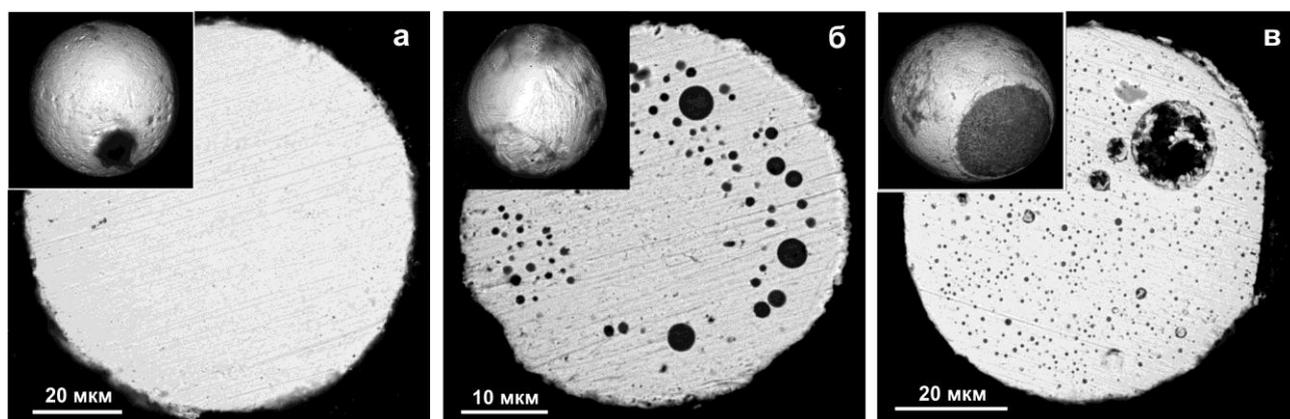


Глубинное медистое золото

Россыпное и коренное золото в большинстве случаев представлено сплавом золота с серебром. Назовем его «традиционное» самородное золото. В основном оно образуется в гидротермальных условиях верхних горизонтов земной коры.

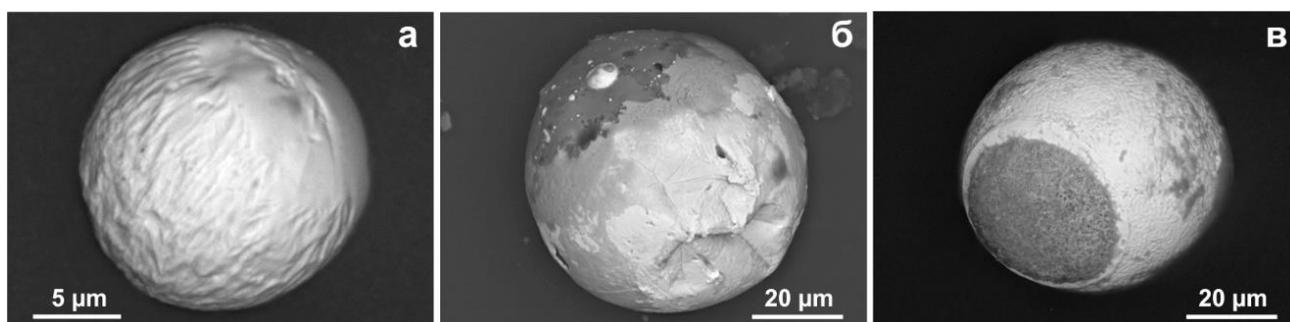
В верхнюю кору золото привносится из глубоких горизонтов земной коры в составе магматических пород, которые в верхнекоровых условиях подвергаются гидротермальной переработке. Форма этого «первично-магматического» золота является предметом дискуссий. Транспортируется оно в магме в виде Ag-Au «капель», которые потом застывают в виде самородков, или эти элементы рассеяны в расплаве и соединяются в Ag-Au агрегаты только в процессе гидротермальной переработки?

Микросферулы («капли») первично-магматического золота обнаружены и изучены нами впервые в эксплозивных породах железорудных месторождений Малого Хингана (ЕАО, Дальний Восток России).



