

3. **Паняк С.Г.** Математическое моделирование геохимии петрогенных процессов в связи с проблемой источника рудного вещества // ДАН СССР, 1981. Т. 261. № 5. С. 1190-1193.

4. **Паняк С.Г.** Геохимические критерии потенциальной рудоносности продуктов петрогенных процессов // Мат-лы X Всесоюз. петрограф. сов. Алма-Ата: Наука, 1983. С. 141-142.

5. **Паняк С.Г.** Закономерности распределения химических компонентов при петрогенных процессах и их математическое обоснование // ДАН СССР, 1987. Т. 296. № 4. С. 968-973.

6. **Паняк С.Г.** Логнормальные распределения параметров природных систем как отражение второго начала термодинамики // ДАН СССР, 1988. Т. 300. № 4. С. 957-960.

УДК 552.321,6+546.59(470.5)

**П.П. Желобов**

## **О ВЗАИМОСВЯЗИ МАНТИЙНЫХ И ВЕРХНЕКОРОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БЕРЁЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (Средний Урал)**

Золото как химический элемент характеризуется достаточно большой атомной массой (196,9 а. е. м.) и химической инертностью. Величины абсолютных значений атомной ( $26 \text{ г/см}^3$ ) и ионной ( $30 \text{ г/см}^3$ ) плотностей очень близки друг к другу. Всё это даёт возможность заключить, что в истории становления магматических комплексов, на самых ранних этапах развития Земли, золото уже должно было находиться под влиянием поля силы тяжести в нижних частях магматических резервуаров. Исследования, проведенные Ю.Г. Щербаковым и Г.А. Пережогиним, выявили очень интересную закономерность, проявляющую себя в последовательном повышении кларков золота в интрузивных горных породах от кислых к ультраосновным. Другими словами, в базальтовом "слое" земной коры среднее содержание золота выше, чем в гранитном "слое", а в мантийных гипербазитах оно оказывается еще более высоким, чем в базальтах. Если считать получившую широкое распространение у нас и за рубежом концепцию о протрузивном характере внедрения серпентинитов из пределов мантии в верхние горизонты земной коры [8] несостоятельной и решать проблему формирования золоторудных месторождений с классических ортомагматических позиций, то появляется возможность понять закономерности, вскрывающие механизмы взаимосвязей между мантийными и верхнекоровыми процессами.

Проведённый нами анализ пространственного размещения золоторудных месторождений в региональных структурах Урала [2] вскрыл решающую роль в локализации золотого оруденения глубинных разломов, обычно хорошо выделявшихся поясовым расположением массивов серпентинизированных гипербазитов дунит-гарцбургитовой ассоциации. На тесную пространственную связь золотого оруденения Урала с серпентинитами обращали внимание многие уральские исследователи (Чернышов, 1889; Карпинский, 1889; Лодочников, 1936; Бородаевский, 1948; Кутюхин, 1968; Желобов 1972, 1979 и др.).

Ф.Н. Чернышев и А.П. Карпинский приписывали золотому оруденению генетическое родство с ультраосновными интрузиями, полагая, на примере изучавшихся ими месторождений Калкановском и Камышакском Южного Урала, что золото, в ничтожных количествах связанное с породообразующими минералами перидотитов, при серпентинизации последних переходило в растворы, вызывающие этот процесс, и могло ими концентрироваться.

Исследования, проведенные Ю.Г. Щербаковым и Г.А. Пережогиним [7], выявили очень интересную закономерность, проявляющую себя в последовательном повышении кларков золота в интрузивных горных породах от кислых к ультраосновным. Другими словами, в базальтовом "слое" земной коры среднее содержание золота выше, чем в гранитном "слое", а в мантийных гипербазитах оно оказывается ещё более высоким, чем в базальтах.

Ту же мысль высказывал В.Н. Лодочников (1936). По словам В.Ф. Казимирского (устное сообщение), на Кировском месторождении Южного Урала в своё время в качестве руды на золото обрабатывались серпентиниты.

Н.И. Бородаевский [1] в 1948 году описал золотоносные залежи серпентинитов и образовавшихся по ним тальцитов, но их золотоносность (наблюдая в серпентинитах кварцевые прожилки с золотом) он генетически связывал с гранитоидным магматизмом.

