

Вопросы совершенствования методов обработки и интерпретации геохимической информации с позиций системного подхода
Issues of improving methods for processing and interpreting geochemical information from the standpoint of systematic approach



УДК 550.84.09:519

DOI 10.24411/2413-046X-2019-18067

И.З. Мессерман, В.И. Яшина,

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе», 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия, e-mail: messerman39@yandex.ru, yashina1950@bk.ru

SUI.Z. Messerman, V.I. Yashina,

Russian State Geological Prospecting University, 23, Miklukho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia, e-mail: messerman39@yandex.ru, yashina1950@bk.ru

Аннотация. Разработана методология обработки и интерпретации геохимической информации с позиций системного подхода, позволяющая выявлять закономерности пространственного и количественного распространения химических элементов или их ассоциаций для разных масштабных уровней геохимических полей. Основой применяемой методики является выделение и количественная оценка закономерных и случайных составляющих заданного иерархического уровня строения геохимических полей методом тренд-анализа, на основании использования скользящих окон сглаживания, сопоставимых размером и геометрией с задачами, решаемыми на основании геохимических исследований разных масштабов. На основе применения единых окон сглаживания для оценки различных масштабных уровней рудных образований предлагается эмпирическая номограмма, позволяющая оценить и оконтурить области распространения прогнозных ресурсов различных категорий по накоплению кларков концентраций химических элементов. Применяемая методология позволяет повысить эффективность геохимических исследований, является основанием для развития нового направления-структурной геохимии.

Summary. A methodology for processing and interpreting geochemical information from the standpoint of a systematic approach has been developed, allowing to identify patterns of spatial and quantitative distribution of chemical elements or their associations for different scale levels of geochemical fields. The basis of the applied methodology is the selection and quantitative assessment of the natural and random components of a given hierarchical level of geochemical field structure of trend-analysis methods, based on the use of sliding smoothing windows, comparable in size and geometry to problems solved on the basis of geochemical studies of different scales. Based on the use of uniform smoothing windows for the assessment of various scale levels of ore formations, an empirical nomogram is proposed, allowing to assess and delineate the areas of distribution of the forecast resources of various categories on the accumulation of Clarke concentrations of chemical elements. The applied methodology allows to increase the efficiency of geochemical research, is the basis for the development of a new direction – structural geochemistry.

Ключевые слова: системный подход, геохимические методы поисков и разведки, тренд-анализ при обработке и интерпретации геохимической информации.

Keywords: processing and interpreting geochemical information; trend-analysis methods; hierarchical level of geochemical field; the efficiency of geochemical studies.

В середине 70-х годов идеи применения системного подхода при изучении недр, прогнозировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, в частности при применении геохимических методов, нашли широкое развитие [2, 3, 4, 5].

В связи со значительными объемами информации в современных условиях, необходимость применения системного подхода при решении поисково-разведочных задач определяется широким использованием количественных критериев оценки реально существующих масштабных уровней строения рудоносных неоднородностей, таких как рудные узлы, рудные поля, месторождения, рудные зоны, а часто отдельные рудные тела.

Иерархия структурных уровней рудоносных образований, принятая в настоящее время большинством исследователей (табл.1), отражает природные закономерности их размещения и статистического распределения в земной коре. Она сопоставима с рудоносными участками недр различных масштабных уровней и контролирующих их геолого-структурных элементов, при этом соответствует и требованиям горной промышленности в соответствии со стадийностью геологоразведочных работ.

Таблица 1. Основа для построения иерархической модели метасистемы магматогенных и эндогенных постмагматических рудоносных участков недр.

