

**РУДОГЕНЕЗ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ.  
СТАТЬЯ 1. ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ  
АСПЕКТЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ****А. Д. Савко, Л. Т. Шевырѐв***Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 15 мая 2014 г.

**Аннотация:** рудогенез в истории Земли является предметом исторической минерации, а в её задачи входят: 1 – получение палеонтологических, стратиграфических, радиологических свидетельств для дробной возрастной привязки событий минерации; 2 – расшифровка эволюционного тренда и этапности становления рудных и нерудных скоплений полезного для человека вещества, оценка вклада каждого минерационного этапа в этот процесс; 3 – выявление ареалов минерации, выделение историко-минерационных провинций для этапов минерации; 4 – установление истории рудоносных структур как отражения глубинных и приповерхностных энергетических обстановок недр (практическое приложение исторической минерации). Минеральные месторождения любого интересующего промышленность полезного компонента возникали не непрерывно, а на определенных временных рубежах. Со временем они меняли минералогические и геохимические характеристики, химический состав, масштабы, содержания, ассоциации полезных компонентов, переживали расцвет и угасание. Максимумы эндогенного рудогенеза оказываются следствием наиболее активных изменений энергетического состояния земных недр. Экзогенные месторождения, особенно связанные с мощными корами выветривания, избирательно тяготеют к длительным эпохам тектонической стабилизации и покоя с наиболее проявленными процессами дифференциации минерального вещества и обычно активным воздействием органики на осадконакопление и диагенез.

**Ключевые слова:** эндогенные и экзогенные месторождения, историческая минерация, платформы и подвижные пояса, историко-минерационные провинции.

**ORE-FORMING IN THE EARTH HISTORY.  
ARTICLE 1. GEOCHRONOLOGICAL AND EVOLUTIONARY  
ASPECTS OF ORE FORMATION**

**Abstract:** ore-forming in the Earth's history is a subject for historic minerageny. Its targets are as follows: 1 – creature of the database for paleontological, stratigraphical, radiological detailed characteristics of the mineragenesis events; 2 – transcription of the evolution trend and stage succession in forming of the ore and non-ore accumulations of the feasible for people substance, estimation of each stage contribution in this process; 3 – delineation of the mineragenesis areas as historical-mineragenic provinces for each stage; 4 – reconstruction of the ore-bearing structures history as reflection of the deep-seated and surface energetic circumstances in entrails (practice application of the historical minerageny). Mineral deposits of each industry important useful component form intermittently upon certain temporal boundaries. These ones change in time their mineralogical, geochemical characteristics, chemical compositions, scales, contents, useful components associations, survive blooming and fading. Maxima of the endogenous ore-forming are the results of the most active changes in energetic states of Earth's entrails. Exogenous deposits (especially tied with mantles of waste) electively aspire to the continuous epochs of the tectonic stability and repose with the most displayed processes of differentiation of mineral matter, casual action of organics in sedimentation and diagenesis.

**Key words:** endogenous and supergene deposits, minerageny, platforms and mobile belts, historical-mineragenic provinces.

Учение о полезных ископаемых развивается во благо человечеству более двух с половиной тысячелетий. Именно металлогенисты устами шотландского исследователя руд и минералов Джеймса Хаттона (Геттон, Hutton) в восемнадцатом веке сформулировали мудрую истину: «В истории Земли не заметно начала и нет признака конца». В таком случае, интересно подумать о том, в какой точке своего развития находится наша Планета. И что это такое, «развитие»,

применительно к косной материи.

По Владимиру Ивановичу Смирнову, на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков в Учении о полезных ископаемых произошло обособление ряда национальных школ, направлений, подходов, секторов. В каждом из них очень заметен вклад отечественных ученых: самого В. И. Смирнова [1970, 1989], С. С. Смирнова, А. Г. Бетехтина, Д. В. Рундквиста [1997] (генезис и моделирование рудных процессов),

Ю. А. Билибина, Н. А. Шило (россыпи), П. М. Татаринова (нерудное минеральное сырьё), А. С. Соколова, А. В. Пустовалова, Н. М. Страхова, И. И. Гинзбурга, А. Л. Яншина (осадочные рудные месторождения), Н. В. Вассоевича, И. И. Губкина, М. Ф. Мирчинка, А. А. Гапеева (каустобиолиты) и многих других.

Вопросы эволюции рудообразования во времени всегда оказывались в поле зрения как приоритетные. Значительное внимание им уделили В. И. Смирнов, Д. В. Рундквист, И. Г. Магакян, Г. А. Твалчрелидзе, А. В. Ткачев. Широко известны и часто цитируются разделы лекций, читаемые в МГУ профессором В. И. Старостиным [2012] и посвященные эволюционной металлургии. Нельзя не упомянуть фундаментальные исследования, касающиеся распределения по геологам рудных ресурсов группы железа [Дымкин, Чайка, 1992], благородных металлов [Беневольский, 1995], редких элементов [Беляев, 1996]. Фундаментальное значение имеют работы, в которых анализируются хронологические проблемы становления скоплений хромитов, полиметаллов [Старостин, 1999; Старостин, Пельмский, 2001]. За рубежом временные характеристики рудообразования широко представлены в публикациях Peter Laznicka [2006], около 3 тыс. рудных объектов; Mike de Wit [2010], 6,5 тыс. кимберлитовых тел; Dwight C. Bradley et David L. Leach [2010], месторождения типа долины реки Миссисипи; Ian B. Lambert et al [1992], месторождения протерозоя.

Эти и многие другие отечественные и зарубежные работы явились основой для оформления в составе Учения о полезных ископаемых направления, посвященного хронологическим аспектам эндогенного и экзогенного рудогенеза, которое могло бы именоваться исторической минерагенией. Её предмет – минерагения в истории Земли, цель – установление особенностей размещения во времени и пространстве полезных ископаемых, их эволюции в истории Земли, как для отдельных видов месторождений, так и для историко-минерагенических провинций и рудоносных структур. В рамках направления оказываются общие эволюционные, пространственные и геоструктурные условия рудогенеза. Для достижения этой цели необходимо решение ряда задач.