Фишером было описано Лоувельдское месторождение в Ю. Африке, где серпентиниты обрабатывались как золотая руда. Рудные залежи выявлялись только в результате опробования

серпентинитов на золото и представляли собой линзообразные формы, приуроченные к придонной части пологозалегающего тела серпентинитов. Известна также золотоносность перидотитов горизонта Меренского в Бушвельдском комплексе Ю. Африки. Связь золота с ультраосновной магмой здесь не вызвала сомнений.

Другие исследователи полагают, что золото пространственно и генетически связано с гранитоидами. Так, Б.П. Кротовым (1915) в отношении нескольких месторождений Миасского района Ю. Урала указывалось на более вероятную генетическую связь золота с эманационной деятельностью гранитных интрузий. Со времён Эммонса [9], разработавшего свою знаменитую “батолитовую” концепцию, представления о тесной пространственной и генетической связи золота с интрузиями гранитоидов получили широкое признание и распространение.

Таким образом, в настоящее время существуют две, на первый взгляд альтернативные, точки зрения: одна из них связывает золото с ультраосновной магмой, другая – с интрузиями гранитоидов, обычно повышенной основности.

В настоящей статье делается попытка показать, что в формировании золоторудных месторождений принимают участие как ультраосновные магмы, выносившие золото из мантийных глубин, так и гранитоидный магматизм, обусловивший ремобилизацию мантийного золота и образование его промышленных концентраций в трещинных структурах земной коры.

Если гипербазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации, намечающие своим расположением глубинные разломы, считаются образованиями мантийными, то граниты обычно рассматриваются как образования верхнекоровые (палингенные). Следовательно, золотое оруденение, проявляющее связь как с глубинными разломами, так и с гранитными интрузиями, выступает как результат (следствие) взаимосвязей глубинных и верхнекоровых процессов.

Характер этой взаимосвязи хорошо проявляет себя, как нам представляется, при анализе особенностей пространственного распределения золотого оруденения в геологических структурах Берёзовского рудного поля, Ср. Урал.

Как показали Н.И. и М.Б. Бородаевские (1947) и последующие региональные исследования и геологоразведочные данные (Сазонов, Огородников и др., 1997, 1999), рудное поле приурочено к палеозойской континентальной окраине и связано с синклинальной складкой, “Берёзовской мульдой”, в строении которой принимают участие пластообразные тела альпинотипных гипербазитов, одно из которых отходит от Пышминского массива серпентинитов и погружается на юг, к центральной части рудного поля, а другое – обнажается на поверхности к северу от Шарташского гранитного массива и погружается на север, также в сторону центральной части рудного поля. Вертикальная мощность пластообразных тел обычно составляет 150-200 м (рис. 1), достигая на участке скважины № 2760 600 м.

В северной части Пышминского массива наблюдается резкое погружение подошвы гипербазитов на северо-восток, в сторону рядом проходящего Мурзинского разлома. На участке шахты № 4, в подошве Пышминского межпластового тела, существует “карман”, близ которого располагается целая серия золотоносных кварцево-сульфидных жил [3]. Сам “карман” очень хорошо прослеживается через всё рудное поле по приуроченной к нему Соймановской дайке гранитоид-порфиоров, несущей в себе золотоносные “лестничные” кварцево-сульфидные жилы.

Характерной морфологической особенностью Шарташского межпластового тела серпентинитов является его выклинивание с глубиной не только в продольном (меридиональном) вертикальном разрезе, но и в плане. В своей проекции на горизонтальную плоскость широкий (более 7 км) Шарташский силл серпентинитов в своём простирании и погружении на север сужается до 1 км и совсем выклинивается в центральной части рудного поля. **Наибольшая концентрация золотого оруденения в дайках наблюдается именно над языком выклинивающегося как в плане, так и в разрезе Шарташского силла серпентинитов.** В северной части Шарташской антиклинали её свод осложнён двумя небольшими синклинальными прогибами, шарниры которых погружаются на север, совпадая с основным простиранием оси “Берёзовской мульды”. В ядре антиклинали расположен Шарташский гранитный массив. Поверхность северного контакта гранитной интрузии полого погружается на север, в направлении Берёзовского рудного поля (Беллавин, 1970). Наиболее протяженные и наиболее богатые золотоносные дайки с “лестничными” жилами, Перво- и Второ-Павловские, оказываются пространственно приуроченными к осевой части “Берёзовской мульды”, в сложении которой, как указывалось выше, принимают участие серпентиниты. Как показала составленная нами структурная карта подошвы Пышминского силла, совмещённая с картой распределения даек гранитоид-порфиоров, рудные столбы в теле даек располагаются в местах пересечения дайками участков выклинивания серпентинитов или на участках синклинальных