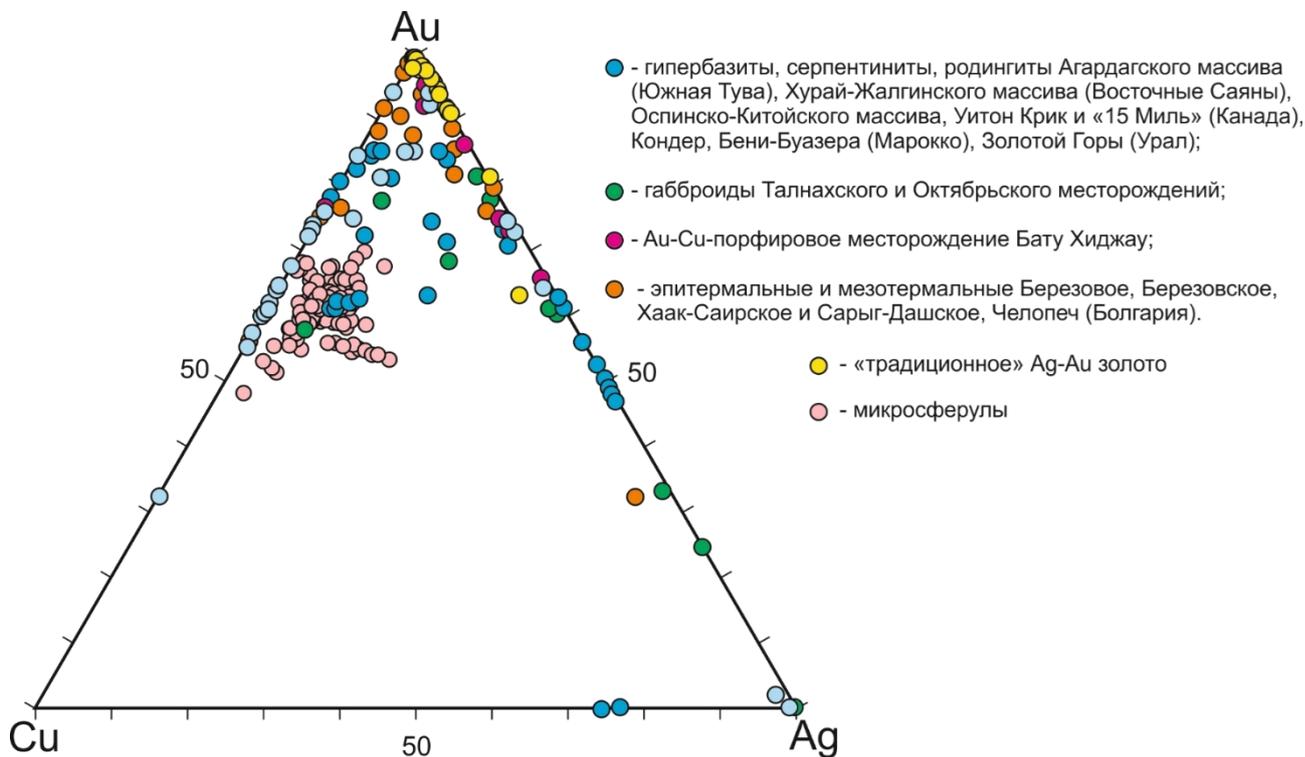
Си-Ag-Au микросферулы: а – гомогенная микросферула; б – микросферула с включениями оксида меди и деформациями поверхности; в – микросферула с внутренней полостью и фазой сложного состава на поверхности. Сканирующая электронная микроскопия, BSE режим. Средний состав микросферул: **Cu 30, Ag 10, Au 60** вес. %.

Форма сферическая, с характерными усадочными вмятинами на поверхности. Часто на поверхности микросферул отмечаются корки и линзообразные фрагменты фаз, обогащенных медью. Эти особенности микросферул свидетельствуют об их первично жидком состоянии.