#### **Задачи и структура исторической минерагении**

Огромный массив данных о месторождениях рудных и нерудных полезных ископаемых, накопленный человечеством, перспективно использовать при реконструкции энергетических обстановок прошлого, выявлении эффективного содержания этапов эволюции Земли. Не странно ли, что данные, касающиеся возраста и генезиса рудных залежей, полученные на бесчисленных рудных полях Мира практически не используют в тектонических и палеогеографических реконструкциях? Исследователи в области геотектоники более склонны в своих построениях опираться на материалы геофизических и геологических съёмок, обходясь без хронологии минерагенических событий. Металлогенисты, напротив, понимают важность ха-

рактеристики эпох рудогенеза, но традиционно избегают картографических обобщений для конкретных эпох по континентам Земли. И их "картографические" затруднения можно понять. При размещении месторождений разных эпох в качестве основы пришлось бы использовать результаты зыбких, противоречивых и неоднозначных реконструкций, в основу которых положены совсем не минерагенические материалы.

Между тем, выход из ситуации очевиден: разделить факты и теоретические построения. Такой способ использован авторами в трехтомнике "Историческая минерагения" [2005, 2007, 2008] и развит в новой серии десяти выпусков трудов НИИ геологии ВГУ "Историко-минерагенические провинции Мира" [2012 – 2013 гг.]. Очевидно, что перед исследователем, занимающимся планетарными аспектами рудообразования, встают проблемы, разработка которых определяет специфику собственно исторической минерагении и ее структуру:

Основными задачами исторической минерагении и историко-минерагенического анализа являются:

1 – получение палеонтологических, стратиграфических, радиологических свидетельств для дробной возрастной привязки событий минерагенеза;

2 – расшифровка эволюционного тренда и этапности становления рудных и нерудных скоплений полезного для человека вещества, оценка вклада каждого минерагенического этапа в этот процесс;

3 – выявление ареалов минерагенеза, выделение историко-минерагенических провинций для этапов минерагенеза;

4 – установление истории рудоносных структур как отражения глубинных и приповерхностных энергетических обстановок недр (практическое приложение науки).

#### **Геохронологические аспекты рудообразования**

При создании специфической базы данных с акцентом на хронологические аспекты рудогенеза приходится учитывать многоэтапность формирования многих рудных объектов («предыстории» месторождений в терминологии Д. В. Рундквиста), длительностью до миллиарда и более лет. Геохронологическая информация, в т.ч. для многих ключевых рудных объектов, неоднозначна. Как пример приведем месторождение Альмаден, Испания (рис.1). В. И. Смирнов, исследовавший ртутные и сурьмяные руды Средней Азии, не мог не уделить внимания этому «ртутному полюсу Мира». Он связал местные ртутные скопления с дайками *кайнозойских* диабазов и кварцевых порфиров, выполняющих некоторые сбросы. Ассоциирующие с рудами экзотические брекчии ("монашеский камень", *fruilesca*) являются выполнением трубки взрыва, как полагал Г. А. Твалчрелидзе), [1972, с. 122, 123] *позднеорогенным герцинским* (скорее всего, пермским-триасовым; некоторые ученые считают эти брекчии третичными. Условно *кайнозойским* гидротермальным, в связи с дайками кварцевых и диабазовых диоритов, назвали оруденение Альмадена [Авдонин, 2005, с. 327]. В работе [Крупные..., 2004, с. 397]

ртутные руды указаны *палеозойскими*.

Мнение о «молодости» руд имеет право на существование по двум соображениям. Известно, до 5% ртути «королевства» Альмаден находится в свободном состоянии, заставляя организовывать ее специальный сбор на почве горных выработок с дальнейшим удалением. Сложно представить, что этот летучий металл в случае палеозойского возраста его залежей мог бы сохраниться в жидкой форме, без самоудаления по трещинам стоящих «на головах» палеозойских пород. Если же ртуть молодая, кайнозойская, то недоумение снимается – самоудаление не завершено. Еще одним аргументом является и историко-минерагенический аспект: на континентах Земли не известны *точно доказанные* палеозойские скопления ртути даже небольших масштабов. Следовательно, даже для великолепного рудного объекта, пользующегося вниманием человечества на протяжении тысячелетий, дискуссия о возрасте руд далеко не завершена.



Рис. 1. Рудный район Альмаден. Карьер на месторождении Эль Энтредича (El Entredicho). На заднем плане в верхней половине стенки карьера, в центре – светло-серые туфы трубки взрыва («монашеский камень», “Rosa Frailesca”, “Friars Rock”) среди черных нижнесилурийских Нижних сланцев. Возраст их пока не установлен. Этот объект содержит максимальные количества самородной ртути. Из [Palero & Lorenzo, fig. 5]

А вот примеры, освещающие разные стороны проблемы. В редкометалльных поясах Калбы и Алтая, Восточный Казахстан, *позднегерцинские* рудные ( $C_3$ ,  $P_1$ , иногда,  $P_3$ ) аккумуляции появились из вещества *докембрийского* фундамента, перенесенного флюидами на верхние структурные этажи. Речь идет о десятках объектов, среди которых пегматитовые с Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn – Бакенное, Белая Гора, Юбилейное; пегматитовые берилл-микроклиновые с Nb, Be – Асубулак, Лобаксай, Огнеивское; грейзены с касситеритом и танталитом (Карасу) и связанные с ними кварцевые жилы с Sn и W (Чердоjak, Палаци, Каинды); гидротермальные кварцевые жилы с Sn-W оруденением (Чудскы, Караш) [Dyachkov, 2006].

