

Месторождения, рудные узлы и металлогенические зоны как компоненты иерархической металлогенической системы

Обсуждаются преимущественно геохимические основы единой иерархической металлогенической системы, включающей месторождения твердых полезных ископаемых, рудные узлы и металлогенические зоны. Месторождения рассматриваются на основе понятия о рудных формациях, классифицированных по генетическим типам и полезным ископаемым. Рудные узлы выступают как структурно-вещественные модели рудоформирующих систем. Приводится классификация рудоформирующих систем на основе их приуроченности к различным типам блоков континентальной земной коры. Металлогенические зоны представлены крупными геохимически специализированными блоками земной коры, в которых рудоформирующие системы различного типа и возраста преобразуют геохимические ресурсы и создают месторождения.

Ключевые слова: *металлогения, месторождения, рудные узлы, металлогенические зоны, рудные формации, рудоформирующие системы, иерархия металлогенических объектов.*

Deposits, ore knots, and metallogenic zones as components of hierarchical metallogenic system

The article is predominantly devoted to the geochemical basis of united hierarchical metallogenic system, which includes mineral deposits, ore clusters, and metallogenic zones. Mineral deposits are considered based on the concept of ore formations. The classification of ore formations started from genetic types of mineral wealth. Ore clusters are considered as structure-substance models of ore-forming systems. Classification of ore forming systems on the basis of their position among various parts of continental crust is depicted in the article. Metallogenic zones are considered as great geochemically dedicated parts of the crust. Ore-forming systems have acted inside of these dedicated blocks and have transformed geochemical potential into mineral deposits.

Keywords: *metallogey, mineral deposits, ore clusters, metallogenic zones, ore formations, ore-forming systems, hierarchy of metallogenic objects.*

Металлогения – не только научное обоснование поисков месторождений полезных ископаемых, но и практический инструмент реализации наиболее экономичного метода последовательного приближения к объекту поисков в виде металлогенического анализа. Выявление и обоснование иерархической системы металлогенических подразделений – важнейшее, хотя еще не полностью осознанное достижение металлогении. Эта система включает: а) рудные месторождения (рудные тела, рудные поля) – объекты поиска; б) рудные узлы, рудные районы (в том числе потенциальные) – локализованные площади прогноза и поисков месторождений определенного типа; в) металлогенические зоны (области) – территории нахождения и прогнозирования рудных районов и узлов, типизированных по рудоформирующим системам и обстановкам их проявления. Кроме перечисленных объектов, выделяются металлогенические пояса и провинции двух рангов, специализированные на тот или иной комплекс полезных ископаемых [3, 5, 17, 18].

Металлогенический анализ предусматривает выявление связей между металлогеническими зона-

ми и рудными узлами или районами (реальными и потенциальными) в их пределах, а также месторождениями или местами их ожидаемого нахождения и рудными узлами (районами). Эти связи могут носить статистический, гипотетический или функциональный характер. Очень важно, чтобы эти связи были нормированы как на качественном, так и на количественном уровнях. С этой целью необходим переход от реальных металлогенических объектов к их моделям с ограниченным, четко фиксированным набором признаков в рамках единой иерархической системы.

Нормирование металлогенических объектов ранга месторождения. *Месторождение – природная концентрация.* Многоплановое понятие «месторождение полезных ископаемых» включает экономические, технологические, горнопроходческие аспекты, но все они прилагаются к природному феномену – высококонцентрированному скоплению полезных компонентов, созданному геологическими процессами. Среди множества природных концентраций полезных ископаемых для целей металлогениче-

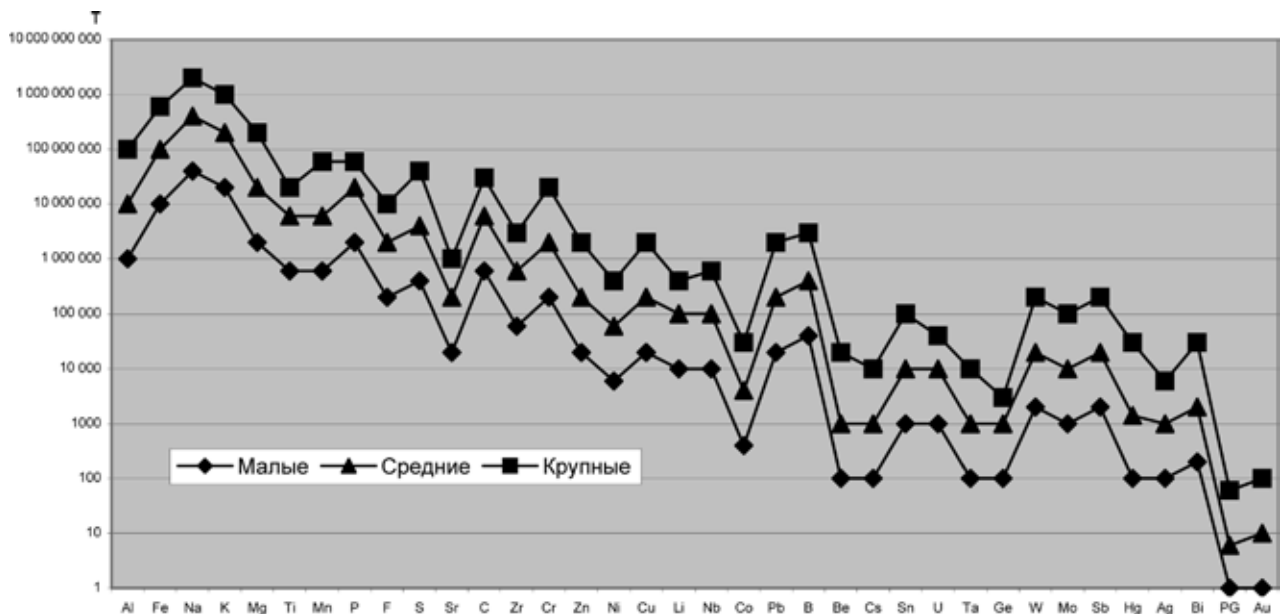


Рис. 1. Осредненные оценки запасов малых, средних и крупных месторождений различных полезных ископаемых

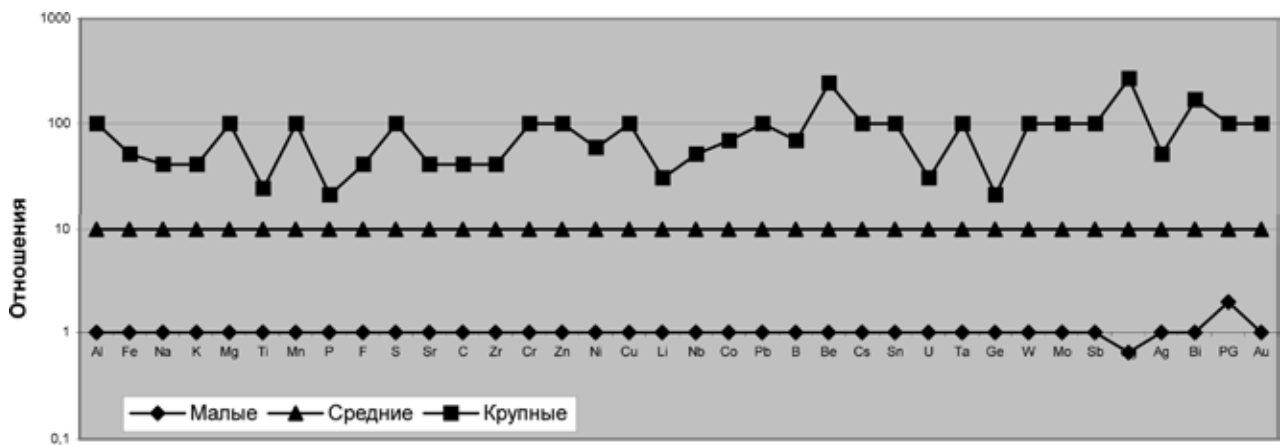


Рис. 2. Соотношение запасов малых, средних и крупных месторождений

ского анализа необходимо выделить природные концентрации, отвечающие сложившимся представлениям о месторождении, в отличие от точки минерализации, проявления полезных ископаемых или геохимической аномалии. Такой отличительный признак – понятие о запасах, т. е. о массе полезных ископаемых с некоторым кондиционным (нормированным) содержанием. Косвенно с понятием о запасах связаны представления о минеральном выражении и пространственном распределении полезных компонентов. Поэтому наличие запасов вполне определенно характеризует природную концентрацию ранга месторождений.

По величине запасов полезных ископаемых месторождения подразделяются на малые, средние, крупные и уникальные. Эти градации строго не узаконены. Они показываются на государственных геологических картах, зафиксированы приказом № 50 МПР России от 31 марта 1997 г., но имеют значительные вариации тоннажа по разным источникам [4]. Для металлических и неметаллических полезных ископаемых осредненные оценки запасов коренных месторождений различной градации приведены на графике (рис. 1). За осредненную оценку принят удвоенный нижний предел запасов

для каждой градации. Например, для месторождений молибдена средней градации фиксированный интервал запасов 50–5 тыс. т. Осредненное значение запасов для средних месторождений принято $5 \times 2 = 10$, крупных $50 \times 2 = 100$ и малых $0,5 \times 2 = 1$ тыс. т.

