

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра геологии

В.Б. Черняхов, О.Н. Калинина

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования специальности 130101.65 Прикладная геология

Оренбург
2012

УДК 550.4
ББК 26.30я7
Ч 49

Рецензент – доцент, кандидат географических наук Р.Ш. Ахметов

Черняхов, В.Б.
Ч 49 Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: методические указания / В.Б. Черняхов, О.Н. Калинина, Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2012. – 48 с.

Данные методические указания предназначены для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 130101.65 Прикладная геология специализаций «Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» и «Геология нефти и газа» очного, очно-заочного и заочного обучения.

УДК 550.4
ББК 26.30я7

© Черняхов В.Б., 2012
© Калинина О.Н., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение	4
1 Характеристика исходных данных.....	7
2 Методические указания по выполнению лабораторных занятий.....	10
3 Занятие 1	
Составление карты результатов геохимического опробования. Построение графиков одномерных сечений геохимических полей.....	10
4 Занятие 2	
Оценка частотной изменчивости геохимических полей методом геометрической автокорреляции.....	13
5 Занятие 3	
Графическое восстановление регулярной составляющей геохимического поля на плане по наблюдаемым значениям.....	16
6 Занятие 4	
Выявление разночастотных уровней строения геохимических полей.....	19
7 Занятие 5	
Оценка амплитудной изменчивости геохимического поля. Нахождение фоновых и аномальных значений.....	21
7.1 Задача оценки среднего значения поля.....	23
7.2 Выявление отклонений значений поля от среднего (оценка амплитудной изменчивости).....	24
8 Занятие 6	
Оценка пространственной согласованности геохимических полей.....	28
9 Методика работы с контрольно-обучающей программой «Геохимия».....	31
Список использованных источников.....	33
Приложение А.....	34

Введение

В курсе «Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых» рассматриваются теоретические основы геохимических поисков, практика их проведения, вопросы обработки и интерпретации материалов, получаемых в процессе геохимических поисков месторождений различных полезных ископаемых. Геохимические методы применяются также для обнаружения антропогенных концентраций различных химических элементов и для оценки состояния природной среды, т.е. при экологических исследованиях.

Теоретической основой проведения поисков и обработки полученной информации является понятие "геохимическое поле" - пространство земной коры, каждому элементарному объему которого может быть поставлено в соответствие определенное значение содержания химического элемента, являющееся функцией координат пространства

$$R = F(x, y, z) \quad (1)$$

Геохимическим полям присуще уровенное строение, выражающееся в представлении поля в виде суммы фиксированных уровней, отличающихся друг от друга амплитудно-частотными характеристиками. При этом каждый последующий уровень ($i+1$) отличается от предыдущего (i -го) более высокой частотой. В одномерном варианте это можно записать следующим образом:

$$F_n(x) = f_1(x) + \dots + f_i(x) + \dots + f_n(x) \quad (2)$$

где

$F_n(x)$ - аддитивное поле n -го уровня,

$f_i(x)$ - приращение поля (i -го) уровня,

n - количество уровней строения поля.

Возможность выявления аддитивного поля того или иного уровня при одинаковой геометрической базе наблюдений определяется плотностью их сети. Предположим, что при данной сети наблюдений выявляется аддитивное поле (k -го) уровня

$$F_k(x) = f_1(x) + \dots + f_k(x) \quad (3)$$

тогда все более высокочастотные составляющие природного поля $f_{k+1}(x)$, $f_{k+2}(x)$ и т. д., ввиду невозможности их восстановления, будут выступать как случайные составляющие. Обозначим сумму последних через $\delta_k(x)$

$$\delta_k(x) = f_{k+1}(x) + f_{k+2}(x) + \dots + f_n(x) \quad (4)$$

Наблюдаемые значения поля осложнены погрешностями измерений. Каждое частное измерение имеет индивидуальную погрешность, а само измерение пространственно детерминировано, поэтому изменение погрешностей в пространстве может быть представлено в виде случайного поля. Его математическое ожидание является величиной постоянной. При отсутствии систематических погрешностей оно стремится к нулю (погрешности разного знака взаимно компенсируются), а при их наличии оно будет отличаться от нуля. Такое случайное поле является стационарным, а при достаточно больших размерах реализации - еще и эргодичным.

Таким образом, измеренные значения геохимического поля (U_k) могут быть представлены в следующем виде:

$$U_k = F_k(x, y, z) + \delta_k(x, y, z) + F_{\Delta}(x, y, z) \quad (5)$$

где

U_k - количество уровней строения поля, выявляемых при данной плотности наблюдений,

$F_k(x, y, z)$ - регулярная составляющая природного поля,

$\delta_k(x, y, z)$ - суммарная случайная составляющая,

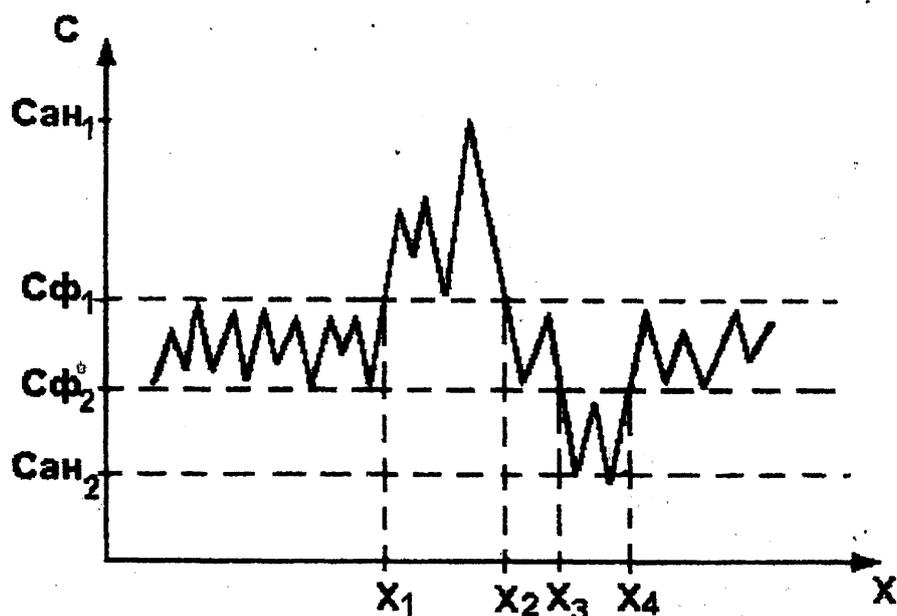
$F_{\Delta}(x, y, z)$ - поле погрешностей измерений.

Очевидно, что задача исследователя заключается в том, чтобы по наблюдаемым значениям выявить регулярную составляющую геохимического поля, т.е. восстановить ее. После этого осуществляется интерпретация материалов.

Понятие геохимического поля, являющееся теоретической основой практики проведения поисков и обработки их результатов, позволяет выбрать оптимальную систему наблюдений и грамотно обработать их результаты. На

основе этого понятия можно дать следующее определение геохимическим методам поисков: *геохимические методы поисков* - это совокупность практических приемов и теоретических положений, направленных на восстановление структуры регулярной составляющей геохимических полей и ее интерпретацию с целью обнаружения и предварительной оценки месторождений полезных ископаемых.

Введем основные понятия геохимических методов поисков. Для этого рассмотрим модель одномерного сечения геохимического поля (рисунок 1).



C - содержания химического элемента, X - расстояние, $C_{ф1}-C_{ф2}$ - интервал фоновых значений поля, $C_{ф1}-C_{ан1}$ и $C_{ф2}-C_{ан2}$ - интервалы аномальных значений, X_1, X_2 - границы положительной геохимической аномалии, X_3, X_4 - границы отрицательной аномалии

Рисунок 1 - Кривая одномерного сечения геохимического поля

Атомы химических элементов в земной коре обычно находятся в состоянии рассеяния (это закон Кларка-Вернадского). Содержания элементов в таком состоянии изменяются в определенном узком интервале, называемом геохимическим фоном. Понятие геохимического фона является фундаментальным в геохимической практике. Под *геохимическим фоном* понимаются содержания химического элемента в состоянии рассеяния в земной

коре и ее составных частях (литосфере, гидросфере, атмосфере, биосфере), не связанные с месторождениями полезных ископаемых. На фоне рассеяния проявляются концентрации химических элементов, с которыми связаны значительные по амплитуде отклонения от значений фоновых содержаний, называемые аномальными. Участки земной коры с аномальными значениями геохимических полей называются *геохимическими аномалиями*.

Аномалии, связанные с месторождениями полезных ископаемых или их отдельными залежами, получили название геохимических ореолов. *Геохимический ореол* - это участок земной коры вокруг залежи полезного ископаемого, в котором прослеживаются аномальные значения геохимических полей.

Геохимические аномалии в рыхлых делювиальных и аллювиальных отложениях, имеющие на плане вытянутую форму, называются потоками рассеяния.

В основу классификации геохимических ореолов и геохимических методов поисков положены:

- 1) время образования ореолов относительно времени образования полезного ископаемого и ведущая направленность геохимического процесса, приводящего либо к рассеянию, либо к концентрации вещества;
- 2) среда существования ореолов и обусловленная ею преобладающая форма нахождения химических элементов.

По первому критерию все ореолы делятся на первичные и вторичные. Первичные ореолы образуются в процессе формирования месторождений полезных ископаемых, т.е. в процессе концентрации вещества. Вторичные же возникают в процессе разрушения месторождений при рассеянии вещества. И первичные и вторичные ореолы по среде существования делятся на литохимические - ореолы в горных породах и осадках; гидрохимические - ореолы в поверхностных и подземных водах; атмохимические - ореолы в подземной и надземной атмосфере; биохимические - ореолы в растительных и животных организмах. Соответственно геохимические методы поисков

подразделяются на литогеохимические (по первичным и вторичным ореолам), гидрогеохимические, атмогеохимические и биогеохимические.

Общая цель занятий - научить студентов обработке и интерпретации геохимических данных: построению карт фактического материала, восстановлению геохимических полей, вычислению фоновых и аномальных значений поля, методике оценки пространственной согласованности геохимических полей, интерпретации аномалий.

1 Характеристика исходных данных

Занятия проводятся на конкретном материале, полученном в ходе проведения геохимических поисков, т.е. на основе карт фактического материала и данных геохимического опробования в виде таблиц. На картах фактического материала указываются места отбора геохимических проб, а в таблицах приводятся результаты их анализов.

Обычно исходными данными для обработки геохимической информации являются результаты измерений содержаний элементов в пробах, отобранных по прямоугольной сети на определенной территории, т.е. измеренные значения геохимических полей.

Содержания химических элементов в геохимических пробах в производственных условиях определяются с помощью спектрального оптического эмиссионного полуколичественного анализа. Результаты такого анализа выдаются в ранжированном виде. Они могут принимать следующие значения:

0 – т.е. не обнаружено

0,1 0,15 0,18 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,9

1 1,5 1,8 2 3 4 5 6 7 9

10 15 18 20 30 40 50 60 70 90

100 150 180 200 300 400 500 600 700 900

Поскольку значения содержаний даются в $n : 1\ 000\ \%$, то 0,1 означает 0,0001 %, 1 – 0,001 %, 10 – 0,01 %, 100 – 0,1 % и т.д.

В спектральном оптическом анализе для каждого химического элемента существует свой предел обнаружения (чувствительность) - минимальное содержание элемента в навеске, которое может быть определено данным методом. Все содержания элементов ниже предела обнаружения обозначаются обычно нулем. Поэтому минимальное значение значимых содержаний в результатах: анализа не может быть ниже чувствительности анализа.

Средний уровень геохимического поля, около которого колеблются обычные (фоновые) значения содержаний, чаще всего определяется кларком элемента, т.е. его средним содержанием (\bar{C}) в земной коре. Значения, отличающиеся от фоновых на величину среднее плюс-минус одно среднеквадратическое отклонение (σ), можно принимать за аномальные (Ca)

$$\bar{C} - \sigma > Ca > \bar{C} + \sigma$$

Более подробно об этом будет изложено в методических указаниях по выполнению пятого занятия. Максимальные значения содержаний обычно ограничены величиной 3-5 среднеквадратических отклонений (таблица 1).

