая работы по изучению этих объектов в рудных минералах, мы надеемся раскрыть загадки формирования богатейших месторождений золота, расположенных не только в нашем крае, но и за его пределами», — пояснил инженер аналитической лаборатории R&D центра «Норильский Никель», старший преподаватель кафедры геологии, минералогии и петрографии СФУ **Борис Лобастов.***

Чтобы определить малые концентрации элементов-примесей в настоящее время используют метод масс-спектрометрии с индукционно-связанной плазмой и лазерным отбором пробы (LA-ICP-MS). Для этого в анализируемом минерале лазером выжигают небольшой кратер (диаметром от 20 до 100 микрон), затем это испаренное вещество потоком инертного газа направляют в масс-спектрометр, где происходит превращение атомов в заряженные частицы — ионы. Полученные ионы можно разделить по их физическим свойствам и понять, к какому химическому элементу они относятся, а также определить, сколько этого элемента в пробе.

Наши геологи, используя этот метод, выяснили, что основная часть «невидимого» золота содержится в ранних иголочках арсенопирита, а его измененные «призмы» и «дипирамиды» почти не содержат драгоценного металла. Это связано с высвобождением «невидимого» золота из арсенопирита при изменении его формы. Совсем по-другому ведёт себя серебро, оно концентрируется преимущественно в поздних минералах. Также было установлено, что ранние и поздние минералы значительно отличаются по набору элементов-примесей и это связано с изменением состава гидротермальных растворов, из которых образуются минералы.

Красноярские геологи уточнили, что более десяти лет изучают месторождения Енисейского края, но Олимпиадинское месторождение всё ещё полно загадок. Обычное золото имеет определенный химический состав (в основном, примеси серебра, ртути, меди), но на Олимпиадинском руднике встречается и высокопробное чистое золото, и золото с примесью серебра, ртути, сурьмы, никеля, меди. Как в одном месте могло сформироваться золото с различным химическим составом — учёным предстоит выяснить в ближайшее время.

«Мы полагаем, что основная часть олимпиадинского золота сформировалась на месторождении в ранних иголочках арсенопирита в «невидимой» форме, а при изменении его облика золото высвобождалось и кристаллизовалось в самородной форме», — резюмировали исследователи СФУ.

Помимо учёных СФУ в исследовании принимали участие эксперты Института минералогии УрО РАН (г. Миасс), Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (г. Москва) и Университета Западной Австралии (г. Перт).

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ №19-35-90017.

Авторы фото: Борис Лобастов, Сергей Сильянов

[Пресс-служба СФУ](#), 17 марта 2022 г.

© Сибирский федеральный университет. Редакция сайта: +7 (391) 246-98-60, info@sfu-kras.ru.

Адрес страницы: <https://news.sfu-kras.ru/node/26013>