Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1987, т. 111

УДК 550.84:519.2

УЧЕТ ЛАНДШАФТНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ В КАРЕЛИИ

А.Г.МАРЧЕНКО

По условиям проведения литохимических поисков Карелия отличается от других районов нашей страны почти повсеместным распространением покровно-ледниковых отложений и своеобразными ландшафтами, в формировании которых ведущую роль сыграла деятельность былых материковых оледенений. Эта специфика территории нашла отражение в классификации геохимических ландшафтов Карело-Кольского региона, которая основывается на анализе палео- и современных условий миграции и аккумуляции химических элементов под действием ландшафтных факторов [7]. Ведущее влияние на распределение элементов в рыхлом покрове оказывает генетический тип рыхлых образований, определяющий тип ландшафта. Фоновые содержания элементов в отложениях различного генезиса на одной и той же территории могут отличаться в несколько раз (рис.I).

Среди других ландшафтных факторов можно выделить физико-химическую обстановку в точке опробования, которая во многом зависит от степени обводненности рыхлых отложений (класс ландшафта), а также положение точки опробования в рельефе (род ландшафта), гранулометрический состав отложений, характер подстилающих пород, проявления различных геохимических барьеров. Опыт литохимических поисков в Карелии и на сопредельных территориях показывает, что вариации содержаний микроэлементов в покровно-ледниковых отложениях и донных осадках, обусловленные изменчивостью ландшафтной обстановки, соизмеримы с аномальными содержаниями в ореолах и потоках рассеяния [8, I0-I2]. Следовательно, влияние ландшафтных факторов должно учитываться и по-возможности устраняться при обработке и интерпретации результатов поисковых литохимических съемок.

Традиционным способом учета ландшафтных факторов является группирование результатов анализа проб, отобранных в сходных ландшафтных обстановках, в отдельные выборки с последующим повыборочным расчетом параметров фона и выделением аномальных проб внутри каждой из групп [6,8]. Разделение совокупности проб на группы целесообразно производить по их принадлежности к отложениям тех или иных ландшафтов, прежде всего по генезису отложений (основные и абляционные моренs, водно-ледниковые отложения внутриледниковой и приледниковой зон, современные аллювиальные и

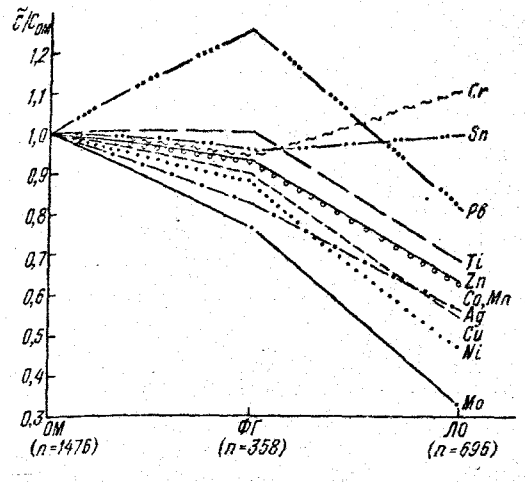


Рис.1. *Соотношение фоновых содержаний элементов в покровно-ледниковых отложениях различного генезиса* (фракция < 0,07 мм). Гомсельгско-Пертозерский участок, Карелия

ОМ - основная морена; ФГ - флювиогляциальные отложения; ЛО - ледниково-озерные отложения; n - количество проб

озерные осадки и др.). Основная сложность практической реализации способа группирования заключается в том, что необходимо правильно классифицировать элементарный ландшафт в каждой из точек литохимического опробования, чтобы обоснованно отнести пробу в ту или иную группу. При опережающих геохимических поисках информация о ландшафтах и четвертичных отложениях изучаемой территории, как правило, оказывается недостаточно детальной для решения этой задачи. Визуальные ландшафтные наблюдения, выполняемые попутно по ходу литохимической съемки, также характеризуются неполнотой и несут элементы субъективности, особенно если съемка выполняется несколькими бригадами.

В последнее время получает распространение способ учета ландшафтных факторов, основанный на решении обратной задачи факторного анализа методом главных компонент [I], согласно которому рассчитываются так называемые дельты содержаний после снятия влияния первого, так называемого, генерального фактора. Заметим, что природа генерального фактора далеко не всегда ясна, и указанная процедура, по сравнению со способом группирования, является более формальной.