Таблица 1 - Пределы обнаружения (Инструкция..., 1983), кларки (Справочник..., 1990) и возможные значения содержаний химических элементов ($n : 1000 \%$), расположенных в порядке уменьшения кларков

Элемент	Чувствительность	Кларк	Возможные содержания элемента																	
			0	1	1.5	1.8	...	100	200	300	400	500	600	10	15	18	20	30	и т. д.	
Ti	1	320	0	1	1.5	1.8	...	100	200	300	400	500	600							
Mn	1	77	0	1	1.5	1.8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	18	20	30	и т. д.	
P	10	70	0	100	150	180	200	300	400	500	600	700	900							
Ba	10	58	0	10	15	18	20	30	40	50	60	70	90	100	и т. д.					
Sr	1	29	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	и т. д.				
Zr	1	17	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	и т. д.				
V	0.1	11	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	и т. д.				
Cr	1	9.9	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	и т. д.				
Zn	1	7.6	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	15	и т. д.				
Ce	10	6.9	0	10	15	18	20	30	40	50	60	и т. д.								
Ni	1	5.8	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	и т. д.					
Cu	0.1	4.6	0	0,1	0,15	0,18	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	и т. д.								
La	10	3.4	0	10	15	18	20	30	40	50	60	70	90	100	и т. д.					
Y	1	2.8	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	и т. д.							
Li	1	2.7	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	и т. д.							
Co	0.1	2.3	0	0,1	0,15	0,18	0,2	0,3	0,4	0,5	и т. д.									
Ga	0.1	1.9	0	1	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	9	10	и т. д.					
Sc	0.1	1.6	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	0.4	и т. д.										
Nb	1	1.6	0	1	1.5	1.8	2	3	4	5	6	7	8	9	10	и т. д.				
Pb	0.1	1.6	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	0.4	и т. д.										
Hf	10	0.	0	10	15	18	20	30	40	50	60	и т. д.								

Продолжение таблицы 1

Элемент	Чувствительность	Кларк	Возможные содержания элемента													
Be	0.1	0.35	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
Yb	0.1	0.3	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
Sn	0.1	0.25	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
Ta	10	0.25	0	10	15	18	20	30								
Ge	0.1	0.15	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
W	1	0.12	0	1	1.5	1.8	2	3	4	5	6	7	9	10	и т. д.	
Mo	0.01	0.1	0	0.01	0.015	0.018	0.02	0.03	0.04	и т. д.						
Tl	0.1	0.07	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	и т. д.				
Bi	0.1	0.03	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
Cd	0.1	0.02	0	0.1	0.15	0.18	0.2	0.3	и т. д.							
Sb	1	0.02	0	1	1.5	1.8	2	3	4	5	6	и т. д.				
Hg	0.001	0.008	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	и т. д.							
Ag	0.01	0.007	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	и т. д.							
Au	0.0005	0.0004	0	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	и т. д.								

2 Методические указания по выполнению лабораторных занятий

Занятия проводятся последовательно в два этапа. Задача первого этапа - обучение студентов общей методике обработки информации без применения компьютера, чтобы понять основной смысл выполняемых графических и вычислительных операций. При этом из всего перечня химических элементов, определяемых в каждой геохимической пробе спектральным анализом, обучающийся обрабатывает информацию только для одного.

На втором этапе студент обращается к контрольно-обучающей программе «Геохимия», которая позволяет проверить правильность своих построений, выполненных «вручную» для одного химического элемента, указанного преподавателем, и проанализировать геохимические поля всех остальных химических элементов исследуемой территории.

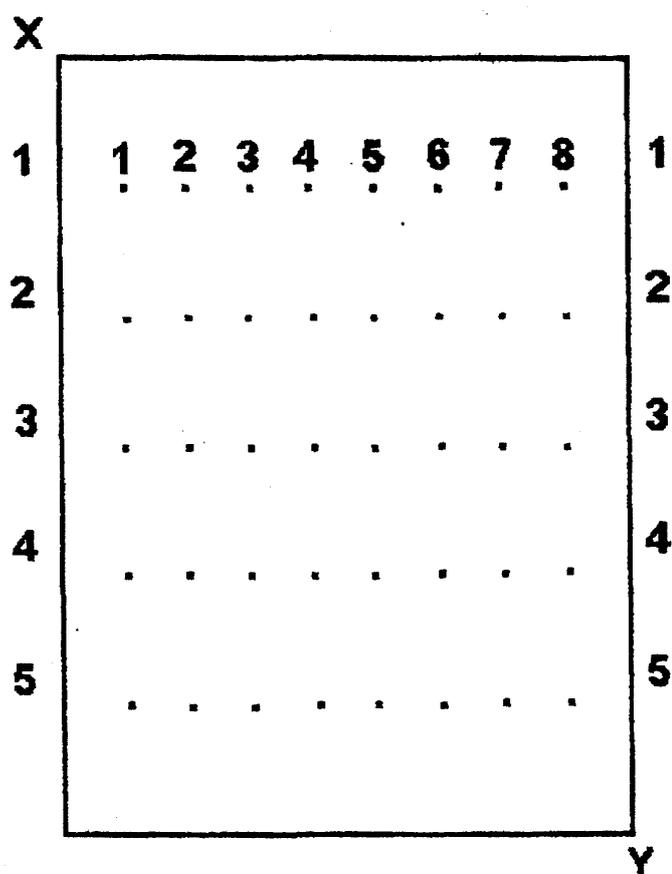
Завершающим этапом работы является оценка степени перспективности выделенных студентом геохимических аномалий.

3 Занятие 1

Составление карты результатов геохимического опробования. Построение графиков одномерных сечений геохимических полей

Карта результатов площадного геохимического опробования представляет собой топографический планшет, на который нанесены пункты наблюдений (места отбора проб), их номера и результаты анализов проб. Расстояние между пунктами наблюдений, их взаимное расположение и ориентировка в пространстве выбираются исходя из заданного масштаба геохимической съемки согласно Инструкции ...(1983). Обычно при мелкомасштабной площадной съемке используется прямоугольная сеть наблюдений.

В пунктах опробования в зависимости от применяемого метода отбираются пробы коренных пород (при литогеохимических поисках по первичным ореолам), рыхлых элювиально-делювиальных отложений (при литогеохимических поисках по вторичным ореолам), растений (при биогеохимических поисках), воды (при гидрогеохимических поисках) и др. Затем пункты опробования наносятся на план, тем самым составляется карта геохимического опробования. На ней указываются номера профилей (маршрутов) и номера проб на профиле (рисунок 2).



1-1 ... 5-5 - номера профилей, • - места отбора проб,

1, 2,...,7, 8 - номера проб на профиле; X, Y - координаты пространства

Рисунок 2 - Карта фактического материала геохимического опробования:

Каждая проба после ее отбора в соответствии с применяемым геохимическим методом подвергается обработке и отправляется на анализ. С помощью спектрального анализа в пробах одновременно определяются содержания нескольких химических элементов. На лабораторных занятиях

каждый студент строит карту только для одного химического элемента, название которого указывает преподаватель.

Для построения карты результатов опробования необходимо воспользоваться табличной или электронной базой данных и нанести на карту геохимического опробования значение содержания химического элемента, указав их возле каждого пункта отбора проб. В результате в цифровом виде получается карта измеренных значений геохимического поля элемента (рисунок 3).

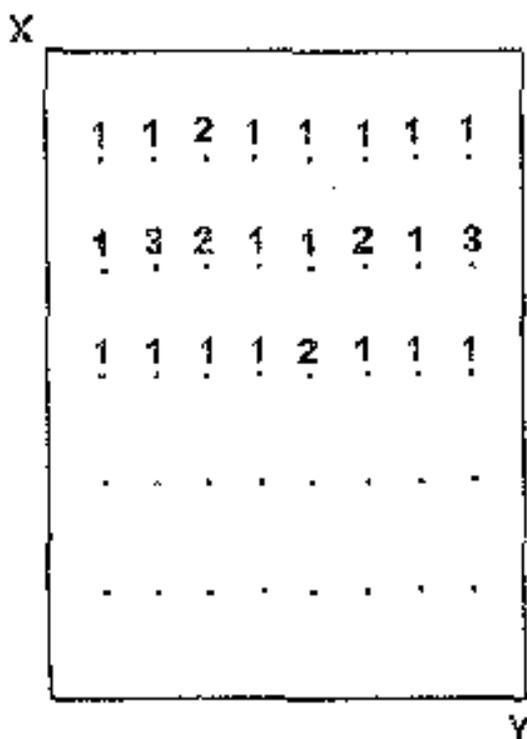


Рисунок 3 – Карта результатов геохимического опробования. Цифры над пунктами опробования – содержания химического элемента в п/1 000 %

Для анализа характера изменения содержаний химического элемента в пространстве необходимо построить графики одномерных сечений геохимического поля по линиям, проходящим через пункты опробования. При "ручном" построении достаточно изобразить три широтных сечения (параллельно оси Y) и три меридиональных (параллельно оси X). Примеры построений показаны на рисунке 4. Для построений желательно выбрать такие профили, где имеются результаты анализов во всех пунктах наблюдений и

содержания элемента изменяются наиболее сильно, т. е. мало проб с одинаковыми значениями содержаний. Использование ПЭВМ позволяет построить графики по всем профилям.

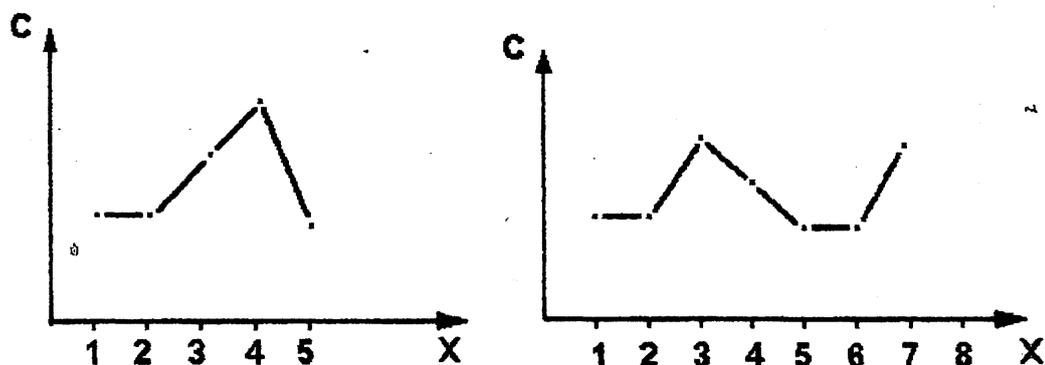


Рисунок 4 – Графики изменения содержаний (С) химического элемента по меридиональным (а) и широтным (б). Цифры вдоль горизонтальной оси показывают положение и номера проб на графиках

При построении графиков вертикальный масштаб выбирается произвольно исходя из величины разности между минимальным и максимальным содержанием элемента на профиле. Горизонтальный масштаб берется в соответствии с масштабом карты.

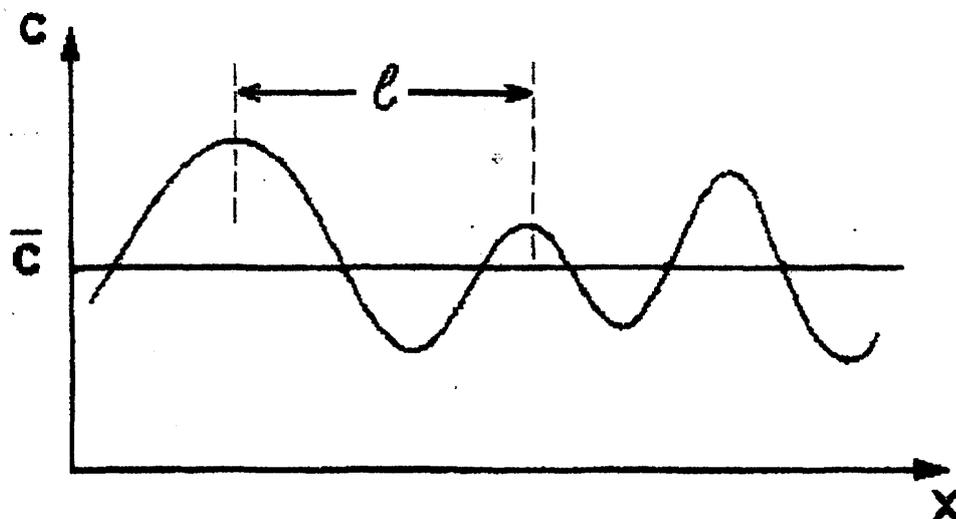
4 Занятие 2

Оценка частотной изменчивости геохимических полей методом геометрической автокорреляции

В геохимической практике под частотной изменчивостью понимается расстояние, на котором происходит повторение максимальных или минимальных значений поля, что в общем, соответствует средней величине длины волны изменения значений поля (рисунок 5).