Ранги	Системы (иерархические уровни)	Размеры		Масштабы выявления и оценки
		площади	глубины	
1.	Металлогенические суперпровинции	До десятка млн. км ² и более	До 700-1000 км	1:20000000 – 1:10000000
2.	Металлогенические провинции	Один-два млн. км ²	До 300-400 км	1:10000000 – 1:2500000
3.	Металлогенические области	Десятки – сотни тысяч км ²	До 100-120 км	1:2500000 – 1:1000000
4.	Рудные районы	Тысяч км ²	До 50-60 км	1:1000000 – 1:200000
5.	Рудные узлы	Сотни км ²	До 20-25 км	1:20000 – 1:50000
6.	Рудные поля	Десятки км ²	До 20-15 км	1:50000 – 1:10000
7.	Рудные месторождения	Единицы км ²	До 2-3 км	1:10000 – 1:2000
8.	Участки месторождений (продуктивные зоны)	Доли км ²	В пределах верхних 2-3* км	1:2000-1:1000
9.	Рудные тела (продуктовые залежи)	Гектары		1:2000-1:500
10.	Участки рудных тел (подсчетные или эксплуатационные блоки)	Доли гектара		1:500 – 1:200

Примечание. Пункты 4, 5, 6, 7 – иерархические уровни, используемые при решении задач выявления рудных районов, узлов, полей и месторождений.

Основанием применения системного подхода являются особенности методологии геологоразведочных исследований (выборочные методы опробования, несоизмеримость объектов исследований и отбираемых проб), а также ряд существующих недостатков применяемых методов локального прогнозирования, заметно снижающих эффективность использования:

- направленность на выявление и оценку только конечных объектов поисков рудных зон, рудных месторождений, независимо от масштабов поисков, что приводит к нарушению условий соразмерности используемых геологических предпосылок рудоносности и оцениваемых рудных объектов, особенно на ранних стадиях работ;
- при изучении недр рудные месторождения рассматриваются как пространственно независимые аномалии, а не как закономерные концентрации рудного вещества;
- в большинстве предложенных методов количественная обработка данных сводится к получению одномерных или многомерных статистических характеристик, абстрагированных от пространственных координат и без геометрических баз их измерений,

а при применении методов тренд-анализа не учитывается сложное, многоуровневое строение геохимических полей;

– нередко в основу выделения закономерной и случайной составляющих принимаются генетические соображения, хотя их соотношения определяются прежде всего детальностью наблюдений и способами обработки исходных данных;

– с учетом конечных целей обработки геохимических данных нередко полностью игнорируется оценка и интерпретация моноэлементных ореолов.

При системном подходе рудоносные участки рассматриваются как внутренне единые сложнопостроенные объекты многоуровневого иерархического строения. Отдельные уровни их строения (системы) соизмеримы с размерами рудных тел, зон, месторождений, полей, узлов, районов и более крупных таксономических единиц, что обеспечивает возможность создания геолого-структурных моделей объектов, отражающих изменение представлений об их строении, по мере детализации наблюдений. Системы любого уровня различаются не только свойствами структурных элементов, но и характером связи между ними, выявление которых обеспечивает познавательные (эмерджентные) свойства систем. Пространственное совмещение (телескопирование) иерархических уровней свидетельствует об интенсивности и экстенсивности, полноте проявленности процессов рудообразования [3,5].

С позиций системного подхода выделение и количественная оценка закономерных и случайных составляющих заданного иерархического уровня строения геохимических полей, выделяемых данной сетью наблюдений может производиться простым и надежным методом тренд-анализа с помощью статистического скользящего окна. При этом размеры и форма скользящего окна должны быть сопоставимы с элементами неоднородности изучаемого статистического уровня, а минимальное число точек в окне должно обеспечивать вычисление устойчивого среднего значения квадратичного отклонения оценки математического ожидания признака, оценивать корреляционную зависимость элементов [2,5].

В отличие от сложных методов тренд-анализа (полиномов различных степеней), требующих максимального совпадения получаемых и исходных данных (независимо от того, какие уровни строения недр они отражают), при использовании скользящего окна сглаживания, ставится задача принципиально иная – выявление основных тенденций изменения признака, близких по геометрии и размерам площадки трансформации, в пределах тех структурных элементов, которые уверенно устанавливаются заданной сетью наблюдений и служат объектом оценки на определенной стадии исследований.