Запасы месторождений смежных градаций приблизительно различаются на порядок, что подчеркивалось и ранее для многих полезных ископаемых [2, 14]. На графике (рис. 2) показано соотношение осредненных оценок тоннажа малых (отношение близко к 1), средних (равно 10) и крупных месторождений для различных полезных ископаемых (в 16-ти случаях – 100, в 12-ти – больше или равно 50, в трех: Hg, Be, Bi – 150–214, в среднем – 84). Для уникальных месторождений разброс соотношений с крупным значительно больший, но в целом имеет ту же тенденцию. С некоторой долей приближения модельное соотношение запасов малых, средних, крупных и уникальных месторождений принято 1 : 10 : 100 : 1000.

Важно подчеркнуть, что осредненные оценки запасов имеют прямую корреляционную зависимость от природной распространенности полезных компонентов. Высокую значимость этой зависи-

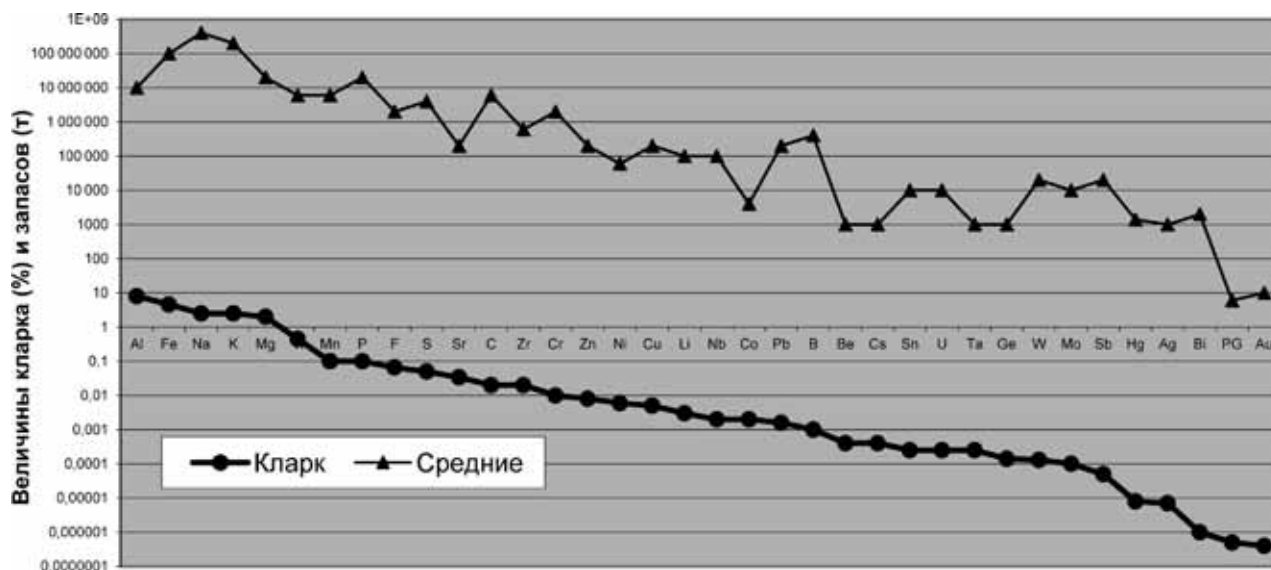


Рис. 3. Соотношение запасов средних месторождений и кларка полезных компонентов

мости иллюстрирует график (рис. 3) соотношения величины запасов одномасштабных месторождений с кларком (средним содержанием химического элемента в земной коре, по А. П. Виноградову и С. Р. Тейлору).

Природа этой зависимости базируется на том, что месторождения представляют собой природную аккумуляцию исходно рассеянных в земной коре рудных элементов. Вне зависимости от способов массопереноса образование месторождения предусматривает перемещение рудных компонентов из более крупного объема в более локальный объем и их концентрирование там с образованием собственных минералов, рудных тел, месторождений. Этот одноактный или многоступенчатый процесс перехода элементов из состояния рассеяния в состояние концентрирования требует определенных затрат энергии, что подробно рассмотрели и убедительно обосновали Н. И. Сафронов и соавторы [14]. Величина энергии рудообразования (E) прямо пропорциональна рудной массе (m) и содержанию в ней полезного компонента (c) и обратно пропорциональна распространенности компонента в земной коре (k):

$$E = f(m, c, 1/k).$$

Отмеченная выше чисто статистическая корреляция запасов месторождений и кларка полезных компонентов имеет по существу энергетический смысл.

Принятое отношение запасов малых, средних, крупных и уникальных месторождений (1 : 10 : 100 : 1000) отвечает осредненным оценкам тоннажа месторождений золота (в т): малые — 1, средние — 10, крупные — 100, уникальные — 1000. Учитывая, что золото имеет минимальный кларк в данной выборке полезных ископаемых ($4 \cdot 10^{-7} \%$), и на основании прямой корреляции тоннажа и кларка введем коэффициент кларкового нормирования (KN), равный отношению кларка полезного компонента (K_i) к кларку эталонного компонента, в данном случае к кларку золота (K_{Au}). Тогда модельный тоннаж любого месторождения (Z) определяется по тоннажу месторождений золота, умноженному на коэффициент кларкового нор-

мирования (KN), и может быть выражен тоннами условного золота (т усл. Au).

$$Z^M = 1 \cdot KN, \quad Z^C = 10 \cdot KN, \\ Z^K = 100 \cdot KN, \quad Z^Y = 1000 \cdot KN,$$

где Z — тоннаж (m — малых, c — средних, k — крупных и y — уникальных) месторождений. В табл. 1 приведены кларки (K_i) и коэффициенты кларкового нормирования по золоту ($KN = K_i/K_{Au}$) для 35 элементов рассматриваемой группы полезных ископаемых. Нужно отметить, что термин «условный цинк (свинец)» используется при подсчете запасов полиметаллических месторождений.

Сопоставление модельного и фактического тоннажа приведено на графике (рис. 4). Статистические и теоретические кривые вполне надежно коррелируют, хотя получены из совершенно разных источников. Сравним для примера малые месторождения железа (в млн т) $Z_{Fe} = 1(K_{Fe}/K_{Au}) = 11,5$ (статистически 10), флюорита (в тыс. т) $Z_F = 1(K_F/K_{Au}) = 165$ (статистически 200), меди $Z_{Cu} = 1(K_{Cu}/K_{Au}) = 12,5$ (статистически 20), золота $Z_{Au} = 1(K_{Au}/K_{Au}) = 1$ т (статистически 1 т). Даже наиболее значительные отклонения укладываются между теоретическими кривыми.

Интервал нормированных значений для каждого полезного ископаемого может быть рассчитан по тем же правилам, что и статистические осредненные оценки тоннажа, приведенные выше. Для каждой градации нижний предел определяется делением осредненной теоретической оценки на 2, а верхний предел — умножением этой оценки на 5. В табл. 2 приведены нормированные по кларку осредненные оценки и интервалы значений тоннажа для природных концентраций ранга малых, средних и крупных месторождений. На графике (рис. 5) сопоставлены интервалы теоретических значений и осредненного статистического тоннажа месторождений средней градации. Вполне очевидно, что нормированная градация месторождений по запасам может быть использована как определяющий параметр природной концентрации рудного вещества в металлогенетической системе.

Однако следует учитывать одно дополнительное обстоятельство, которое до настоящего момента

Кларки и коэффициенты кларкового нормирования по золоту

Элементы	Кларк (K _i)	Коэффициент кларкового нормирования (KN)	Элементы	Кларк (K _i)	Коэффициент кларкового нормирования (KN)	Элементы	Кларк (K _i)	Коэффициент кларкового нормирования (KN)
Al	8	20 000 000	Zr	0,02	50 000	Sn	0,00025	625
Fe	4,6	11 500 000	Cr	0,01	25 000	U	0,00025	625
Na	2,5	6 250 000	Zn	0,008	20 000	Ta	0,00025	625
K	2,5	6 250 000	Ni	0,006	15 000	Ge	0,00014	350
Mg	2	5 000 000	Cu	0,005	12 500	W	0,00013	325
Ti	0,45	1 125 000	Li	0,003	7 500	Mo	0,0001	250
Mn	0,1	250 000	Nb	0,002	5000	Sb	0,00005	125
P	0,1	250 000	Co	0,002	5000	Hg	0,000008	20
F	0,066	165 000	Pb	0,0016	4000	Ag	0,000007	18
S	0,05	125 000	B	0,001	2500	ЭПГ	0,0000005	1
Sr	0,034	85 000	Be	0,0004	1000	Au	0,0000004	1
C	0,02	50 000	Cs	0,0004	1000			

опускалось. Тоннаж россыпных месторождений каждой из принятых градаций на порядок ниже, чем коренных. Поэтому для россыпных месторождений соотношение малых, средних, крупных и уникальных месторождений принимается равным 0,1 : 1 : 10 : 100.

