



# СЕРЕБРО

Авторы: Л. Ю. Аликберова (Применение), Л. И. Авилова, С. В. Кузьминых

(Исторический очерк)

СЕРЕБРО (лат. Argentum), Ag, химич. элемент I группы короткой формы (11-й группы длинной формы) периодич. системы, относится к *благородным металлам*; ат. н. 47, ат. м. 107,8682. Природное С. – смесь двух стабильных изотопов  $^{107}\text{Ag}$  (51,839%) и  $^{109}\text{Ag}$  (48,161%).

В Ассирии и Вавилоне, затем у алхимиков Средневековья С. считалось священным металлом, символом Луны. Рус. назв. «С.» происходит, вероятно, от ассир. Sargu (светлый – по цвету металла); лат. Argentum – от греч. ἀργός (белый, блестящий).

## Распространённость в природе

С. – самый распространённый из благородных металлов; содержание в земной коре  $8 \cdot 10^{-6}\%$  по массе, в морской воде  $1,5 \cdot 10^{-8}$ – $2,9 \cdot 10^{-7}\%$ , пресной –  $2,7 \cdot 10^{-8}\%$ . Известно более 60 содержащих С. минералов: *серебро самородное* и природные сплавы Ag с Cu и Au; халькогениды (аргентит  $\text{Ag}_2\text{S}$ , пираргирит  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ , прустит  $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$  и др.); галогениды (кераргирит  $\text{AgCl}$ ) и др.; см. также *Серебряные руды*.

## Свойства

Конфигурация внешних электронных оболочек атома С.  $4d^{10}5s^1$ ; степени окисления +1 (наиболее устойчива), +2, +3; энергии последоват. ионизации соответственно 731, 2073, 3261 кДж/моль; электроотрицательность по Полингу 1,93; атомный радиус 145,4 пм, ионные радиусы (пм, в скобках координац. числа):  $\text{Ag}^+$  100 (4) и 115 (6),  $\text{Ag}^{2+}$  79 (4) и 94 (6),  $\text{Ag}^{3+}$  75 (6).

С. – белый блестящий мягкий пластичный металл, в тонких плёнках и в проходящем

свете – голубого цвета; кристаллизуется в гранецентриров. кубич. решётке;  $t_{пл}$  961,93 °C,  $t_{кип}$  2167 °C; при 293 К плотность 10491 кг/м<sup>3</sup>, удельное электрич. сопротивление 1,59 мкОм·см, теплопроводность 419 Вт/(м·К) (примеси в С. уменьшают электро- и теплопроводность); твёрдость по Бринеллю 245–250 МПа, модуль упругости 82,7 ГПа; обладает высокой отражательной способностью (С., осаждённое в вакууме на стекло, отражает 95% видимого света). С. хорошо адсорбирует H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar и др. газы (напр., Ag при 500 °C поглощает до 5 объёмов O<sub>2</sub>); при охлаждении жидкого С., содержащего растворённый O<sub>2</sub>, выделение газа может происходить со взрывом.

С. химически малоактивно. Из соединений легко восстанавливается до Ag<sup>0</sup> более активными металлами, углеродом, H<sub>2</sub> и др. восстановителями. При комнатной темп-ре не взаимодействует с O<sub>2</sub> воздуха, при нагревании до 170 °C покрывается плёнкой Ag<sub>2</sub>O. В присутствии влаги окисляется озоном до высших оксидов – Ag<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При взаимодействии с S или H<sub>2</sub>S в присутствии O<sub>2</sub> образуется Ag<sub>2</sub>S. С P, As, C, халькогенами образует бинарные соединения; с HNO<sub>3</sub> – серебра нитрат, с концентрир. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – сульфат Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; с галогенами и концентрир. галогеноводородными кислотами – серебра галогениды. В присутствии O<sub>2</sub> реагирует с цианидами щелочных металлов образованием растворимых комплексных солей, напр. Na[Ag(CN)<sub>2</sub>]. Не реагирует со щелочами и органич. кислотами. Почти все соединения Ag(I) на свету разлагаются с выделением Ag и приобретают серый или чёрный цвет, что используется в фотографии. Углерод- и азотсодержащие соединения Ag(I) разлагаются со взрывом. С. образует многочисленные интерметаллиды и сплавы с др. металлами (Pd, Au, Cu, Ni, Pb и др.).

При восстановлении соединений или при диспергировании компактного металлич. С. образуется коллоидное С. Золи С. в зависимости от размера частиц металла и способа получения золя окрашены в разл. цвета – от фиолетового до оранжевого. Коллоидное С. – восстановитель, бактерицидный препарат (колларгол, протаргол). При попадании растворимых соединений С. на кожу и слизистые оболочки

происходит серо-чёрное окрашивание поверхности тканей (вследствие восстановления до коллоидного С.) – аргирия.