Рассмотрим путь решения поставленной задачи, который соединяет преимущества содержательного подхода, заложенного в способе группирования, с возможностями, открываемыми методом главных компонент [I,4], для математического описания и анализа многомерных данных.

В настоящее время утвердилось представление о ландшафте как о сложной системе земной поверхности, в которой происходит взаимодействие элементов лито-, гидро-, атмо- и биосферы [5,9]. Рыхлые отложения - это одна из подсистем ландшафта, взаимодействующая с другими подсистемами. Поэтому рыхлые отложения, в свою очередь, могут рассматриваться как сложная неравновесная система. Согласно Л.Н.Дуденко [3], природный вещественный объект представляет собой геохимическую систему, если для него определены понятия природной области V, занимаемой объектом, элементарной области $v \in V$ и содержаний химических элементов $C_1(v),\ldots,C_m(v)$ как функций от элементарных областей. При этом поведение каждого элемента в системе определяется не только его собственными свойствами, но

и свойствами и содержаниями взаимодействующих с ним элементов:

$$C_i = \varphi(C_1, C_2, \ldots, C_m) .$$

Природная область V охватывает опробуемый горизонт рыхлых отложений территории. Принципиальное значение имеет выбор элементарных областей. Поскольку в данном случае нас интересует влияние не всех возможных, а именно ландшафтных факторов на геохимическую систему, то в качестве v целесообразно выбрать область того или иного элементарного ландшафта, имеющего место в пределах площади съемки. Тогда изменения содержаний при переходе от одного элементарного ландшафта к другому будут характеризовать результат воздействия палео- и современных ландшафтных факторов на систему, что позволяет исследовать поведение геохимической системы под их влиянием.

Как показывает наш опыт работ в Карелии, ландшафтные факторы по-разному влияют на различные элементы, однако, можно выделить группы элементов сходного поведения под действием того или иного фактора. Поэтому изменения содержаний m элементов в варьирующих ландшафтных условиях можно описать посредством меньшего числа ℓ ($\ell < m$) новых переменных – ландшафтных главных компонент (ЛГК), которые являются комбинациями исходных и отражают главные тенденции поведения геохимической системы.

Составим опорную матрицу – таблицу средних геометрических содержаний элементов в отложениях типичных элементарных ландшафтов изучаемой площади $[\tilde{C}]$, элементами которой являются $\tilde{C}_{ki}$, где k – номер элементарного ландшафта, $k = 1, \ldots, n$; i – номер химического элемента из числа изучаемых, $i = 1, \ldots, m$. Применив математический аппарат метода главных компонент в режиме ковариационной матрицы логарифмов содержаний [2], получим расчетные уравнения главных компонент

$$f^{\text{л}}_{kj} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_j}} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} \ln \frac{\tilde{C}_{ki}}{\tilde{\tilde{C}}_i} , \qquad (1)$$

где j – порядковый номер главной компоненты; λ_j и a_{ij} – собственные числа ковариационной матрицы и компонентные нагрузки i-го элемента на j-ю компоненту; $\tilde{\tilde{C}}_i$ – среднее содержание i-го элемента в наиболее распространенных на участке ландшафтах.

В качестве ЛГК выбираем статистически значимые главные компоненты. Далее, подставляя в уравнение (1) вместо $\tilde{C}_{ki}$ содержание элемента в любой из рядовых точек опробования $C_i(x, y)$, получаем соответствующую оценку значения ЛГК в точке опробования с координатами (x, y):

$$\hat{f}^{\text{л}}_j(x, y) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_j}} \sum_{i=1}^{m} a_{ij} \ln \frac{C_i(x, y)}{\tilde{\tilde{C}}_i} . \qquad (2)$$

Значения ЛГК, рассчитываемые по формуле (2), позволяют диагностировать элементарные ландшафты в каждой из точек опробования, что достигается сравнением рядовых значений ЛГК с эталонными, характеризующими известные элементарные ландшафты. Таким образом, распределение значений ЛГК по пло-

щади съемки может быть положено в основу ландшафтно-геохимического картирования. Получаемые карты используются при интерпретации результатов литохимических поисков, а также при проектировании более детальных работ на перспективных аномалиях.