Установленная зависимость базируется на обширном опыте ранее проведенных исследований, но необходимо подчеркнуть ее фундаментальное значение для металлогении. Во-первых, она создает объективную и количественно выраженную возможность математического сопоставления месторождений самых различных полезных ископаемых по параметру, отражающему энергетику их образования. Во-вторых, градация месторождений по нормированным запасам не зависит от экономической конъюнктуры и тем самым снижает субъективизм при выявлении закономерностей их

нахождения и образования. В-третьих, кларк – связующее звено горных пород и руд, что характеризует саму суть металлогении. Так как состояние рассеяния химических элементов определяется их кларковым содержанием, то возможно сосчитать объем земной коры, содержащей малое, среднее или крупное месторождение в состоянии рассеяния, т. е. до приложения к нему процессов рудо-концентрирования:

$$V = M (\text{т}) / [k_i (\%) \cdot 10^{-2} \cdot \rho (\text{т/м}^3)],$$

где V – объем земной коры (м^3) с кларковым содержанием полезного компонента (k_i), масса которого равна запасам месторождения соответствующей градации (M) при $\rho = 2,5 \text{ т/м}^3$. По статистическим данным, среднее арифметическое для малых месторождений $V^m = 0,3$, средних $V^c = 3,4$, крупных $V^k = 28,5 \text{ км}^3$. При использовании нормированного

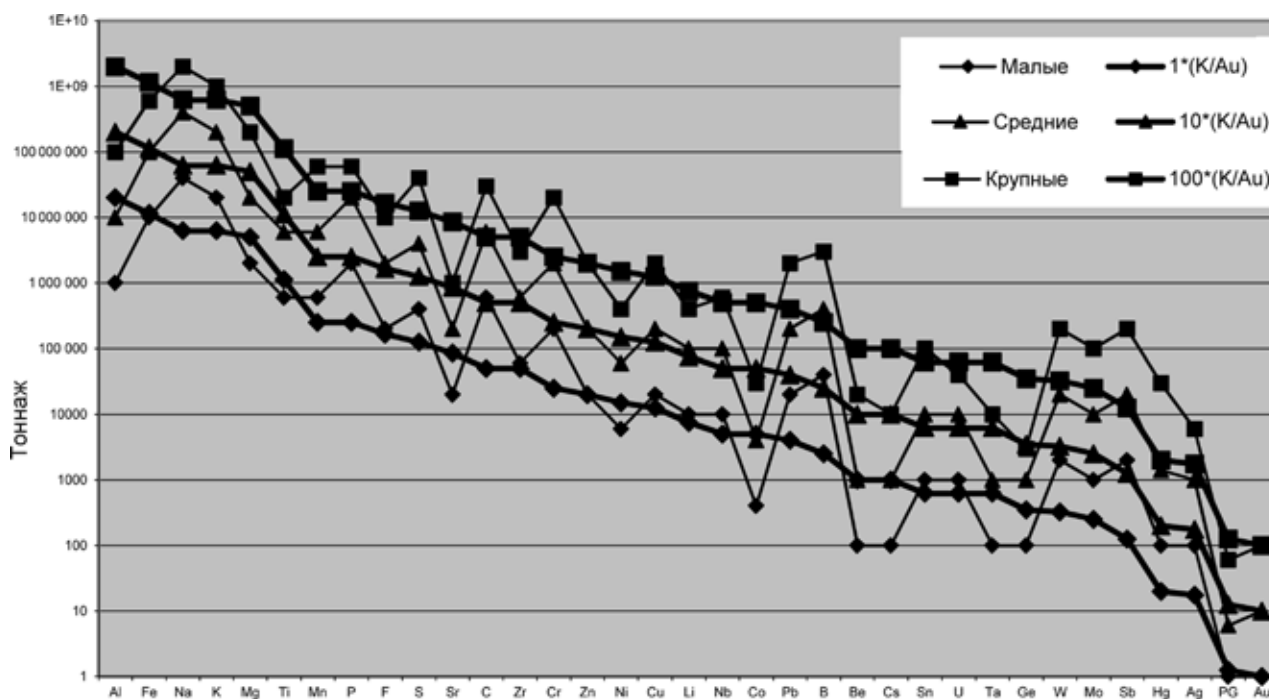


Рис. 4. Эмпирический (усл. обозн. справа) и модельный тоннаж месторождений разной градации

Нормированная по кларку градация коренных месторождений по запасам (модельный вариант)

Компонент	Запасы месторождений								
	малых			средних			крупных		
	Осредненная оценка	Предел		Осредненная оценка	Предел		Осредненная оценка	Предел	
		нижний	верхний		нижний	верхний		нижний	верхний
млн т									
Al	20	10	100	200	100	1 000	2 000	1 000	10 000
Fe	12	6	58	115	58	575	1150	575	5 750
Na	6	3	31	63	31	313	625	313	3 125
K	6	3	31	63	31	313	625	313	3 125
Mg	5	2	25	50	25	250	500	250	2 500
тыс. т									
Ti	1 125	562	5 625	11 250	5625	56 250	112 500	56 250	562 500
Mn	250	125	1 250	2 500	1250	12 500	25 000	12 500	125 000
P	250	125	1 250	2 500	1250	12 500	25 000	12 500	125 000
F	165	82	825	1 650	825	8 250	16 500	8 250	82 500
S	125	62	625	1 250	625	6 250	12 500	6 250	62 500
Sr	85	42	425	850	425	4 250	8 500	4 250	42 500
C	50	25	250	500	250	2 500	5 000	2 500	25 000
Zr	50	25	250	500	250	2 500	5 000	2 500	25 000
Cr	25	12	125	250	125	1 250	2 500	1 250	12 500
Zn	20	10	100	200	100	1 000	2 000	1 000	10 000
Ni	15	7	75	150	75	750	1 500	750	7 500
Cu	13	6	63	125	63	625	1 250	625	6 250
Li	8	4	38	75	38	375	750	375	3 750
Nb	5	2	25	50	25	250	500	250	2 500
Co	5	2	25	50	25	250	500	250	2 500
Pb	4	2	20	40	20	200	400	200	2 000
B	3	1	13	25	13	125	250	125	1 250
тонны									
Be	1 000	500	5 000	10 000	5000	50 000	100 000	50 000	500 000
Cs	1 000	500	5 000	10 000	5000	50 000	100 000	50 000	500 000
Sn	625	313	3 125	6 250	3125	31 250	62 500	31 250	312 500
U	625	313	3 125	6 250	3125	31 250	62 500	31 250	312 500
Ta	625	313	3 125	6 250	3125	31 250	62 500	31 250	312 500
Ge	350	175	1 750	3 500	1750	17 500	35 000	17 500	175 000
W	325	163	1 625	3 250	1625	16 250	32 500	16 250	162 500
Mo	250	125	1 250	2 500	1250	12 500	25 000	12 500	125 000
Sb	125	63	625	1 250	625	6 250	12 500	6 250	62 500
Hg	20	10	100	200	100	1 000	2 000	1 000	10 000
Ag	18	9	88	175	88	875	1 750	875	8750
PG	1	0,6	6	13	6	63	125	63	625
Au	1	0,5	5	10	5	50	100	50	500

тоннажа значение V_N для различных полезных ископаемых одинаковое: $V_N^m = 0,1$, $V_N^c = 1,0$, $V_N^k = 10,0$ км³ (м, с, к – малые, средние и крупные месторождения соответственно). Это более чем минимальные объемы земной коры, способные породить месторождение соответствующей градации. Например, если исчерпать все золото из 10 км³ земной коры и сконцентрировать его в 1000 раз (до 4 г/т) в соответствующем объеме, то получится месторождение золота с запасами 100 т. Исчерпание меди из такого же объема земной коры и концентрирование в 1000 раз (до 5 %) создадут месторождение меди с запасами 1,25 млн т. При осуществлении такого механизма геологическими процессами и мобилизации лишь части полезного компонента из области питания следы их проявления должны фиксироваться в объемах десятков кубических километров для крупных месторождений и единиц для средних и т. п., что следует учитывать при выборе размеров поисковой мишени. Эти объемы могут иметь самую разнообразную форму. Фактическое картирование

эпигенетических проявлений рудоформирующих систем подтверждает порядок этих цифр [7].

Введение единой меры тоннажа для малых, средних, крупных и уникальных месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых (в тоннах золота) делает возможным, а также значительно упрощает и универсализирует количественный анализ закономерностей распределения ресурсного потенциала. На этом основании вводится понятие *продуктивности* (D) для любых объектов, включающих группу месторождений с различными полезными ископаемыми.

$$D = D_k + D_p$$

$$D_k = 1 \cdot N_m + 10 \cdot N_c + 100 \cdot N_k + 1000 \cdot N_y$$

$$D_p = 0,1 \cdot N_m + 1 \cdot N_c + 10 \cdot N_k + 100 \cdot N_y$$

где D_k и D_p – продуктивность коренных и россыпных месторождений; N – число месторождений в анализируемом объекте: м – малых, с – средних, к – крупных, у – уникальных.