Выбор окон сглаживания является важной операцией при геохимических исследованиях разных масштабов. На основании экспериментальных исследований целесообразно использование следующих размеров окон сглаживания: 100x100 – 50x50 км при оценке рудных районов, 20x20 – 10x10 км при оценке рудных узлов, 5x5 – 3x3 км при оценке рудных полей, 1x1 – 0,5x0,5 км при оценке рудных месторождений, 0,5x0,5 – 0,1x0,1 км при оценке рудоносных блоков и зон в пределах месторождений, с корректировкой размеров с помощью двумерных автокорреляционных функций [3]. Фактически применяемая методология аналогична задачам геостатистики, позволяющей количественно оценивать пространственные закономерности в области коррелированной дисперсии, сегодня широко применяемой при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых.

Предлагаемая методика обработки и интерпретации геохимических данных апробирована на основании многолетних исследований в золоторудных районах Чукотки, Магаданской области, Хабаровского края [2,3,4,5].

Выявление элементов-индикаторов оруденения, геохимических ассоциаций определенного масштабного уровня, оценка их пространственного распространения может производиться при визуальном сопоставлении моноэлементных карт химических элементов одного масштабного уровня. Поскольку изоконцентрации элементов представляют собой детерминированные функции пространственных координат, одинаковые масштабы их проявления и закономерности пространственного размещения убедительно свидетельствуют о принадлежности к единой ассоциации.

Об этом свидетельствуют результаты обработки данных литохимических съемки 1:50000 Кубакинского золоторудного узла окнами сглаживания 5x5 и 1x1 км (1,2,3). При этом изменение окна сглаживания приводит к закономерному изменению не только пространственных ориентировок рудных образований различного масштабного уровня, но и к изменению характера геохимических ассоциаций. Так, для Майского золоторудного месторождения характерна геохимическая ассоциация Au-As-Sb, учитывая приуроченность золота к тонкоигольчатому арсенопириту (R кор. Au-As – 0,8), широкое развитие антимонитовых жил на месторождении. Однако, результаты литохимической съемки 1:50000 Майского золоторудного узла, генерализованных окном сглаживания 5x5км, а также результаты кластерного анализа обработанных данных свидетельствуют о распространении двух геохимических ассоциаций Au-Sb и Sn-Ag-As-Pb со смещенными центрами максимального распространения относительно гранитоидных массивов (4). Это

связано с широким распространением в районе фоновой оловосульфидной минерализации, представленной касситеритом, крупнокристаллическим арсенопиритом, полиметаллической и сульфосолевой минерализацией.