Однако чаще всего исследователя интересует не сама длина волны, а величина четверти длины волны, ибо именно эта величина принимается во внимание при выборе оптимальных расстояний между пунктами наблюдений, или при выборе размера «окна» сглаживания при восстановлении поля по системе дискретных наблюдений. Это обусловлено тем, что при наличии двух

значений поля, полученных на расстоянии, равном четверти длины волны, перегибы функции, описывающей поле, восстанавливаются достаточно уверенно.



1 - длина волны; \bar{C} - среднее значение поля на сечении

Рисунок 5 - Кривая изменения содержаний химического элемента (одномерное сечение геохимического поля)

Существуют различные методы определения средней величины четверти длины волны по наблюдаемым значениям геохимического поля. Одним из наиболее оригинальных является метод геометрической автокорреляции, разработанный Г.В. Лебедевым и В.Ф. Мягковым в 1972 г. Сущность его сводится к построению графика автокорреляционной функции $KF(h)$ по единичным проекциям градиентов. Градиент - это вектор, направленный по нормали к поверхности поля в сторону возрастания функции. Корреляционная функция для одномерного сечения геохимического поля вычисляется как среднее скалярное произведение проекций единичных градиентов (a_i) при смещении графика функции, описывающей исходную реализацию, на шаг $h=k\Delta x$, где Δx - расстояние между проекциями соседних градиентов:

$$KF(h) = \frac{\sum_{i=1}^n |\vec{a}_i| \times |\vec{a}_{i+k}| \times \cos(\vec{a}_i, \vec{a}_{i+k})}{n-k}, \quad (6)$$

где

n - общее количество градиентов;

\bar{a}_i и \bar{a}_{i+k} – пара сравниваемых градиентов.

Поскольку $|\vec{a}_i|$ и $|\vec{a}_{i+k}|$ – проекции единичных градиентов и по модулю все они равны единице, то

$$KF(h) = \frac{\sum_{i=1}^n \cos(\vec{a}_i, \vec{a}_{i+k})}{n-k} \quad (7)$$

Так как мы имеем дело с проекциями градиентов на одну прямую, то угол между проекциями градиентов может быть равен либо нулю, когда направления векторов совпадают, или 180° , когда они направлены в разные стороны. Соответственно и косинусы углов могут принимать значения либо плюс 1, либо минус 1.

Решение задачи оценки частотной изменчивости одномерного сечения геохимического поля по методу геометрической автокорреляции выполняется графически в следующей последовательности.

1. Сглаживание исходной реализации (графиков одномерных сечений геохимических полей) осреднением по двум соседним точкам. Это осреднение необходимо для уменьшения влияния случайной составляющей измеренных значений поля. Сглаженные значения поля ($C_{сгл}$) в j -й точке пространства аналитически находятся по следующей простой формуле:

$$C_{сглj} = \frac{C_i + C_{i+1}}{2}, \quad (8)$$

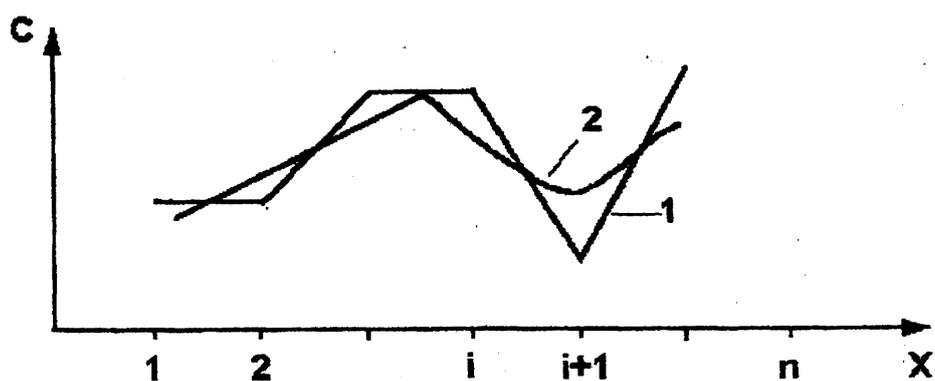
а их координаты по следующей:

$$X_{сглj} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}, \quad (9)$$

где

C_i – измеренное значение поля в точке с координатами X_i , а C_{i+1} и X_{i+1} – соответственно значение поля и координата $i+1$ точки пространства.

Эта задача решается графически (рисунок 6) путем построения усредняющей кривой, проходящей через середины отрезков ломаной линии исходной реализации.



1 – исходная реализация; 2 – сглаженная кривая

Рисунок 6 – Сглаживание исходной реализации осреднением по двум точкам

2. Построение на сглаженных графиках проекций единичных градиентов с шагом δX (δY), равным среднему расстоянию между пунктами наблюдений (рисунок 7). Градиент всегда направлен в сторону возрастания функции.

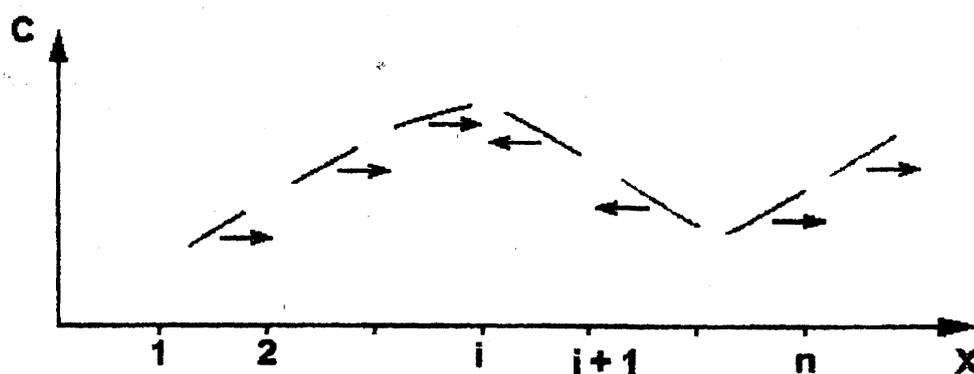


Рисунок 7 – Сглаженная кривая с единичными градиентами

3. Вычисление коэффициентов автокорреляции (K_a) при шаге смещения $0\delta X, 1\delta X, 2\delta X, \dots, k\delta X$ до тех пор, пока величина K_a не будет равна нулю или меньше нуля. Величина K_a находится как среднее значение косинуса угла между проекциями сравниваемых градиентов:

$$K_a = \overline{\cos \alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \cos \alpha_i}{n-k}. \quad (10)$$

4. Построение графика автокорреляционной функции и нахождение радиуса корреляции (R_a) как абсциссы точки первого нулевого значения функции (рисунок 8).

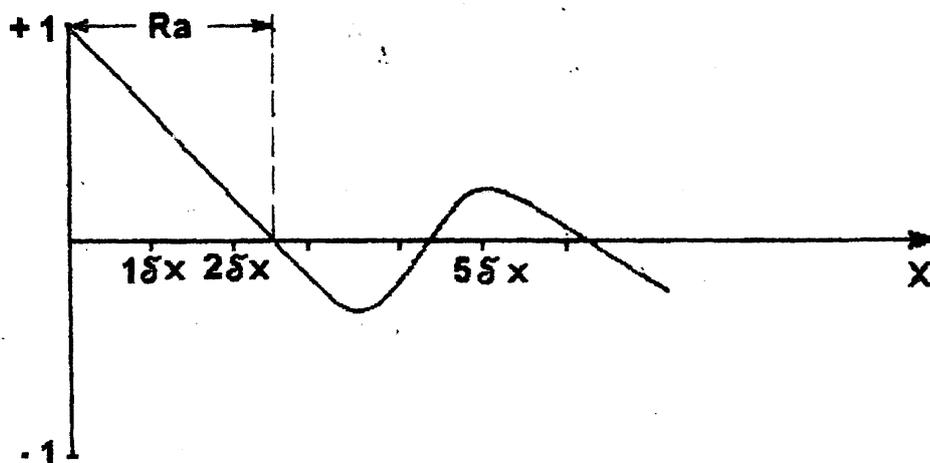


Рисунок 8 – График автокорреляционной функции

Зная величины радиусов корреляции, которые находятся по всем построенным профилям, можно оценить среднюю величину частотной изменчивости геохимического поля в широтном и меридиональном направлениях. Для этого достаточно вычислить средние значения радиусов отдельно по широтным R_{as} меридиональным R_{am} профилям:

$$\bar{R}_{as} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{asi}}{n}; \quad \bar{R}_{am} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ami}}{n}. \quad (11)$$

5 Занятие 3

Графическое восстановление регулярной составляющей геохимического поля на плане по наблюдаемым значениям

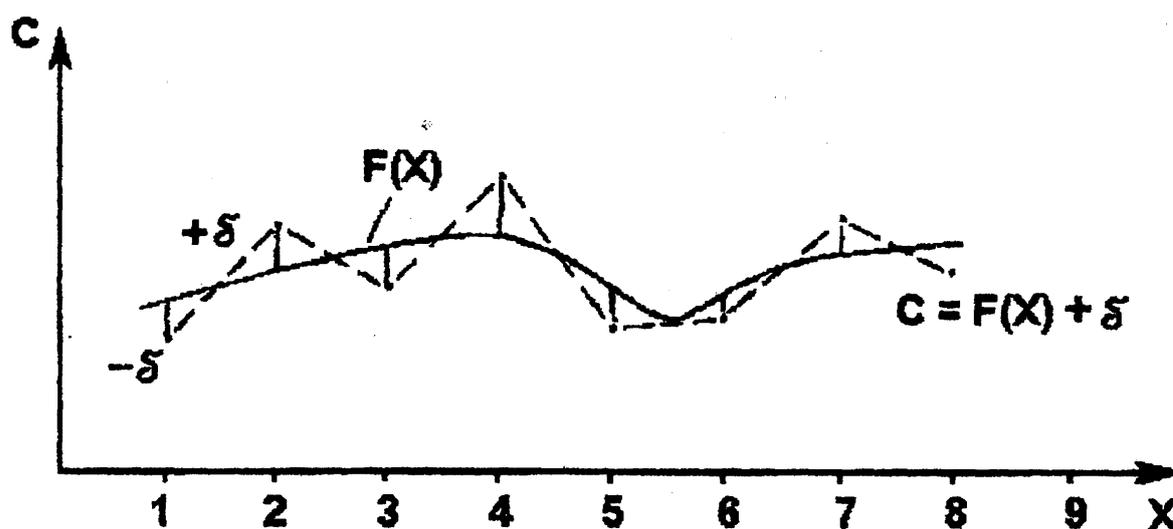
Восстановить поле – значит, по системе дискретных наблюдений найти вид зависимости, описывающей его поверхности от координат пространства. Учитывая, что измеренные в результате опробования значения геохимического поля (C) содержат не только регулярную $F(x,y)$, но и случайную (8) составляющую

$$C = F(x,y) + \delta, \quad (12)$$

решению задачи восстановления поля должно предшествовать выявление его регулярной составляющей, т. е. исключение случайной. Случайная составляющая поля изменяется относительно регулярной независимо от координат пространства. При переходе от одного пункта наблюдения к другому она принимает то положительные, то отрицательные значения (рисунок 9)

$$\pm\delta_i=C_i-F(x_i). \quad (13)$$

Так, на одномерном сечении поля в точках 1, 3, 5, 6, 8 на рисунке 9 случайная составляющая принимает отрицательные, а в точках 2, 4, 7 - положительные значения. Поэтому простейшим способом выявления регулярной составляющей и, соответственно, исключения случайной является осреднение (сглаживание) исходных данных. Оно может осуществляться способом статистического «окна» или способом скользящего «окна».