прогибов подошвы серпентинитовых тел. Если все очистные работы Берёзовского рудного поля спроектировать на единую субмеридиональную вертикальную плоскость и составить по ней геологический разрез, то нетрудно увидеть наиболее характерную особенность рудного поля, проявляющую себя в приуроченности золотого оруденения к области выклинивания двух наклонённых друг к другу межпластовых интрузий альпинотипных гипербазитов, расположенных над погружающейся на север поверхностью Шарташского гранитного массива (рис. 2). Особое внимание привлекает нижнее выклинивание Шарташского силла, над которым расположилась наиболее обогащенная золотом дайка "Богатая". Никакого отношения к апикальной части гранитной интрузии, чего требует "батолитовая" концепция Эммонса, Берёзовское рудное поле не имеет.

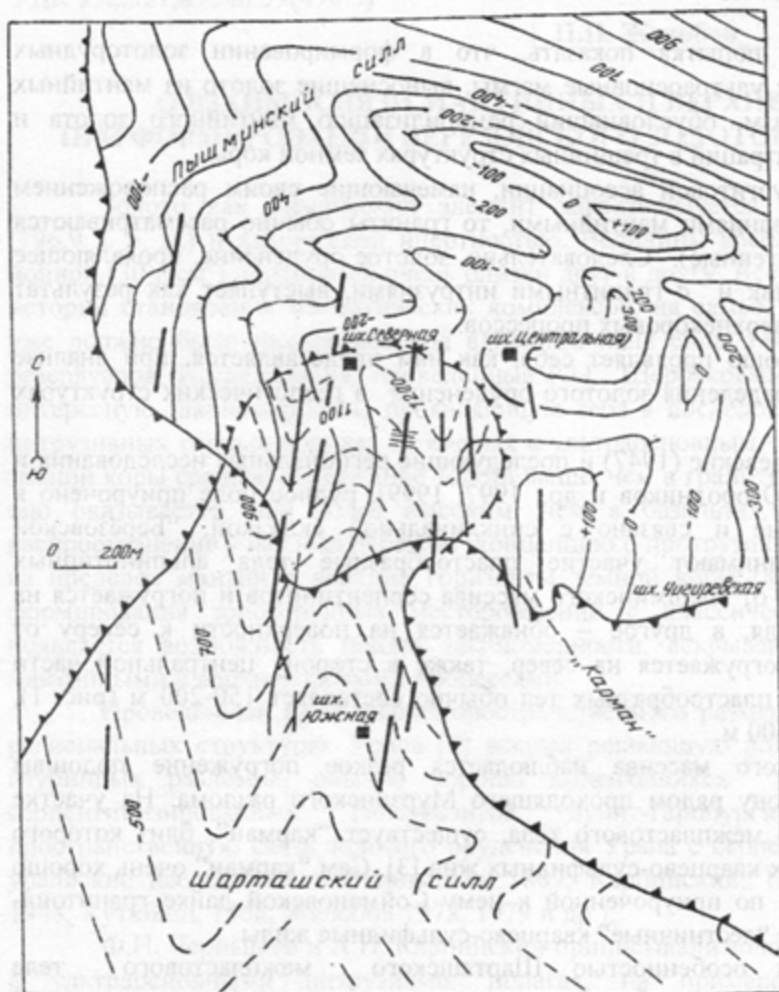


Рис. 1. Структурная карта подошвы серпентинитовых тел, вскрывающая особенности распределения золотого оруденения в дайках гранитоид-порфиров:

1 - участки промышленных руд в дайках на уровне нулевой абсолютной отметки; 2 - изолинии подошвы серпентинитовых тел; 3 - линии выклинивания серпентинитов

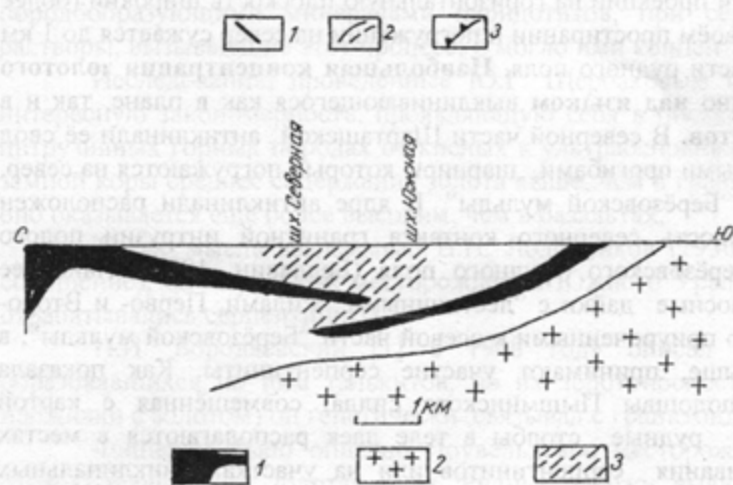


Рис. 2. Продольный разрез Берёзовского рудного поля:

1 - серпентиниты алгарибургитовые; 2 - гранитоиды Шарташского массива; 3 - ореол золотого оруденения



Влияние морфологических особенностей межпластовых интрузий гипербазитов на распределение золотого оруденения в дайках гранитоид-порфиров позволяет утверждать наличие генетической связи золота с гипербазитами. Трудно сомневаться в том, что изначально в земную кору золото было привнесено ультраосновным расплавом в виде рудной эмульсии (пирозоля). Повышенные концентрации благородного металла оказывались в местах синклинальных изгибов подошвы интрузивной камеры или на участках её карманов и нижних выклиниваний, выступавших в качестве "гравитационных ловушек", благоприятных для локализации рудного ликвида, привнесённого в земную кору ультраосновной магмой.

В более поздний этап развития магматизма Шарташский гранитный массив служил лишь своеобразной "печкой", обусловившей ремобилизацию мантийного золота, привнесённого ультраосновной магмой из мантии, и его переотложение в образующиеся трещины.

Нами были отобраны образцы из области синклинального прогиба подошвы Пышминского массива серпентинитов, на участке скв. 2720. Тальк-карбонатные породы, образовавшиеся по серпентинитам и выходящие на дневную поверхность, на глубине 460 м, судя по керну скважины, сменились серпентинитами, лежащими на углисто-кремнистых сланцах. Вертикальная мощность серпентинитов не превышала четырёх метров. Под микроскопом был установлен хризотил-антигоритовый состав серпентинитов. Встречались редкие зерна магнетита, хромшпинелида, пирротина, пирита, халькопирита, халькозина, ковеллина, замещаемые зёрнами антигорита. В интерстициях между зёрнами бывшего оливина, замещённого хризотилом, наблюдались тонкодисперсные выделения магнетита и сульфидов.

На электронном микроскопе выявлены две формы тонкодисперсных рудных выделений: шарообразная (каплевидная) и в виде отдельных кристаллов или их агрегатов. Складывается впечатление, что на ранней стадии кристаллизации ультраосновного расплава осевшие на дно интрузивной камеры высокотемпературные кристаллы оливина были окружены рудной эмульсией, состоявшей из капелек рудного ликвида, давших после кристаллизации, мелкие кристаллики магнетита и других минералов. Тонкодисперсные рудные выделения были обнаружены и внутри зерен оливина, замещённого хризотилом. Сама возможность захвата тонкодисперсных рудных выделений кристаллизующимся из ультраосновного расплава оливином хорошо подтверждается экспериментально.

Диагностика тонкодисперсных рудных выделений пока вызывает большие затруднения и требует проведения специальных исследований. Но совершенно ясной выглядит картина замещения антигоритом как крупных, так и мелких зёрен рудных минералов. Важно понять, что первично-магматическое рудное вещество гипербазитов при серпентинизации оказывается почти полностью вынесённым в трещинные структуры. Под микроскопом мы встречаемся лишь с реликтами первично-магматических рудных выделений.

Вынос рудных веществ в виде истинных растворов отмечается уже при массовой антигоритизации серпентинитов, о чём свидетельствуют факты замещения рудных минералов антигоритом. Более позднее развитие талька и карбоната (брейнерита) завершает процесс выноса рудных веществ из серпентинитов. Карбонатизация рудоносных серпентинитов сопровождается выделением кремнезёма и образованием коллоидных рудоносных растворов, обладавших высокой вязкостью и способных выносить из серпентинитов тонкодисперсные рудные минералы в виде механической взвеси [5]. Как показывают проведённые нами эксперименты (Желобов, 1982), "первично-магматическое" золото, проявляющее сидерофильные и халькофильные свойства ещё в силикатном расплаве, изначально было связано с тонкодисперсными выделениями магнетита и сульфидов.