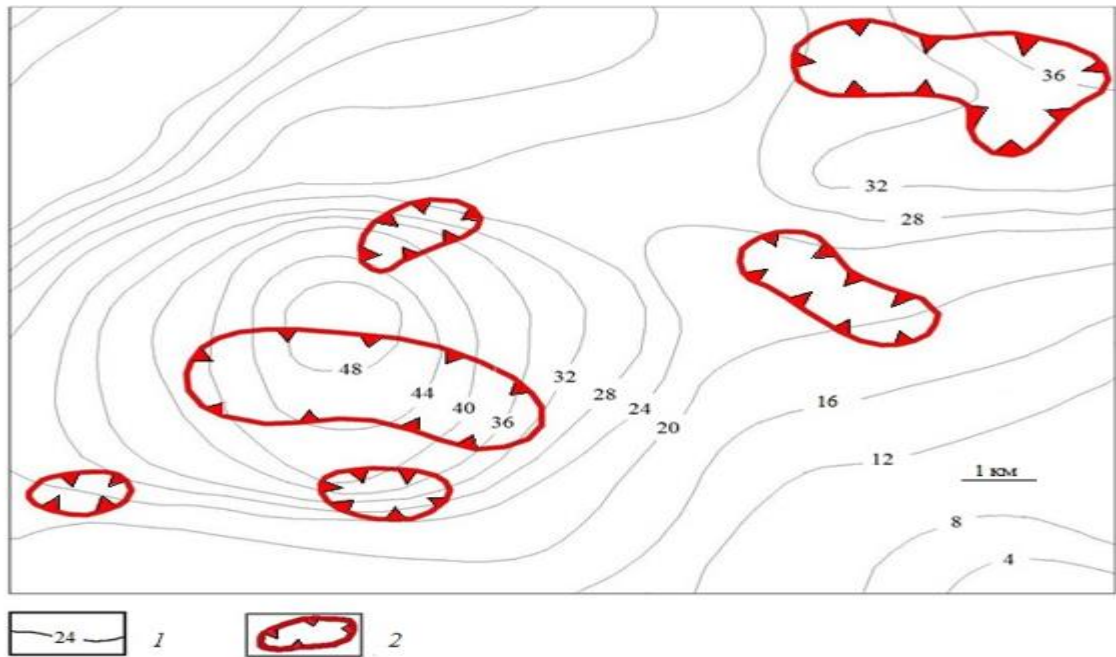


Рис. 1. Распределение концентраций золота для рудного поля (окно сглаживания 5км x 5км): 1 – изолинии концентраций золота, в кларках; 2 – контуры известных и потенциальных золоторудных месторождений

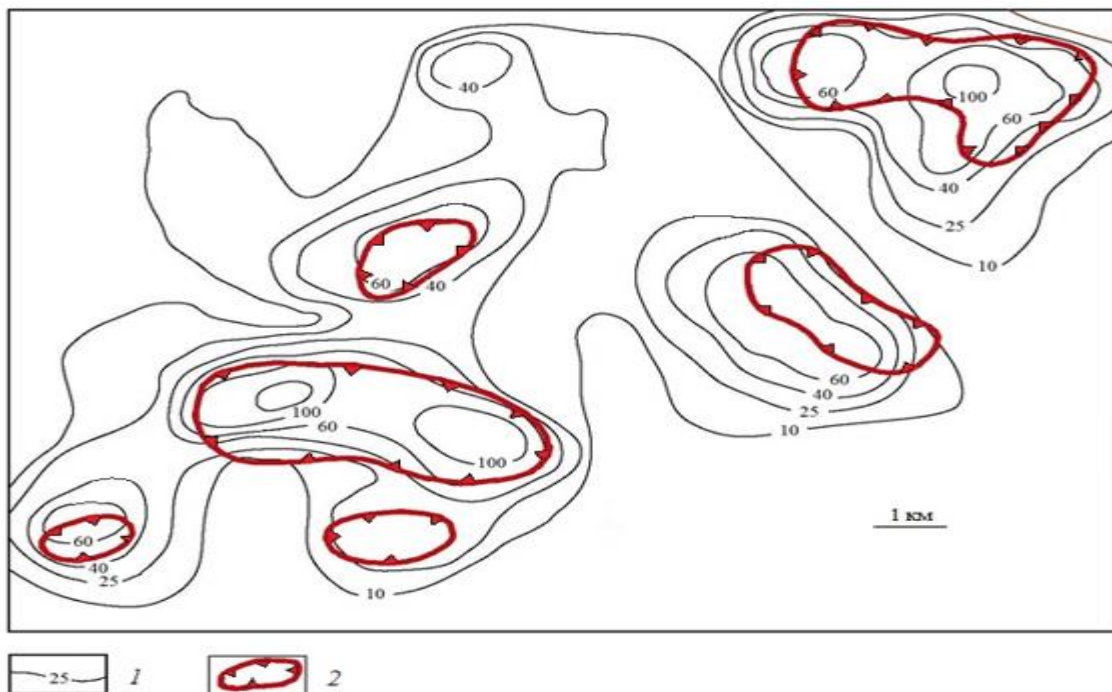


Рис. 2. Закономерности распределения золоторудных месторождений в пределах рудного поля (окно сглаживания 1км x 1км): 1 – изолинии концентраций золота, в кларках; 2 – контуры известных и потенциальных золоторудных месторождений