В рудном районе Трех Штатов (Миссури-Канзас-Оклахома) с уникальным цинково-свинцовым стратиформным оруденением в породах *карбона* (известняках Хиндсвилл, песчаниках Бейтсвилл, сланцах Фейетвилл миссисипия, частично – в перекрывающих сланцах Чероки пенсильвания), изотопные данные для рудного свинца говорят о *рифейском* возрасте (около 1 млрд лет). Исследование изотопии по зонам роста монокристаллов указали на длительность кристаллизации – более *ста миллионов* лет (не менее двух периодов фанерозоя), т.е., в данном случае, рудогенез длился со среднего карбона по середину мела [Рудные месторождения США, 1973<sup>1,2</sup>]. А вот впечатляющий пример золоторудного поля Искут, пров. Британская Колумбия, Канада. По W. L. MacMillan [1990], в Золотом Треугольнике с его Долиной Десяти Тысяч Дымов золотое, серебряное, медное оруденение формируется *с палеозоя до наших дней*, сопровождается постоянным поступлением Hg, As, Sb.

В каждом минерагеническом этапе можно обнаружить месторождения: 1 – с законченным рудогенезом; 2 – вступившие в стадию прерудной подготовки; 3 – находящиеся в стадии активного формирования; 4 – находящиеся в стадии перераспределения рудного вещества в результате тектоно-термального воздействия. Подобные стадии проходит и каждый генетический тип эндогенных и экзогенных месторождений. Пример первых – медно-никелевое с платиноидами оруденение в расслоенных интрузиях базитов-гипербазитов, вторых – полосчатые железистые формации.

Мировая минерагения стремительно обновляет фактологическую базу. Благодаря усилиям естествоиспытателей, вооруженных, прежде всего, новыми поисковыми идеями, мы узнаем о месторождениях все новых и новых типов. Есть среди них и те, что открыты отечественными геологами. Таковы раннепротерозойские золоторудные объекты в пегматоидах среди габбро-норитовых силлов, к которым на Алданском щите принадлежит среднее по запасам месторождение им. П. Пинигина. Содержания благородного металла иногда больше 10 г/т там выявлены в амфибол-двупироксеновых кристаллосланцах с рудными и апатитом [Кравченко, 2008, с. 21]. Мы стали больше знать о золотоносных родингитах ( $D_3$ ) Главного Уральского разлома (Золотая Гора, Челябинская об-

ласть) и на юго-западе Южно-Тувинского гипербазитового пояса (Агардаг), где они ассоциируют с нефритоидами. Эти гранат-диопсидовые породы связаны с ультрабазитами [Murzin et al., 2006]. Из зарубежных достижений отметим открытие алмазов в раннепротерозойских коматиитах пояса Инини Французской Гвианы, вольфрамоносных рассолов Searles пустыни Мохаве, Калифорния США.

Уникальны скопления самородной сурьмы Ютаньба (Yutangba) на западе пров. Хубэй в Китае. Первичные руды локализованы среди углеродистых силицитов, углистых сланцев и сапропелевых углей верхов нижнепермской формации Маокоу, вторичные – в техногенных продуктах прежних лет. Содержания Se в рудах достигает 8390 г/т, среднее – 0,13 %. Запасы оценены в 50 т Se [Liu, 2006]. Большой интерес представляют железо-оксидно-золото-медные объекты (Каражас, Олимпик-Дэм и др.), великий Западно-Тихоокеанский пояс, трассируемый скоплениями сапфиров, рубинов, цирконов ювелирного качества, связанных с меловыми кайнозойскими базальтами. Он прослежен на 12 тыс. километров между Тасманией и российским Приморьем. Обнаруженные впервые в 1980-е и 1990-е годы в пределах пояса месторождения только сейчас стали понятнее исследователям, пытавшимся выявить их генезис, время и механизм формирования [Graham et al., 2006]. Месторождения пояса активно разрабатывают (Тасмания, Новый Южный Уэльс, Лаос, Вьетнам). Список можно продолжать бесконечно, таковы результаты всемирной охоты за аккумуляциями минерального сырья новых ви-

дов, сулящих неожиданную и быструю экономическую отдачу.

В базе данных авторов сконцентрирована геохронологическая информация примерно о 5 тыс. опорных объектов [Шевырёв, Савко, 2012].

Помимо определения возраста формирования полезных ископаемых, не менее важное значение, и в первую очередь, для составления минерагенических карт, имеет внутри и межрегиональная корреляция месторождений по времени их образования. Синхронизация геологических событий в истории Земли (трансгрессивных, регрессивных эпизодов, эпох растяжения, сжатия, гранитоидного магматизма, рифтогенеза, повышенной тектонической активности, мощного корообразования, а значит, и связанного с ними эндогенного и экзогенного рудогенеза) – одна из труднейших задач современной геологии. Нынешние возможности при характеристике планетарного рудогенеза позволяют выделить лишь крупнейшие этапы: архейский, раннепротерозойский, рифейский, раннепалеозойский (каледонский), среднедевонско-раннекаменноугольный (раннегерцинский), среднекаменноугольный-среднетриасовый (позднегерцинский), познетриасово-юрский (киммерийский), меловой (раннеальпийский), кайнозойский (позднеальпийский). Уже самые общие материалы, собранные для континентов Земли, например, распространение магматитов, убеждают в прерывистости и разномасштабности эндогенных и экзогенных процессов, включая наиболее глубокий потенциально алмазоносный магматизм, (рис. 2).