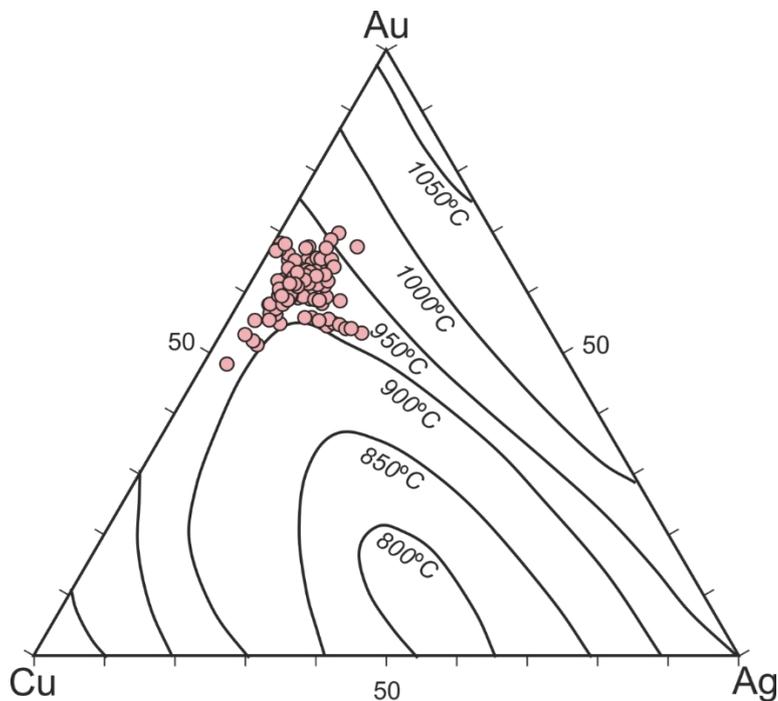


<p>«Шагреновая» поверхность микросферул, образовавшаяся при усадочных деформациях при затвердевании.</p>	<p>Медно-окисные корки на поверхности микросферул.</p>	<p>Фрагмент обогащенной медью фазы, несмешиваемой с основной фазой микросферулы.</p>
--	--	--

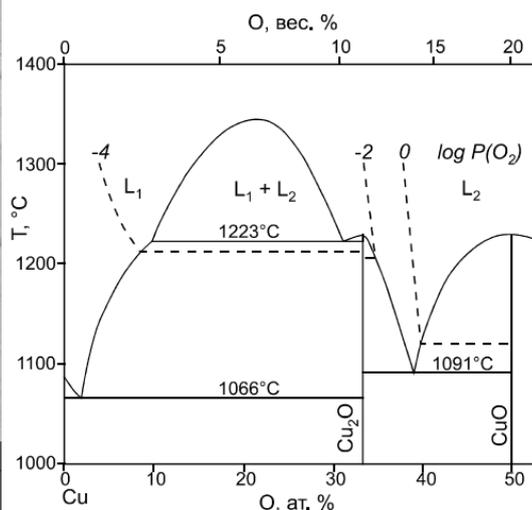
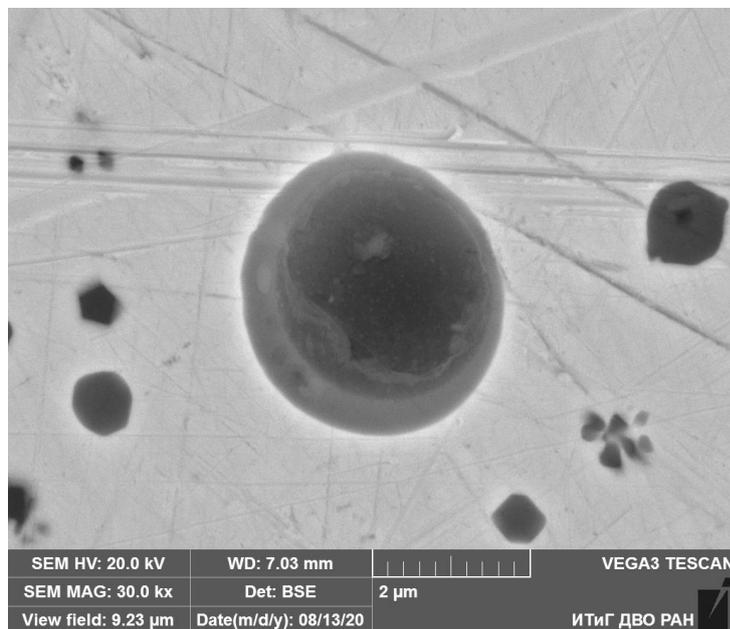
Состав – совсем нехарактерный для «традиционного» самородного золота (Ag-Au). Составы Cu-Ag-Au микросферул группируются в очень компактное поле, к которому близки лишь точки составов частичек золота из хромититов месторождения Бени-Буазера (Марокко) в серпентинизированных перидотитах и из габброидов Талнаха.



