Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. /XXУ1, 1978 г.

ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ И ГЕОХИМИЧЕСКОГО ФОНА СПОСОБОМ СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

А.Г.МАРЧЕНКО, А.Г.ВЕТРОВ,
О.М.МОРЕВ, Г.Ф.НОВИКОВ

Аномальные изменения концентраций, обусловленные ореолами рассеяния, зачастую сравнимы по своим параметрам с флуктуациями геохимического фона и с его изменениями за счет смены пород. В этих случаях необходимо использовать такой способ обработки результатов съемки, при котором из поля измеренных концентраций выделяется геохимический фон, несущий информацию о геологическом строении или о региональных геохимических закономерностях, и выявляются локальные аномалии, представляющие поисковый интерес.

Используемые обычно для построения геохимических карт разновидности методов поверхностей тренда и скользящего среднего [5] не позволяют добиться уверенного разделения фоновых и аномальных полей концентраций. При формальном сглаживании высокочастотных колебаний поля [8] есть опасность потери слабопроявленных аномалий. Для обработки результатов гаммасъемок А.Г.Ветровым [2, 3] была предложена амплитудно-частотная фильтрация: роль фильтра нижних (фоновых) частот играло арифметическое или медианное осреднение, а по заданному уровню амплитудной дискриминации отыскивались аномальные отклонения от фона. При этом взаимное влияние аномалий и фона было все-таки достаточно велико, не учитывалась пространственная взаимосвязь отклоняющихся от фона значений поля. Существенно повышают надежность выявления и интерпретации аномалий способы обработки, использующие дополнительную информацию о геологическом строении участка, о его ландшафтно-геохимических условиях и т.п., однако на этапе поисковой съемки подобная информация далеко не всегда имеется в распоряжении исследователя.

Предлагаемый метод использует в качестве первичного материала измеренные по регулярной сети значения концентраций химических элементов или любого параметра геохимического или гамма-поля. Принимается гипотеза, что конституциональное рассеяние химических элементов в определенных породах на ограниченной территории, характеризующейся примерно одинаковыми физико-химическими условиями, подчиняется симметричному распределению кон-

центраций. Если гипотеза неверна, то можно подобрать такое преобразование массива измеренных концентраций (например, логарифмическое) [1, 7], при котором она окажется справедливой для величин, полученных в результате преобразования. Тогда дальнейшие рассуждения строятся одинаково для обоих случаев.

Значения геохимического фона вычисляются способом скользящего окна, которое имеет форму параллелограмма с заданными размерами. Локальной считается такая аномалия, которая занимает менее половины площади окна. В противном случае изменения поля концентраций окажутся на величине геохимического фона. Краевые области участка съемки, где окно заполняется не полностью, не исключаются из рассмотрения, однако результаты обработки здесь менее надежны.

После заполнения окна на каждом шаге получается выборка размером N_0 чисел. За меру асимметрии этой выборки γ принимается разность среднего арифметического выборки c и ее медианы m. Если выборочное распределение асимметрично, то последовательным отбрасыванием крайних членов ранжированного ряда выборки выделяется симметричная часть, которая, согласно принятой гипотезе, соответствует фоновой генеральной совокупности. Для нее

$$c = m = F \,, \qquad (1)$$

где F – фоновое значение [6, 9].

Чтобы при оценке среднего арифметического выборки и стандарта исключить взаимное уравновешивание положительных и отрицательных аномальных значений, из выборки предварительно отбрасывается по ΔN_0 наибольших и наименьших значений. Из опыта принято $\Delta N_0 = 0{,}067 N_0$.

По усеченной выборке размером $N_1 = N_0 - 2\Delta N_0 - \Delta N_1$, где ΔN_1 – число значений, исключенных из выборки в процессе выделения симметричной части, находим стандартное отклонение в окне

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \sum_{i=1}^{N_1} (x_i - F)^2} \,, \qquad (2)$$

где x_i – i-е значение выборки.

