

ԵՐԿՐԱՏԵՂԵԿԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆ

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

DOI:10.54503/0515-961X-2023.76.2-3-141

Կարապետյան Կ.Ա., Կիլինգարյան Ա.Յ.

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Гюмри, 3115, ул. В.Саргсяна, 5, РА
e-mail: Kara.Karapetyan@gmail.com
Поступила в редакцию 25.08.2023*

Представленная статья посвящена оценке эффективности применения корреляционного способа обработки данных геофизического комплекса из методов магниторазведки, естественного электрического поля и сопротивления (КЭП). Выявлено, что предварительная фильтрация данных повышает информативность комплексного параметра S_k , а при доминирующем числе электро-разведочных методов в комплексе необходимо вычислить параметр S_k для всех собственных значений корреляционной матрицы исходных данных.

Ключевые слова: геофизика, статистика, корреляция, фильтрация, нормировка, слабая аномалия.

Введение

Выбор рационального комплекса геофизических методов при решении различных геологических, инженерно–геологических и чисто технических задач достаточно сложен и строго индивидуален, так как зависит от поставленной конкретной задачи с учетом пространственных и временных факторов. Из-за множественности этих факторов, определяющих выбор комплекса строгими аналитическими решениями не может быть полностью и однозначно обоснован. Поэтому, при решении конкретной задачи должны быть широко использованы вероятностно–статистические методы. Использование вероятностно–статистического подхода обусловлено характерной особенностью геофизических наблюдений, заключающееся в том, что полученные в отдельных точках данные следует рассматривать как случайные величины. Случайно также расположение геологических объектов, точек и площадей исследований, помехи, вызванные погрешностями измерений, геологическими неоднородностями и другими причинами. Наибольшие возможности вероятностно–статистического подхода раскрываются при комплексной интер-

претации геофизических данных, полученных несколькими методами (Till, 1974; Treatise on Geophysics, 2015; Никитин, Петров, 2013).

Целью нашей статьи является решение задачи оценки эффективности применения корреляционного способа обработки данных комплекса геофизических наблюдений при предварительной фильтрации исходных полей. Подобная задача весьма актуальна при разделении геологических объектов на рудные и безрудные.

Научная новизна представленной работы состоит в том, что предлагается проводить комплексную интерпретацию корреляционным способом при предварительной фильтрации исходных данных. В проведенных исследованиях обоснована необходимость предварительной статистической обработки геофизических наблюдений при оценке комплексного параметра S_k .

При комплексной интерпретации геофизических данных вся совокупность наблюдений разбивается на отдельные группы, которые нумерованы индексом k ($k = 0; \pm 1, \pm 2, \dots, \pm k$, всего $2k+1$) так, что любую пару наблюдений, взятую из разных групп, можно считать статистически независимой. В то же время наблюдения, входящие в любую k -ую группу, корреляционно связаны между собой. В дальнейшем наблюдения в пределах k -й группы условимся нумеровать индексом i ($i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm i$, всего $2i + 1$ значений). Таким образом, каждое из наблюдений имеет двойной индекс k, i . Тогда в случае чисто качественной интерпретации математическая модель экспериментального материала U_k может быть представлена в виде данных

$$\left\{ U_k = \sum_{i=1}^N f_{ik} + n_k \right\}. \quad (1)$$

Здесь составляющие вектора U_k , - f_{ik} и n_k соответствуют различным значениям индекса i ; индекс n ($n = 0, 1, \dots, N$) при f указывает возможный тип функциональной зависимости детерминированной компоненты модели. при этом вся функция f_{ik} предполагается заранее известной. Модель вида (1) допускает возможность появления $N+1$ различных состояний интересующего объекта, отличающихся видом детерминированной компоненты. Задача заключается в определении оптимальной процедуры выбора между этими состояниями по заданной реализации наблюдений U_k (Никитин, 1979)

$$U_k = \left\{ \begin{array}{l} \text{либо } f_{ok} + n_0 \\ \text{либо } f_{1k} + n_1 \\ - \quad - \quad - \quad - \\ \text{либо } f_{nk} + n_N \end{array} \right\} \quad (2)$$

Для комплексной интерпретации геофизических данных статистическими методами в работах (Трофимова, Никитин, 1975; Никитин, Петров, 2013) предлагается разложение исходных полей по естественным

ортогональным составляющим и последующая свертка совокупности в каждой точке в некоторый комплексный параметр S_k

$$\sum x_{ij} \cdot h_i = S_k > T, \quad (3)$$

где x_{ij} - значение исходного поля, h_i - весовые коэффициенты, T – некоторый порог. Выбор порога T определяется заданием вероятности

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^T e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (4)$$

Для вероятности $\gamma = 95\%$ $T = 1,65$. Так как дисперсия величины S_k равна λ_{\max} , то для вероятности 95% порог $T = 1,65 \sqrt{\lambda_{\max}}$, где λ_{\max} – максимальное собственное значение корреляционной матрицы исходных полей X_{ij}

$$\begin{vmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{vmatrix} \quad (5),$$

где $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$ число пикетов по каждому методу (Никитин, 1979; Morrison, 1967).

С целью выделения слабых геофизических аномалий проведена обработка данных комплексных геофизических наблюдений корреляционным способом на Центральном участке (Участок 1) Меградзорского месторождения, где наблюдения проводились по одиннадцати профилям, ориентированным вкрест простирания “слепого“ рудного тела. На месторождении оруденение представлено кварцевыми жилами, прожилками и линзами, расположенные в зонах гидротермально измененных породах (Амирян, 1984).