Температура образования. Согласно диаграмме ликвидуса сплав Cu-Ag-Au «нашего» состава жидкий при температуре выше 950°C.



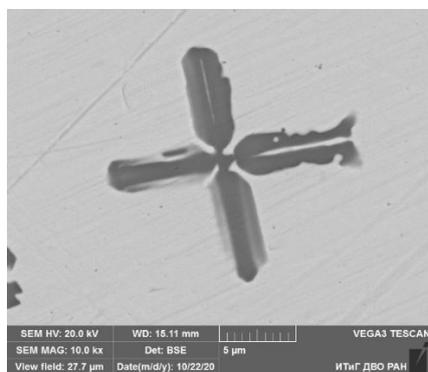
Скорость остывания. Присутствие в микросферах округлых и дендритовидных включений окиси меди говорит об исключительно высокой скорости их остывания. Это подтверждает наличие признаков ликвации медно-окисного расплава на две несмешивающиеся фазы, между которыми отчетливо виден мениск. Две эти жидкие фазы могут сосуществовать только при температуре выше 1223°C, следовательно, картина, которую мы видим, может сохраниться только при практически мгновенной «закалке» после таких температур - извержение в воздух или в воду.



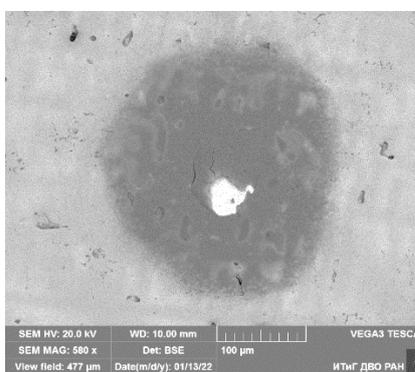
Потенциал кислорода.

Для более детального исследования сплава $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$ при разных параметрах мы решили приготовить его искусственно. Взяли металлы в необходимых пропорциях, буру в качестве флюса и сплавил в муфеле при 1000°C. Получили прекрасный королек, но его состав был $\text{Cu}_6\text{Ag}_{12}\text{Au}_{82}$, а не требуемый $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$. Подумали, что ошиблись, повторили, получили то же самое. Куда уходит медь?

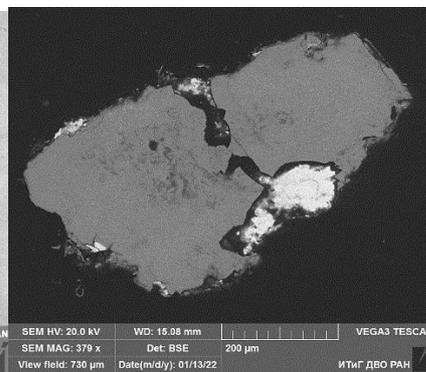
Оказалось, что малейший контакт сплава «нашего» состава с кислородом приводит к быстрому удалению из него меди в виде окисла.



В жидком виде (>1000°C) это происходит практически мгновенно с образованием скелетных кристаллов Cu_2O .