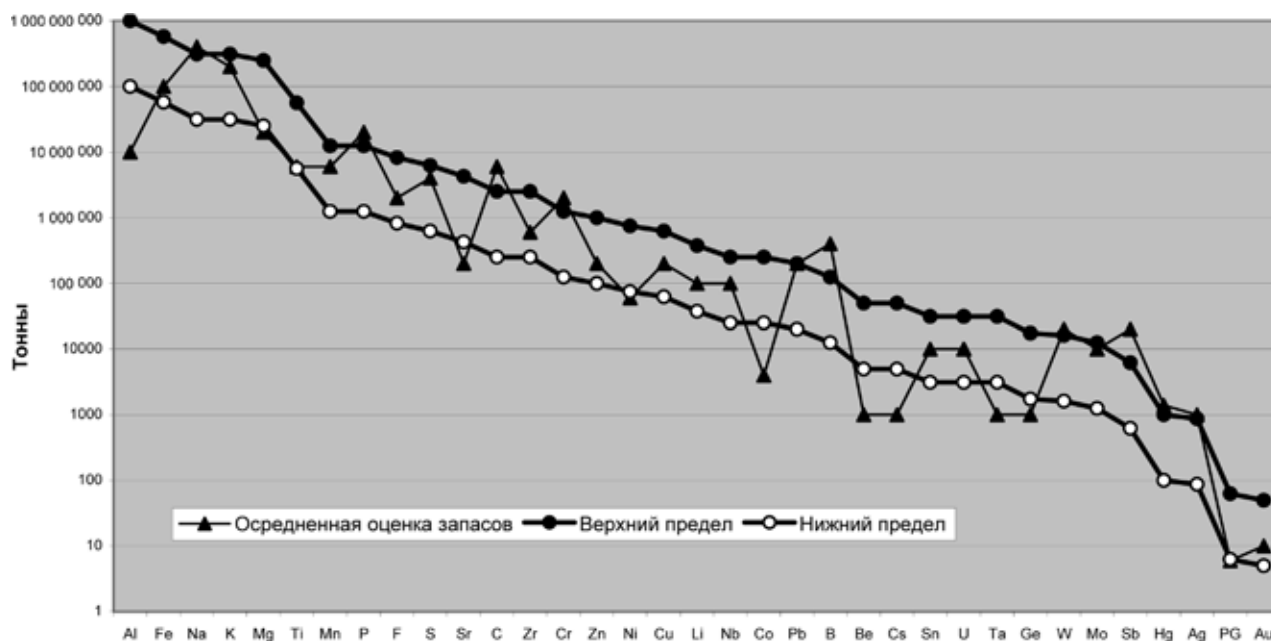


Рис. 5. Осредненная статистическая оценка запасов и интервал нормированных значений запасов для месторождений средней градации

В результате создается функциональная система оценок, позволяющая нормировать объекты ранга месторождений для количественного анализа природных закономерностей их распространения и прогнозирования. Использование коэффициентов кларкового нормирования и единой меры тоннажа (по золоту) дает возможность сопоставить и суммировать запасы месторождений различных полезных ископаемых, оценивать продуктивность территорий, возрастных интервалов, типов месторождений и т. п.

Таким образом, месторождение как компонент металлогенической системы определяется нормированными по кларку запасами, что однозначно фиксирует величину анализируемой природной концентрации и обеспечивает ее связь (через кларк) с металлогеническими объектами более высокого уровня. Следующим шагом нормирования месторождений является их типизация для целей металлогенического анализа.

Месторождение – рудная формация. Месторождения относятся к металлогеническим объектам формационного уровня организации. *Рудная формация* определяется как структурно-вещественная модель рудного месторождения, компоненты которой – минеральные парагенезисы (в том числе рудные), структурно взаимосвязанные устойчивыми зональными (пространственными), стадийными (временными) и количественными отношениями. *Концентрационная зональность* является главным отличительным признаком рудной формации, а также связующей структурой с вмещающими синхронными и сингенетичными геологическими формациями регионального распространения, т. е. с рудоносными формациями [8, 10]. Выявление возможных рудогенерирующих, рудовмещающих и потенциально рудоносных геологических формаций и их взаимосвязей на изучаемой территории – одна из главнейших задач прогнозно-металлогенического анализа. Поэтому выяснение рудно-формационной принадлежности месторождений представляет собой фундамент их целевой

классификации. Основы понятийной базы такого анализа разработаны Д. В. Рундквистом и соавторами [3, 12].

Представления о рудных формациях вне связи с другими геологическими формациями бессмысленны. Такая взаимосвязь обеспечивается единым структурно-вещественным принципом их выделения и едиными основаниями классифицирования. Рудные формации так же, как и другие геологические формации, следует подразделять на магматические и осадочные, метаморфические и метаморфизованные, гидротермально-метасоматические и гидрогенно-инфильтрационные. Подобная классификация месторождений общепринята [6, 16, 19]. Рудные формации каждого генетического класса имеют комплекс сходных структурно-вещественных признаков, что упрощает их диагностику и установление связи с рудоносными формациями, классифицированными аналогичным образом. При этом представления о конвергентности рудных формаций теряет смысл.

Таким образом, нормирование типа месторождения как компонента металлогенической системы должно базироваться на выделении рудных формаций, классифицированных по генетическим типам и полезным ископаемым. Ниже приводится краткая характеристика выделяемых подразделений.

1. Метаморфические рудные формации, образованные в ходе регионального метаморфизма и плутонометаморфизма, в целом синхронны вмещающим их метаморфическим породам (гнейсам, эклогитам, кристаллосланцам, мраморам и т. п.), которые являются составляющими соответствующих железорудных, высокоглиноземистых, графитовых, флогопитовых, тальковых и т. п. рудных формаций (флогопитовая доломит-гнейсовая, тальковая кристаллосланцевая).

2. Собственно магматические рудные формации, возникающие при дифференциации расплавов (гравитационной, ликвационной и т. п.), теснейшим образом связаны с вмещающими их магматитами, что фиксируется в их названиях (медно-

никелевая габбро-долеритовая, хром-платиновая дунит-клинопироксенитовая и т. п.). Здесь выделяются группы рудных формаций в мафит-ультрамафических (Ti, Fe, Cr, V, Cu, Ni, Pt, Pd и т. д.), щелочно-ультрамафических (Ti, Fe, Ap, Al, Al и т. д.) и щелочно-мафическо-салических породах (Ta, Nb, TR, Ap, Al, Gr и т. д.).

3. Магмато- и метаморфо-метасоматические рудные формации составляют особую группу: пегматитовые, карбонатитовые, пегматоидные, скарноидные, мигматитовые и т. п. рудные формации. В их образовании тесно переплетаются сингенетические и эпигенетические процессы рудообразования, что выражено в их специфических названиях. Разнообразие полезных ископаемых включает Ta, Nb, TR, Li, U, Sn, Fe, Фл, Ap, Ba, Стр, Флг, Му, Кв, самоцветы и т. д.

4. Гидротермально-метасоматические рудные формации — наиболее обширная и разнообразная группа. В сфере гидротермальной деятельности выделяются:

а) гипозона — наиболее глубинная гипотермальная зона преимущественно плутоногенного рудообразования в апогранитах, фенитах, скарнах, грейзенах и подобных метасоматитах с разнообразной, часто комплексной специализацией: W, Mo, Sn, Ta, Nb, TR, Li, Be, Zr, Co, Ni, Fe, Pb, Zn, Cu, В, Au, Фл, Gr, Тлк, Ас, самоцветы и т. д.;

б) мезозона преимущественно гипабиссального плутоногенного рудообразования в широком температурном интервале с образованием березитов, филлизитов, оксалитов, листовитов, гумбеитов, эйситов, часто кварцевых и карбонатных жил с разнообразным оруденением (Au, Cu, Pb, Zn, Mo, Sn, W, U, Bi, Sb, Ni, Co, Hg, As, Ba, Фл, Тлк, Ас, Кв и т. д.);

в) эпизона преимущественно вулканогенного приповерхностного (и поверхностного) рудообразования в широком температурном интервале с образованием аргиллизитов, вторичных кварцитов, адуляритов, опалитов, джаспероидов и других гидротермалитов с характерным набором полезных ископаемых (Au, Ag, Hg, Sb, As, U, Mo, Sn, W, Cu, S, Фл, Иш, Цл, Стр и т. д.);

г) телезона амагматической (тектоногенной) гидротермальной деятельности с образованием низкотемпературных апокарбонатно-кремнистых, низкослюдистых, карбонатных, баритовых метасоматитов, иногда с альбитом или калишпатом и апатитом. В этих условиях образуются самостоятельные месторождения (U, Mo, Cu, Sb, Hg и т. д.), но чаще амагматическая гидротермальная деятельность проявляется в полигенном стратиформном рудообразовании. Выделенные выше четыре группы рудных гидротермально-метасоматических формаций вполне определенно различаются сочетанием рудной специализации, околорудных метасоматитов и жильных гидротермалитов.

5. Полигенные рудные формации характеризуются выделением в их структуре по крайней мере двух этапов накопления и концентрирования рудного вещества. Первый этап тесно связан с вмещающими осадочными или вулканогенными толщами, предшествует их дислокации и согласуется со стратификацией отложений (гидротермально-осадочное, реже осадочное или иное рудонакопление). Второй этап рудообразования происходит после смятия отмеченных толщ в складки, в ходе или позднее дислокационного метаморфизма и разломообразования. Выражен формированием прожилковых или

метасоматических гидротермалитов, перемещением и концентрированием рудного вещества.

Временной разрыв и смена геотектонической обстановки между этапами рудообразования очевидны. Однако необходимость каждого этапа для формирования целостного металлогенического объекта и постоянство их сочетания в пределах конкретных месторождений обосновывают правомерность выделения вполне определенных, хотя и заведомо полигенных рудных формаций. Так, выделяются колчеданные гидротермально-метасоматические рудные формации в дислоцированных осадочно-вулканогенных комплексах (Cu, Pb, Zn, Пи и др.) или стратиформные (Cu, Pb, Zn, Au, Mn, Фл, Фс и др.) формации в осадочных толщах, претерпевших складчатые и разрывные дислокации. Второй этап в образовании рассматриваемой группы рудных формаций часто непосредственно связан с дислокационными процессами, создающими амагматические гидротермальные системы. Иногда эти системы сопровождаются сериями даек пестрого состава, но эти процессы не создают самостоятельных рудных формаций, а в основном переотлагают и переконцентрируют ранее накопленное рудное вещество, доводя его до кондиций запаса. Поэтому их производные рассматриваются в рамках единой полигенной и полихронной рудной формации.