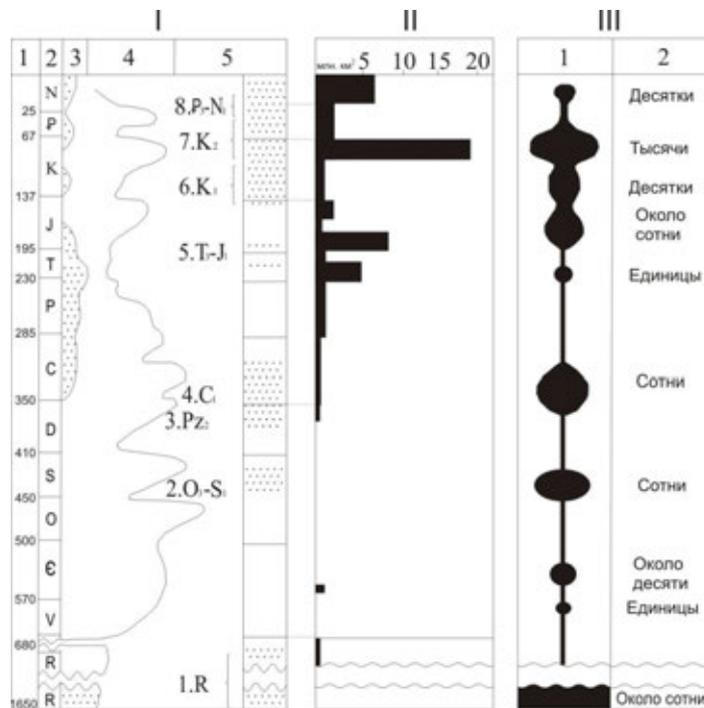


Рис. 2. Магматизм областей платформенного типа развития, не подвергшихся морским трансгрессиям, и интенсивность внедрения потенциально алмазоносных диатрем в неогее Земли. Римскими цифрами обозначены: интервалы геохронологической шкалы (I); площади, занятые магматитами в областях платформ вне ареалов трансгрессий (II); результаты полуколичественной оценки интенсивности внедрения трубок взрыва потенциально алмазоносных пород (III). Сплошная или прерывистая линия, соединяющая интервалы массового внедрения диатрем, – единичные случаи мантийного диапиризма. Эпохи мощного корообразования заштрихованы

Представленное выделение этапов не является окончательным, особенно для докембрия, занимающего до 80 % геологического времени. С появлением дополнительных материалов по минерагенезу этого стратиграфического материала дополнительно будут охарактеризованы этапы, по времени сопоставимые с таковыми для докембрия.

Носят ли изменения энергетических состояний недр всеобщий планетарный характер? Историко-минерагенические данные действительно позволяют некоторым изменениям таких состояний приписать планетарный ранг, дают собственные аргументы в пользу отнесения конкретных областей континентов к платформам или подвижным поясам (геосинклиналям). Всеобщие, планетарного ранга особенности минерагенеза для каждой из восьми минерагенических эпох (этапов развития) имеют эксклюзивные черты, делающие каждую платформу или подвижную область неповторимой. Так, если полосчатые железистые формации распространены в докембрии *всех* платформ, то в Южной Америке они представлены «итабиритами» (кварцитами с магнетитом и гематитом при *низком содержании* мусковита и других силикатов), в Северной Америке – таконитами (первичные железистые породы гранулярной слоистой текстуры, *богатые* силикатами), в Кривбассе и КМА – классическими джеспилитами). Или – только на Южных платформах в палеогее и рифее формировались гигантские скопления марганца, практически не известные для этих возрастов платформ Севера.

#### Эволюционные аспекты минерагенеза

Историко-минерагенический подход – рассмотрение эволюции минерагенеза по естественным этапам развития планеты – традиционен для отечественной геологии. Он – частный вариант единого историко-геологического метода познания окружающего мира, делающего Геологию наукой. Эволюция минерагенеза может рассматриваться в двух аспектах: 1 – эволюция отдельных видов минерального сырья в истории Земли, 2 – эволюция ассоциаций различных видов полезных ископаемых от этапа к этапу. И если первый аспект освещен довольно детально, о чем сказано выше, то второй – довольно слабо. Последний предполагает рассмотрение историко-минерагенических провинций по выделенным этапам.

Основные особенности эволюции основных видов гипергенных полезных ископаемых освещены в 70-80-е годы прошлого века. Схемы рудонакопления, разработанные в это время, сохранили актуальность до наших дней. С тех пор другими авторами в подобные схемы вносятся дополнения, в частности приведен новый тип железнакопления Рапитан в межледниковых толщах. Основы эволюции эндогенного рудообразования заложены в работах В. И. Смирнова, продолжены в трудах К. Д. Беляева с соавторами [1996], Г. И. Беневольского с соавторами [1996], В. И. Старостина [2012], А. В. Ткачева [2012] и других авторов. Ими разработаны схемы эволюции прак-

тически для всех видов рудных полезных ископаемых.

Что касается поэтапной эволюции ассоциаций различных видов рудного и нерудного сырья в истории Земли, то она в наиболее полном виде приведена в трехтомнике «Историческая минерагения» [Зинчук, Савко, Шевырев, 2005, 2007, 2008] и десяти выпусках «Историко-минерагенические провинции Мира» [Савко, Шевырев, 2012, 2013]. Ниже приводится очень краткая характеристика минерагении выделенных этапов с эволюцией ассоциаций различных видов полезных ископаемых в истории Земли.

В *раннем докембрии* платформенный тип развития способствовал формированию залежей полосчатых железистых формаций (Fe, Mn), гигантских золото-урановых скоплений Витватерсранда (AR<sub>2</sub>-PR<sub>1</sub>), бразильской Жакобины (1,8 – 1,5 млрд лет), канадского Блайнд Ривер (2,5 – 2,1 млрд лет), сульфидных руд в эффузивах шведского Болиден с арсенопиритовой залежью мощностью до 40 м (2,0 – 1,82 млрд лет), массивных медных руд финского Оутокумпу (первичный свинец 2,520 млрд лет, регенерированный – 1,885 млрд лет). Коматииты архея содержали до 32 % магнезии, первичные раннепротерозойские – меньше, но не менее 20 % [Лампроиты, 1992]. В рудном районе Маунт Кейт, пояс Уиджимул-Норсмен, кратон Йилгарн, потоки сульфидных руд в миллионы тонн каждый выполняют неровности древнейшего рельефа. В серии коматиитовых потоков (3 млрд лет) локализованы залежи массивных руд (пирротин, пентландит, пирит, немного халькопирита) месторождения Агню (Agnew), возможно, крупнейшего в Мирове. Содержание никеля здесь 2 % [Дымкин, Чайка, 1992, с. 119, 149]. Постоянство, низкая переменчивость тектонических обстановок платформ привели к появлению гигантских по площади массивов глубинных базитов-гипербазитов, отсутствующих в подвижных поясах. Становление рудоносного массива Садбери на площади 60 x 25 км, начавшись 1,8 – 1,7 млрд лет, завершилось 1,1 около млрд лет назад.