Однако здесь мы сосредоточим внимание на другом аспекте практического применения ЛГК, касающемся снятия влияния ландшафтных факторов на результаты литохимической съемки. В соответствии с принятой нами разновидностью метода главных компонент уравнение регрессии содержаний i-го элемента на ЛГК имеет вид

$$\ln \hat{C}_i(x,y) = \ln \tilde{C}_i + \sum_{j=1}^{\ell} \frac{a_{ij}}{\sqrt{\lambda_j}} \hat{f}_j^{x}(x,y), \qquad (3)$$

где ℓ – число используемых ЛГК.

Исключение той доли вариации логарифма содержания, которая обусловлена ландшафтными факторами, из наблюденного значения вариации осуществляется по формуле

$$\ln \frac{C_i^*(x,y)}{\tilde{C}_i} = \ln \frac{C_i(x,y)}{\tilde{C}_i} - \ln \frac{\hat{C}_i(x,y)}{\tilde{C}_i};$$

которая с учетом уравнения (3) может быть преобразована к виду

$$C_i^*(x,y) = C_i(x,y) \exp\left[-\sum_{j=1}^{\ell} \frac{a_{ij}}{\sqrt{\lambda_j}} \hat{f}_j^{x}(x,y)\right]; \qquad (4)$$

где C_i и C_i^* – соответственно, исходное содержание i-го элемента и его содержание после снятия влияния ландшафтных факторов (исправленное).

Следовательно, после того как по опорной матрице найдены необходимые параметры λ_j, a_{ij}, $\tilde{C}_i$ и по формуле (2) рассчитаны значения ЛГК для каждой точки опробования, исправленные значения содержаний могут быть определены в каждой из рядовых проб. Указанный способ учета ландшафтных факторов будем называть способом регрессии содержаний на ЛГК. Расчеты выполняются на ЭВМ. Полученные массивы исправленных содержаний подвергаются дальнейшей математической обработке с целью выявления литохимических аномалий, обусловленных источниками в коренном залегании.

Задавая матрицу $[\tilde{C}]$, мы до сих пор подразумевали, что ведущие разновидности элементарных ландшафтов в пределах изучаемой площади известны. Если такой информации нет, то ландшафтные различия точек опробования могут быть описаны посредством косвенных характеристик ландшафтных обстановок, фиксируемых при отборе проб. Конкретный набор характеристик определяется методикой и масштабом съемки. Например, в условиях Карелии, при литохимических поисках по ореолам рассеяния масштабов 1:50 000–1:10 000, информативны такие характеристики, как гранулометрический состав, цвет и влажность отложений, количество и степень окатанности обломочного материала, положение точки опробования в рельефе. Составляются выборки, отвечающие всевозможным сочетаниям характеристик. Чтобы избежать субъективности в оценке ландшафтных обстановок, желательно использовать дан-

ные, полученные одной и той же, наиболее квалифицированной бригадой отборщиков, маршруты которой при этом должны пролегать в разных частях опоискованной территории.

Заметим, что, в отличие от требований, предъявляемых способом группирования, отпадает необходимость квалифицированного описания непременно всех точек опробования. По средним содержаниям элементов в тех выборках, которые соответствуют достаточно распространенным сочетаниям ландшафтных характеристик, составляется опорная матрица $[\tilde{C}]$. Дальнейший ход решения остается в силе. Получаемые ЛГК так же, как и в предыдущем случае, описывают поведение геохимической системы под действием ландшафтных факторов, но для их содержательной интерпретации требуется сопоставление характеристик опробования со сведениями по четвертичным отложениям района, физико-химическим условиям и т.д. При этом используются диаграммы значений ЛГК. Например, по диаграмме (рис.2) выделяются три главных фигуративных поля. Поле I, характеризуемое резко пониженными содержаниями большинства