Металлогеническая специализация этой группы рудных формаций: Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au, Sb, Hg, U, Фл, Пи, Mg, Тлк, Ас, Gr, Фс и т. д. Названия полигенных гидротермально-метасоматических рудных формаций хаотично разнообразны, но особенно важно их отличать от собственно осадочных формаций. Поэтому рекомендуется их называть апотерригенными, апочерносланцевыми и т. п.

6. Гидрогенно-инфильтрационные рудные формации образуются в ходе циркуляции водных растворов в зоне гипергенеза преимущественно в нисходящем направлении. По составу и морфоструктурным особенностям они подразделяются на две группы:

а) рудные формации кор выветривания обусловлены концентрированием ранее накопленного рудного вещества в результате дезинтеграции и выноса безрудных компонентов. В первую очередь это обломочные и остаточные формации Cr, Ta, Nb, P, TR, Sn, W, Au, Fe, Ba, Врм, Тлк, Кв, Au. К этой же группе относятся железорудная, марганцевая, бокситовая формации латеритов, апоультрамафитовые формации (Cu, Ni, P), апокарбонатные (Mn, Fe, P), каолининовая, апогранитовая и др. Особую подгруппу составляют концентрации иллювиальных кор: боратовая в гипсовых шляпах, урановые калькретовая и торфяниковая, серная в шляпах соляных куполов и др.;

б) рудные формации пластовых и трещинных зон окисления и восстановления, особенно важных для элементов переменной валентности, высоковалентные ионы которых обладают повышенной растворимостью по сравнению с более низковалентными. В первую очередь это группа урановорудных формаций, имеющая огромное практическое значение и четко выраженные морфоструктурные и вещественные формы проявления.

7. Осадочные рудные формации. Процессы осадочной дифференциации вещества (механогенные, хемогенные и биогенные) в некоторых дополнительных условиях концентрирования приводят

к формированию рудных формаций. Рудные формации россыпей различаются по полезным ископаемым и условиям россыпеобразования (аллювиальные, делювиальные, пролювиальные, озерные, морские и т. п.). Металлогеническая специализация обусловлена механической устойчивостью минеральных форм (Au, Ap, Ti, Zr, Ta, Nb, TR, W, Sn, Pt, Hg, Bi, Kв, Ян, Ал и др.). Остальные осадочные рудные формации определяются полезным компонентом и составом вмещающих осадков (песчано-сланцевая, карбонатная, кремнистая, галогидная и т. п.). Специализация рудных формаций: Fe, Mn, Al, S, Фс, Стр, Ба, соли, бораты, гипс, яшмы и т. п.

Осложняющие факторы выделения осадочных рудных формаций – наложенные эпигенетические процессы, практически повсеместно проявленные. Нарушения фациально-стратиграфических структур в строении рудных формаций обусловлены конседиментационными неоднородностями, процессами инфильтрации, литификации и начального метаморфизма. В условиях ненарушенного залегания особо выделяются гидротермально-осадочные формации: наземные (боратовая в сарагах, серных потоков и др.), озерные (боратовая, цеолитовая, серная), морские (Fe, Mn, Sr и др.).

8. Метаморфизованные рудные формации составляют особую полигенную группу. Предполагается несколько этапов рудообразования, затушеванных последующим метаморфизмом достаточно высоких ступеней. Это, видимо, одна из наиболее дискуссионных групп рудных формаций [16]. Если сохранять структурно-вещественный принцип их выделения, то метаморфические текстуры и структуры и относительно высокотемпературные минеральные парагенезисы, устанавливаемые в рудах и вмещающих породах, являются вполне определенным признаком данной группы [19]. Однако в этом случае стираются различия между метаморфическими и метаморфизованными рудными формациями, которые в целом несут предположительный характер. Полигенность рудообразования – главный отличительный признак для метаморфизованных рудных формаций. Обычно фиксируются вполне определенный рудогенез (осадочный, магматический, гидротермальный и т. п.) и последующее метаморфическое преобразование рудного вещества. Сюда входят рудные формации Fe, Ti, Mn, TR, Cu, Ni, Pb, Zn, Au, U, Ag, Co, Ap, Gr, Пи и т. д.

9. Рудные формации минеральных источников образуют специфический класс, формации которого характеризуются полезным ископаемым и составом вод.

10. Коптогенные рудные формации в настоящее время представлены только одной – алмазодержащей импактной, хотя предполагаются и другие.

11. Техногенные рудные формации создаются в отвалах и хвостохранилищах обогатительных фабрик. Такие концентрации полезных ископаемых, конечно, существуют и обладают некоторыми структурно-вещественными особенностями, но это не природные концентрации, и их формационный анализ носит сугубо формальный характер. Это формации мелколистового мусковита, нефелин-апатитовые, флюорита, Мо, W, Au, Pt и др.

Так называемые генетические типы рудных формаций по существу являются удобной системой их классифицирования. Каждый тип обладает комплексом устойчивых структурно-текстурных и вещественных признаков, позволяющих отли-

чать собственно магматические образования от гидротермально-метасоматических, осадочные от стратиформных и т. п. В то же время эти признаки не входят в число собственно формационных, а являются дополнительными, но весьма важными для определения принадлежности месторождения к соответствующей группе рудных формаций. Далее стадийные, зональные и количественные соотношения парагенезисов позволяют вполне надежно оценить формационный вид месторождения.

Таким образом, месторождение как искомым объект металлогенического анализа в модельном выражении определяется размерами природной концентрации рудного вещества и его рудно-формационной принадлежностью. Это необходимые и достаточные характеристики для прогнозирования и выявления месторождений в геологической среде рудного узла или района с установленной внутренней структурой, но для оценки его промышленной значимости проводятся специальные геологоразведочные работы.

Нормирование металлогенических объектов ранга рудных узлов. Рудные узлы (районы) в качестве компонентов многоуровневой металлогенической системы занимают вполне определенное положение между месторождениями (рудными телами, рудными полями) и металлогеническими зонами. Рудные узлы и районы рассматриваются как объекты одного иерархического уровня с одинаковым набором систематических признаков. Обычно рудными районами называют более крупные объекты, включающие один или несколько однотипных рудных узлов и неопределенную перспективно рудоносную площадь. Рудный узел как единичный целостный объект имеет более определенный феноменологический смысл.

Рудный узел – аномально рудоносный дискретный блок земной коры. Эмпирически установленное узловое распределение месторождений («Ищи руду около руды», как говорили рудознатцы), послужившее основанием для выделения соответствующего металлогенического таксона, наиболее полно охарактеризованы в монографии «Рудные узлы России» и сопровождающей её карте масштаба 1 : 5 000 000 [11]. Путем анализа более одной тысячи рудных узлов складчатых поясов, чехла и фундамента платформ установлены их основные статистические параметры. Средняя площадь рудного узла колеблется в различных регионах от 297 до 825 км², т. е. составляет сотни квадратных километров (в среднем ≈500), что соответствует принятым представлениям. Оценка третьего измерения весьма условная, зависит от типа рудоформирующей системы и определенности положения её области питания. В среднем она не превышает первых километров. В пределах рассмотренных рудных узлов зафиксировано более 6500 коренных и россыпных месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых, т. е. в среднем минимум 1–6 месторождений на рудный узел.

Важнейшие параметры нормирования рудных узлов – величина их продуктивности (D_{py}), оценивающая суммарные запасы месторождений в его пределах, а также величина прогнозных ресурсов (P_{py}) ожидаемых объектов ранга месторождений. В сумме продуктивность и прогнозных ресурсы определяют металлогенический потенциал рудного узла (MP_{py}). Универсальный способ оценки

суммарной продуктивности для любой группы месторождений рассмотрен выше и вполне применим для рудных узлов.

Статистически установленная средняя продуктивность рудного узла составляет 109 т усл. Au, что соответствует одному крупному и девяти малым, или 10 средним и девяти малым месторождениям любых металлических и неметаллических полезных ископаемых или другим сочетаниям нормированных месторождений с общей продуктивностью 109 т усл. Au, а так как в среднем на рудный узел приходится шесть месторождений, то осредненная оценка запасов каждого месторождения составляет 18 т усл. Au.

По интервалам значения продуктивности рудные узлы подразделяются на малопродуктивные ($D \leq 10$), среднепродуктивные ($D = 10-100$), высокопродуктивные ($D = 100-1000$) и уникальные ($D \geq 1000$ т усл. Au).

Этот же способ расчета рационально использовать и для оценки прогнозных ресурсов. При этом прогнозные ресурсы в пределах перспективной площади ранга рудного узла должны быть конкретизированы не только тоннами полезного ископаемого, но и привязаны к ожидаемым *потенциальным месторождениям*, нормированным по крупности и формационному типу.

$$P_{py} = P_k + P_p,$$

$$P_k = 1 \cdot N_m + 10 \cdot N_c + 100 \cdot N_k + 1000 \cdot N_y,$$

$$P_p = 0,1 \cdot N_m + 1 \cdot N_c + 10 \cdot N_k + 100 \cdot N_y,$$

где P_k и P_p – прогнозные ресурсы для коренных и россыпных месторождений; N – число *потенциальных* месторождений в анализируемом объекте: m – малых, c – средних, k – крупных, y – уникальных.

