Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 2, 1966 г.

УДК 550. 84

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ КАРТ МАСШТАБА 1 : 50 000

Ю. Н. Капков, Е. М. Квятковский, В. И. Яковлев

Составлению геохимических карт должна предшествовать четкая формулировка понятия геохимическая карта. Как известно, существуют различные точки зрения и различные понимания построения карт и практически отсутствует опыт составления полиэлементных геохимических карт.

Под геохимической авторы понимают карту, которая отражает содержание, характер распределения и форму нахождения широкого круга химических элементов в коренных горных породах. Такая карта должна быть одной из основных при создании металлогенических и прогнозно-геологических карт.

При составлении полиэлементных геохимических карт коренных горных пород должны учитываться литохимические, гидрохимические, биохимические и другие карты, отражающие распространение отдельных химических элементов в водах, рыхлых отложениях, растительности и широко использующиеся при поисках месторождений.

Геохимическая карта призвана решать общегеологические и поисковые задачи. Решение этих задач осуществляется оценкой содержаний и распределений элементов в различных геологических образованиях в зависимости от особенностей состава пород и характера геологических процессов, а также выявления специфических ассоциаций элементов.

Среди общегеологических ведущей задачей является выделение геохимических провинций и районов.

Одновременно полученные данные могут оказать помощь при расчленении магматических, вулканогенно-осадочных и метаморфических образований, установлении геохимических связей или различий между разновозрастными магматическими комплексами, сопоставлении геохимических разрезов и т. д.

При решении общих поисковых задач анализ геохимической карты поможет: 1) оценить перспективность участков на основе изучения геохимической специализации рудоносных комплексов пород и рудоконтролирующих структур; 2) выявить горизонтальную зональность в распределении рудообразующих элементов и элементов-примесей в пределах районов; 3) определить уровень эрозионного среза районов и площадей на основе использования вертикальной зональности постмагматических рудопроявлений и месторождений; 4) установить фоновые концентрации, необходимые для расшифровки результатов поисковых лито-гидро-биохимических съемок.

Конкретная направленность и характер задач обусловлены масштабом карты. Так, карты масштаба 1 : 50 000 дают оценку перспективности отдельных конкретных площадей и выявляют с учетом геологических и геофизических данных первоочередные участки детально-поисковых работ. Геохимическая карта, наряду с геологическими и геофизическими, должна служить основой для составления прогнозной металлогенической карты соответствующего масштаба. В настоящее время при составлении металлогенических карт геохимические критерии оценки рудоносности геологических комплексов почти не используются, что является одним из существенных недостатков этих карт.

При составлении карты в соответствии с идеями В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, а также современным опытом целесообразна следующая методическая последовательность.

Геохимическое опробование неизмененных гипергенными процессами коренных пород: сбор представительного каменного материала, отражающего площадное распространение основных литологических разновидностей пород.

Анализ литохимических проб на максимально возможную группу химических элементов.

Статистическая обработка результатов анализов обычно начинается со строгой привязки всех анализов к опробованным разновозрастным литологическим разновидностям. Для каждого элемента и разновидности пород подсчитывают частости и с их помощью строят спрямленные диаграммы в вероятностном масштабе. По спрямленным диаграммам качественно оценивают характер закона распределения концентраций элементов. Для отдельных элементов и разновидностей пород для определения критериев качественной оценки и проверки закона распределения рассчитывают соответствие полученного экспериментально выбранному теоретически закону распределения с помощью критерия Пирсона χ^2. В качестве рабочей принимают гипотезу о соответствии распределения элементов логнормальному закону. Результаты расчетов представляют графически в виде гистограмм или кривых теоретического и экспериментального распределения.

Используя спрямленные диаграммы или расчеты, определяют значения моды и соответствующих стандартов для каждого элемента в каждой разновидности пород.

Затем оценивают доверительные пределы колебаний концентраций элементов в разновидностях с помощью критерия Стьюдента и вероятности появления концентраций, выходящих за доверительные границы при помощи интеграла вероятности.

Для литологически близких разновидностей или при близких значениях моды ряды распределения сравнивают по критерию Стьюдента или трансформированному для логнормального закона критерию Радионова. После этого вычислятся кларки концентраций для каждого элемента в опробованных разновидностях пород. Чтобы обеспечить дальнейшее сравнение результатов по районам в качестве общего знаменателя принимают за основу породные кларки А. П. Виноградова 1962 г.