Известно, что "лестничные" жилы в дайках гранитоид-порфиров далеко не всегда оказываются золотоносными. По конфигурации очистных работ на продольных вертикальных проекциях рудоносных даек можно заключить и о месте нахождения первичного источника золота. Едва ли вызовет сомнения, что источником золота на Елизаветинской дайке были области выклинивания серпентинитов (рис. 3). Важную роль в локализации оруденения сыграл и "карман" в подошве Пышминского силла, обеспечивший формирование "красичных" и "лестничных" жил на участке шахтного поля № 4.

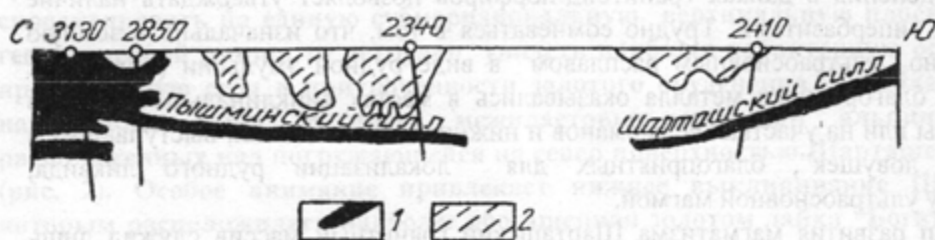


Рис. 3. Продольная вертикальная проекция дайки Елизаветинской:

1 – серпентиниты; 2 – контуры очистных работ

Если посмотреть на проблему причин локализации золотого оруденения более широко, то кустообразный характер рудопоявлений и месторождений золота, выявляющийся на средне- и мелкомасштабных геологических картах, может быть обусловлен наибольшей эндогенной проницаемостью участков сопряжений и пересечений глубинных разломов. Повторные одноимённые по знаку сдвиги на этих участках создают вертикальные зоны спада петростатического давления, благоприятные для проникновения к дневной поверхности расплавов и связанных с ними эманаций (рис. 4). Именно по этим зонам происходил подъём к поверхности наиболее глубоко залегавших частей силикатного расплава, обогащённых тяжёлыми металлами. Установление в реликтовом виде тонкодисперсных рудных выделений в интерстициях между зёрнами серпентиновых минералов позволяет предполагать их вынос из пределов мантии в верхние горизонты земной коры в виде рудной эмульсии с последующим замещением рудных минералов серпентином, тальком и карбонатами.

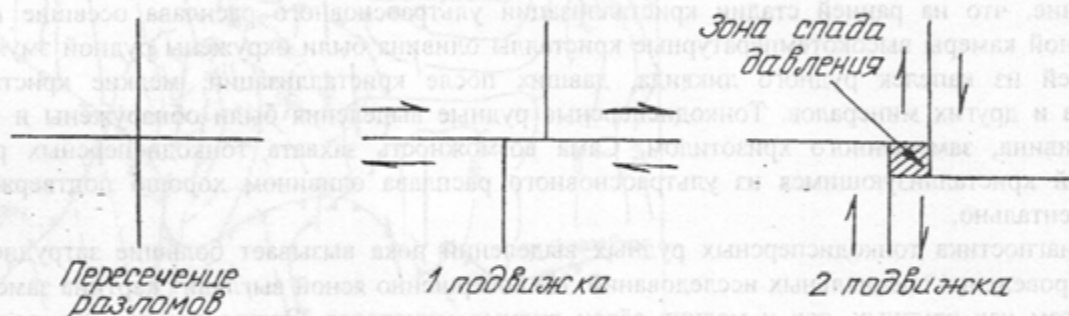


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая возможный механизм образования в земной коре и мантии зон повышенной эндогенной проницаемости на участках пересечения глубинных разломов. Стрелками указаны направления сдвиговых подвижек

Р. Лоренц и Ю. Эйтель [10] скопления тонкодисперсных рудных выделений в силикатных расплавах (магмах) называли пирозолями, а их ископаемые аналоги - пиронефелитами.

Выявляющаяся роль мантийных альпинотипных гипербазитов дунит-гарцбургитовой ассоциации в локализации золотого оруденения Урала вскрывает характер взаимосвязей между мантийными и верхнекоровыми процессами и позволяет на совершенно иной, чем это принято, основе вести поиски новых золоторудных месторождений. По-видимому, не только альпинотипные гипербазиты могли выносить золото из пределов мантии в верхние горизонты земной коры. При благоприятных условиях магмы основного состава, и даже кислого, могли, по мере своего продвижения к поверхности, формировать гибридные расплавы, извлекая золото на путях своего движения из альпинотипных гипербазитов. Рассмотрение золотого оруденения как результата (следствия) взаимодействия мантийных и верхнекоровых процессов раскрывает большие перспективы для поисков промышленно значимых концентраций золота в самих гипербазитах, не подвергшихся или слабо подвергшихся серпентинизации. Особый интерес должны представлять осевые придонные части гипербазитовых тел, подошва которых характеризуется синклинальным прогибом. В этом отношении интерес представляют такие массивы, как Первомайский (Средний Урал), массив Золотой Горы (Южный Урал) и др.