По интервалам значений прогнозных ресурсов рудные узлы подразделяются на малоперспективные ($P \leq 10$), среднеперспективные ($P = 10-100$), высокоперспективные ($P = 100-1000$) и уникально перспективные ($P \geq 1000$ т усл. Au). При этом возможны любые сочетания D и P , включая непродуктивные потенциальные рудные узлы ($D = 0$) и неперспективные рудные узлы ($P = 0$).

Таким образом, рудный узел определяется как ограниченный в пространстве аномально рудоносный блок земной коры объемом в сотни – первые тысячи кубических километров, включающий одно или несколько месторождений, другие скопления полезных компонентов (проявления, ореолы и потоки рассеяния) и признаки рудоформирующих систем (рудоносные, рудогенерирующие, рудовмещающие формации, рудоконцентрирующие структуры, измененные породы), другие неоднородности геологического строения, стимулирующие рудонакопление. При отсутствии хотя бы одного оцененного месторождения следует говорить о потенциальном рудном узле.

Границы рудного узла как нормированного целостного объекта металлогенической системы определяются специальным картированием рудоформирующих систем [9]. В упрощенном виде они устанавливаются по скоплениям прямых признаков рудоносности на фоне безрудных территорий или аномальными геохимическими полями соответствующего ранга [15]. В целом границы рудного узла фиксируются на геологической карте масштабов 1 : 50 000 – 1 : 200 000 с учетом геологических подразделений и ограничений геологических тел,

включая эпигенетические образования. Все геологические подразделения в контуре рудного узла являются его составляющими и подвергаются формационному и металлогеническому анализу. Выделяются рудоносные, рудовмещающие и возможные рудогенерирующие формации, а также геохимически специализированные формации и формации, металлогеническая роль которых не установлена.

Структурно-вещественной моделью рудного узла является рудоформирующая система, определяющая его видовые признаки.

Рудный узел – рудоформирующая система. Понятие о рудообразующих системах было предложено Д. В. Рундквистом [13] для объектов надформационного уровня. В дальнейшем широко распространилось генетическое толкование рудоформирующих (рудообразующих) систем, увязывающее представления об областях питания, перемещения и разгрузки полезных компонентов в ходе рудообразования. Однако в том и другом случаях по сути говорится о взаимоотношениях рудных, рудоносных, рудовмещающих и рудогенерирующих формаций. Взаимосвязь рудных формаций с рудоносными, рудогенерирующими и рудовмещающими осуществляется переход на следующий уровень металлогенической иерархии – на уровень *рудоформирующих систем* (РФС).

Рудный узел может моделироваться одной или несколькими пространственно совмещенными рудоформирующими системами (моносистемные или полисистемные рудные узлы). В качестве структурно-вещественной модели рудного узла РФС характеризуется образованными ею месторождениями – рудными формациями, а также рудовмещающими (области разгрузки), рудогенерирующими (области питания) и рудоносными (собственно рудообразующими) формациями.

Классификация РФС базируется на геологических обстановках их проявления и геохимических типах ассоциаций полезных компонентов. Природная ассоциативность полезных компонентов в значительной степени соответствует геохимическим закономерностям распределения химических элементов, наиболее четко выраженным в классификации В. М. Гольдшмидта с последующими добавлениями и исправлениями. Геохимический тип металлических полезных ископаемых соответствует химическим элементам (табл. 3), а неметаллических – дефицитному компоненту представляющих их минералов или пород (табл. 4).

В пределах континентальных блоков земной коры выделяются РФС, обусловленные становлением кристаллического основания, платформенного чехла и складчатых поясов, что предопределяет их увязку с металлогеническими зонами.

Кристаллическое основание. Выделяются метаморфические сидерофильные (Fe, Флг, Гр) и халькофильные (Пи, Ау) РФС; плутоно-метаморфические и метаморфо-метасоматические литофильные (Та, Nb, TR, Zr, Li, Be, Cs, Му, Кв, Ки) РФС; магматические сидерофильные (Ti, Fe, Ап, РG) и халько-сидерофильные (Cu, Ni) РФС; гидротермально-метасоматические лито-сидерофильные (U, V), лито-халькофильные (Au, U), сидерофильные (Тлк, Ас) РФС.

Платформенный чехол. Широко распространены осадочные сидерофильные (Fe, Фс, Ал, Ян) и лито-сидерофильные (Ti, Zr) РФС; осадочные и инфильтрационные лито-халькофильные (СП,

Геохимические типы металлических полезных ископаемых

Распространенность (К – кларк)	Сиалические элементы		Симатические элементы	
	Литофилы	Халькофилы		Сидерофилы
Главные элементы К = 1,9–47,0 %	Al			Fe
Микроэлементы К < 0,5 %	Nb, Ta, Be, Zr, Y, TR, U, В, Th, W, Sn, Mo, Li, Rb, Cs	Pb, Bi, Tl, Ga	Au, Ag, Pd, Cu, Zn	Pt, Ir, Os, Re, Cr, Ni, Co, Sc, V, Ti, Mn
		S, Se, Te, Sb, As, Ge, Cd, Hg		

Таблица 4

Геохимические типы неметаллических полезных ископаемых

Полезное ископаемое		Индикаторные элементы	Геохимический тип	Полезное ископаемое		Индикаторные элементы	Геохимический тип
Индекс	Название			Индекс	Название		
Ал	Алмаз	С	Сидерофильный	СК	Соль калиевая	К, Cl	Литофильный
Ап	Апатит	Р	»	СМ	Соль магниевая	Mg, Cl	»
Ас	Асбест	Mg	»	СП	Соль поваренная	Na, Cl	»
Ба	Барит	Ba	Литофильный	Слм	Силлиманит	Al	»
Врм	Вермикулит	Mg	Сидерофильный	Сн	Сыннерит	К, Al	»
Гпс	Гипс	S	Халькофильный	Стр	Стронцианит	Sr	»
Гр	Графит	С	Сидерофильный	Тлк	Тальк	Mg	Сидерофильный
Иш	Кальцит	С	»	УБ	Угли бурые	С	»
Кв	Кварц	Si	Литофильный	УК	Угли каменные	С	»
Ки	Кианит	Al	»	Фл	Флюорит	F	Литофильный
Мг	Магнезит	Mg	Сидерофильный	Флг	Флогопит	Mg	»
Му	Мусковит	К	Литофильный	Фс	Фосфорит	P	Сидерофильный
Не	Нефелин	Na, Al	»	Цл	Цеолиты	К, Na, Ca	Литофильный
Нф	Нефрит	Mg	Сидерофильный	Чр	Чароит	Mg	Сидерофильный
Пе	Пегматит	Si, Al	Литофильный	Шг	Шунгит	С	»
Пи	Пирит	S	Халькофильный	Ян	Янтарь	С	»
Пр	Перлит	Si, Al	Литофильный	Яш	Яшма	Si	Литофильный
СГ	Сланцы горючие	С	Сидерофильный				

СК, СМ, Гпс, Стр) и литофильные (Al) РФС. С эпикратонной активизацией в чехле и фундаменте платформ связаны магматические и магмато-метасоматические сидерофильные (Fe, Ti, PG, Ап, Фл, Ал) и лито-сидерофильные (TR, Ta, Nb, Al, Ап, Сн) РФС; гидротермально-метасоматические сидерофильные (Fe, Иш, Цл), сидеро-халькофильные (Cu, Ni, PG) и лито-халькофильные (U, Au) РФС.

Складчатые пояса. Среди РФС доминируют гидротермально-метасоматические широкого геохимического профиля: сидерофильные (Fe, Ас, Тлк, Нф); сидеро-халькофильные (Ni, Co, Cu, Au, Fe); халькофильные (Au, Ag, Sb, Hg, Pb, Zn, Cu, S); лито-халькофильные (Mo, Cu, Au, W, Ag, Sn, TR, Pb, Zn); литофильные (W, Mo, Sn, Be, Ta, Nb, TR, U, Фл, Цл); лито-сидерофильные (Fe, Be, Sn, Co, Фл, Ba). Особо продуктивны полигенные РФС: колчеданные халькофильные (Cu, Pb, Zn, Au, Пи) и стратиформные сидерофильные (Fe, Mn, Фс, Тлк, Мг), халькофильные (Pb, Zn, Cu, Au, Ag, Sb,) и литофильные (Фл, Ba, Яш, Al). Менее характерны собственно осадочные и инфильтрационные РФС, связанные с наложением платформенных обстановок

рудобразования в виде кор выветривания по ранее образованным концентрациям (Au, Ni, W, Nb, TR, Al) и россыпей (Au, Sn, W и др.), реже в виде небольших осадочных впадин (Fe, Mn, Al, U). Отмечаются карбонатитовые лито-сидерофильные (TR, Nb, Ta, Fe, Ап, Фл) и пегматитовые существенно литофильные (Li, Be, Cs, TR, Sn) РФС. Магматические РФС имеют сидерофильную (Fe, Ti, Cr, PG, Ап), халько-сидерофильную (Cu, Ni) или литофильную (Al, Y, Сн) специализацию.