По значениям кларков концентраций с обязательным учетом геологических задач и геохимической специализации района выбирают характерные ассоциации элементов для каждой разновидности пород. Наличие и оценка силы связи в ассоциациях начинается с построения средних эмпирических регрессий и заканчивается вычислением парных, частных и множественных коэффициентов корреляции. Результаты вычислений сводят в соответствующие матрицы.

Все данные статистической обработки по приведенной схеме обобщают в сводной таблице. Если изобразить эти результаты по разновидностям в возрастной последовательности, то этот материал может служить основой для сводной геохимической колонки. Кроме того, в виде графиков концентрации строят характерные геохимические разрезы, проходящие через исследованную территорию.

Анализируя геохимические колонки и разрезы, можно объединить ряд литологических разновидностей и использовать их при составлении геологической основы к геохимической карте. При объединении литологических разностей среднее содержание элементов вычисляют как среднее взвешенное из полученных модальных значений концентраций с учетом распространенности по площади и разрезу объединяемых разновидностей.

Надежность различия средних проверяется по критерию Стьюдента или Радионова. Полученные данные характеризуют распределение химических элементов в неизмененных или регионально метаморфизованных породах. Для геохимической характеристики эпигенетических образова-

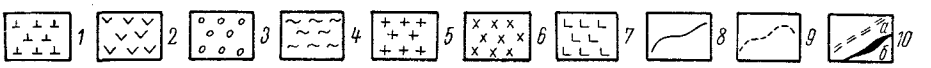


Рис. 1. Условные обозначения литологических разновидностей пород:

1 — базальты; *2* — вулканогенные толщи; *3* — преимущественно конгломератовые толщи; *4* — песчано-сланцевые толщи; *5* — кислые интрузивные породы; *6* — средние интрузивные породы; *7* — основные интрузивные породы; *8* — геологические границы геохимически однородных литологических комплексов; *9* — границы геохимически различных участков внутри литологических комплексов; *10* — зоны разломов и тектонических нарушений *а*), рудные зоны (*б*).

ний, т. е. установления полиэлементного состава рудопроявлений и месторождений, используют результаты поисковых лито-гидро-биохимических съемок. При необходимости в пределах ранее выявленных ореолов и потоков рассеяния дополнительно отбирают геохимические пробы по отдельным маршрутам с последующим их анализом на максимально возможную группу химических элементов.

Подготовка геологической основы для геохимической карты заключается в выделении на карте одновозрастных литологически однотипных геологических образований с одинаковой геохимической характеристикой.

Рассмотрим общие принципы построения геохимической карты масштаба 1 : 50 000 на примере одного из вариантов. В основу этого варианта положено стремление изобразить на карте одновременно распределение концентраций многих элементов, причем нагрузка карты не должна превышать обычную для геологических карт сложных районов.

Литологические разновидности главных комплексов пород изображаются на геохимической карте специальными значками (рис. 1). Число изображаемых на карте комплексов пород будет, естественно, зависеть от конкретных данных по каждому району. Концентрации элементов представляются в виде кларков концентраций. Покажем на карте только те элементы, которые имеют отклонения от кларка концентраций, равного единице (в определенном доверительном диапазоне), как в большую, так и в меньшую сторону. Это даст возможность впоследствии судить о геохимическом своеобразии пород, процессах привноса-выноса элементов и т. д.

Примем логарифмический интервал градации кларков концентрации равным 0,3 lg *ppm*. Такой интервал дает возможность изображать отклонения в 2, 4, 8, 16 раз в ту или другую сторону от нормальных кларков концентраций для пород района. При разновидностях с примерно

одинаковым кларком концентраций какого-либо элемента (по статистическим данным) градации выделяют по экстремальным значениям с учетом стандарта.

Затем элементам дадим следующее цветовое обозначение:

I. Желтый	J, F, P, Cl, Br, J
II. Оранжевый	S, As, Se, Sb, Hg
III. Розовый	Ga, Ge, Cd, In, Tl
IV. Коричневый	Cu, Zn, Ag, Au, Pb
V. Красный	Be, Mo, Sn, W, Bi
VI. Светло-зеленый	Li, Rb, Sr, Cs, Ba
VII. Темно-зеленый	Nb, Ta, Ra, Th, U
VIII. Голубой	Sc, Y, Zr, La, Ce, Hf
IX. Синий	Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni
X. Фиолетовый	Rh, Pd, Os, Ir, Pt

Здесь представлена цветная легенда для 53 элементов, разделенных н 10 групп. В основу группировки положены изоморфные ряды А. Е. Ферсмана и А. К. Заварицкого с некоторой корректировкой.

