

**ВОЗМОЖНЫЙ ВКЛАД В ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ САМОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ В МИНЕРАЛАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕСТЕСТВЕННОГО
РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ЭЛЕМЕНТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕМЕНТОВ
ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ)**

А.Я. Пшеничкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск, Ленина, 30, Россия

Рассматривается возможный способ образования наночастиц элементов платиновой группы и золота в минералах в результате естественного радиоактивного распада рядов радиоактивных цепочек изотопов, в результате радиоактивных превращений которых образуются стабильные изотопы элементов.

наночастицы элементов платиновой группы, золото, изотопы, радиоактивный распад, радиоактивные цепочки

**POSSIBLE CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF NANOPARTICLES OF
NATIVE METALS IN MINERALS AS A RESULT OF THE NATURAL
RADIOACTIVE DECAY OF ELEMENTS (FOR EXAMPLE PLATINUM GROUP
ELEMENTS)**

A.Ya. Pshenichkin.

The possible method of forming platinum group elements nanoparticles and gold in minerals is considered as a result of natural radioactive decay series radioactive isotope chains, as a result of which radioactive transformations stable elements isotopes are formed.

platinum group elements nanoparticles, gold, radioactive decay, isotopes

В настоящее время, в связи с использованием зондовых и просвечивающих электронных микроскопов, стало возможным «рассмотреть» состояние вещества, размерностью от одного и менее нанометров. На этой основе формируются новые науки, в том числе наноминералогия и наногеохимия, объектом исследования которых является зона перехода от атома элемента, через кластеры, наночастицы до кристаллов и поведение наночастиц минералов в природных процессах и экспериментах [3, 6].

В золоторудных, комплексных золото-платиноидных, золото-платиноидно-редкометалльных и других типах месторождений наряду со свободным видимым золотом и элементами платиновой группы (ЭПГ), встречаются самородные благородные металлы в виде наночастиц размером 1–30 нм, что было показано для Сухоложского и других золоторудных месторождений [2, 4]. При этом содержание ЭПГ достигает промышленно значимых значений. Золото и ЭПГ концентрируются, в основном, в пирите, арсенопирите и углеродистом веществе. Благородные металлы в этих рудах трудно извлекаются при обогащении и руды этих месторождений относятся к так называемым «упорным рудам».

Традиционно считается, что отложения золота и ЭПГ в пирите и арсенопирите и других минералах происходило в результате гидротермальной деятельности при определенных термодинамических условиях системы.

Однако в природе существует и другой механизм образования наночастиц благородных (да и других) металлов: образование элементов (изотопов) за счет радиоактивных превращений элементарных частиц (изотопов), которое в природе очень широко осуществляется [1].

В настоящее время известно 273 стабильных изотопа и около 1700 радиоактивных [5]. Хотя «стабильность» для стабильных изотопов понятие, по-видимому, относительное, так как стабильный изотоп $^{204}_{82}\text{Pb}$ имеет период полураспада около 10^{50} лет.

В природе кроме естественных радиоактивных элементов (уран, торий) почти у всех элементов периодической системы Менделеева существуют стабильные и радиоактивные (неустойчивые) изотопы, количество которых у элементов от 1 до 10.

Радиоактивные превращения изотопов осуществляются путем α - и β -распада, электронного захвата и спонтанного деления ядер.

Самопроизвольное превращение атомных ядер происходит по закону радиоактивного распада, согласно которого скорость распада (т.е. число ядер распадающихся в единицу времени) пропорциональна количеству не распавшихся ядер в данный момент времени. Скорость распада радионуклида можно характеризовать через величину периода полураспада T -времени, в течение которого распадается половина имеющегося числа атомов радионуклида.

Среди тяжелых естественных радиоактивных элементов конца периодической таблицы Менделеева известно 3 радиоактивных семейства: $^{238}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$ и $^{232}_{90}\text{Th}$, которые через чередование ряда α - β -распадов превращаются в стабильные изотопы $^{206}_{82}\text{Pb}$, $^{207}_{82}\text{Pb}$, соответственно. Кроме того, на ранних этапах развития Земли существовал ряд нептуния Nr. Члены этого ряда получены в результате искусственных ядерных реакций.