Положение и сочетания РФС в рудном узле определяют его металлогеническую модель (металлогенограмму), включающую полную возрастную последовательность формационных подразделений в объеме рудного узла с выделением структурных этажей и ярусов, перерывов (несогласий) и обязательно эпигенетических образований.

Сочетание РФС в пределах рудных узлов – явление обычное и широко распространенное. В ряде случаев доминируют РФС одного типа, в других случаях преобладают одни, прогнозируются другие, иногда равнозначно несколько разных типов. При этом геохимические типы совмещенных РФС

значительно более устойчивы, чем обстановки их проявления.

Нормирование металлогенических объектов ранга металлогенических зон. Понятие о металлогенической зоне или области наиболее фундаментальное в региональном металлогеническом анализе. Оно было введено Ю. А. Билибиным [1] в 1951 г. (структурно-металлогеническая зона) и уточнено Е. Т. Шаталовым [18] (металлогеническая зона). Используются оба термина, которые в содержательном отношении подробно рассмотрены в серии работ, выполненных под руководством Д. В. Рундквиста во ВСЕГЕИ [3, 12] и реализованы как на сводных металлогенических картах, так и на Государственных геологических картах масштаба 1 : 1 000 000.

Металлогеническая или структурно-металлогеническая зона наиболее тесно связана, а часто тождественна структурно-вещественным геологическим подразделениям, что определяет как ее высокую значимость, так и недостаточность для прогнозно-металлогенического анализа. В этой связи в моделировании металлогенических зон необходимо выделить параметры: рудоносности и структурно-вещественные.

Металлогеническая зона – специфически рудоносный блок земной коры площадью 10^4 – 10^5 км² включающий один или несколько реальных или потенциальных рудных узлов (районов), другие перспективные объекты (рудопоявления, геохимические ореолы и т. п.) и ограниченный распространением структурно-формационного комплекса (СФК), специализированного на данные полезные ископаемые.

Рудоносность металлогенической зоны характеризуется ее металлогеническим потенциалом, который рассчитывается с учетом запасов оцененных месторождений, прогнозных ресурсов (оцененных, выявленных и предполагаемых) и ожидаемых металлогенических ресурсов в виде месторождений новых типов или нетрадиционных полезных ископаемых. Металлогенический потенциал устанавливается по каждому полезному ископаемому или по комплексу полезных ископаемых в привязке к выделенным в пределах металлогенической зоны металлогеническим объектам, а за их пределами – к зоне в целом. Учитывая многометалльную специализацию большинства металлогенических зон, расчет суммарного металлогенического потенциала зоны удобно производить в тоннах условного золота по формулам, приведенным выше. По этой же причине типизацию рудоносности металлогенических зон следует строить на геохимических основаниях, единообразных как для металлических, так и для неметаллических полезных ископаемых, обусловленных концентрированием ранее рассеянного вещества (табл. 3, 4). Кроме того, геохимические основания типизации рудоносности предпочтительны по ряду более существенных причин.

1. Геохимические типы рудоносного СФК (его геохимическая специализация) и рудной минерализации (рудно-геохимический тип) могут коррелироваться в различной степени, что уточняет характер их связи.

2. Совмещение в пределах одной металлогенической зоны разновозрастных месторождений сходного геохимического спектра позволяет обо-

снованно выделять полиэтапные, многоярусные и другие сложные металлогенические зоны как единые металлогенические объекты (проявления регенерации, реювенации, кор выветривания, россыпей и т. п.).

3. Увязка полигенных и полихронных месторождений с историей геологического развития и структурного становления зоны часто, кроме возрастных, имеет геохимические основания.

Некоторые характерные рудно-геохимические типы металлогенических зон, фактическая рудоносность которых определяется конкретным набором основных полезных ископаемых:

– сидерофильные: С₁ железо-титановые (Fe, Ti, Ap, Cr, Ni, PG); С₂ марганцево-фосфорные (Mn, Фс, Fe); С₃ железо-неметаллические (Fe, Gr, Флг, Иш, Цл); С₄ неметаллические (Ac, Тлк, Мг, Gr, Нф); С₅ алмазные (Al);

– сидерофильно-халькофильные: СХ₁ медно-никелевые (Cu, Ni, Co, PG, Cr, Fe); СХ₂ золото-железо-полиметаллические (Fe, Au, Cu, Pb, Zn, PG, Mn, Cr);

– халькофильные: Х₁ сульфидно-полиметаллические (Pi, Cu, Pb, Zn, Sb, Hg); Х₂ золото-полиметаллические (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, S, Hg);

– литофильно-халькофильные: ЛХ₁ золото-редкометалльные (Au, Mo, W, Sn, U, Cu, Sb); ЛХ₂ сульфидно-редкометалльные (Mo, Cu, W, Sn, Pb, Zn); ЛХ₃ галогенные (СП, СК, СМ, Пс, S, Ba, Стр);

– литофильные: Л₁ редкометалльные (W, Mo, Sn, U, Фл, Чр); Л₂ редкоземельно-редкометалльные (Ta, Nb, TR, Y, Be, Li, Cs, Th, U, Фл, He); Л₃ алюминиевые (Al, Ки, Слм, He); Л₄ неметаллические (Му, Пе, Пр, Кв, Ag, Фл, В);

– литофильно-сидерофильные: ЛС₁ фосфор-титан-редкоземельные (Ti, Ap, TR, Be, Ta, Nb, Al, Fe, W, Mn); ЛС₂ титан-циркониевые (Ti, Zr); ЛС₃ уран-ванадиевые (U, V, PG).

Металлогеническая зона – геотектонический блок со специфической историей геологического развития. В качестве геотектонического эквивалента металлогенической зоны рассматривается СФК, специализированный в отношении определенного набора полезных ископаемых.

В связи с тем, что месторождения одной металлогенической зоны часто оказываются разновозрастными или полихронными и что в их формировании принимают участие разнообразные эпигенетические процессы, понятие о структурно-формационном комплексе требует уточнения.

1. СФК – гетерогенные геологические образования, включающие во многих случаях принципиально разновозрастные осадочные, вулканические, интрузивные, гидротермально-метасоматические формации или полигенные и полихронные метаморфические и метаморфизованные формации, гипергенные формации. При этом СФК отвечает конкретному этапу геотектонического развития. Каждая формация может вносить или не вносить свой вклад в формирование тех или иных месторождений зоны. Однако часто лишь взаимодействие формаций обуславливает образование месторождения. Все это в конечном счете определяет дискретный (узловой) характер пространственного распределения оруденения в пределах СФК и собственные границы металлогенической зоны. Таким образом, металлогеническая зона характеризуется не только рудоносным СФК, но и его конкретными рудогенерирующими, рудовмещающими и рудоносными

формациями, объединяемыми в рудоформирующие системы.

2. **СФК** в конкретном выражении – это блок земной коры, претерпевший разнообразные наложенные преобразования (складчатые и разрывные дислокации и сопровождающие их метаморфические и гидротермально-метасоматические изменения; денудацию, химическое выветривание и образование россыпей; погружение в иные термодинамические зоны Земли и последующее вскрытие; разрушительное или созидательное воздействие других СФК). Все это приводит к необходимости выделения базовых СФК и наложенных преобразований или дополнительных (надстроечных) СФК, в совокупности определяющих геотектонический (геодинамический) тип металлогенической зоны и ее конфигурацию.

В качестве базовых СФК выделяются:

– **в кристаллическом основании кратонов:** гранито-гнейсовые, зеленокаменные, гранит-зеленокаменные; метаморфизованных рифтогенных зон и депрессий; интрузивные щелочно-ультрамафические, щелочно-мафическо-салические, мафическо-ультрамафические эпикратонного рифтогенеза и др.;

– **в платформенном чехле:** внутриплитные осадочные и осадочно-вулканогенные СФК синеклиз, антеклиз, моноклиз, прогибов, поднятий, склонов, авлакогенов, надрифтовых депрессий; интрузивно-вулканические трапповые, щелочно-мафическо-ультрамафические, кимберлитовые эпикратонного рифтогенеза и др.;

– **в складчатых поясах:** осадочные, вулканические и интрузивные океанических глубоководных впадин и рифтов; осадочные, вулканогенно-осадочные пассивных окраин (шельфа и континентального склона); осадочно-вулканогенные и интрузивные островных дуг и задуговых морей; осадочно-вулканогенно-интрузивные краевых вулканоплутонических поясов; интрузивные, осадочные, вулканогенно-осадочные коллизионных зон; осадочные, осадочно-вулканогенные рифтов, надрифтовых депрессий и межгорных прогибов; вулкано-интрузивные рифтогенные центрального типа.

Многие из перечисленных типов СФК могут выполнять как базовую, так и надстроечную роль в формировании металлогенической зоны. Например, для ряда металлогенических зон оловорудной специализации базовыми являются линейно дислоцированные терригенные комплексы пассивных окраин, а надстроечными интрузии вулканоплутонических поясов. Для металлогенических зон с золото-серебряной минерализацией этот же комплекс вулканоплутонических поясов базовый. Во многих случаях характер и интенсивность дислоцированности и сопровождающие ее процессы определяют степень рудоносности того или иного СФК.