Последующее составление ассоциаций может производиться из элементов различных групп и будет, естественно, зависеть от реальных геологических и геохимических условий района, а число используемых элементов при построении геохимической карты — от чувствительности применяемых видов анализа.

Из породообразующих элементов здесь изъяты кислород кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий, так как эти 8 элементов, определяя состав и вид пород, должны учитываться при составлении геологической основы. Они, безусловно, должны привлекаться при окончательной геохимической характеристике выделяемых петрографических разновидностей пород.

Само изображение элементов на карте заключается в следующем. Если элементы имеют кларки концентрации, не выходящие за пределы нормального диапазона (0,71—1,40 при середине интервала, равной 1), то они вовсе не изображаются на карте. Контур таких пород остается незаполненным, за исключением значков черного цвета, отражающих литологическую характеристику (рис. 2). Это позволяет разгрузить геохимическую карту и внести элемент интерпретации, выделяющий породы с нормальным рассеянием. Элементы, коэффициенты концентрации которых отклоняются от нормальных, изображаются раскраской поля, цветом литологического значка, а также цветными линиями различной ориентировки.

Поскольку нас интересуют экстремальные отклонения от нормальных величин кларка концентрации, выбор элементов для какой-либо разновидности пород будет зависеть от абсолютных значений этих отклонений и числа элементов, допущенных к изображению на карте. Максимально целесообразное число элементов, допустимое нагрузкой карты, примем равным 6. Следовательно, из общего числа элементов, входящих в парагенетическую ассоциацию, которые характеризуют геохимическую особенность какой-либо породы, выбираем 6 с наибольшим отклонением от нормального значения как в большую, так и в меньшую сторону.

Выбранные элементы расположим в порядке убывания их абсолютных экстремальных значений. Таким образом, первый — ведущий элемент в этом ряду будет отличаться от всех групп наибольшим абсолютным отклонением от нормальных значений коэффициента концентрации. Цветом, присвоенным этому элементу, раскрасим все поле картируемой разновидности пород. Густота цвета зависит от величины коэффициента концентрации и имеет, согласно легенде, четыре градации. Поле пород

с отклонениями коэффициентов концентраций в меньшую сторону раскрасим широкими вертикальными полосами (рис. 2).

Для изображения второго элемента используем литологический значок, который в данном случае нарисуем цветом, присвоенным второму элементу.