Поскольку в процессе усечения выборки могли быть отброшены не только аномальные значения, но и наиболее отличающиеся от фона значения из фоновой совокупности, значение s_1 может оказаться существенно меньше истинного стандартного отклонения. Чтобы получить более точную его оценку, по всем выборочным значениям, для которых справедливо неравенство

$$F - k s_1 < x_i < F + k s_1 \,, \qquad (3)$$

заново вычисляем среднеквадратичное отклонение от фона

$$s_2 = \sqrt{\frac{1}{N_2 - 1} \sum_{i=1}^{N_2} (x_i - F)^2} \,, \qquad (4)$$

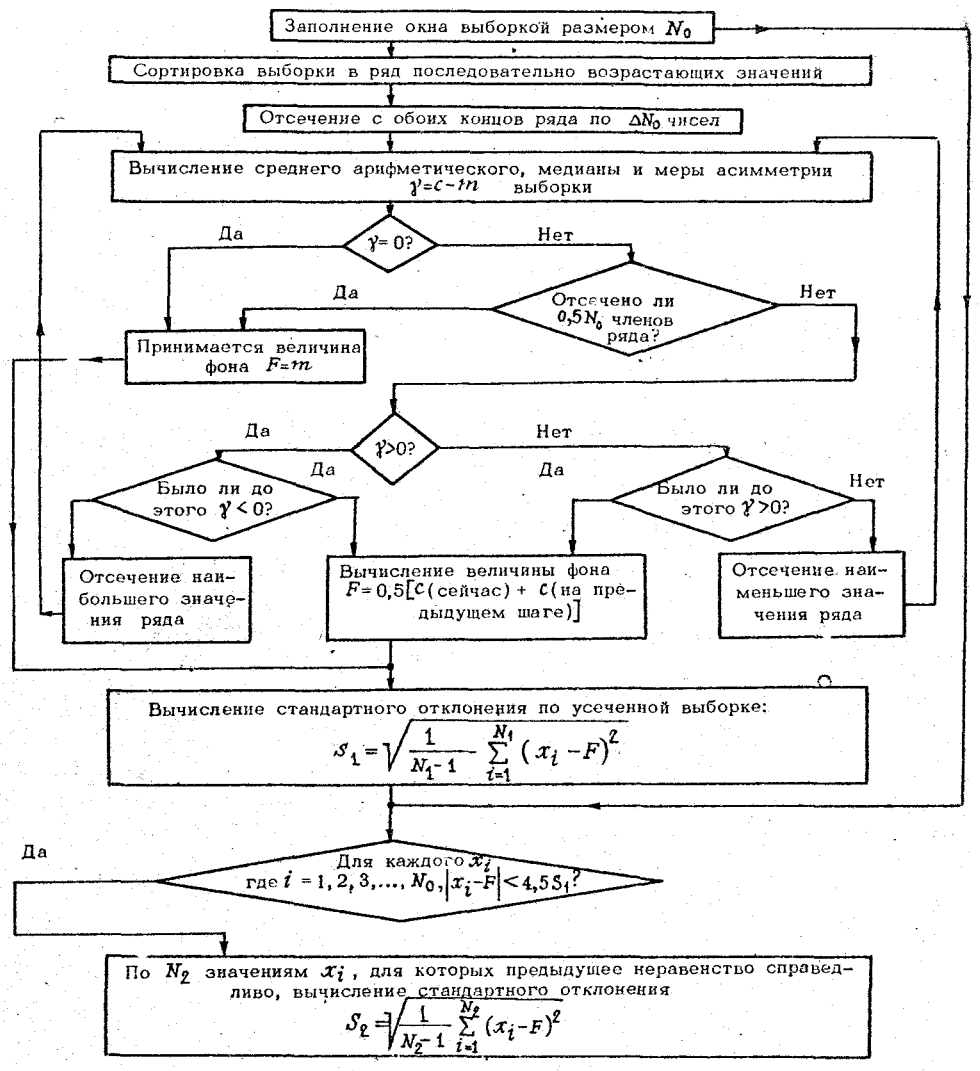


Рис.1. Блок-схема операций в скользящем окне

где N_2 – число значений x_i, попавших в интервал (3).