В *рифее* огромная длительность (1,1 млрд лет), доминирование обстановок дилатансии способствовали возникновению рифтовых систем и *всеобщему* появлению алмазоносных протолитов, диатрем и дайковых тел кимберлитов, карбонатитов. Рифей – время массового формирования отложений черносланцевой формации (Енисейский кряж с Таежным марганцевым месторождением; Бодайбинский золоторудный район (Сухой Лог, Первенец, Невское и др.); Внутренняя Монголия с бастнезит-монацитовыми залежами Баян Обо; девять провинций юго-восточного Китая (протяженность пояса 2 тыс. км, Mo-Au-Ni-Pt минерализация типа Зуньи), бассейн Атабаска в канадском Саскачеване с U-Ni, Au-Ag-MPG и прочим оруденением зоны Раббит Лейк и т.д.). Одно из загадочных явлений рифея – крупнейшие скопления гематитовых руд типа Рапитан (их относят и к полосчатым железистым формациям, BIF), ассоциирующие с тиллитами и обнаруженные на всех континентах. В боливийском

бассейне Тукавако рудные ресурсы такого объекта Эль Мутун определены в 40 млрд т, что сопоставимо с запасами всех рудных аккумуляций КМА.

*Раннепалеозойский этап* в Африке отмечен массовым внедрением гранитов «таурит» с датами от 550 млн лет до 480 – 450 млн лет [Чайка, 1990]. На северо-западе Австралии тогда же накопились кембрийские траппы. В других регионах появились кимберлитовые поля – среднекембрийское Венеция в поясе Лимпопо, ЮАР, диатремы Куоппио и Каави в Финляндии, Накынского поля Якутии, субпровинции Слейв (дайки Снэп Лэйк, диатремы Драйбоунс Бэй, Кеннеди Лэйк). Особое распространение получили оолитовые железные руды ордовика и нижнего силура – Тюрингии, Чехии, Франции, Португалии, нижнего девона Нормандии и Бретани. Уникальными для металлогении платформ оказались сульфидные месторождения с германием юго-запада Африки (Цумб, Кипуши и др.). В раннем кембрии завершилась, начавшаяся в венде, крупнейшая эпоха осадочного фосфатонакопления; лишь часть вновь возникших бассейнов оказалась в пределах древних платформ (Джорджина на севере Австралии, Юньнань-Сычуанская провинция на юге Китая).

*Раннегерцинский этап* – время крупнейших интрузий щелочных пород Кольского полуострова, с которыми связаны апатит-нефелиновые залежи «ийолит-уртитовой дуги». Основной вклад этапа в общую минерагению – коренные алмазоносные месторождения Виллойской и Архангельской субпровинций, поле Мерлин Северной Австралии. Признаком дилатансии на значительных глубинах явилось появление многочисленных месторождений массивных сульфидов Урала (Актогай, Жангана, Летнее, Зимнее, Гайское и др.), Иберийского пиритового пояса (в т.ч. крупного месторождения золотоносных колчеданов Ла Сарса). Экзогенные месторождения раннегерцинского этапа – это наиболее древние промышленные аккумуляции бокситов (Урал, Салаирский кряж и т.д.). Огромны редкоземельно-редкометалльные россыпные аккумуляции, в т.ч. содержащие значительные скопления тяжелых нефтей (Тиман), калийные соли (Северная Америка, Белоруссия). Важнейшая черта эволюции – первый выход растительности на сушу.

*Позднегерцинский этап* отмечен гигантскими трапповыми излияниями в пределах Сибирской платформы, Ньюфаундленда и т.д. Это время становления уникальных раннетриасовых сульфидных медно-никелевых руд Норильского рудного района и железорудных скарнов Ангаро-Илимского района. Резко возросли масштабы экзогенного минерагенеза: в Европе, Северной Америке возникли обширные калиево-магниевые солеродные бассейны, скопления медистых песчаников и сланцев.

В *киммерийский этап* (средний триас-юра) произошли многие события деструктивного плана, существенно повлиявшие на конфигурацию и минерагенез платформ. На Восточно-Европейской платформе киммерийская тектоническая активизация привела к возникновению Никитовского рудного гиганта (200 –

170 млн лет), месторождений Покрово-Киреевского флюорита, полиметаллических Валуйско-Марковской зоны, разделившей ДДВ и Воронежскую антеклизу. В юре и мелу подобные изменения охватили юг Сибирской древней платформы (Забайкалье, Амурская область). На Китайской платформе во временном интервале 185 – 65 млн лет назад имел место «Яньшаньский металлогенический взрыв». Появление множества месторождений W, Sn, Au, Ag, Pb, Zn, Sb, Hg не имело генетических связей с предшествующими этапами. И связь с океаногенезом здесь напрашивается сама собой. В Андах малым оказался временем становления ранних меднорудных гигантов – Мантос Бланкос, Линсе-Эстефанфа. Полагают, что источниками металлов трегичных гигантских месторождений Потоси и Оруро в Боливии были триасово-юрские вулcano-плутонические породы с возрастом 220 – 180 млн лет [Беляев и др., 1996, с. 176].

*Раннеальпийский (меловой) этап* – новая крупнейшая вспышка образования тел кимберлитов и карбонатитов на Африканской, Северо-Американской, Южно-Американской, Антарктической платформах. С ним связывают крупнейшие в мире месторождения Sb (Синьхуа), W (Цзянси в Китае, Санг-Донг в Южной Корее), очень важные для России золоторудные (Бам, Лебяжье, Скалистое в Становом поясе) и урановые (Стрельцовское рудное поле в Приаргунье). В Андах в интервале 128 – 100 млн лет возникли Чилийские пояса: железорудный (Лос Колорадос, Ромерал) и медный (раннемеловые Au-Cu-Fe Кандельяриа и Манто Верде, классические раннемеловые «манто» Талкуми, Уеуми, Гуаякан, Эль Солдадо и т.д.). Временной интервал оказался весьма продуктивным и для формирования гипергенных месторождений: бокситов Западной Европы, Украины (Высокопольское, начало бокситообразования в юре, продолжение в неокоме и апте, завершение в эоцене), руд Mn (Грут Айленд), U-V плато Колорадо.