Металлогенические зоны в модельном выражении должны рассматриваться как металлогенические системы взаимодействия базовых СФК с наложенными плутоническими, вулканическими, гидротермально-метасоматическими, гидрогенно-инфильтрационными формациями собственных или других (одного или нескольких) СФК. В этом отношении металлогенические зоны можно разделить на три группы:

– простые, рудоформирующие системы которых определяются рудогенерирующими, рудовмещаю-

щими и рудоносными формациями одного СФК и тектоническими дислокациями этого же этапа;

– осложненные, где рудоформирующие системы базового СФК сопровождаются наложенным рудообразованием кор выветривания, россыпей, тектонических дислокаций;

– сложные пространственного совмещения нескольких рудоносных СФК, взаимосвязанных общностью геохимических ресурсов, закономерной последовательностью этапов развития или другой предполагаемой взаимозависимостью.

Таким образом, тип металлогенической зоны определяется:

– геодинамическим типом базового СФК, особенностями его формирования и ограничения в земной коре, наложенными осложняющими факторами или дополнительными (надстроечными) СФК;

– петрохимическим типом (составом) слагающих формаций;

– геохимическим типом рудной минерализации (ассоциацией полезных ископаемых);

– генетическими типами проявленных РРС, в том числе определяющими рудные узлы и рудные районы в его пределах;

– суммарным металлогеническим потенциалом и соотношением в нем продуктивности и перспективности зоны;

– числом, типом и параметрами распределения находящихся в пределах зоны рудных узлов (районов), их металлогеническим потенциалом (продуктивностью и перспективностью).

В итоге месторождения, рудные узлы и металлогенические зоны выступают как компоненты единой иерархической металлогенической системы, и определяющую роль в их формировании и размещении в пространстве играют геохимические ресурсы конкретных блоков земной коры и типы рудоформирующих систем, функционировавших в пределах этих блоков и использовавших эти ресурсы для создания рудных концентраций.

1. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. – М.: Госгеолтехиздат, 1955. – 88 с.

2. Красников В.И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 411 с.

3. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / под ред. Д.В. Рундквиста. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1986. – 751 с.

4. Минеральное сырье: Краткий справочник / под ред. В.П. Орлова; сост.: А.Н. Еремеев, А.Е. Лисицин, П.Е. Остапенко. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 302 с.

5. Недра России. В 2 т. Т. 1: Полезные ископаемые / под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова. – СПб.–М., 2001. – 547 с.

6. Парк Ч.Ф., Мак-Дормид Р.А. Рудные месторождения. – М.: Мир, 1966. – 534 с.

7. Плещев Е.В. Объемная модель гидротермальной рудообразующей системы // Металлогенический анализ рудоносных структур: Сб. науч. трудов ВСЕГЕИ. – Л., 1987. – С. 104–115.

8. Плещев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1985. – 247 с.

9. Плещев Е.В., Шатов В.В., Беляев Г.М. Методические рекомендации по геолого-геохимическому изучению

гидротермально-метасоматических образований при ГРС-50 с общими поисками. — СПб., 1992. — 64 с.

10. *Плющев Е.В., Шатов В.В., Кашин С.В.* Металлогения гидротермально-метасоматических образований. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. — 560 с. (Труды ВСЕГЕИ, Новая серия. Т. 354).

11. Рудные узлы России / ред. Е.В. Плющев. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. — 416 с.

12. Рудоносность и геологические формации структур земной коры / под ред. Д.В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1981. — 423 с.

13. *Рундквист Д.В.* Эволюция рудообразования во времени // Геологическое строение СССР. — М.: Недра, 1969. Т. V. — С. 303—332.

14. *Сафронов Н.И., Мещерякова С.С., Иванов Н.П.* Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых. — Л.: Недра, 1978. — 215 с.

15. *Соколов С.В.* Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. — СПб.: 1998. — 154 с.

16. *Татаринов П.М.* Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. 366 с.

17. *Терентьев В.М.* Региональная металлогения и ее роль в воспроизводстве минерально-сырьевой базы России / В.М. Терентьев, А.Ф. Карпузов, К.М. Марков, Е.В. Плющев, Г.Л. Чочия // Регион. геология и металлогения. 2000. № 11. — С. 68—73.

18. *Шаталов Е.Т.* Основные принципы классификации рудоносных площадей (с эндогенной минерализацией) // Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов. — М.: Недра, 1965. — С. 248—301.

19. *Шнейдерхен Г.* Рудные месторождения. — М.: ИЛ, 1958. — 501 с.

1. Bilibin Yu.A. Metallogenicheskie provintsii i metallogenicheskie epokhi [Metallogenic provinces and metallogenic epochs]. Moscow: Gosgeoltekhizdat. 1955. Pp. 88.

2. Krasnikov V.I. Osnovy ratsionalnoy metodiki poiskov rudnykh mestorozhdeniy [Fundamentals of rational methods for ore deposit prospecting]. Moscow: Gosgeoltekhizdat. 1959. Pp. 411.

3. Kriterii prognoznoy otsenki territoriy na tverdye poleznye iskopaemye [Criteria for predictive evaluation of areas for solid minerals]. Ed. by D.V. Rundkvist. 2nd ed., rev. and suppl. — Leningrad: Nedra. 1986. Pp. 751.

4. Mineralnoe syrye [Mineral raw materials]. Ed. by V.P. Orlov. Comp. by A.N. Eremeev, A.E. Lisitsyn, P.E. Ostapenko. Quick Reference Book. Moscow: ЗАО «Geoinformmark». 1999. Pp. 302.

5. Nedra Rossii. Poleznye iskopaemye [The bowels of Russia. Minerals]. Ed by N.V. Mezhelovsky, A.A. Smyslov. Vol. 1. St. Petersburg. Moscow. 2001. 547 p.

6. Park C.F., MacDiarmid R.A. Rudnye mestorozhdeniya [Ore deposits]. Moscow: Mir. 1966. 534 p.

7. Plyushchev E.V. 3D volume model of hydrothermal oreforming system. *Metallogenic analysis of orebearing structures. Collection of VSEGEI scientific papers.* Leningrad. 1987. Pp. 104—115. (In Russian).

8. Plyushchev E.V., Shatov V.V. Geokhimiya i rudonosnost gidrotermalnometasomaticheskikh obrazovaniy [Geochemistry and ore content of hydrothermally altered formations]. Leningrad: Nedra. 1985. 247 p.

9. Plyushchev E.V., Shatov V.V., Belyaev G.M. Metodicheskie rekomendatsii po geologogeochemicheskomu izucheniyu gidrotermalnometasomaticheskikh obrazovaniy pri GRS50 s obshchimi poiskam [Guidelines for geological and geochemical study of hydrothermally altered formations during geological survey at 1 : 50 000 scale with general prospecting]. St. Petersburg. 1992. 64 p.

10. Plyushchev E.V., Shatov V.V., Kashin S.V. Metallogeniya gidrotermalnometasomaticheskikh obrazovaniy [Metallogeny of hydrothermally altered formations]. St. Petersburg: VSEGEI Press. 2012. 560 p. (VSEGEI Proceedings, new series. Vol. 354).

11. Rudnye uzly Rossii [Ore clusters of nodes Russia]. E.V. Plyushchev, editor. St. Petersburg: VSEGEI. 2001. 416 p.

12. Rudonosnost i geologicheskie formatsii struktur zemnoy kory [Ore content and geological formations of crustal structures]. D.V. Rundkvist, editor. Leningrad: Nedra. 1981. 423 p.

13. Rundkvist D.V. Evolution of mineralization in time *Geological structure of the USSR.* Moscow: Nedra. 1969. Vol. V. Pp. 303—332. (In Russian).

14. Safronov N.I., Meshcheryakova S.S., Ivanov N.P. Energiya rudoobrazovaniya i poiski poleznykh iskopaemykh [Mineralization energy and mineral exploration]. Leningrad: Nedra. 1978. 215 p.

15. Sokolov S.V. Struktury anomalnykh geokhimicheskikh poley i prognoz orudeneniya [Structures of anomalous geochemical fields and prediction of mineralization]. St. Petersburg. 1998. 154 p.

16. Tatarinov P.M. Usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy rudnykh i nerudnykh poleznykh iskopaemykh [Formation conditions of metallic and nonmetallic mineral deposits]. Moscow: Gosgeoltekhizdat. 1963. 366 p.

17. Terentiev V.M., Karpuzov A.F., Markov K.M., Plyushchev E.V., Chochiya G.L. Regional metallogeny and its role in rehabilitation of the mineral resource base of Russia *Regionalnaya geologiya i metallogeniya.* 2000. No 11, pp. 68—73. (In Russian).

18. Shatalov E.T. Basic principles of orebearing area classification (with endogenous mineralization). *Study of mineralization distribution patterns during metallogenic studies of ore districts.* Moscow: Nedra. 1965. Pp. 248—301. (In Russian).

19. Shneyderhen G. Rudnye mestorozhdeniya [Ore deposits]. Moscow: IL. 1958. 501 p.

Плющев Евгений Витальевич — доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ ¹. <Evgeni_Plyushchev@vsegei.ru>
Кашин Сергей Васильевич — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ ¹. <Sergey_Kashin@vsegei.ru>
Соловьев Николай Сергеевич — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ ¹.

Plyushchev Evgeni Vitalievich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, VSEGEI ¹. <Evgeni_Plyushchev@vsegei.ru>

Kashin Sergey Vasilyevich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI ¹. <Sergey_Kashin@vsegei.ru>

Soloviev Nikolay Sergeevich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI ¹.

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.