Для выборок окна размером $N_0 = 27 \div 51$ был подобран эмпирический коэффициент $k = 4{,}5$ с учетом соотношений между стандартным отклонением и размахом выборки. При этом завецомо аномальные точки исключаются из расчетов по формуле (4). Указанные операции нахождения фона и стандарта обеспечивают уверенное разделение фоновых и аномальных полей концентраций. Более подробно алгоритм вычислений внутри скользящего окна представлен на блок-схеме (рис.I).

По совокупности фоновых значений строится вариационная кривая. Число интервалов n и их величину h находят по формулам Стерджесса:

$$n = 1 + 1{,}4 \ln M \; ;$$
$$h = \frac{F_{max} - F_{min}}{n} \; , \qquad (5)$$

где M – [illegible] измерений на участке, F_{max} и F_{min} – соответственно наибольшее и наименьшее значения фона.

Вводится понижающий коэффициент для уменьшения влияния менее достоверных результатов в краевых областях, равный отношению числа точек, попавших в окно в краевой области, к обычному размеру окна. Затем фоновые значения разбиваются на классы, границами которых служат минимумы вариационной кривой, и производится медианное осреднение «оконных» стандартных отклонений в пределах классов, соответствующих классам фона. Медианное значение σ придается всем точкам в пределах класса.

При отыскании локальных аномалий учитываются два положения: амплитуда отклонения от фона и коррелируемость отклонений между соседними точками.

Минимальная аномалия оценивается по формуле

$$x_{ан\ min} = F \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{\eta}} \; , \qquad (6)$$

где η – число соседних точек, в которых прослеживаются отклонения от фона одного знака, на одном профиле или на соседних профилях на прямолинейной оси корреляции.

Уровень значимости выделения локальной аномалии по формуле (6) при нормальном распределении концентраций фонового поля, как известно, равен 0,0027. Если же требуется лишь выполнение условия симметричного распределения фоновых концентраций, уровень значимости оценивается с помощью усиленного неравенства Чебышева [4]:

$$P\left[\left|x - F\right| \geqslant a\right] \leqslant \frac{4}{9} \frac{1 + \gamma_p^2}{\left(\frac{a}{\sigma} - \left|\gamma_p\right|\right)^2} \; , \qquad (7)$$

где левая часть неравенства – вероятность того, что отклонение от F превзойдет по модулю a ; γ_p – пирсоновская мера асимметрии.

По исходной гипотезе $\gamma_p = 0$; $a = 3\sigma$. Тогда

$$P\left[\left|x - F\right| \geqslant 3\sigma\right] \leqslant 0{,}0495 \; . \qquad (8)$$

Следовательно, уровень значимости критерия выбора аномалий находится в интервале 0,27–4,95%. Надежность выделения аномалии тем выше, чем ближе распределение концентраций в фоновых полях к нормальному.

После того как аномальные точки выявлены, составляются массив аномальных отклонений от фона и массив, в котором фоновые поля сглажены от помех, а аномальные оставлены в исходном виде, чтобы избежать потери информации об аномалиях при сглаживании (рис.2).