## Получение

Первая стадия переработки всех содержащих С. руд – флотац. и гравитац. обогащение. Дальнейшие методы выделения С. зависят от типа руды и содержания Ag и подразделяются на пирометаллургич. и гидрометаллургические. Сульфидные руды подвергают обжигу – окислительному, восстановительному (или хлорирующему). Серебряные руды перерабатывают после обогащения методом цианирования: руду обрабатывают в водном растворе NaCN или KCN в присутствии O<sub>2</sub> и затем С. извлекают из комплексных цианидов восстановлением металлами или с использованием ионного обмена. Для получения С. высокой чистоты (99,999%) сырой металл подвергают электролитич. аффинажу в растворе AgNO<sub>3</sub> с осаждением на катоде (примеси переходят в шлам). Все содержащие С. отходы пром-сти (отработанные фотоматериалы, контакты, источники питания и т. п.) подвергаются переработке с целью извлечения вторичного С., которое вновь расходуется в пром-сти (60–70% от общего потребления). Объём мирового произ-ва С. ок. 10 тыс. т/год.

## Применение

С. используется для изготовления кино- и фотоматериалов, сплавов с Pd, Au, Cu, Zn, контактов, припоев, проводящих слоёв, элементов реле в электротехнике и электронике, стоматологич. сплавов с Au, Cu, Hg, Sn, серебряно-цинковых аккумуляторов, обладающих высокой энергоёмкостью (космич. и оборонная техника), оксидно-серебряных элементов питания часов, монет, ювелирных изделий, украшений, столовой посуды, зеркал, аппаратов в пищевой пром-сти, катализаторов (дожигания CO, восстановления NO, эпоксидирования этилена, процессов окисления в органич. синтезе) и др.

## Исторический очерк

Начало использования С. связано с культурами, освоившими медь и золото. Древнейшие изделия из С. известны не позднее кон. 5-го или рубежа 5–4-го тыс. до



Серебряная фигурка быка из Майкопского кургана (Адыгея, Россия). Эрмитаж (С.-Петербург).

н. э. [[Варненский могильник](#), [Караново VI](#), Гумельница (см. [Гумельницкая культура](#)) [Балкано-Карпатской металлургической провинции](#); [Бейджесулан](#) в Юго-Зап. Анатолии; культура Балатон – Ласинья на северо-западе Ср. Подунавья]. С 4-го тыс. серебряные украшения, сосуды, фигурки, инкрустации и др. известны в [майкопской культуре](#) на Сев. Кавказе, [Коруджутепе](#) и Арслантепе (Вост. Анатолия), [Библе](#) (Левант), [Уре](#) (Юж.

Месопотамия) и др. Большую часть С. получали

из свинцовых руд, что подтверждено находками с 4-го тыс. (Хабуба-Кабира на Ср. Евфрате) свинцового глета (PbO), возникающего при купелировании (трейбовании) – окислительном отделении свинца от С. в расплавленном состоянии. Осн. месторождения известны в Центр. Иране и Анатолии, откуда С. распространяется в [Циркумпонтийской металлургической провинции](#). С 3-го тыс. на Ближнем Востоке слитки С. становятся формой [денег](#) (для 2-го тыс. до н. э. отношение стоимости С. к меди – 1:180). В ср. и позднем бронзовых веках С. известно от [Евразийской степной металлургической провинции](#) (в т. ч. рудники и месторождения Урала, Казахстана, Саяно-Алтая) до мн. регионов Европы (месторождения на Иберийском п-ове, в Вост. Альпах, позднее [Лаврийские рудники](#), рудники в Богемии и др.). В Рус. гос-ве собств. источники С. открыты в кон. 15 в. н. э. на Сев. Урале, позднее – на о. Медвежий в Белом море.

## Литература

**Применение.** Лит.: Эмсли Дж. Элементы. М., 1993; Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. М., 2008. Т. 2; Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. Химические свойства неорганических веществ. 6-е изд. М., 2014.

**Исторический очерк.** Лит.: Черных Е. Н., Кузьминых С. В. Древняя металлургия Северной Евразии. М., 1989; Moorey P. R. S. Ancient mesopotamian materials and industries. Oxf., 1994; Древнее серебро Сибири. Новосиб., 2005; Авилова Л. И. Металл

Ближнего Востока. М., 2008; Peyronel L. Ancient Near Eastern economics. The silver question between methodology and archaeological data // Proceedings of the 6th International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East. Wiesbaden, 2010. Vol. 1; Бронзовый век: Европа без границ. СПб., 2013.