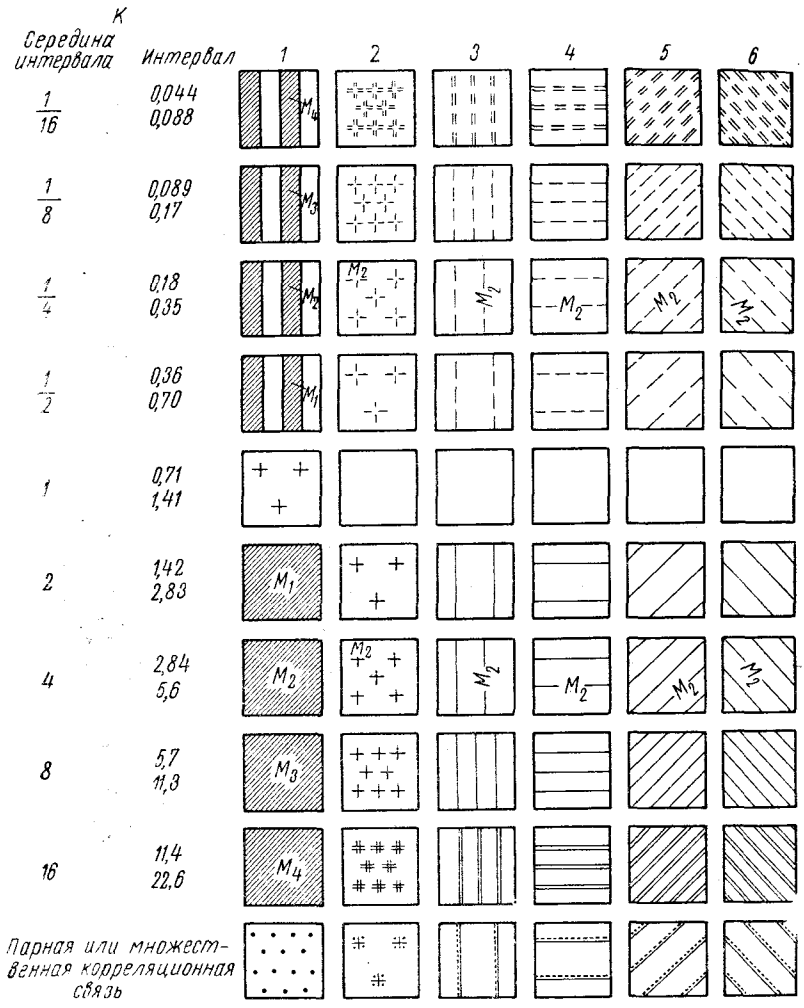


Рис. 2. Условные обозначения элементов в зависимости от коэффициента концентрации K.

Цвет поля, значки, штриховка — соответствуют цвету элемента в цветовой легенде; M — символ соответствующего элемента.

Третий элемент покажем в виде цветных вертикальных линий, четвертый — цветных горизонтальных линий, пятый — цветных линий северо-восточного направления, шестой — цветных линий северо-западного направления. Цвет линий везде соответствует присвоенному цвету элемента. Градации коэффициентов концентраций отразим густотой линий. При этом повсеместно выдержим следующий принцип: при отклонении коэффициентов концентраций в меньшую сторону все значки и линии — пунктирные (степень отклонения покажем густотой значков и линий); при отклонении в большую сторону — все значки и линии сплошные,

а их густота отражает интервалы отклонения, как это показано на рис. 2. На каждом цветном поле, значке, линии, кроме того, соответствующим цветом нанесем символ изображаемого элемента.

Для облегчения нагрузки используем данные корреляционного анализа. При наличии парной или множественной корреляционной связи на карте изобразим только один из членов регрессии. Сведения о корреляционных связях и уравнениях регрессии даются в легенде к геохимической карте.

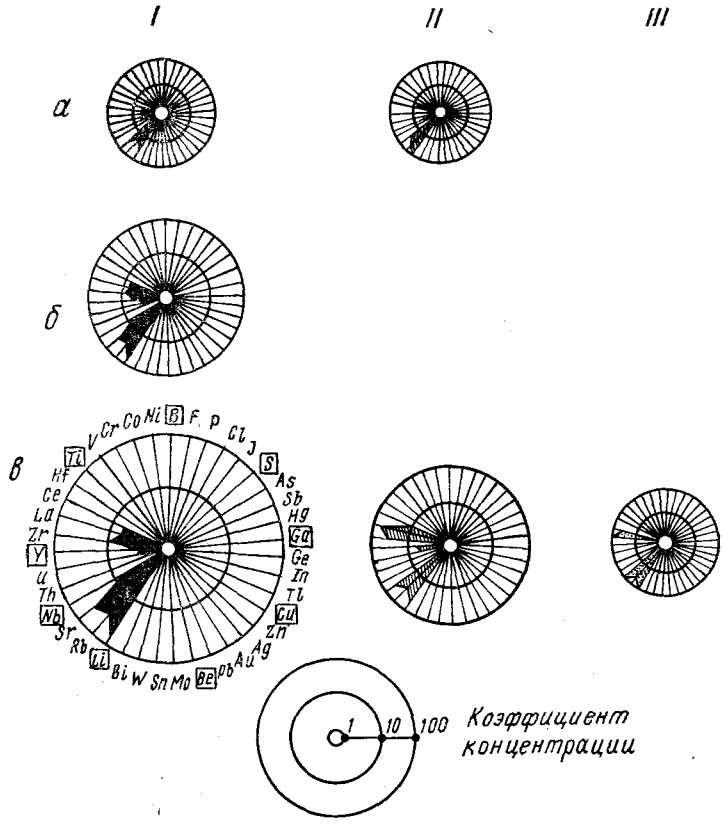


Рис. 3. Лучевые диаграммы геохимической характеристики рудных зон по данным; *I* — разведки; *II* — детальных литохимических съемок; *III* — поисковых геохимических съемок масштаба 1 : 25 000 и мельче. Месторождения: *а* — мелкие; *б* — средние; *в* — крупные.