В *позднеальпийский (кайнозойский) этап* эндогенные месторождения широко распространены. В Андах они образовали частные пояса: 1 – палеоцен-раннеэоценовый, 60 – 50 млн лет; 2 – позднеэоцен-раннеолигоценый, 43 – 31 млн лет; 3 – позднемиоцен-раннеплиоценый, 12 – 4,3 млн лет. Большинство самых значимых месторождений медно-порфировой формации Анд – кайнозойские. Они возникли в позднем эоцене – раннем олигоцене (43 – 31 млн лет) и позднем миоцене – раннем плиоцене. Исключений немного, это: Дом Амигос (нижний мел), Ломас Баяс (палеоцен), Серро Колорадо и Спенсе (эоцен) [Moreno et Gibbons, 2007, с. 190]. Особая статья – молибденпорфиновые месторождения, которые долгое время были чисто американским (США) феноменом. В местных Кордильерах (Скалистые горы) эксплуатировали сразу 16 молибден-порфирировых гигантов и супергигантов типа Клаймакс. Ныне эта интеллектуальная монополия поколеблена: в китайских провинциях Шанси (Shaanxi) и Хенан (Henan) открыты новые супергиганты, о которых мало что известно. В Хенани – Луанчуань (Luanchuan), 2,06 млн т Mo, в

Молибденовом поясе Восточный Цинлинь (East Qinling Mo Belt) – месторождения Нанниху-Сандаожуань (Nannihu-Sandaozhuang) и Жиндуичень (Jinduicheng) «со многими миллионами тонн Мо» [Lazichka, 2006, p. 199]. На платформах эндогенные объекты кайнозоя редки. В их числе: 1 – миоценовые алмазоносные лампроиты Западной Австралии; 2 – Sp-редкометалльное Телертеба в горном массиве Ахаггар на территории Алжира; 3 – карбонатиты с минералами редких металлов и редких земель Восточно-Африканских рифтов. В краевых частях древних платформ и близ крупных тектонических борозд – авлакогенов возникали очаговые вулканотектонические структуры (эоценовые Беччине-Саатлинская и Попигайская в Восточной Сибири, палеоценовые Гусевская, Каменская в Донбассе, миоценовая Карлинская в Татарии). Глубинное (земное) происхождение многих из них показано в работе [Маракушев, 2001, 2002]. Практическое значение имеют гипергенные полезные ископаемые: эоценовые и более поздние бокситы и никелевые руды Африки, Австралии, Южной Америки, Индонезии, Вьетнама, марганец Никополя, фосфориты Восточно-Американской береговой равнины (миоцен и плиоцен Флориды), Марокко (бассейн Улан Абдун, маастрихт, палеоцен, нижний эоцен). Для целого ряда полезных компонентов основными объектами оказываются коры выветривания с REE по карбонатитам, щелочным породам, гранитоидам. Четвертичные россыпи благородных металлов считаются наиболее желанными объектами для отработки.

Последовательно, этап за этапом, рассматрив историю глубинного магматизма Земли, мы увидели, что масштабы коренной алмазоносности от этапа к этапу резко, пульсационно, скачкообразно менялись (рис. 3). Явно выделяются временные интервалы, когда формировалось особенно много диатрем кимберлитов и лампроитов, и те, которые в этом смысле практически “пусты”. Первые и считаются эпохами коренной алмазоносности. Они охватывали некоторые интервалы рифея, тяготели к салаирскому, таконскому рубежам раннего палеозоя и длились весь поздний девон – ранний карбон, поздний триас – лейяс, ранний мел, дат, поздний палеоцен – эоцен, ранний миоцен.

Почти все, примерно пятьдесят кимберлитовых и лампроитовых тел, эксплуатировавшихся когда-либо в истории человечества, принадлежат этим эпохам. Практически непродуктивными оказались прочие интервалы рифея, венд, ранний девон, средний-поздний карбон, пермь, середина мелового периода, средний миоцен-плиоцен, квартал. Немногие сформировавшиеся в непродуктивные эпохи магматиты оказались не алмазоносными или алмазоносными в столь ничтожной степени, что не смогли занять какого-либо места в мировой истории алмазодобычи, начавшейся с 1871 г. – начала разработки кимберлитов диатремы Ягерсфонтейн. При этом только рифейский этап оставил алмазоносные кимберлиты и лампроиты на всех платформах Земли, что обусловлено всеобщим для

этих структур рифтогенезом. Проявления прочих этапов на разных платформах распространены спорадически и в разных соотношениях.

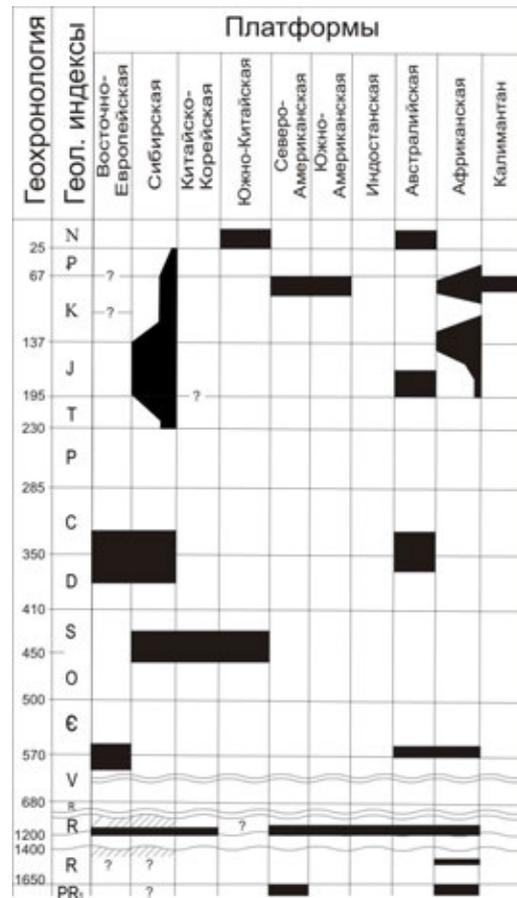


Рис. 3. Эпохи алмазоносного магматизма, проявившиеся на различных платформах Земли