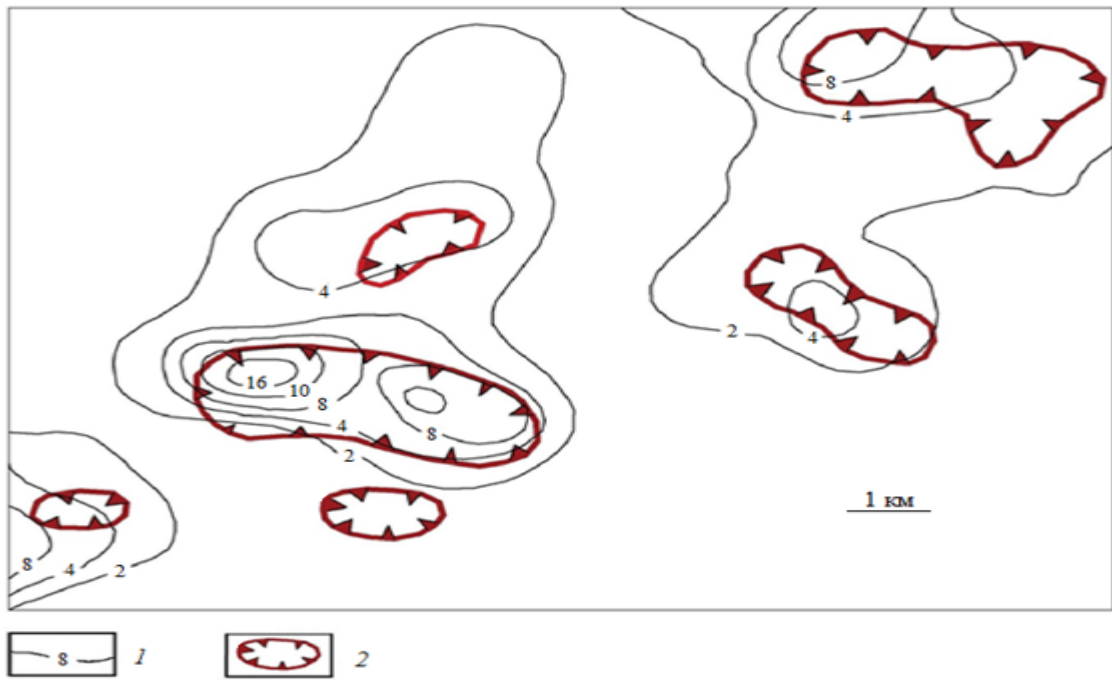


Рис. 3. Распределение концентраций серебра для масштабного уровня месторождений (окно сглаживания 1км x 1км): 1 – изолинии концентраций серебра, в кларках; 2 – контуры известных и потенциальных золоторудных месторождений