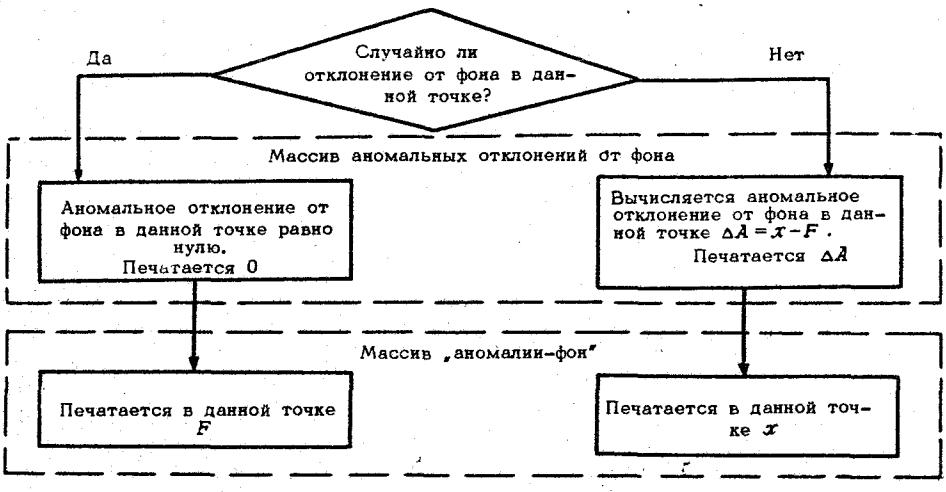


Рис.2. Составление и вывод на печать двух заключительных выходных массивов

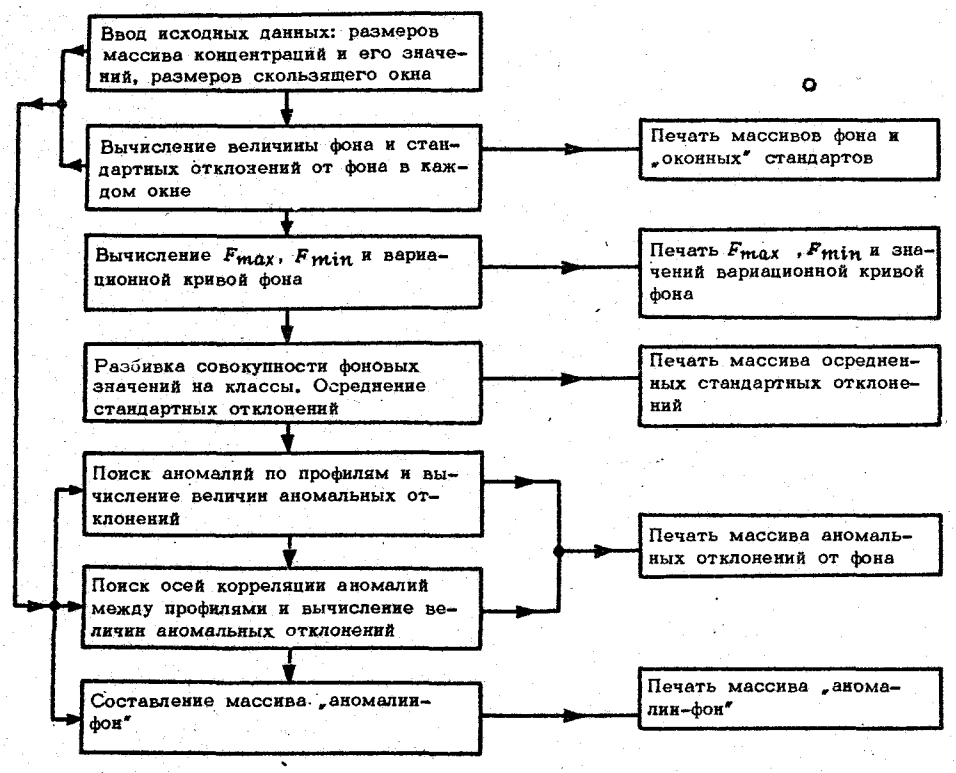


Рис.3. Общая блок-схема программы

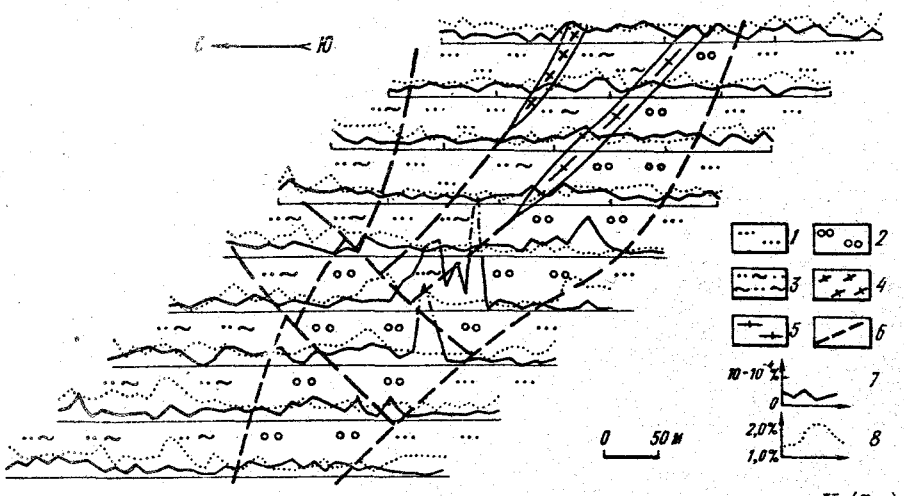


Рис.4. Геологическая схема участка и графики измеренных концентраций U (Ra) и K

1 – песчаники олигомиктовые; 2 – гравеллиты; 3 – алевролиты кремнеподобные; 4 – гранодиорит-порфиры; 5 – фельзит-порфиры; 6 – контакты пород (стратиграфические или тектонические); 7 – графики измеренных концентраций U (Ra); 8 – графики измеренных концентраций K

Приведенный алгоритм описан на языке АЛГОЛ-60 и реализован на ЭВМ „Одра-1204". Схема блоков программы в целом дана на рис.3[x].

В качестве примера обработка и интерпретация данных шуровой гамма-спектральной съемки по описанной схеме представлена на рис.4 и 5. Участок сложен терригенными сацочными породами среднедевонского возраста, прорванными дайками фельзит-порфиров и гранодиорит-порфиров (рис.4). Оруденение урана приурочено к грубозернистым гравеллитам, перекрытым олигомиктовыми песчаниками.

Обработка массива концентраций U (Ra) выделяет основную зону урановой минерализации северо-западного простирания (рис.5,а). Скважинами вскрыто продолжение оруденения на глубину. Менее уверенно намечается еще одна зона, перпендикулярная основной. Урановосные гравеллиты за пределами интенсивной аномалии характеризуются закономерным повышением фона U(Ra), особенно в северо-западной части площади, что может рассматриваться как слабопроявленный ореол рассеяния. Четко фиксируется контакт между урановосными гравеллитами и перекрывающими их песчаниками с пониженным фоном U (Ra) .

В результате машинной обработки массива содержаний калия (рис.5,б) выявились зона его выноса из области гидротермальной проработки, проявленная закономерным понижением фона, и площади привноса калия по краям этой области, проявленные положительными локальными аномалиями.

Время вычислений по программе пропорционально размерам массива концентраций и скользящего окна. В качестве примера укажем, что обработка

---

[x] В составлении и отладке программы приняли участие сотрудники кафедры АСУ ЛГИ А.П.Шаблинский и С.А.Синицын.