Исследование изотопов искусственных трансурановых элементов и нейтронных ядерных реакций значительно расширило наше представление о радиоактивных рядах. Оказалось, что естественные радиоактивные ряды представляют собой только часть радиоактивных семейств, значительно более обширных и заключающих в себе многочисленный набор радиоизотопов. Например, найдено, что эйштейний-254 испытывает β -распад и четыре последующих α -распада, превращается в уран-238:

U.

Неустойчивые радиоактивные изотопы элементов распадаясь, переходят в новые радионуклиды и, в конечном счете, радиоактивные превращения заканчиваются стабильным нуклидом (изотопом), образуя так называемые радиоактивные цепочки. В зависимости от схемы распада ядер радиоактивные цепочки могут быть простыми (линейными) и сложными (с ветвлениями). Доля превращения материнского радионуклида в дочерние характеризуется коэффициентом ветвления и выражается в процентах по отношению ко всем видам превращений данного ядра. Ниже приведен ряд радиоактивных цепочек изотопов, в результате

радиоактивных превращений которых образуются стабильные изотопы элементов платиновой группы и золота (рис. 1) [1].

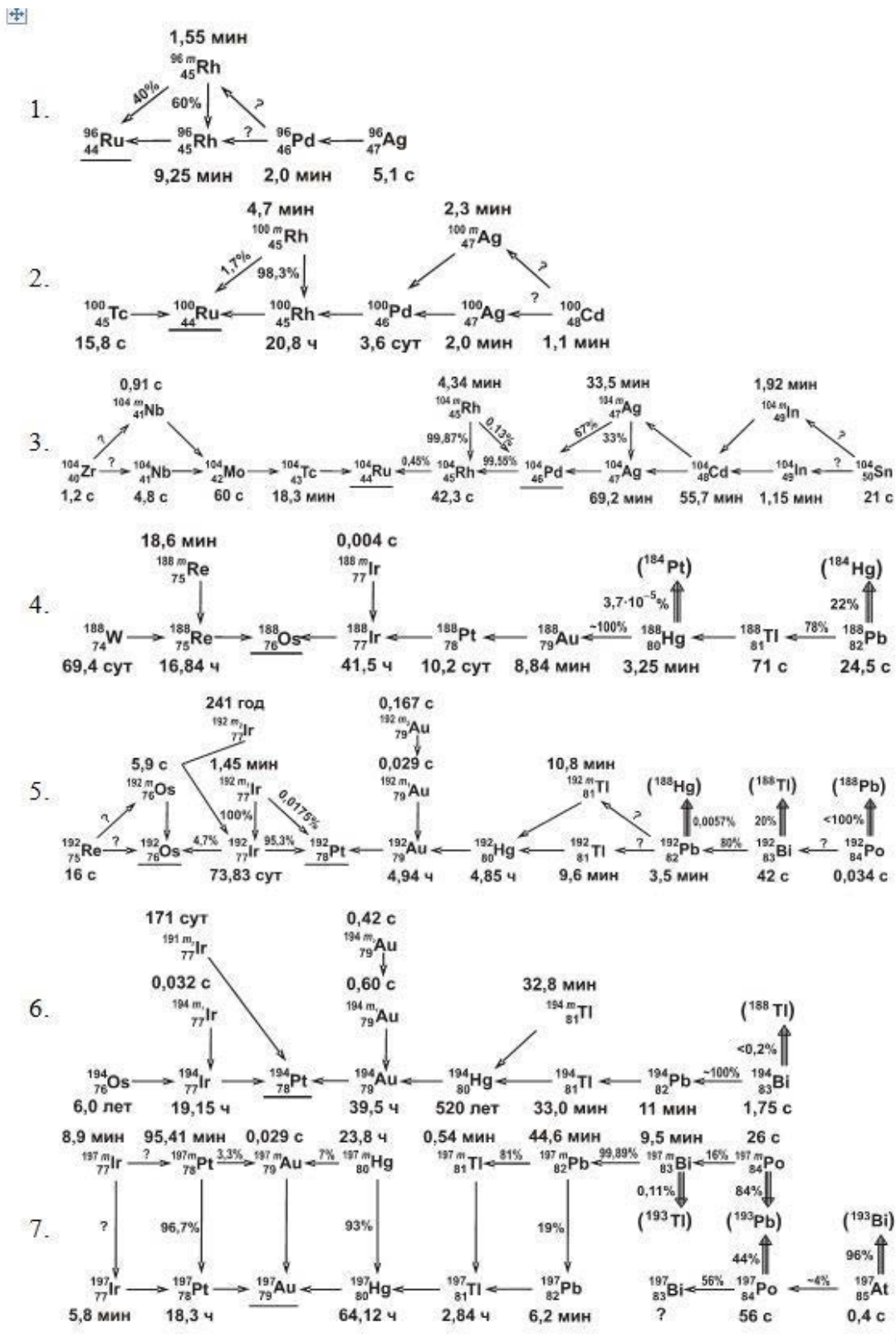


Рис. 1. Ряд радиоактивных цепочек изотопов, в результате радиоактивных превращений которых образуются стабильные изотопы элементов платиновой группы и золота.

Кроме того, стабильные изотопы благородных металлов образуются в других радиоактивных цепочках [1]. Здесь для краткости показаны только крайние члены изобарных цепочек (левый и правый) и стабильный изотоп.

___ из ${}^{98}_{43}\text{Tc}$ и ${}^{98}_{48}\text{Cd}$; ${}^{99}_{44}\text{Ru}$ из ${}^{99}_{37}\text{Rb}$ и ${}^{99}_{48}\text{Cd}$; ${}^{101}_{44}\text{Ru}$ из ${}^{101}_{39}\text{Y}$ и ${}^{101}_{48}\text{Cd}$; ___ и ___ и
из Jn; ___ из ___ и Sn; ___ из ___ и Sn; ___ из ___ и Ag; ___ и ___