Изобретательно, мощно трудится Природа, в инструментарии которой не только резцы эрозии или абразии, но – молоты, наборы сит, электромагниты, ядерные, химические реакторы. Геологу трудно – его гипотезы недолговечны и лучше удаются в направлениях, касающихся изучения реального вещества. Но за века исследований он научился плодотворно работать с эмпирическими фактами, строя эмпирические обобщения. Введший эти понятия В. И. Вернадский [1988, с. 234] заметил: это и есть тела реальности, испытываемые опытом и наблюдением. Новые «тела», добытые свежие факты, вмешиваются в наши выводы, размывая их. Так, в 1970-80-е гг. среди отечественных геологов-эволюционистов доминировали представления о вялом амагматичном характере платформенных областей раннего палеозоя. Однако теперь известен впечатляющий пример. Австралийские геологи оконтурили на севере и северо-западе Австралии кембрийскую (около 500 млн лет) трапповую провинцию Калкаринджи (Kalkarindji) с площадью более 1 млн км<sup>2</sup> при максимальной мощности траппов на плато Антрим (Antrim) около 1500 м! Каков был изначальный объем эффузий до эрозии оценить трудно; видимо, он

превышал 500 тыс. км<sup>3</sup>, судя по занятой площади 1 млн км<sup>2</sup> и средней мощности около 500 м. Ныне обычная мощность кембрийских плато-базальтов составляет 20 – 60 м (до 200 м) [Glass, 2006]. Это одним рывком сделало провинцию Калкаринджи сопоставимой с великими траппами Сибирской платформы в раннем и среднем триасе – 1,5 – 2,0 млн км<sup>2</sup>, и должно быть учтено при оценках масштабов магматизма в истории Земли.

Известно, кимберлитов позднегерцинского этапа на Земле практически нет. Однако Джваненг в Ботсване с датой 245 млн лет – исключение. И какое! Трубка считается самой богатой в Мире по качеству и суммарной стоимости алмазов [Wit, 2010]. В 2003 г. здесь получено 14,3 млн каратов (2860 кг) при содержаниях 1,25 карата/т. Ресурсы обеспечивают производство на 27 лет [Jwaneng diamond].

Таким образом, эволюция минерогенеза в истории Земли имеет циклично-направленный характер, выражающийся в смене генетических типов и ассоциаций различных видов минерального сырья, увеличении со временем разнообразия и количества месторождений как экзогенного, так и эндогенного происхождения. Это обусловлено цикличностью тектонических процессов, увеличением дифференциации вещества со временем, его рециклингом, развитием биоса, резко ускоряющим гипергенные процессы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В. И. Фактор времени в образовании стратиформных рудных месторождений / Смирнов В. И. // Геология рудных месторождений – 1970. – № 6. – С. 3–15.
2. Смирнов В. И. (научн. ред.) Рудообразующие процессы и системы / Смирнов В. И. – М.: Наука, 1989. – 225 с.
3. Рундквист Д. В. Фактор времени при формировании гидротермальных рудных месторождений: периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования / Д. В. Рундквист // Геол. рудн. мест. – 1997. – Т. 39. – № 1. – С. 11–24.
4. Старостин В. И. Металлогения PDF. Учебник. — 2-е изд., испр. и доп. – М.: КДУ, 2012. – 560 с.
5. Дымкин А. М. Эволюция накопления природных соединений семейства железа / А. М. Дымкин, В. М. Чайка. – М.: Наука, 1992. – 256 с.
6. Рудные ресурсы и их размещение по геозомам. Редкие металлы. ... благородные металлы (МПП, золото, серебро) : справ. пособие / Б. И. Беневольский [и др.]. – М.: Недра, 1995. – 223 с.
7. Беляев К. Д. Рудные ресурсы и их размещение по геозомам. Редкие металлы. Тантал, ниобий, скандий, редкие земли, цирконий, гафний: справочное пособие / К. Д. Беляев, И. Г. Ганеев, В. Г. Чайка [и др.] : под ред. Д. В. Рундквиста. – М.: Недра, 1996. – 176 с.
8. Старостин В. И. Хромитовое оруденение в истории Земли / В. И. Старостин, Г. А. Пельмский, Д. Р. Сакия // Известия секции наук о Земле РАЕН. – 1999. – Вып. 2. – С. 16–26.
9. Старостин В. И. Свинцово-цинковое оруденение в эволюции Земли / В. И. Старостин, Г. А. Пельмский, А. Л. Дергачев, Д. Р. Сакия // Известия секции наук о Земле РАЕН. – 2001. – Вып. 7. – С. 5–32.
10. Laznicka P. Giant Metallic Deposits and Future Sources of Industrial Metals / Peter Laznicka. – Springer-Verlag. – 2006. – 735 p.
11. Wit Mike de. Identification of Global Diamond metallogenic clusters to assist Exploration- The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Diamonds Source to Use / Wit Mike de. – 2010. – 24 p.
12. Bradley Dwight C. Tectonic Controls of Mississippi Valley Type lead-zinc mineralizations in orogenic forelands / Dwight C. Bradley, David L. Leach // Mineralium Deposita, 2003. – № 38. – P. 652–667.
13. Lambert Ian B. Proterozoic mineral deposits through time / Ian B. Lambert, Nicolas J. Baker, Cornelis Klein, Jan Venzer // The Proterozoic biosphere: a multidisciplinary study. – Science, 1992. – P. 59–62. books.google.ru/books?isbn=1897799748
14. Н. Н. Зинчук. Историческая минерогения : в 3 т. / Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв. – Т.1. Введение в историческую минерогению, Воронеж: ВГУ, 2005. – 281 с.; Т.2. Историческая минерогения древних платформ, 2007. – 570 с.; Т.3. Историческая минерогения подвижных поясов, 2008. – 624 с.
15. Савко А. Д. Историко-минерогенические провинции Мира: в 10 книгах / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв. – Воронеж: ВГУ, 2012–2013.
16. Palero F. Mercury mineralization in the region of Almaden. Chapter 5 / F. Palero, S. Lorenzo. – Instituto Geológico. – P. 65-72 www.igme.es/internet/patrimonio/GEOSITES/Chapter\_05\_SGFG.pdf
17. Твалчрелидзе Г. А. Рудные провинции Мира (Средиземноморский пояс) / Г. А. Твалчрелидзе. – М.: Недра, 1972. – 212 с.
18. Авдонин В. В. Месторождения металлических полезных ископаемых / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев, Ж. В. Семинский, Н. А. Солодов, В. И. Старостин. – М.: Трикта, Академический проект, 2005. – 718 с.
19. Dyachkov B. A. Laws of Formation and Rating of Rare Metals Deposits' Prospects in East Kazakhstan / B. A. Dyachkov, N. P. Maiorova, T. M. Nikitina, A. A. Buchtoyarova-Ereza, O. N. Kuzmina // Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21-st century, 12-th Quadrennial IAGOD Symposium, Moscow, 21–24 August. – 2006. – Abstracts. – V. 1. – P. 56.
20. Рудные месторождения США. – Т. 1. – М.: Мир, 1972. – 660 с.; Т. 2. – 1973. – 636 с.
21. McMillon W. L. British Columbia's Golden Triangle: report on Iskut field conference / W. L. McMillon // Geoscience Canad. – 1990. – V. 17. – №1. – P. 25–81.
22. Кравченко А. А. Минералогия и геохимия двупироксеновых кристаллических сланцев Алданского щита (на примере месторождения им. П. Пинигина) / А. А. Кравченко, А. П. Смелов, В. И. Березкин, Н. В. Попов, В. Н. Добрецов // Отеч. геол., 2008. – № 5. – С. 14–24.
23. Murzin V. V. Isotopic and gaseous composition of a fluid at formation gold-bearing rodingites / V. V. Murzin, S. N. Shanina, V. I. Kudryavtsev // Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21-st century, 12-th Quadrennial IAGOD Symposium, Moscow, 21–24 August. – 2006. – Abstracts. – CD. – File 174.
24. Liu Jiajun. Microscopic morphology of secondary native selenium in the Yutangba Se Deposit, Western Hubei, China / Jiajun Liu, Hui Xie, Caixia Feng, Jianping Wang, Shirong Liu // Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21-st century, 12-th Quadrennial IAGOD Symposium, Moscow, 21–24 August. – 2006. – Abstracts. – CD. – File 323.
25. Graham Ian. Advances in our understanding of the basalt derived gem sapphire-ruby-zircon deposits of the West Pacific margins / Ian Graham, Lin Sutherland, Khin Zaw, Victor Nechaev, Alexander Khanchuk // Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21-st century, 12-th Quadrennial