Если проблему взаимосвязей мантийных и верхнекоровых процессов рассматривать в более широком плане, то вынос тонкодисперсных рудных выделений магматическими расплавами из различных глубин мантии, с последующей ремобилизацией оруденения верхнекоровыми процессами, может оказаться основной причиной металлогенической специализации рудных провинций.

Всё вышеизложенное позволяет ставить вопрос о необходимости детального изучения состава и характера распределения тонкодисперсных рудных выделений в интрузивных телах дунит-гарцбургитовой ассоциации, ибо качественный состав рудных минералов отражает особенности размещения рудных веществ по вертикали в мантийных глубинах и позволяет целенаправленно, с новых теоретических позиций, вести поиски месторождений полезных ископаемых.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бородаевский Н.И.** Типы золоторудных месторождений, подчинённых ультраосновным породам в Миасском и Учалинском районах Южного Урала // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд. УФАН СССР, 1948. С. 316-330.
2. **Желобов П.П.** Региональные рудоконтролирующие структуры Урала // Вопросы геологии месторождений золота Сибири: Изв. Томск. политехн. ин-та, Т. 134. Томск, 1968. С. 59-66.
3. **Желобов П.П.** Роль гипербазитов в локализации "красичных" жил на Берёзовском рудном поле // Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. АН СССР, 1972. С. 199-204.
4. **Желобов П.П.** Роль сопряжений и пересечений глубинных разломов в локализации золотоносных территорий Урала // Геохимия и условия образования золота и редких металлов. Новосибирск: Наука, 1972. С. 58-63.
5. **Желобов П.П.** О вероятном механизме образования рудоносных растворов при метаморфизме пиронефелитов // Геология метаморфических комплексов Урала: Тр. УПИ и СГИ, вып. 127. Свердловск: Изд. УПИ, 1976. С. 88-92.
6. **Желобов П.П.** Альпинотипные гипербазиты как вероятный источник золота // Советская геология. 1979. № 8. С. 42-49.
7. **Щербаков Ю.Г., Пережогин Г.А.** К геохимии золота // Гехимия. 1964. № 3.
8. **Хесс Х.Х.** Серпентиниты, орогенез и эпейрогенез // Земная кора. М.: ИЛ, 1957. С. 403-412.
9. **Emmons W.** Gold Deposits of The Wold. New York, 1937.
10. **Lorenz R, Eitel W.** Pyrozole. Leipzig, 1926.
11. **Foster G.F.** Beobachtungen en einem primaren Goldverkommen in ultrabasischen Jesteinen des Lowvelds (Nordost Transvaal S. A.). N. J. Mineral, ab.handl., Bd.94, H.1, 1960. S. 228-263.

УДК 543 : 553 + 550.8.023

**М.П. Покровский**

#### О КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Самостоятельные же взгляды существуют, вероятно, у большинства геологов, в особенности у тех, которые... принуждены бывают тщательно и нередко вполне самостоятельно разбираться в массе накапливающегося материала.

*А.П. Карпинский (1880)*

1. В лабораторной практике используется огромное количество аналитических методов (например, [2]). Пользователю необходимо как-то ориентироваться в этом многообразии методов. При этом культурному грамотному пользователю (пусть и всего только пользователю) необходимо иметь представление о сути метода, а не только о величине навески, необходимой для анализа, диапазоне концентраций, определяемых методом, и точности определения.

Всё многообразие методов элементного анализа следовало бы свести в обозримую систему, дать их классификацию, причем, не частную и детальную, рассчитанную на аналитиков определенной специализации (как, например, [7]), а общую, выделяющую лишь наиболее крупные группы методов ([1] или подобные по общности).

Предлагаемая здесь классификация создавалась (в соответствии с авторской концепцией "сущности" [6]) в расчете на то, чтобы быть полезной всем заинтересованным проблемой классификации аналитических методов. Однако родилась она (см. эпиграф) как система для