$C=F(x)+\delta$ – измеренные значения поля; $F(x)$ – регулярная составляющая

Рисунок 9 – Случайная составляющая поля изменяется относительно регулярной независимо от координат пространства

При реализации способа статистического «окна» в двумерном варианте на плоскости разбивается равномерная прямоугольная сеть, где результаты анализов проб, оказавшихся внутри каждой ячейки-«окна», усредняются путем расчета среднего арифметического. Полученные средние значения относятся к центру «окон» и принимаются за регулярную составляющую поля (рисунок 10).

Основной проблемой при сглаживании исходной информации является проблема выбора оптимального размера «окна» сглаживания. Исходя из теории геохимического поля, можно утверждать, что размер «окна» определяется, во-первых, уровнем строения поля, который необходимо восстановить, и, во-вторых, его частотной изменчивостью. Вместе с тем необходимо, чтобы «окно» вписывалось в систему наблюдений.

При этом оптимальный размер «окна» сглаживания должен позволить уверенно восстанавливать все перегибы поверхности поля на восстанавливаемом уровне. Это может быть осуществлено только в том случае, когда размер «окна» равен в среднем одной четверти длины волны изменения значений поля. Уменьшение размеров «окна» может привести к появлению высокочастотных составляющих поля, а увеличение - к переходу на более низкочастотный уровень.

На втором занятии нами уже была оценена средняя частотная изменчивость геохимического поля в широтном и меридиональном направлениях (\bar{R}_{am} и \bar{R}_{as}). Пользуясь этими параметрами, размер «окна» выбираем таким образом, чтобы величина «а» (рисунок 10) была равна среднему радиусу корреляции в меридиональном, а величина «b» - среднему радиусу корреляции в широтном. Таким образом, при сглаживании исходной информации на плане размер статистического «окна» принимается равным $\bar{R}_{am} \times \bar{R}_{as}$.

Процедура сглаживания осуществляется в следующей последовательности:

а) на карте результатов опробования расчерчивается прямоугольная сеть с выбранным размером ячеек;

б) внутри каждой ячейки вычисляется среднее значение содержаний;

в) средние значения записываются в центр ячейки.

В результате в цифровом виде получаем регулярную составляющую поля.

После этого переходим к операции графического восстановления поля с помощью изолиний. Линии равных содержаний проводятся обычными

методами интерполяции и экстраполяции между осредненными значениями геохимического поля.

6 Занятие 4

Выявление разночастотных уровней строения геохимических полей

Как уже было показано во вводной части, для геохимических полей характерно уровенное строение. Наличие разночастотных уровней в строении поля можно проиллюстрировать графиками, приведенными на рисунке 12. На рисунке изображены три уровня, что чаще всего и наблюдается в природе.

Выявление уровней в строении геохимических полей необходимо для правильного восстановления поля на интересующем исследователя уровне. Так, например, для выделения локальных аномалий необходимо восстановить поле на наиболее высокочастотном уровне, а для выявления общих региональных тенденций в изменении геохимического поля целесообразно исследовать его на низкочастотном уровне. Кроме того, знание частотной изменчивости каждого из уровней позволяет обоснованно подходить к решению проблемы стадийности геохимических работ и выбора оптимальных расстояний между пунктами наблюдений.

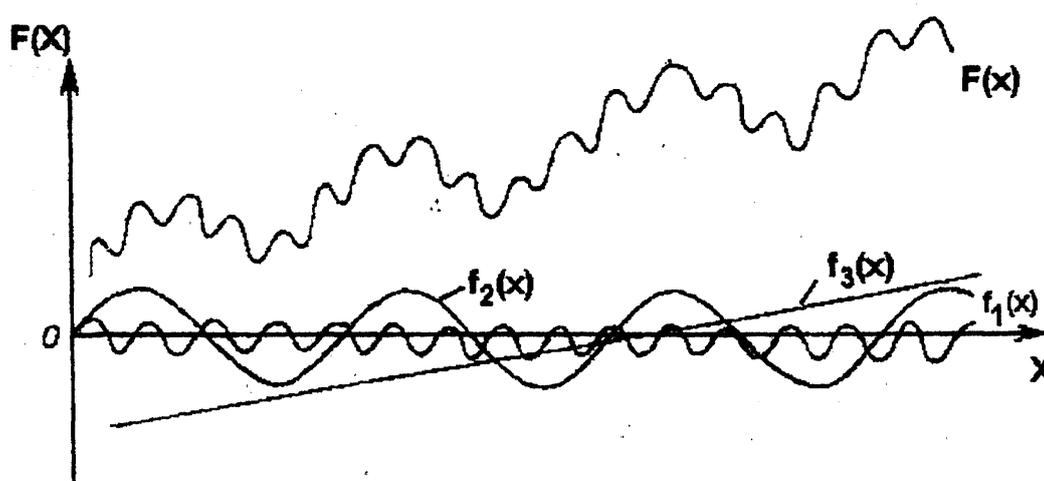
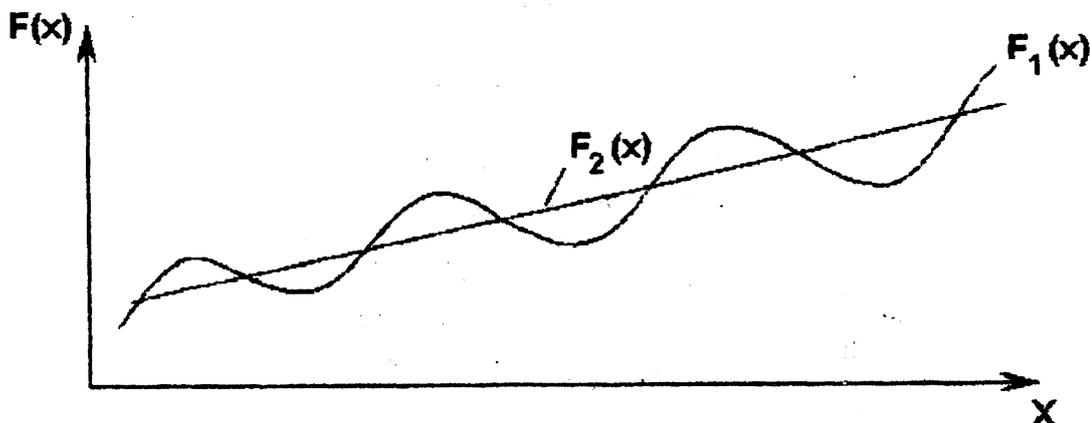


Рисунок 12 - Одномерное сечение аддитивного (суммарного) многоуровневого поля $F(x)$ и его разночастотные составляющие $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$, причем $F(x) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x)$

Как оценить частотную изменчивость аддитивного геохимического поля и как восстановить ее на наиболее высокочастотном уровне, мы узнали на занятии 2. Теперь необходимо исключить высокочастотную составляющую и перейти на следующий более низкочастотный уровень аддитивного поля. Исключение высокочастотной составляющей может быть осуществлено путем сглаживания исходных значений «окном», равным длине волны исключаемой высокочастотной составляющей поля, т. е. ее учетверенному радиусу корреляции.

Восстановление поля по сглаженным значениям позволит выявить строение аддитивного поля следующего более низкочастотного уровня, а нахождение его радиуса корреляции позволит выявить частотную изменчивость этого уровня. Таким образом, решение задачи выявления уровней строения геохимического поля сводится к последовательному сглаживанию исходной реализации статистическим «окном», равным средней длине волны предыдущего высокочастотного уровня, т. е. к операции последовательного графического вычитания из исходной реализации поля его составляющих, начиная с высокочастотной:

$$F(x) - f_1(x) = F_1(x), \quad F_1(x) - f_2(x) = F_2(x) \quad (14)$$



$$F_1(x) = F(x) - f_1(x), \quad F_2(x) = F(x) - f_1(x) - f_2(x)$$

Рисунок 13 - Аддитивные кривые более низкочастотных уровней, чем кривая $F(x)$ на рисунке 12

7 Занятие 5

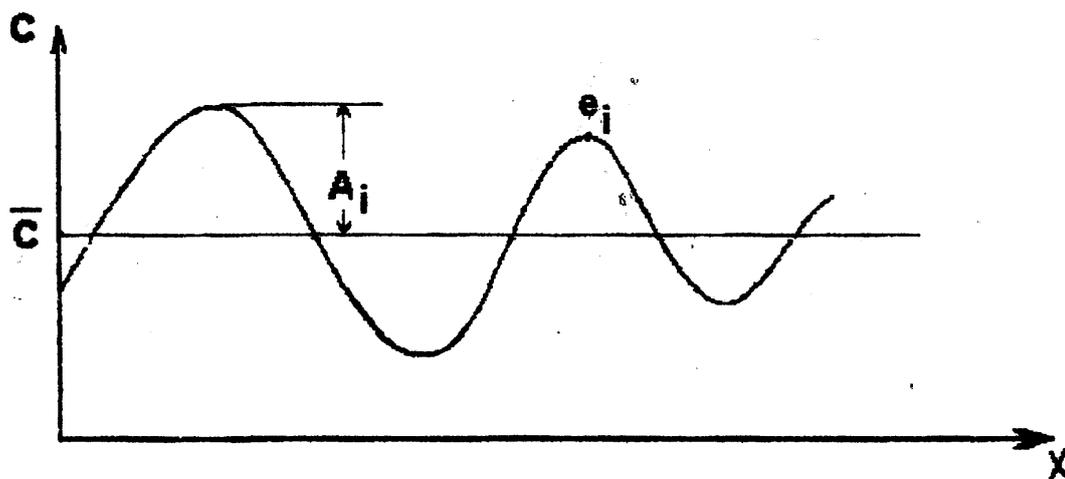
Оценка амплитудной изменчивости геохимического поля.

Нахождение фоновых и аномальных значений

Геохимическое поле изменяется в пространстве не только по частоте, но и по амплитуде. Амплитуда (A) - величина отклонения экстремального значения поля (e_i) от среднего (рисунок 14), т. е. величина амплитуды (A_i) в точке экстремума (e_i) равна абсолютной величине разности между экстремальным и средним (\bar{C}) значением поля:

$$A_i = |e_i - \bar{C}|. \quad (15)$$

Следовательно, чтобы найти амплитуду, необходимо первоначально найти среднее значение поля.



\bar{C} - среднее значение, e_i - экстремальное

Рисунок 14 - Одномерное сечение геохимического поля

7.1 Задача оценки среднего значения поля

Геометростатистический способ решения задачи заключается в восстановлении поля и его последовательном сглаживании (рисунок 15), что является довольно сложной процедурой.