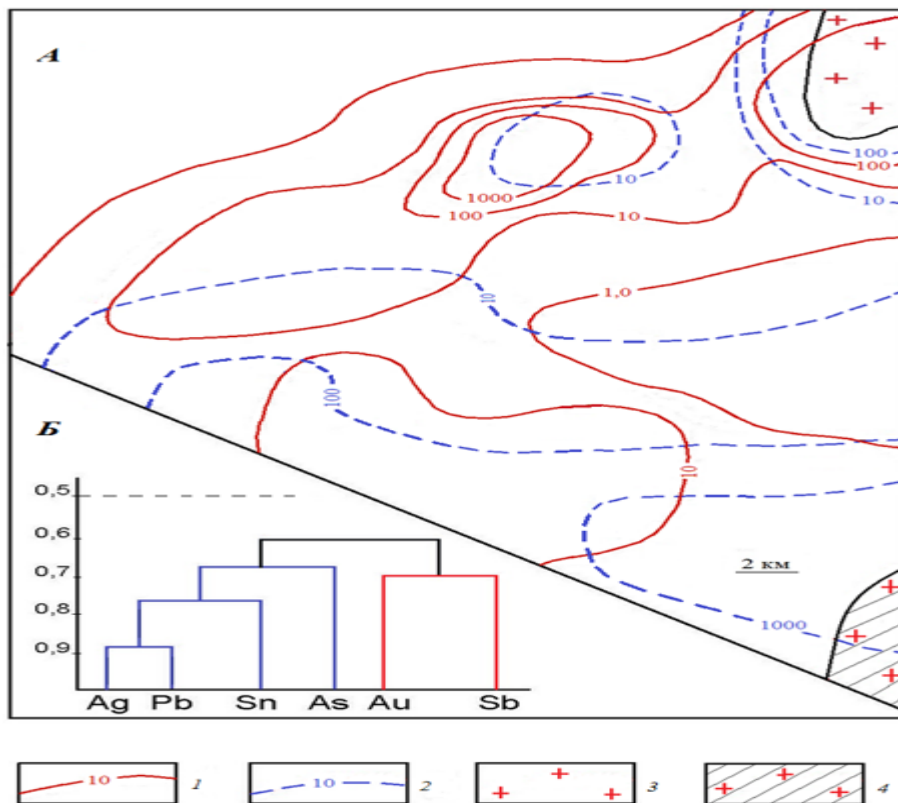
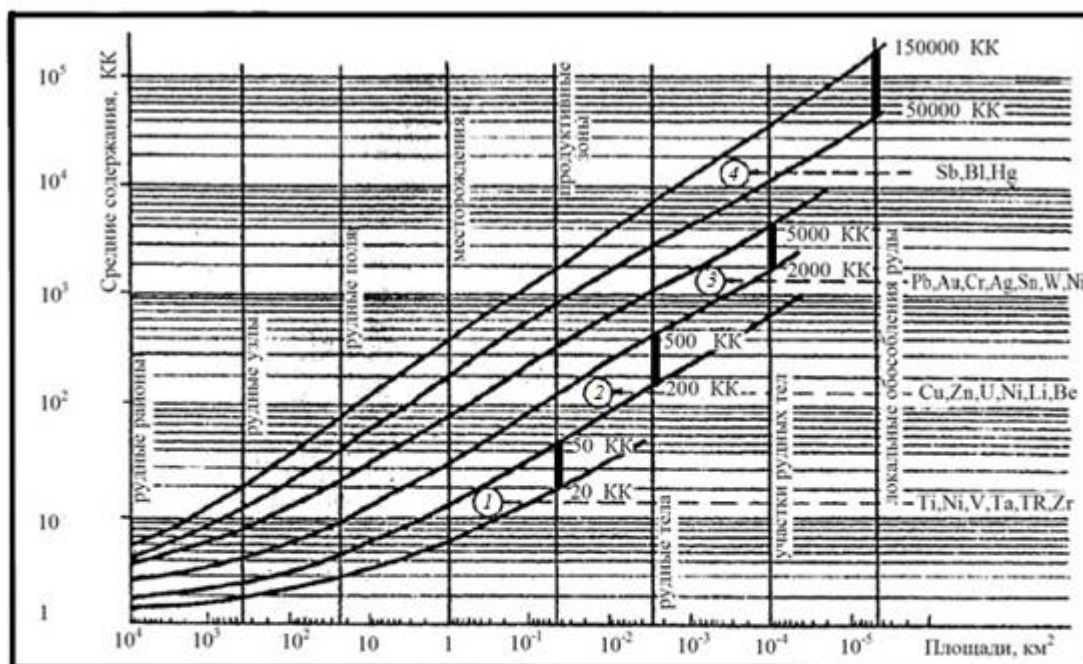