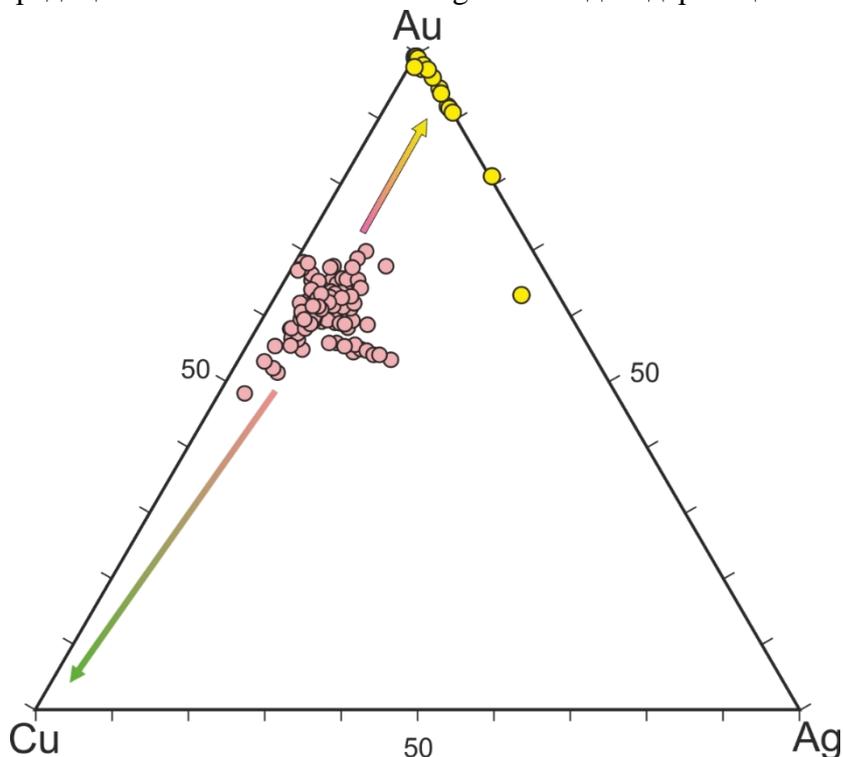
При 250°C за сутки на поверхности сплава образуются центры окисления.



При 350°C за сутки частичка сплава покрывается коркой окиси меди.

Все эти данные говорят о том, что сплав $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$, с которым мы имеем дело в наших микросферулах, в условиях «геологических» температур (выше 200°C) устойчив только при очень низком потенциале кислорода (по нашим оценкам $\log P(\text{O}_2) = -3 \div -4$). Это соответствует потенциалу кислорода в восстановленных основных-ультраосновных магмах и в интенсивно углеродизированных породах.

В окисленных условиях эпитеермальных гидротерм он абсолютно неустойчив, превращаясь в «традиционное» золото состава Ag-Au и медьсодержащие минералы.



Золото в верхние горизонты земной коры привносится из глубины с магматическими породами в двух основных формах:

- растворенное в расплавах и минералах на атомарном уровне (низкие концентрации, без образования отдельной фазы);
- в виде капель расплава (высокие концентрации, с образованием отдельной фазы).