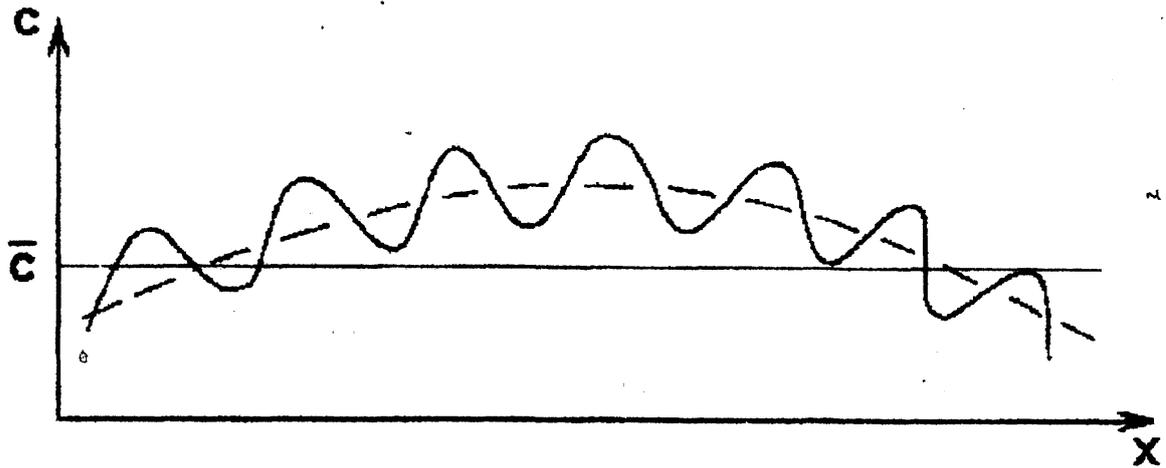


Рисунок 15 - Последовательное сглаживание исходной реализации для нахождения среднего значения поля

Другой - аналитический способ решения (аналитико-геометрический) считается наиболее точным. Он заключается в аппроксимации исходной реализации аналитической функции, интегрировании этой функции на исследуемом интервале и делении на длину интервала, т. е. необходимо найти

$$C=G(x), \quad (16)$$

а затем проинтегрировать её

$$\bar{C} = \frac{1}{x_n - x_1} \times \int_{x_1}^{x_n} G(x) dx, \quad (17)$$

где

x_1 и x_n - соответственно начальная и конечная границы исследуемого интервала (рисунок 16).

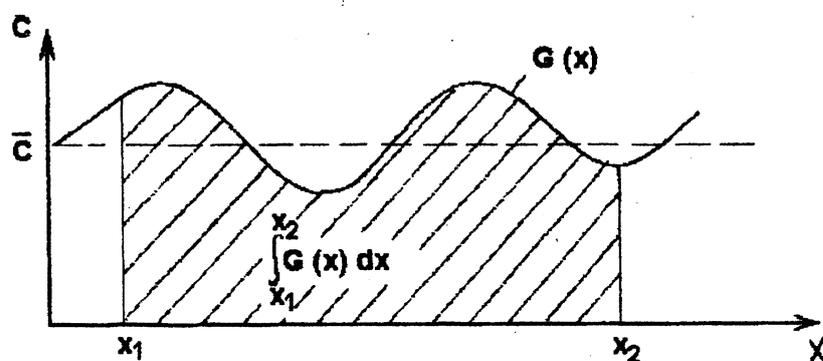


Рисунок 16 - Аналитический способ нахождения среднего значения одномерного сечения геохимического поля

Из-за сложности нахождения аналитического вида функции, описывающей поле, эта задача решается обычно методом приближенного численного интегрирования

$$\bar{C} \approx \frac{1}{x_n - x_1} \times \int_{x_1}^{x_n} C_i \times \Delta x_i = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times \Delta x_i}{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}, \quad (18)$$

где

C_i - измеренное значение поля в i -й точке со сферой влияния замера Δx_i ;

n - количество замеров в исследуемом пространстве (рисунок 17).

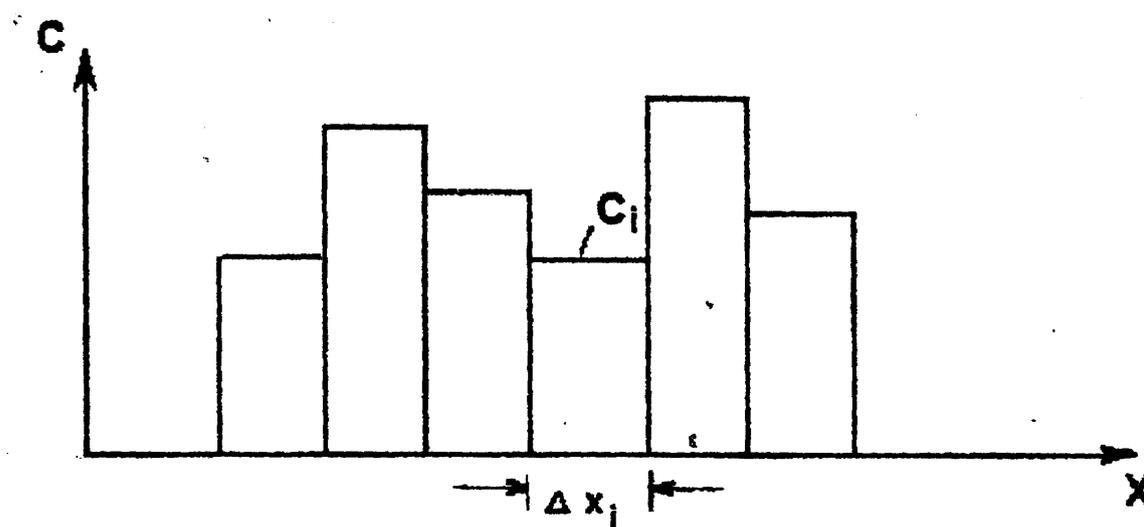


Рисунок 17 - Нахождение среднего значения одномерного сечения поля методом приближенного численного интегрирования

Заметим, что метод численного интегрирования на практике получил название метода средневзвешенного, а среднее, полученное этим методом, называется средневзвешенным.

В условиях равномерной сети наблюдений, когда Δx - величина постоянная, формула средневзвешенного преобразуется в формулу среднеарифметического:

$$\bar{C} \approx \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times \Delta x_i}{\sum_{i=1}^n \Delta x_i} = \frac{\Delta x_i \times \sum_{i=1}^n C_i}{\Delta x_i \times n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}. \quad (19)$$

Таким образом, при неравномерной сети наблюдений для оценки среднего значения поля необходимо пользоваться средневзвешенным, а при равномерной - достаточно вычислить среднее арифметическое. С другой стороны, очевидно, что при определенных условиях решение пространственной задачи нахождения среднего значения поля может быть сведено к статистическому решению нахождения среднего арифметического.

7.2 Выявление отклонений значений поля от среднего (оценка амплитудной изменчивости)

Как было отмечено выше, пространственное (геометрическое) решение задачи оценки амплитудной изменчивости геохимического поля заключается в измерении величины разности между экстремальными и средним значениями поля (15) и их анализе. Средняя величина амплитудной изменчивости при этом находится следующим образом:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i - \bar{C}|}{n}, \quad (20)$$

где

\bar{A} - среднее значение амплитуды;

e_i – экстремальное значение поля в i -той точке пространства;

\bar{C} - среднее значение поля;

n – количество экстремальных значений.

Эта довольно сложная процедура может быть заменена статистическим решением, являющимся более удобным по способу вычисления. Но, с другой стороны, статистическое решение задачи требует координаты пространства заменить частотой (вероятностью). Сведение пространственной задачи к статистической может быть проиллюстрировано следующей графической моделью (рисунок 18).

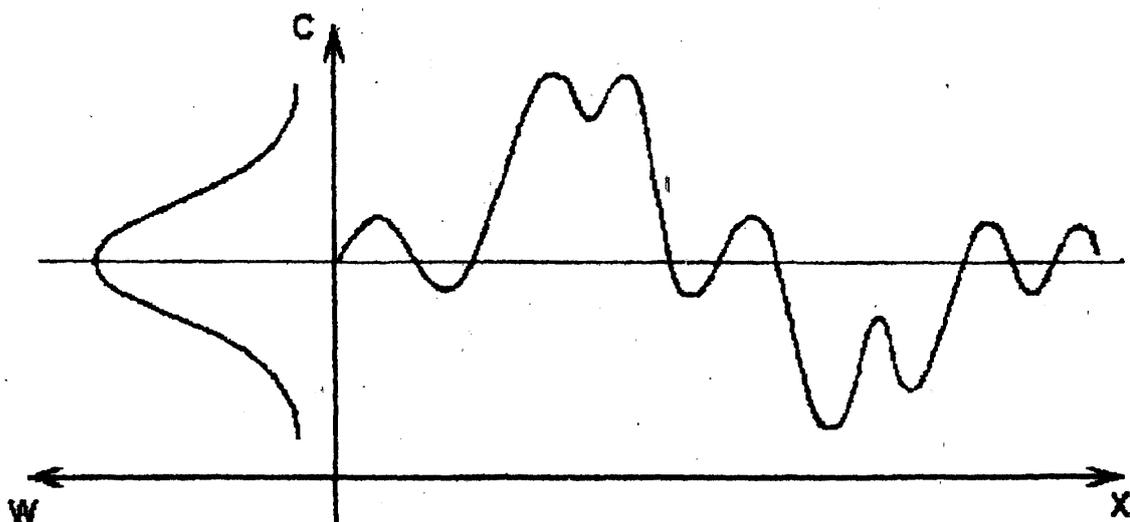


Рисунок 18 - Переход от пространственной модели геохимического поля в координатах C, X к статистической в координатах C, W

Здесь происходит замена пространственной модели в координатах C-X - статистической в координатах C-W, где:

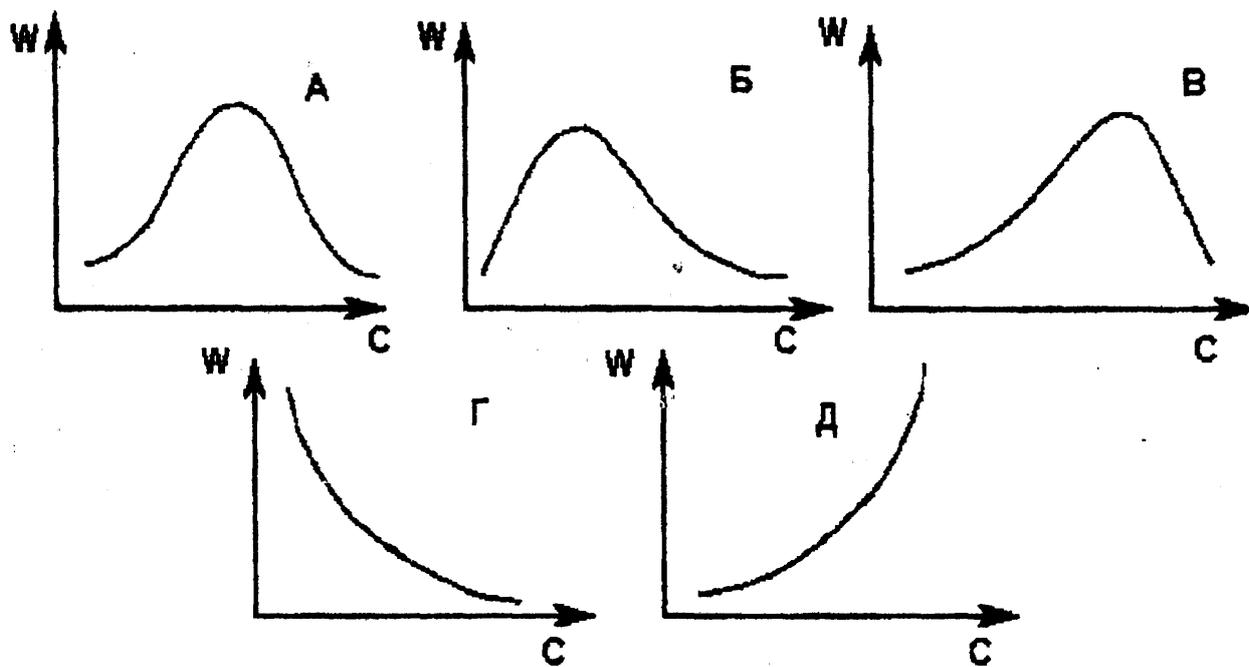
- C - значения содержаний,
- X - координата пространства,
- W - частость.

$$W = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (21)$$

где

- M_i – количество проб в интервале содержаний C_i ;
- n – количество интервалов.

Другими словами, частость - это отношение количества проб в C_i -м классе содержаний к общему количеству проб. В результате получаем кривую распределения содержаний или вариационную кривую. Чаще всего при обработке данных геохимических поисков встречаются 5 типов вариационных кривых (рисунок 19).