Наличие корреляционной связи отметим соответствующего цвета крапом либо по полю породы, либо у значка или линии, в зависимости от того, с каким элементом по порядку в ряду установлена регрессия. В этом случае в легенде к карте даются индексы всех связанных элементов и соответствующие коэффициенты концентраций (например, V : Ti : Cr = 4 : 3 : 0,5).

Использование корреляционных связей позволит отразить на геохимической карте, по существу, все элементы с аномальными коэффициентами концентраций, так как из 10 выделенных групп элементов породы не будут отличаться от нормальных более чем по шести группам.

Все значки, линии, крап надо рисовать по единой для всей карты сетке. Это обеспечивает наглядность чтения изменений коэффициентов

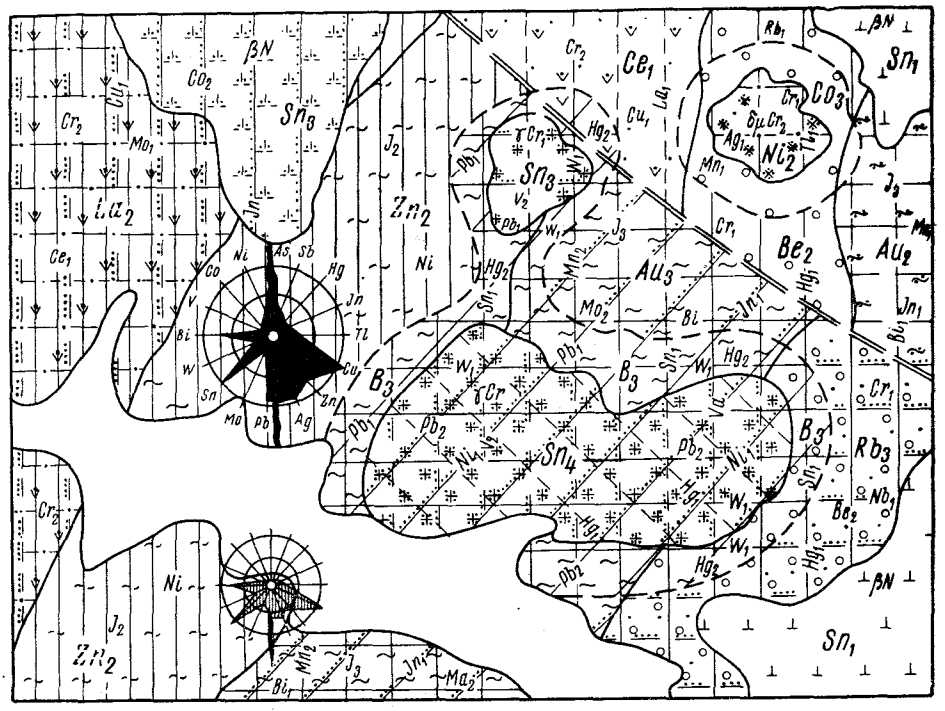


Рис. 4. Макет геохимической карты.

В связи с черно-белым изображением символ первого элемента показан сплошным жирным при $K > 1$ или пунктирным при $K < 1$.