IAGOD Symposium, Moscow, 21–24 August. – 2006. – Abstracts. – CD. – File 207.

26. Шевырёв Л. Т., Савко А. Д. Рудные месторождения России и Мира. Справочник и учебное пособие / Л.Т.Шевырёв, А.Д.Савко. – Воронеж: ВГУ, 2012. – 283 с.

27. Ткачев А. В. Глобальные металлогенические циклы в истории Земли: автореф. дисс. ...д-ра геол.-минер. наук / А. В. Ткачев. – М., 2012 г. – 363 с.

28. Лампроиты / [под ред. С. А. Богатикова]. – М.: 1991. – 380 с.

29. Moreno Teresa, Wes Gibbons. The geology of Chile / Teresa Moreno, Wes Gibbons [Ed.]. Metallic ore deposits [V. Maksaeв, B. Townley, C. Palacios, F. Camus]. Industrial minerals and rocks [G. Chong Diaz, A. Gajardo Cubilos, A. J. Hartley, T. Moreno] – London: Science, 2007. – 414 p.

30. Маракушев А. А. Стадии формирования и природа Попигайской алмазонасной кольцевой структуры /

А. А. Маракушев, Л. И. Шахотько // Докл. АН. – 2001. – Т. 377. – № 3. – С. 366–369.

31. Маракушев А. А. Эндогенная природа Логойской взрывной кольцевой структуры в Белоруссии / А. А. Маракушев, В. Ф. Белый // Доклады Академии наук. – 2002. – Т. 383, № 4. – С. 512–515.

32. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста / В.И.Вернадский. – М., Наука, 1988. – 520 с.

33. Glass Linda The Kalkarindji Continental Flood Basalt Province: A new Large Igneous Province in Australia / Linda Glass. – Large Igneous Province Commission. International Association of Vulcanology and Chemistry of The Earth's Interior, October 2006. – LIP of the Month [www.largeigneousprovinces.org/06oct](http://www.largeigneousprovinces.org/06oct).

34. Jwaneng diamond mine [en.wikipedia.org/wiki/Jwaneng\\_diamond\\_mine](http://en.wikipedia.org/wiki/Jwaneng_diamond_mine).

*Воронежский государственный университет*

*Савко А. Д., заведующий кафедрой исторической геологии и палеонтологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный геолог России*

*E-mail: savko@geol.vsu.ru*

*Тел.: 8 (473)220-86-34*

*Шевырёв Л. Т., ведущий научный сотрудник НИИ Геологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук*

*E-mail: shevpp@yandex.ru*

*Тел. 8 (473) 235-39-42*

*Voronezh State University*

*Savko A. D., Head of the VSU Historical Geology and Paleontology Chair, doctor of the Mineralogical and Geological Sciences, Professor, Celebrated Geologist of Russia*

*E-mail: savko@geol.vsu.ru*

*Tel.: 8 (473) 220-86-34*

*Shevyrev L. T., leading scientific Associate of the VSU Institute of Geology, doctor of the Mineralogical and Geological Sciences*

*E-mail : shevpp@yandex.ru*

*Tel.: 8 (473) 235-39-42*