А - нормальное распределение, Б – логарифмически-нормальное, В - зеркальный аналог логарифмически-нормального, Г - гиперболовидное, Д - зеркальный аналог гиперболовидного

Рисунок 19 - Вариационные кривые, встречающиеся в практике обработки геохимических данных, которыми можно описать частоту появления различных значений геохимических полей

По виду кривой распределения можно судить о том, какие значения геохимического поля (содержания химического элемента) встречаются чаще, а какие реже. Так, симметричная кривая распределения, которая описывается нормальным (Гауссовым) законом, свидетельствует о том, что на исследуемой территории одинаково часто встречаются повышенные и пониженные значения поля. Логарифмически-нормальная или логнормальная кривая свидетельствует о преобладании низких содержаний над повышенными и т. д. Однако, чтобы узнать, где располагаются участки повышенных и пониженных значений поля, необходимо вернуться к пространственной модели, которая позволит всегда

построить статистическую, вместе с тем по статистической модели нельзя построить пространственную.

В математической статистике для оценки величины разброса значений исследуемого свойства относительно среднего применяется показатель, называемый среднеквадратическим отклонением (σ), равный квадратному корню из дисперсии (D). Дисперсия же представляет собой среднюю величину квадрата разности между измеренными значениями свойства (C_i) и его средним значением

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}}. \quad (22)$$

В условиях нормального распределения вероятность попадания случайной величины в интервал $C \pm \sigma$ составляет 68,2 %, интервал $C \pm 2\sigma$ – 97,5 %, а в интервал $C \pm 3\sigma$ – 99,7 % (рисунок 20).

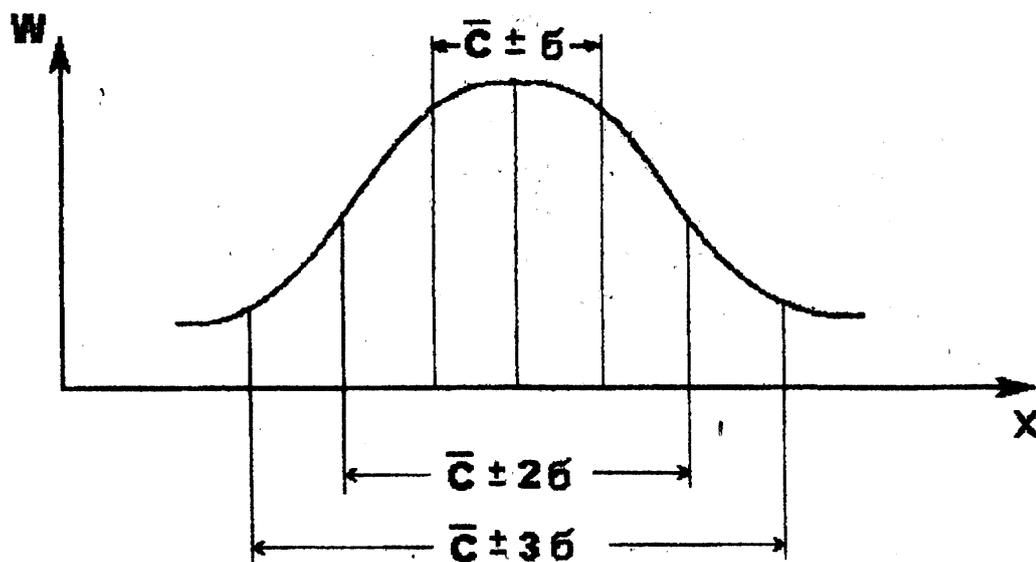


Рисунок 20 - Размах отклонений значений свойства относительно среднего при нормальном распределении

Исходя из этого и пользуясь наиболее жестким критерием трех сигм (3σ), при котором в интервал среднее $\pm 3\sigma$ сигма попадают 99,7 % значений измеренного свойства, а значения, выходящие за пределы интервала принадлежат исследуемой совокупности с вероятностью лишь 0,3 %, в качестве

интервала обычных, т. е. фоновых (C_f) значений поля, можно было бы принять следующее неравенство:

$$\bar{C} - 3\sigma < C_o < \bar{C} + 3\sigma. \quad (23)$$

Значения поля, выходящие за эти интервалы можно было бы принять за аномальные ($C_{ан}$). Однако геохимическая аномалия обычно фиксируется несколькими расположенными рядом повышенными измеренными значениями поля, количество которых обозначается через « m ». В этом случае надежность выявления аномалий возрастает, поэтому нижняя величина предела положительных аномальных значений снижается на величину \sqrt{m} и формула для аномальных значений приобретает следующий вид (Инструкция..., 1983):

$$C_{ai} \gg \bar{C} + \frac{3}{\sqrt{m}} \sigma. \quad (24)$$

Следует учесть, что при $m \geq 9$ $C_{ан} \geq C + \sigma$. Для удобства построений и для сравнения различных объектов обычно на геохимических картах и в таблицах результатов обработки данных указывают значения, равные

$$\bar{C}, \bar{C} + \sigma, \bar{C} + 2\sigma, \bar{C} + 3\sigma.$$

При этом величина $\bar{C} + \sigma$ называется низкоаномальным значением, $\bar{C} + 2\sigma$ - среднеаномальным и $\bar{C} + 3\sigma$ - высокоаномальным.

Среднеквадратическое отклонение характеризует абсолютную величину амплитудной изменчивости и зависит от значений содержаний, которые принимает геохимическое поле того или иного химического элемента. Чтобы иметь возможность сравнивать амплитудную изменчивость геохимических полей различных химических элементов, используется относительный показатель, называемый коэффициентом вариации (V), где среднеквадратическое отклонение нормируется по среднему

$$V = \frac{\sigma}{C} \times 100. \quad (25)$$

В условиях логарифмически-нормального распределения содержаний химических элементов в качестве аномальных принимаются значения поля, входящие величину

$$\tilde{C} = \varepsilon^{\frac{3}{\sqrt{m}}}, \quad (26)$$

где

\tilde{C} - среднее геометрическое, равное антилогарифму среднего значения логарифмов содержаний

$$\tilde{C} = \text{ant lg} \frac{\sum_{i=1}^n \text{lg } C_i}{n}, \quad (27)$$

где

ε - антилогарифм среднеквадратического отклонения логарифмов содержаний, т. е.

$$\varepsilon = \frac{\text{ant lg} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (\text{lg } C_i - \text{lg } \tilde{C})^2 \right)}}{n-1}, \quad (28)$$

где

m - количество проб, характеризующих аномалию при $m \geq 9$

$$C_{\hat{a}i} \geq \tilde{C} \times \varepsilon. \quad (29)$$

После оценки значений границ фоновых и аномальных содержаний целесообразно провести их и на геохимической карте. На нее наносятся изолинии среднего значения поля и нижних пределов низко-, средне- и высоко-аномальных значений. Затем соответствующие площади на карте закрашиваются, тем самым показывая различные по интенсивности геохимические аномалии.

8 Занятие 6

Оценка пространственной согласованности геохимических полей

Как уже было выше изложено, геохимические пробы анализируются одновременно на несколько элементов. Это дает возможность исследовать геохимические поля различных элементов и сопоставить их между собой. Простое визуальное сопоставление геохимических карт позволяет увидеть участки совпадения и несовпадения аномалий различных элементов. Если участкам повышенных содержаний одного элемента отвечают повышенные содержания другого, т. е. когда геохимические поля изменяются в фазе, то это свидетельствует о конкордантном соотношении геохимических полей сравниваемых элементов. Если же участкам повышенных содержаний одного элемента соответствуют пониженные содержания другого, т. е. их геохимические поля изменяются в противофазе, можно говорить об антикордантном их соотношении. Наконец, когда ни того, ни другого соответствия нет, можно говорить о дискордантном соотношении полей.

Наряду с качественным существуют различные количественные способы оценки степени согласованности геохимических полей. Одним их наиболее простых является корреляционный анализ. Оценку коэффициентов корреляции (r) можно вычислить по следующей формуле:

$$r = \frac{\overline{C_1 C_2} - \overline{C_1} \times \overline{C_2}}{\sigma_{C_1} \times \sigma_{C_2}}, \quad (30)$$

где

C_1 - содержания одного элемента;

C_2 – другого;

$\overline{C_1 C_2}$ - среднее произведений содержаний;

$\overline{C_1} \times \overline{C_2}$ - произведение средних;

$\sigma_{C_1}, \sigma_{C_2}$ - среднеквадратические отклонения элементов C_1 и C_2 .

Оценки коэффициента корреляции могут изменяться от +1 до -1. Значимые положительные значения оценок свидетельствуют о конкордантном соотношении сравниваемых геохимических полей, отрицательные - об антикордантном, а отсутствие значимых связей - о дискордантном. В результате вычисления оценок коэффициентов корреляции между всеми геохимическими полями составляется таблица - матрица коэффициентов корреляции (таблица 2). Содержательный анализ этой матрицы сводится к выявлению ассоциаций химических элементов. В ассоциацию включаются элементы, геохимические поля которых характеризуются конкордантными соотношениями.

Таблица 2 - Пример матрицы коэффициентов корреляции (в клетках таблицы оценки коэффициентов парной корреляции между содержаниями элементов)

Элемент	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu
Ti	1	0,53	0,01	0,08	0,01	-0,08	-0,06
V		1	-0,09	-0,06	-0,08	-0,06	0,13
Cr			1	0,44	0,57	0,72	-0,11
Mn				1	0,69	0,40	-0,05
Co					1	0,63	-0,04
Ni						1	-0,01
Cu							1

Анализ пространственных соотношений геохимических полей позволяет провести интерпретацию результатов опробования и решить как минимум две задачи:

- 1) установить формационную принадлежность возможного оруденения;
- 2) отбраковать малоперспективные аномалии и выделить высокоперспективные.

Формация полезного ископаемого - это наименьшая классификационная единица в генетической классификации полезных ископаемых. В этой

классификации обычно выделяются серии, группы, классы (подклассы) и формации. Формацию объединяют месторождения, близкие по минеральному составу, геологическим и физико-химическим условиям образования. Перечень типичных формаций рудных месторождений и характерных для них ассоциаций химических элементов приведены в таблице 3.

При решении второй задачи (отбраковка аномалий) необходимо учитывать следующие факторы:

- геологические (наличие поисковых предпосылок, благоприятных для локализации месторождения полезного ископаемого, и поисковых признаков, указывающих на наличие полезного ископаемого);
- геохимические (состав аномалий и прочее);
- геофизические (пространственное совпадение геофизических и геохимических аномалий) и др.

Таблица 3 - Геохимические ассоциации элементов, поля которых характеризуются конкордантными соотношениями в аномалиях

Ассоциации (элементы расположены в соответствии с осевой зональностью)	Характерные формации полезных ископаемых
Cu-Ni-Co	Медно-никелевая
Li-Sn-Nb-W	Редко-метальная пегматитовая
Mo-Sn-Ba-W	Вольфрамовая скарновая
(Cu, Pb, Zn)-W-Sn-Be	Вольфрамовая грейзеновая
Zn-W-Co-(Sn, Be)	Вольфрамовая кварц-вольфрамитовая
Ag-Sn-Be-(W, Mo)	Вольфрамовая кварц-шеелитовая
Cu-Sn-(Be, W)	Касситеритовая
Pb-Zn-Cu-Co-Mo	Медно-колчеданная
Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co	Полиметаллическая жильная и скарновая
Zn-Cu-(Au, W).	Золоторудная высокотемпературная
Pb-Zn-Au-Cu	Золоторудная среднетемпературная
Ba-Ag-Au-Pb	Золоторудная низкотемпературная
(Zn, Pb, Ag)-(Mo, Cu)	Медно-порфировая
Pb-Zn-(Sn, Ag)-Cu-Bi	Медная жильная

Продолжение таблицы 3

Ассоциации (элементы расположены в соответствии с осевой зональностью)	Характерные формации полезных ископаемых
Ba-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni	Стратиформная полиметаллическая
Hg-Sb-Ag	Сурьмяно-ртутная
Ti-V-Mn-Sc-Cu	Медно-титаномагнетитовая
Ti-V-Sc-Mn-P	Титаномагнетитовая
Cr-Ni-Co-Mn	Хромитовая
Zr-Sr-Ba-Rb-Hf-Rb-Nb	Кимберлитовая
Zr-Nb-Ti	Лампроитовая

В данном курсе особое внимание необходимо обратить на геохимические факторы:

- интенсивность геохимических аномалий;
- пространственное совпадение аномалий различных химических элементов;
- зональность аномалий.