Порода	Возраст	Последовательность изображения элементов	Корреляционные связи элементов
Базальты	βN	Sn, Co, In Sn	Co : Ni = 0,18 : 0,36; In : Te = = 2,8 : 1,5 —
Кварцевые порфиры	Cr_2	La, Ce, Cu, Mo	La : Y : U = 0,19 : 0,22 : 0,37; Ce : Th : Zr = 1,65 : 0,72 : 1,4; Cu : Pb = 0,45 : 0,86
Порфириты	Cr_2	Ce, Cu, La	Ce : In : Zr = 2,1 : 1,1 : 1,0; Cu : Pb = 0,51 : 1,2
Конгломераты, песчаники	Cr_1	Rb, Be, Hg, Nb Be, Rb, Hg	Rb : Cs = 5,7 : 3,2; Nb : Ta = = 0,37 : 0,7 Rb : Cs = 2,8 : 1,5
Песчано-сланцевая толща	I_3 I_3 I_2	Au, Mo, Mn, Bi, In Au, In, Bi, Mn Zn, Ni	In : Tl = 2,3 : 1,0 In : Tl = 2,2 : 0,8 Zn : Cu = 0,2 : 0,65; Ni : Co = = 0,4 : 0,88
Гранодиориты	$\delta\mu Cr_2$	Ni, Cr, Tl, Ag	Ni : Co = 0,95 : 1,47; Cr : V : Mn = 1,52 : 0,8 : 0,95
Граниты	γCr_1	Sn, Pb, V, W, Ni, Hg	Pb : Cu : Zn = 4,7 : 1,3 : 0,9 V : Cr : Mn = 0,3 : 0,35 : 0,6 Ni : Co = 1,48 : 0,76
Граниты	γCr_1	Sn, V, W, Pb	V : Cr = 3,8 : 2,5 Pb : Cu = 2,0 : 1,3
Ареал интрузии $\frac{\gamma Cr_1}{\delta\mu Cr_2}$		B, Hg, Sn, W, Pb Co, Mn	— Co : Ni = 6,0 : 3,1; Mn : V = 2,2 : 1,7

Анализ производился на следующие 34 элемента: Sn, Mo, Pb, Ag, Zn, Cu, Tl, In, Hg, Sb, As, W, Bi, U, Co, Ni, Ga, Au, Be, Nb, Th, Zr, La, Y, Sc, Ce, Ti, V, Cr, Mn, B, Rb, Cs, Ta.

концентраций по породам. Если значения коэффициентов концентраций (в пределах выделенных градаций) существенно меняются по площади контура одной породы (вследствие, например, влияния наложенных процессов или фациального изменения в осадочных породах), коэффициенты концентрации внутри породы изображают раздельно. Границу раздела значений наносят штрих-пунктиром.

Геохимические особенности рудных зон, месторождений, рудопроявлений, рисовка которых в масштабе карты невозможна, изображают в виде лучевых диаграмм (рис. 3). Порядок расстановки элементов по лучам диаграммы стандартный и соответствует цветовой легенде. Средние коэффициенты концентрации элементов в рудной зоне откладывают по лучам в логарифмическом масштабе. Модуль логарифмического масштаба может меняться в зависимости от запасов месторождений.

Кроме того, манипулируя величиной модуля и способами растушевки фигуры лучевой диаграммы, можно показать данные разведки, детальных литохимических съемок, мелкомасштабных геохимических работ, включая гидро- и биохимические исследования (см. рис. 3).

С учетом изложенного построен макет геохимической карты (рис. 4). Анализ такой карты дает возможность выделить достаточно четко по цветным полям и штриховке распределение ведущих элементов в литологических комплексах. Повышенная нагрузка в пределах одного контура может представлять определенный геохимический интерес. Поэтому такие породы должны привлекать внимание и заставлять читающего более подробно, в соответствии с легендой, анализировать ассоциации элементов и их изменения.

Данные геохимических карт должны представлять информацию для решения вопросов о геохимической специализации отдельных толщ, структурных этажей и магматических комплексов, о геохимической и генетической роли вторичных, наложенных процессов, о влиянии вмещающих пород, о направлении миграции и изменении ассоциаций элементов в рудных процессах, о форме нахождения элементов и т. д.

Результаты подобного анализа могут выражаться в построении либо лучевых диаграмм вне карты, либо специальных карт и разрезов, характеризующих указанные процессы.

Можно предложить принципы составления, по крайней мере еще двух вариантов геохимических карт.

1. Наиболее соответствующий мелкомасштабным картам, по которому для всех литологических комплексов выбирают характерные ассоциации элементов и для ассоциаций вычисляют средние нормированные (по числу элементов в ассоциации) кларки концентраций. Каждой ассоциации присваивают свое цветовое обозначение, а градации нормированных кларков концентраций изображают густотой раскраски.

2. Наиболее соответствующий крупномасштабным картам, охватывающим сравнительно небольшие по площади участки. При этом варианте выбирают комплекс элементов, характерных для всего участка, располагают их в стандартном порядке и изображают по указанной легенде. Наконец, рассмотренную методику можно легко использовать для построения моноэлементных карт, где целесообразно отражать и форму нахождения химических элементов в горных породах, оценивая прежде всего соотношение легковыщелачиваемой части и валового содержания наиболее характерных элементов (урана, свинца, молибдена и др.).