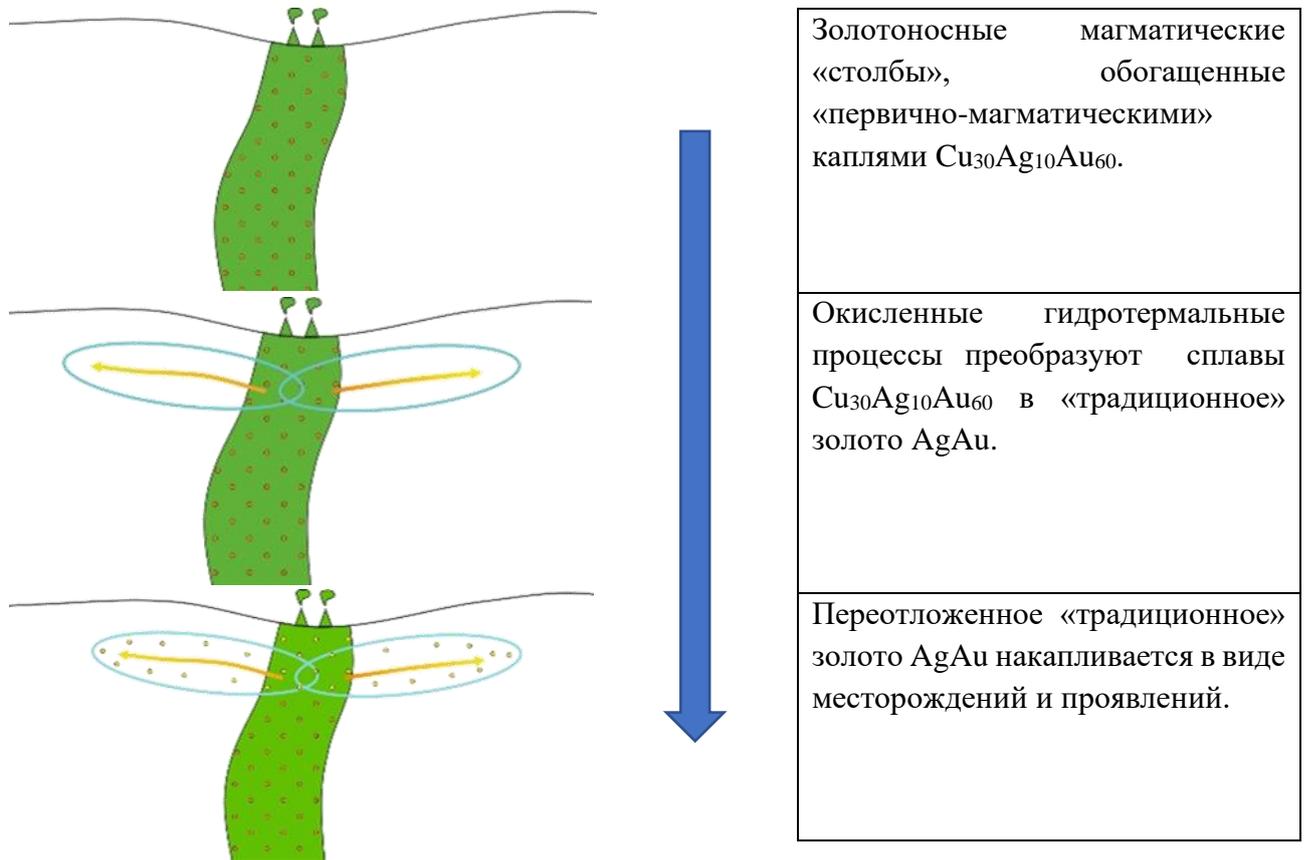
Нам представляется, что обнаруженные нами микросферулы и частицы состава $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$ являются представителями «первично-магматического» золота второго, обогащенного золотом варианта.

Действительно, их происхождение несомненно глубинное, о чем свидетельствуют:

- высокая температура образования ($>1000^\circ\text{C}$);
- восстановительный характер;
- нестабильность в окислительных условиях верхней коры.

Что же происходит с «первично-магматическим» золотом в коре?

Попадая в окислительные условия эпитеермальных систем, частицы $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$ «очищаются» от меди, как это было показано в наших экспериментах, часто переотлагаются гидротермальными растворами, образуя скопления «традиционного» золота состава AgAu .



Чем могут быть полезны эти данные?

1. Расширяют наши знания о происхождении и эволюции золота в земной коре.
2. Золотоносные магматические «столбы», обогащенные «первично-магматическим» самородным золотом $\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{10}\text{Au}_{60}$ сами могут быть источником промышленного золота.
3. Золотоносные магматические «столбы» с «первично-магматическим» золотом могут служить маркерами для поисков «традиционной» золотой минерализации, которая по ним развивается.

Опубликовано в статьях:

- Бердников Н.В., Невструев В.Г., Кепежинская П.К., Крутикова В.О., Коновалова Н.С., Астапов И.А. Силикатные, железо-окисные и золото-медь-серебряные микросферулы в рудах и пирокластике Костеньгинского железорудного месторождения (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология, 2021, том 40, № 3, с. 67–84.
- Бердников Н.В., Невструев В.Г., Кепежинская П.К., Астапов И.А., Коновалова Н.С. Gold in Mineralized Volcanic Systems from the Lesser Khingan Range (Russian Far East): Textural Types, Composition and Possible Origins // Geosciences 2021, 11, 103.