Очевидно, что наиболее высокоперспективными будут самые интенсивные аномалии, фиксирующиеся в геохимических полях различных химических элементов и представляющие собой надрудные или околорудные части ореолов. Совпадение аномалий нескольких элементов можно увидеть при компьютерном наложении (мультипликации) различных геохимических полей, а степень совпадения можно количественно оценить по значениям коэффициентов корреляции. По результатам анализа степени перспективности аномалий выделяются участки для постановки заверочных геохимических работ 1-й, 2-й или 3-ей очереди.

9 Методика работы с контрольно-обучающей программой «Геохимия»

Компьютерная программа по геохимии предназначена для проведения исследований распределения содержаний химических элементов в пространстве на основе результатов анализов проб, взятых на некоторой

изучаемой площади. Пользование программой предполагает ЗНАНИЕ теоретического материала по методике обработки геохимической информации.

Программа запускается командой MAIN.EXE.

При запуске программы на экране появится рабочее поле и меню возможных действий. Перемещение по пунктам меню осуществляется стрелками «Вверх», «Вниз» и клавишами «Ноте», «End». Выбор пункта меню клавишей Enter, отмена - Esc.

Меню состоит из следующих пунктов

- | | | |
|-----|---|--|
| 1. | «Выбрать элемент» | Появится меню со списком химических элементов, для которых есть данные. Надо выбрать один из этих элементов для исследования. Его название появится в правом верхнем углу. |
| 2. | «Таблица» | Таблица значений содержаний элемента в местах опробования. |
| 3. | «Широтные профили» | На рабочем поле показываются графики изменения содержания элемента по всем широтным профилям, пронумерованным от 0 до 20 сверху вниз. |
| 4. | «Широтный профиль N:» | Показать на экране более крупно широтный геохимический профиль с заданным номером |
| 5. | «Меридиональные профили» | На рабочем поле показываются графики изменения содержания элемента по всем меридиональным профилям, пронумерованным от 0 до 20 слева направо |
| 6. | «Меридиональный профиль N:» | Показать на экране более крупно меридиональный профиль с заданным номером |
| 7. | «Геометрическая автокорреляция» | Появится меню с действиями, необходимыми для нахождения радиусов корреляции по широтным (Rаш) и меридиональным (Rам) профилям |
| 7.1 | «Выбрать широтный профиль» | Указать номер широтного профиля, необходимого для обработки |
| 7.2 | Выбрать меридиональный профиль | Указать номер меридионального профиля, необходимого для обработки |
| 7.3 | Сглаживание профиля | Проводится сглаживание выбранного профиля осреднением по двум точкам |
| 7.4 | «Построение проекций градиентов» | Выводятся значения знака производной на сглаженном профиле. |

- | | | |
|-----|---|---|
| 7.5 | «Построение графика АК функции» | Строится график автокорреляционной функции |
| 7.6 | Вычисление R_{sh} и R_{am} | Вычисление радиусов корреляции по широтным и меридиональным профилям. |

Внимание!!! Если были обработаны все широтные и меридиональные профили, то:

- | | | |
|-----|--|---|
| 7.7 | «Автовычисление R_a» | Автоматическое вычисление среднего значения R_{sh} и R_{am} . |
| 7.8 | «Выход» или Esc | Выход в главное меню |
| 8. | «Статистическое окно» | Осреднение данных методом статистического окна |
| 9. | «Изолинии» | Проводятся изолинии по осредненным данным |
| 10. | «Статистики по 1-му элементу» | Вывести статистики по одному элементу:
— среднее значение поля,
— среднеквадратическое отклонение,
— коэффициент вариации. |
| 11. | «Аномальные зоны» | После построения изолиний выделить зоны с высоким содержанием элемента |
| 12. | «Статистики по всем элементам» | Вывести таблицу коэффициентов корреляции элементов, указанных в файле-заголовке (не более 10 элементов вместе) |
| 13. | «Очистить поле» | Очистить рабочее поле перед выбором другого элемента |
| 14. | «Выход» или Esc | Закончить работу |

Некоторые действия возможны только после выполнения предыдущих:

- «геометрическая автокорреляция» и «статистики по одному элементу» возможны только после выбора элемента;
- «статистическое окно» - после автокорреляции,
- «изолинии» - после статистического окна,
- «аномальные зоны» - после изолиний

Список использованных источников

1. Алексеенко, В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учеб. для вузов / В.А. Алексеенко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Логос, 2005. - 354 с. - ISBN 5-88439-041-6.
2. Беус, А.А. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых / А.А. Беус, С.В. Григорян. - М.: Недра, 1975. - 280 с.
3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / сост. С.В. Григорян, А.П. Соловов, М.Ф. Кузин; М-во геологии СССР. - М.: Недра, 1983. - 192 с.
4. Мягков, В.Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд / В.Ф. Мягков. - М.: Недра, 1984. - 127 с.

Приложение А *(обязательное)*

Построение карт изолиний на ПЭВМ

Построение карт в изолиниях по произвольно расположенным на плоскости результатам наблюдений представляет собой задачу, сходную с задачей преобразования данных, неравномерно расположенных в пространстве по линиям, в равномерную систему точек, так как обычно первый шаг построения данной карты - получение регулярной сети точек наблюдения.

Регулярную сеть можно получить различными способами, начиная от распространения ближайшего наблюдаемого значения на заданную точку регулярной сети и кончая вычислением оценок значений в заданных точках по уравнению, описывающему поверхность тренда, построенному по совокупности всех имеющихся наблюдений. Первый способ получения оценок значений в с сети в значительной степени подвержен случайным воздействиям, что приводит к поверхности, содержащей разрывы. Последний дает возможность получения гладкой непрерывной поверхности, но обладает существенным неудобством, заключающимся в том, что ни один из исходных результатов наблюдения не лежит на этой поверхности.

Большинство используемых в практике методов построения карт в изолиниях включает процедуру взвешенного усреднения ограниченного числа близко расположенных наблюдений или же построение поверхностей тренда для малых участков изучаемой территории с последующей оценкой значений этих поверхностей в заданных точках правильной сети.

Набор значений, по которому строится карта в изолиниях, вводится в машину в виде матрицы, в которой каждая строка содержит три элемента: координаты точки наблюдения x , y и z - картируемая характеристика, заданная как функция на множестве значений координат.

Ниже в качестве примера приведен набор точек результатов опробования сильвинитовых руд пласта Кр. II Дурыманского участка Верхнекамского месторождения.

Таблица А.1 – Результаты опробования сильвинитовых руд пласта Кр. II Дурыманского участка Верхнекамского месторождения

Номер скважины	Координата Х	Координата У	Содержание КСl
101	499751	586164	52.36
106	491323	577850	37.78
107	499509	577539	47.82
125	495373	582382	38.43
127	495469	585644	35.06
186	497537	585635	30.13
188	493364	582397	25.92
189	494426	582349	33.48
190	497389	582424	41.23
194	499361	582373	38.00
195	495346	583254	30.05
196	496383	583396	29.03
197	497360	583381	33.62
198	495393	581385	39.05
199	496394	581356	31.75
200	496369	582372	39.74
201	499407	580185	32.08
202	495400	577731	37.55
203	501418	582418	44.79
204	497369	581391	43.83
205	498370	582395	38.16
206	498327	581423	38.08
207	497413	580363	43.07
208	495364	580395	34.75

Для обработки данных и построения карт изолиний существует много программ, среди которых наиболее популярным является пакет Surfer for Windows фирмы Golden Software (Колесов, Павлова, 1996). Работа с пакетом основана на трех основных функциональных блоках:

- построение цифровых моделей поверхностей;
- вспомогательные операции с цифровыми моделями поверхностей;
- визуализация поверхностей.

Цифровые модели поверхности представляются в виде набора значений в узлах прямоугольной регулярной сетки. Значения в узлах сетки вычислялись на основе значений, полученных экспериментальным путем для произвольных точек области (узлов нерегулярной сетки), путем интерполяции двумерных функций. Пакет Surfer предлагает семь алгоритмов интерполяции:

- метод инверсных расстояний;
- крайгинг;
- метод минимизации кривизны;
- метод полиномиальной регрессии;
- метод радиальных базовых функций;
- метод Шепарда;
- триангуляция с линейной интерполяцией.

Метод инверсных расстояний является быстрым, но имеет тенденцию к образованию «бычьих глаз», что выражается в замыкании концентрических изолиний вокруг исходных точек (рисунок А.1).

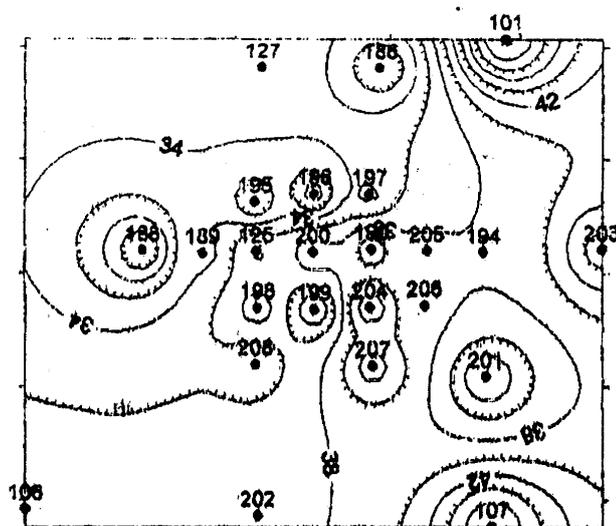


Рисунок А.1 – Метод инверсионных расстояний

Крайгинг является наиболее удобным и полезным методом почти для любого типа данных. Этот метод скользящего среднего назван в честь его создателя южноафриканского геолога Д.Г. Крайга (рисунок А.2).

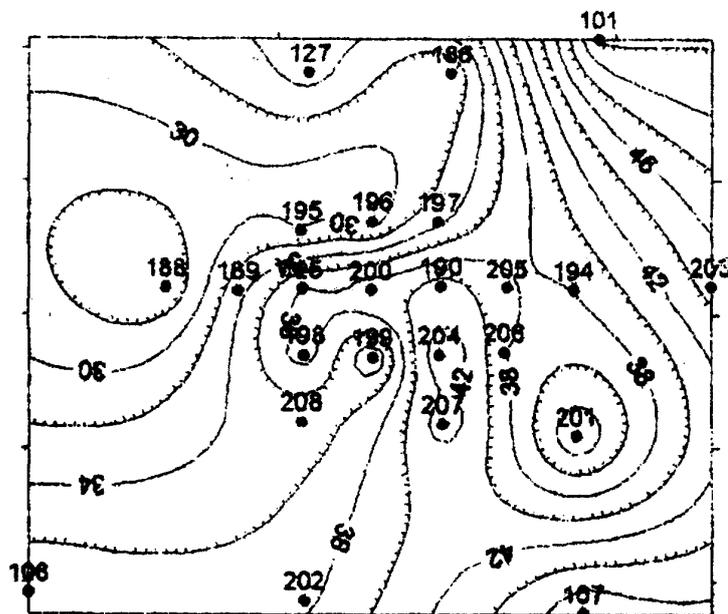


Рисунок А.2 - Крайгинг

Крайгинг в свое время был с успехом применен к задачам оценки запасов некоторых из самых больших месторождений мира - золотых и алмазных месторождений Южной Африки. Одного этого факта было бы достаточно, чтобы признать его. Однако этот метод применим не только к оценке месторождений, но и к исследованию многих типов пространственных закономерностей.

Крайгинг является процедурой оценки значения пространственной переменной по прилегающим значениям, в то время как взаимная зависимость переменных выражена с помощью вариограммы. Наиболее общая из существующих процедур называется «универсальным крайгингом», в котором значения для блоков, площадей и точек можно оценить при нерегулярной сети опробования в присутствии тренда или нестационарности. Для большинства случаев рекомендуется использовать простой крайгинг с линейной вариограммой (Surfer..., 1994; Девис, 1997). В Surfer этот метод установлен как базовый по умолчанию.