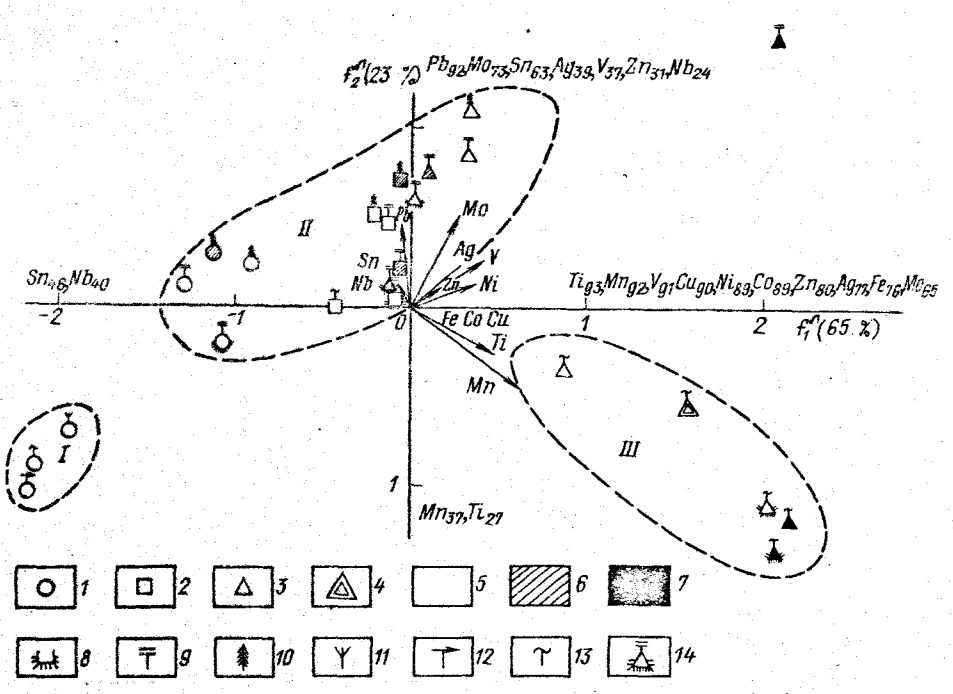


Рис.2. Диаграмма значений ЛГК, рассчитанных по средним содержаниям элементов в отложениях, соответствующих типичным ландшафтным обстановкам маршрутной литохимической съемки по контурам болот

1-4 - гранулометрическая характеристика отложений: глина (1), суглинок (2), супесь (3), песок (4); 5-7 - цвет отложений: серый и светло-серый (5), желтовато-серый (6), темно-серый и бурый (7); 8 - повышенная завалуненность отложений; 9-13 - положение точки опробования на местности: четко выраженный край болота (9), заболоченный лес (10), заболоченный луг (11), русло ручья либо временного водотока (12), донные осадки современных озер (13); 14 - сочетание характеристик, представленное конструкцией символов (супеси желтовато-серые, с большим количеством валунов, отобранные на краях болот)

элементов, соответствует серым глинам, которые с учетом визуальных наблюдений по ходу съемки и сведений по четвертичной геологии участка отнесены к ледниково-озерным образованиям, поле II в целом – моренным отложениям, поле III – аллювиальным и озерным. На диаграмме заметны и тенденции геохимической изменчивости более высокого порядка, например, рост содержаний меди, никеля, серебра и ряда других элементов внутри группы ландшафтов моренных отложений по мере перехода от суглинков к супесям и от светлоокрашенных отложений к темно-серым и бурым.

В заключение остановимся на сравнительной характеристике рассмотренных способов учета ландшафтных факторов. При использовании способа группирования проб возможны грубые ошибки при неверном отнесении пробы в ту или иную группу. Кроме того, постепенная смена ландшафтных условий и вызванное этим постепенное изменение фоновых содержаний аппроксимируется ступенчатой функцией. В способе регрессии содержаний на ЛГК функция изменения фоновых содержаний под влиянием ландшафтных факторов подразумевается непрерывной. По существу, в этом случае производится автоматическая классификация элементарного ландшафта в каждой точке по геохимическим данным – значениям ЛГК, и поправки, вносимые в измеренные содержания элементов, могут принимать любые недискретные значения. В отличие от традиционных вариантов снятия ландшафтных факторов в обратной задаче факторного анализа, когда для определения структуры генерального фактора используется случайная выборка геохимических данных, способ регрессии содержаний на ЛГК использует в качестве исходных данных специально составляемую опорную матрицу, и в результате этого метод главных компонент действует отнюдь не по принципу "черного ящика".