Рис. 4. А – распределение геохимических ассоциаций: 1 – изолинии мультипликативного показателя Au x Sb; 2 – изолинии мультипликативного показателя Sn x Ag x As x Pb; 3 – массив гранитоидов, выходящий на поверхность; 4 – массив гранитоидов, не имеющий выхода на поверхность; Б – дендрограф корреляционных зависимостей



1, 2, 3, 4

Рис. 5. Номограмма минимальных средних содержаний металлов в ореолах рудных образований различных иерархических уровней: 1, 2, 3, 4 – интервалы средних содержаний металлов в ореолах, установленных по данным выполненных исследований

Применение многомерных классификаций по данным генерализации исходной геохимической информации окнами сглаживания позволяет разделять изучаемую территорию на ряд однородных участков, отличающихся характером геохимических ассоциаций соответствующего масштабного уровня.

При оценке интенсивности рудообразующих процессов важное значение имеет применение мультипликативных отношений элементов-индикаторов оруденения, характеризующих привнос и деконцентрацию элементов на основании прямой и обратной корреляционной зависимости для различных масштабных уровней рудных образований, установленных на ряде золоторудных месторождений [3].

Применение единой системы скользящих окон сглаживания при обработке геохимической информации позволяет считать приемлемой плотность геохимического опробования 1см² в масштабе карты для выявления элементов неоднородности, соответствующих масштабам съемки, их пространственной ориентировки, уровня концентраций и изменчивости. Выводы об оптимальной плотности геохимических съемок основаны на результатах экспериментальных исследований по последовательному разрежению сети пробоотбора литохимической съемки по вторичным ореолам масштаба

1:50000 в Майском золоторудном районе [4,5]. Для получения объективных количественных характеристик, по каждому варианту разрежения оценивались погрешности оконтуривания аномальных площадей (табл.2). Расчеты показали, что все варианты разрежения практически не отличаются один от другого как по средним содержаниям, так и по продуктивностям золота, а суммарные погрешности оконтуривания аномальных площадей не превышают 40%. Результаты экспериментального разрежения показывают, что не только сеть наблюдений 500x500 метров, но и 1000x1000 метров позволяет уверенно выявить и оконтурить потенциально золотоносные площади, сопоставимые по размерам с рудными полями, что и является целью литохимических поисков масштаба 1:50000. При проведении литохимических съемок по вторичным ореолам масштаба 1:200000 соответственно необходима плотность сети пробоотбора 2x2 км при условии сглаживания результатов окнами порядка 20x20 км. Такие параметры обеспечивают уверенное выявление и оконтуривание потенциальных рудных узлов, что является основной целью этих работ и находит практическое применение в настоящее время [1].

Таблица 2. Суммарные параметры литохимических аномалий для вариантов разрежения сети пробоотбора.

Сеть пробоотбора, м	№ варианта	Суммарная площадь аномалий, км ²	Среднее содержание золота, 10 ⁻³ г/т	Суммарная продуктивность аномалий, г/т x км ²	Погрешности оценки суммарной продуктивности		Погрешность оконтуривания площадных суммарных аномалий, %
					в абс. един.	в %	
500x50		68.8	9	619	0.0	0.0	0.0
500x500	1	70.5	9	634	22	3.5	16.0
500-500	2	65.0	9	585	27	4.4	15.5
1000-1000	1	62.9	9	547	65	10.6	22.4
	2	57.8	11	612	-	-	25.7
	3	63.4	12	735	123	20.0	23.5
	4	46.8	8	370	242	39.5	38.4
	5	54.2	7	379	233	38.0	38.0
	6	86.5	9	770	158	25.8	25.0
	7	48.0	9	442	170	27.7	29.3
	8	80.7	7	634	22	3.5	27.5

На основании применения единой системы скользящих окон сглаживания, при обработке геохимических данных соподчиненных масштабных уровней, предлагается эмпирическая номограмма минимальных значений бортовых содержаний элементов, для целей оконтуривания сглаженных ореолов потенциально рудоносных систем различных

иерархических уровней, которая позволяет выполнить ориентировочную оценку вероятной промышленной значимости потенциальных рудных районов, узлов, полей и месторождений по средним содержаниям рудных элементов в сглаженных ореолах и может быть использована для оценки прогнозных ресурсов [5].