Метод минимизации кривизны строит гладкие поверхности и очень быстр.

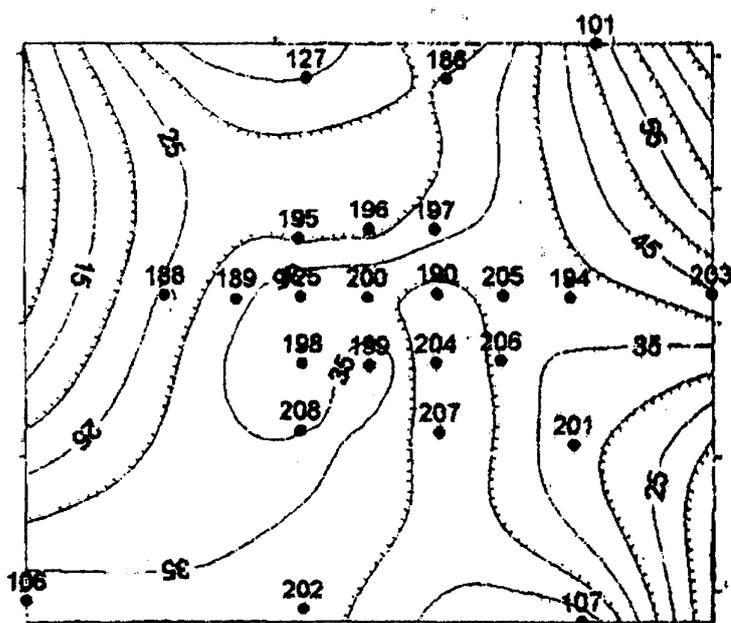


Рисунок А.3 – Метод минимизации кривизны

Метод радиальных базовых функций достаточно удобный и, подобно крайгингу, проводит наиболее точную интерполяцию для большинства типов данных. Этот метод по результатам очень близок крайгингу.

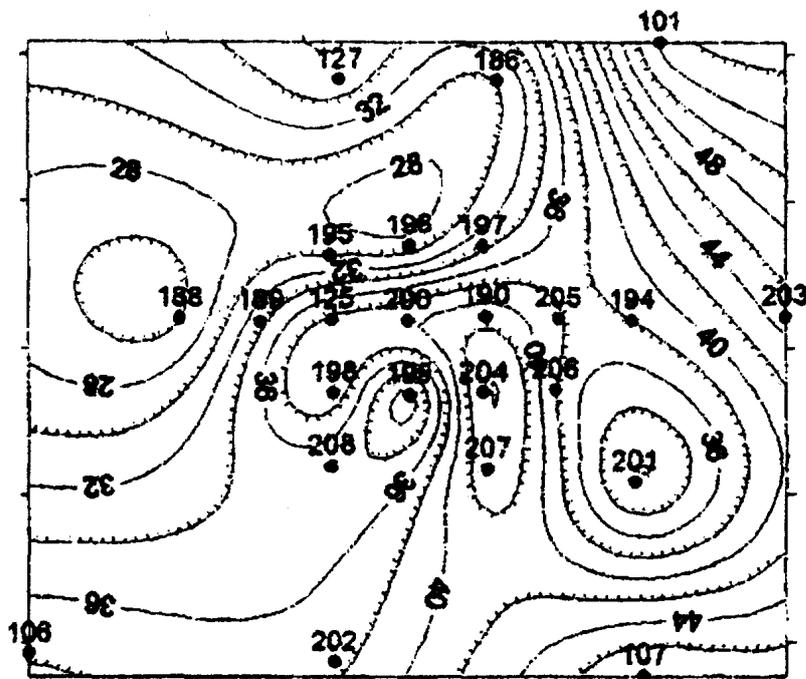


Рисунок А.4 – Метод радиальных базовых функций

Метод Шепарда подобен методу инверсных расстояний. Он не имеет такой ярко выраженной тенденции формировать «бычьи глаза», но только при условии использования метода сглаживания.

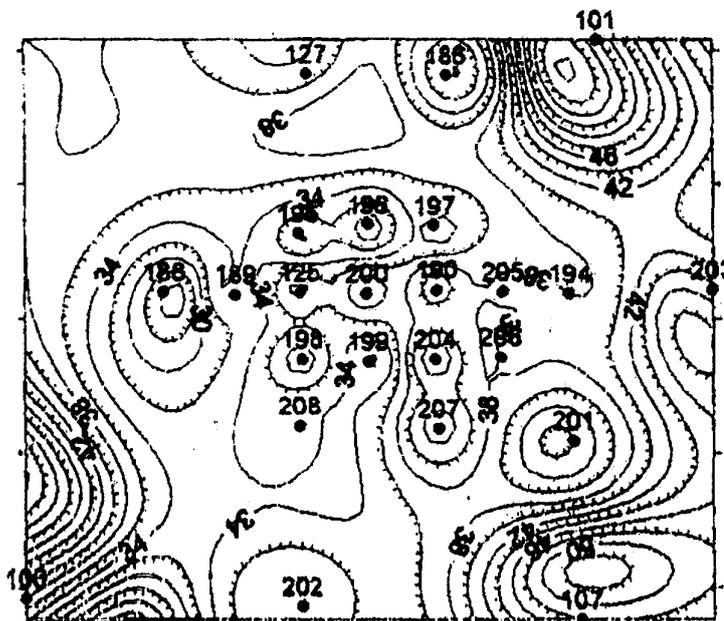


Рисунок А.5 – Метод Шепарда

Триангуляция с линейной интерполяцией - самый быстрый метод, но при малом количестве данных рисует острые углы на изолиниях между удаленными точками. Одним из полезных качеств триангуляции является то, что при достаточно большом количестве данных могут выделяться линии разрыва в местах резкого излома изолиний.

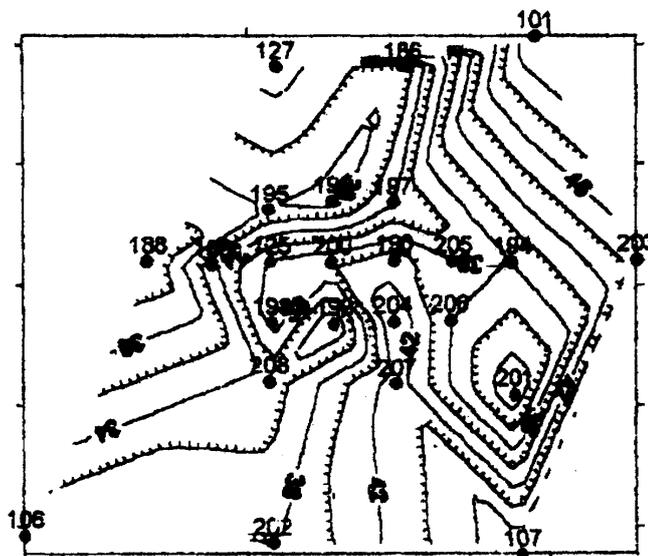
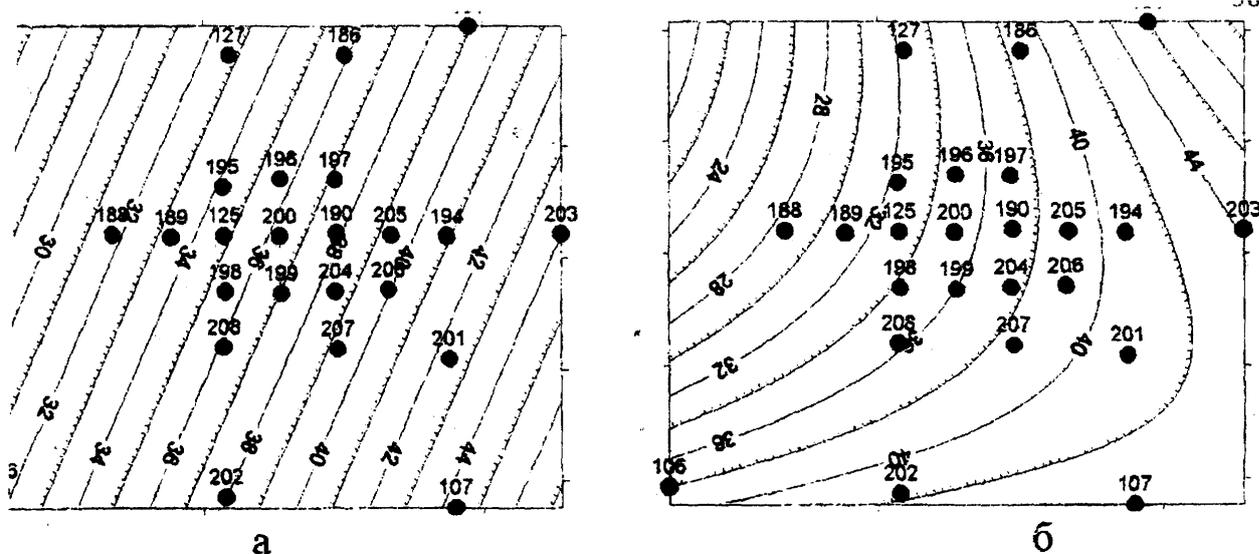


Рисунок А.6 – Триангуляционный метод

Метод полиномиальной регрессии используется для тренд-анализа.



а – поверхность тренда первой степени; б – поверхность тренда второй степени

Рисунок А.7 – Метод полиномиальной регрессии

После построения поверхностей возможно производить их преобразования и различные операции, такие, как:

- вычисление площади поверхности;
- вычисление объема, заключенного между двумя поверхностями;
- переход от одной регулярной сетки к другой;
- преобразование поверхности с помощью математических операций с матрицами;
- построение сечения поверхности (расчет профиля);
- сглаживание поверхностей с использованием матричных или сплайновых методов.

Визуализацию поверхности можно графически представить либо как карту изолиний, либо как трехмерное изображение (рисунок 28). В Surfer изображения можно получить тремя способами:

- наложением нескольких прозрачных или непрозрачных графических слоев;

— импортированием их в готовом виде, в том числе из других приложений (Corel Draw, Microsoft Publisher и др.);

— созданием с помощью специальных инструментов рисования и нанесения текстовой информации и специальных символов.

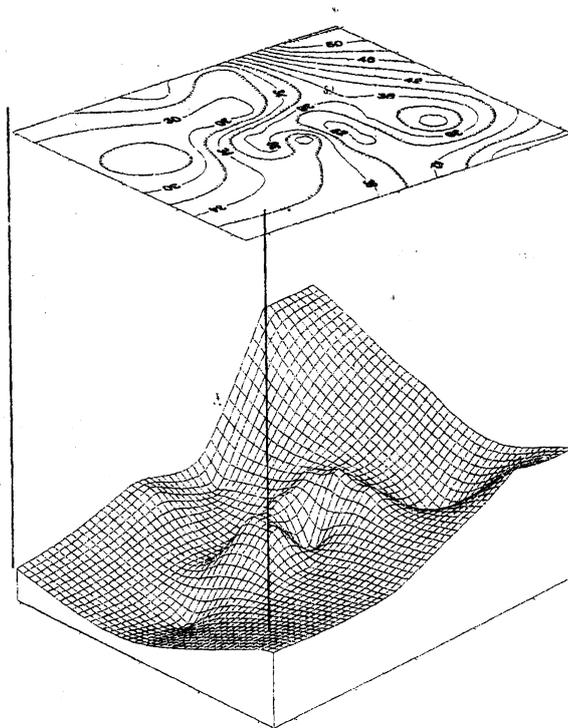


Рисунок А.8 – Совмещение трехмерного изображения с картой изолиний

В качестве основных элементов изображения выступают следующие типы карт:

1. Карты изолиний параметров. В дополнение к традиционным средствам управления режимами вывода изолиний, осей, рамок, разметки, легенды и т. е. реализована возможность раскраски карты путем заливки их различным крапом.

2. Карты исходных данных. Эти карты служат для представления точечных данных в виде специальных символов с текстовыми подписями или без них.

3. Карты-основы. Это может быть практически любое плоское изображение, векторное или растровое, импортированное из графического файла.