из ___ и Te; ___ из ___ и I; ___ из Rb; ___ из ___ и Ti; ___ из
и Pb; ___ из ___ и i; ___ из ___ и i; ___ из ___ и i; ___ из ___ и
Po; ___ ___ и ___ из ___ и At; ___ из Ir.

Таким образом, в результате радиоактивных превращений радионуклидов образуются стабильные изотопы благородных металлов, которые могут накапливаться в минералах в виде наночастиц и вносить определенный вклад в содержание того или иного элемента в минерале или породе.

Здесь не обсуждается процесс образования значительных скоплений рудных компонентов, вплоть до промышленно значимых, за счет радиоактивного распада радионуклидов. Хотя данный вопрос неоднократно поднимался П.А. Корольковым в середине 50-х годов XX века и обсуждался на сессиях Ученого Совета (и других совещаниях) Горно-геологического института Уральского ФАН СССР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания "Наука", № 1.1312.20142.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 112 с.
2. Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. и др. Форма нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений, 1996. Т. 38. № 6. С. 467–486.
3. Конеев Р.И. Наноминералогия золота эпитеpмальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). С-Пб.: DELTA, 2006. 220 с.
4. Коробейников А.Ф. Платинометалльные месторождения. Т. III. Комплексные золото-редкометалльно-платиноидные месторождения. М.: Научный мир, 2004. 236 с.
5. Куликов И.С. Изотопы и свойства элементов: Справочник. М.: Металлургия, 1990. 120 с.
6. Моисеенко В.Г. Вопросы наногеохимии золота // Наногеохимия золота: Труды Симпозиума (Владивосток, 17-18 апреля 2008 г.). Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 6–30.
7. Пшеничкин А.Я., Рихванов Л.П., Шубин Г.В. Методы определения возраста горных пород и минералов. Учебное пособие. Томск: ТПИ, 1978. 93 с.