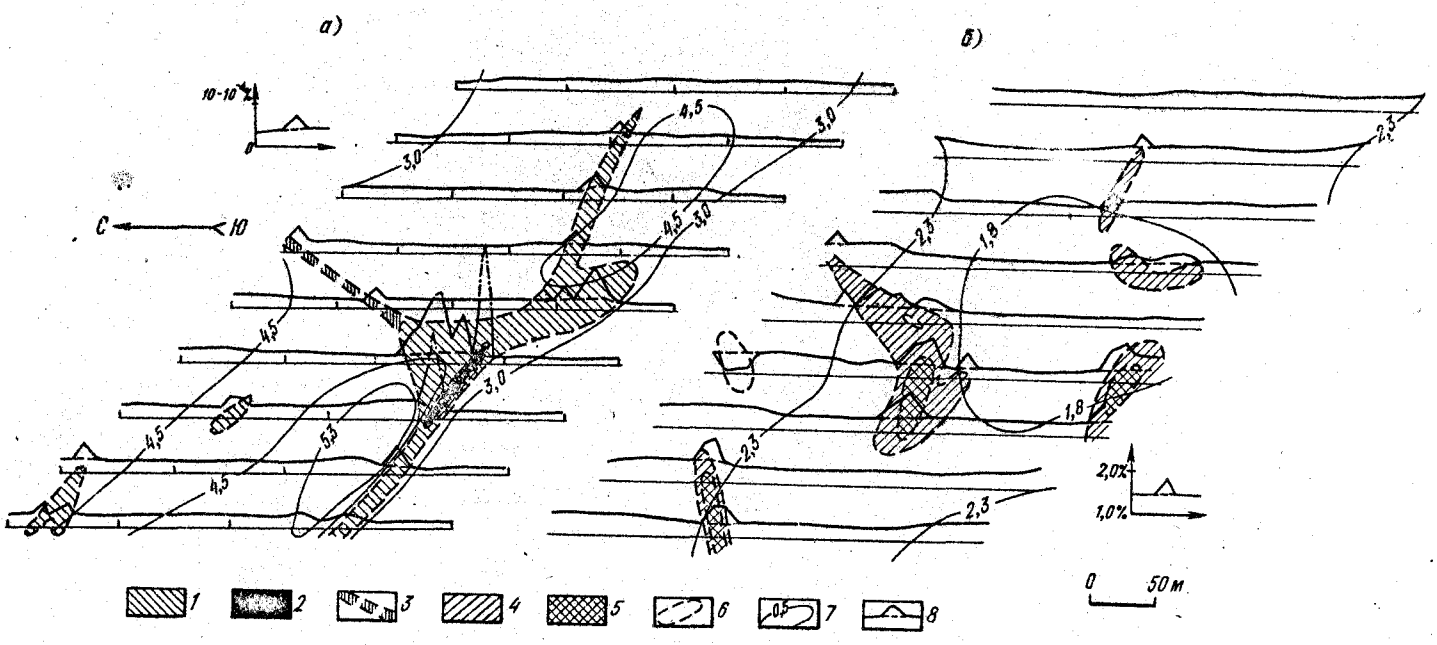


Рис.5. Схема интерпретации результатов машинной обработки массивов концентраций: а – урана (по радию); б – калия

1, 2 и 3 – локальные аномалии урана соответственно $0 < \Delta A \leqslant 25 \cdot 10^{-4}\%$; $\Delta A > 25 \cdot 10^{-4}\%$ и неуверенно выделяемая аномалия; 4, 5 и 6 – локальные аномалии калия соответственно $0 < \Delta A \leqslant 1\%$; $\Delta A > 1\%$ и $\Delta A < 0$; 7 – изоконцентрации фона урана (по радию), $n \cdot 10^{-4}\%$, и калия, в процентах; 8 – графики „аномалии–фон" (пунктиром проведен фон под аномалиями)

каждого из приведенных на рис.5 массивов на ЭВМ "Одра-1204" потребовала около 22 мин.

Предлагаемый метод не заменяет труд интерпретатора, а только позволяет яснее показать закономерности, заложенные в исходной информации. В рамках предложенной схемы обработки возможны другие варианты интерпретации. Например, для ручных вычислений можно ограничиться использованием массивов геохимического фона и неосредненных стандартов.

Размер скользящего окна выбирается таким, чтобы на локальные и фоновые изменения поля концентраций влияли преимущественно геологические образования разной природы. Например, на величину фона – литолого-фациальные изменения пород, на локальные аномалии – зоны гидротермальных изменений либо дайки небольшой мощности. В неясных случаях полезно обрабатывать результаты съемки при нескольких размерах скользящего окна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровко Н.Н. Обобщенный логнормальный закон распределения содержаний химических элементов в породах и рудах. – Геохимия, 1964, № 3.

2. Ветров А.Г. Обработка результатов пешеходных радиометрических съемок методом осреднения. – В кн.: Вопросы рудной геофизики. Л., Недра, 1966, вып. 7.

3. Ветров А.Г. О некоторых приемах интерпретации радиометрических данных методом осреднения в зоне контакта горных пород. – В кн.: Вопросы рудной геофизики. Л., Недра, 1968, вып. 8.

4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., Наука, 1974.

5. Миллер Р., Кан Дж. Статистический анализ в геологических науках. М., Мир, 1965.

6. Разумовский Н.К. К вопросу о выделении аномалий на фоне обычных содержаний элементов в породе при поисковых работах. – В кн.: Вопросы разведочной геофизики. Л., Недра, 1962, вып. 1.

7. Родионов Д.А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. М., Наука, 1964.

8. Савинский И.Д., Островский Э.Я., Блашинский В.С. Сглаживание профильных радиометрических измерений при высоком уровне флюктуационных помех. – Атомная энергия, 1973, т. 35, вып. 3.

9. Смирнов С.И. Вероятностно-статистическая оценка геохимического фона при поисках месторождений полезных ископаемых. – Геохимия, 1963, № 3.