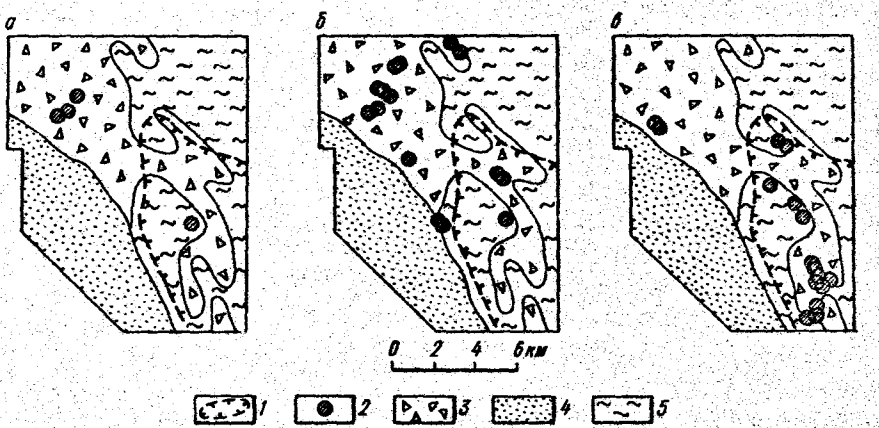


Рис.3. Литохимические аномалии никеля в покровно-ледниковых отложениях, выделенные без учета ландшафтных факторов (а) и с учетом их способом группирования (б) и способом регрессии содержаний на ЛГК (в)

1 – область проявления ультраосновного магматизма; 2 – точки с аномальными содержаниями никеля; 3–5 – четвертичные отложения (генерализованно): морена мощностью менее 5 м (3) и более 5 м (4), ледниково-озерные отложения и зандровые поля (5)

Практическое сравнение различных способов обработки литохимических данных по Гомсельгско-Пертозерскому участку Карелии[x] показало, что в сложных условиях этого района отказ от учета ландшафтных факторов приводит к выявлению аномальных содержаний рудных элементов почти исключительно в областях развития маломощного моренного покрова, а на поверхности более мощной морены и в ледниково-озерных глинах литохимические аномалии не проявляются. Группирование проб позволяет выявить ряд аномалий и в ландшафтах, неблагоприятных для литохимических поисков. Применив способ регрессии содержаний на ЛГК, удается в наибольшей степени снизить влияние ландшафтных факторов на проявляемость аномалий, обусловленных эндогенными объектами. Так, аномалии никеля, выделенные по исправленным содержаниям, преимущественно сосредоточены в юго-восточной части площади (рис.3), что согласуется с развитием здесь пород габбро-верлитового комплекса. При других способах обработки данных указанная геологическая тенденция не устанавливается.

Учет ландшафтных факторов, основанный на ландшафтных главных компонентах элементного состава образований зоны гипергенеза, может оказаться полезным и при обработке результатов других видов геохимических съемок, а также в иных регионах, отличающихся сложными ландшафтными условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белонин М.Д., Голубева В.А., Скублов Г.Т. Факторный анализ в геологии. М., Недра, 1982. 269 с.

2. Геохимические методы поисков и разведки полезных ископаемых. Статистическая обработка геохимических данных. Лабораторные работы 4-6 / Сост.: Е.М.Квятковский, Т.И.Нюппенен, А.Г.Марченко. Л., изд. ЛГИ, 1985. 68 с.

3. Дуденко Л.Н. Геохимические структуры эндогенных систем. Л., Недра, 1981. 199 с.

4. Йереског К.Г., Клован Д.Н., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ. Л., Недра, 1980. 223 с.

5. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа, 1975. 342 с.

6. Сает Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. М., Наука, 1982. 168 с.

7. Стуккей Г.А. Геохимические ландшафты Карело-Кольского региона. - Изв. вузов. Геология и разведка, 1985, № 2, с.14-21.

8. Стуккей Г.А., Марченко А.Г., Нюппенен Т.И. Литохимические поиски в Карелии. - Разведка и охрана недр, 1985, № 3, с. 31-36.

[x] Рыхлые отложения участка опробованы по методике маршрутной литохимической съемки по контурам болот, разработанной в Ленинградском горном институте [8], со средней плотностью 11 проб/км^2.

9. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды. М., Прогресс, 1985. 360 с.
10. S a l m i n e n R. Factors affecting the results of geochemical stream and lacustrine sediment investigations and their interpretation. Geol. Surv. Finland, 1979, Report of Inv. No.34. 124 p.
11. S a l m i n e n R. On the geochemistry of copper in the quaternary deposits in the Kiihtelysvaara area, North Karelia, Finland. Geol. Surv. Finland, 1980. Bull. 309. 48 p.
12. S e l i n u s O. - In.: Handbook of Exploration Geochemistry, Elsevier, 1983, V.3, p. 293-301.