По оси ординат номограммы, в логарифмическом масштабе отложены значения средних концентраций элементов-индикаторов оруденения в сглаженных литохимических ореолах, выраженные в кларках концентраций. По оси абсцисс, также в логарифмическом масштабе, показаны размеры площадей геохимических ореолов каждого иерархического уровня от рудного района до локального обособления, которые сопоставляются с площадями скользящих статистических окон, использованных при сопоставлении карт, сглаженных ореолов конкретных иерархических уровней. Приведенная номограмма подтверждает наличие функциональных связей между концентрациями химических элементов в рудоносных участках недр и их размерами, отражающими иерархические уровни строения рудоносных образований (5).

Используемая методология позволяет повысить эффективность геохимических исследований по следующим направлениям:

- результаты обработки геохимических данных методами генерализации и тренд-анализа могут использоваться при геологическом картировании для обоснования выделяемых геологических образований, их пространственного положения и ориентировки, установления их геохимических отличий, что фактически может явиться основанием для развития нового направления – структурной геохимии;
- выявление геохимических ассоциаций в качестве элементов-индикаторов оруденения определенного масштабного уровня, оценка их пространственного распространения;
- определение мультипликативных геохимических коэффициентов по результатам проведенных исследований, позволяющих оценивать области распространения метасоматических изменений, определяющих интенсивность развития оруденения в разных масштабах;
- оптимизация плотности сети геохимических исследований разных масштабов в зависимости от решаемых задач каждой стадии;
- прогнозная оценка вероятной промышленной значимости рудных образований различных масштабных уровней.

Список литературы

1. Головин А.А. Многоцелевое геохимическое картирование как основа комплексной оценки территорий. ИМГРЭ. 1999. Автореферат докторской диссертации. 67с.

2. Мессерман И.З., Пахомов В.И. Методика обработки геохимической информации на примере рудного поля. Сб. Методы прикладной геохимии. Иркутск. 1982. С. 202-203.
3. Мессерман И.З. Методика выделения геохимических аномалий. Сб. Методы интерпретации результатов литохимических поисков. М.: Наука, 1987. С. 3-8.
4. Каждан А.Б., Мессерман И.З. Резервы повышения эффективности литохимических методов поисков. Известия вузов. Геология и разведка. 1988. №1. С. 126-129.
5. Каждан А.Б., Мессерман И.З., Лаврова Т.Ю. Методические рекомендации по сбору и компьютерной обработке геологической, геофизической и геохимической информации. Комитет по геологии и использованию недр РФ. Московская Государственная геологоразведочная академия. 1995. 87с.

References

1. Golovin A.A. Multipurpose geochemical mapping as a basis for a comprehensive assessment of territories. IMGRE. 1999. Abstract of doctoral dissertation. 67p.
2. Messerman I.Z., Pakhomov V.I. The method of processing geochemical information on the example of the ore field. On comp. "Methods of applied geochemistry" Irkutsk. 1982, pp. 202-203.
3. Messerman I.Z. The method of isolation of geochemical anomalies. on comp. "Methods of interpreting the results of lithochemical searches." Ed. "Science", 1987. pp. 3-8.
4. Kazhdan A.B., Messerman I.Z. Reserves of increase of efficiency of lithochemical methods of searches. Proceedings of the universities "Geology and Intelligence" No. 1, 1988. pp. 126-129.
5. Kazhdan A.B., Messerman I.Z., Lavrova T.Yu. "Methodical recommendations for the collection and computer processing of geological, geophysical and geochemical information". Committee on Geology and Subsoil Use of the Russian Federation. Moscow State Geological Prospecting Academy. 1995. 87 p.