Для проведения статистического анализа из большого количества данных площадных наблюдений различными методами выбраны геофизические методы естественного электрического поля (ЕЭП), сопротивления (КЭП) и магниторазведки (Фонды ИГИС, 1986). Магниторазведка была предусмотрена для уточнения контактов пород. Измерялась вертикальная составляющая напряженности магнитного поля, которая характеризуется сравнительно низкими значениями ΔZ_a . Одной из задач статистической обработки данных ΔZ явилось сужение пределов этой неопределенности. Здесь, до проведения геофизических работ геологическими методами разведки выявлена зона сульфидной минерализации (Зона II, рис.1).

Для вычисления комплексного параметра S_k был выбран комплекс из трех параметров: U (потенциал естественного электрического поля), r_k (кажущееся сопротивление) и ΔZ (вертикальная составляющая магнитного поля). Вычислены коэффициенты корреляции по трем методам:

$$a_{kl} = \frac{1}{n} \sum (x_{jk} - \bar{x}_k)(x_{jl} - \bar{x}_l) , \quad (6)$$

где \bar{x}_k и \bar{x}_l - средние значения каждого параметра по профилю.

Надежность вычисления элементов корреляционной матрицы, которые являются коэффициентами корреляции между рассматриваемыми параметрами, зависит от длины выборки, т.е. от количества точек наблюдения (Anstey, 1964; Chayes, 1971). Дисперсия коэффициента корреляции определяется выражением

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} ,$$

где n - количество точек наблюдения. Надежными можно считать элементы корреляционной матрицы, значения r которых по модулю не меньше соответствующих σ_r (Трофимова, Никитин, 1975).

Для сравнительного анализа и повышения информативности параметра S_k комплексный параметр вычислен как для исходных полей (S_k) по всему Центральному участку, так и для значений тех же полей после фильтрации по естественным ортогональным составляющим - $S_{kф}$ (Казапетян, 2018).

Поскольку различные параметры измеряются в неодинаковых единицах, необходимо провести нормировку исходных данных для каждого геофизического параметра следующим образом:

$$x_{jk}^0 = \frac{x_{jk}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_k)^2}} , \quad (7)$$

где x_{jk}^0 - нормированное значение i -го параметра в k -той точке;

\bar{x}_k - среднее значение k -того параметра,

n - количество точек наблюдений для каждого метода.

В выражении (6) a_{kl} являются элементами корреляционной матрицы A , порядок которой определяется количеством используемых параметров. В данном случае порядок корреляционной матрицы $A=3$, поэтому вычислены три собственные значения - $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и соответствующие им собственные векторы: h_{1k}, h_{2k}, h_{3k} . По существу, значения собственных векторов h_{1k}, h_{2k} и h_{3k} определяют весовые множители для каждого параметра. В практике в основном используется первое - максимальное собственное значение - λ_1 , и соответствующий ему собственный вектор $h_{1k}=(h_{11}, h_{12}, h_{13})$. Комплексный параметр S_k по исходным данным вычисляется для максимального собственного значения.

В табл.1 представлены собственные значения - λ_i и соответствующие им собственные векторы.

Проведенные исследования показали, что первое собственное значение иногда дает всего лишь 38,97% вклада и надо использовать

кроме первого также второе - λ_2 и третье - λ_3 собственные значения и соответствующие им собственные векторы:

$h_{2k}=(h_{21}, h_{22}, h_{23})$; $h_{3k}=(h_{31}, h_{32}, h_{33})$. В таблице 2 представлены значения λ_i и h_{ik} после фильтрации исходных данных.

Результаты работ представлены в виде кривых S_k и $S_{k(\Phi)}$ на примере профиля 7 Центрального участка (Участок 1) Меградзорского месторождения. Рассчитаны значения комплексного параметра S_k как для исходных данных (рис.1, кривая 3), так и после фильтрации этих данных методом главных компонент $S_{k(\Phi)}$ (рис.1, кривая 4).

Как видно из таблицы 1, для максимального $\lambda_1=1543,3$ из трех компонент вектора h_{ik} самым информативными является $h_{13} = 0.809$, который определяет параметр ΔZ (в комплексе ΔZ третий метод при вычислении параметра S_k). Следовательно, при использовании значений S_k для первого собственного значения λ_1 самым информативным в комплексе оказывается параметр ΔZ .

Для значений S_k при λ_2 и λ_3 информативными оказались $h_{22} = 0.993$ и $h_{31} = 0.816$, которые соответствуют параметрам ρ_k и $U(EЭП)$. Выявлено, что значения S_k , вычисленные для λ_2 и λ_3 , несут характер кривых ρ_k и $U(EЭП)$ соответственно. Та же картина наблюдается в табл.2 для параметра $S_{k\Phi}$ после фильтрации исходных значений наблюдаемых полей.

Таблица 1

Значения λ_i и h_{ik} для исходных значений наблюдаемых полей по профилю 7 Центрального участка.

$\lambda_i \backslash h_{ik}$	h_{i1}	h_{i2}	h_{i3}
$\lambda_1 = 1543,3$	0,549	-0,210	0,809
$\lambda_2 = 493,6$	-0,109	0,993	0,0284
$\lambda_3 = 470,2$	0,816	-0,072	-0,573

По кривой $S_{k\Phi}(\lambda_2)$ (для фильтрованных значений исходных данных) на рисунке 1 выделяются известная зона II, а также предполагаемые зоны I, III, IV(кривая 4).

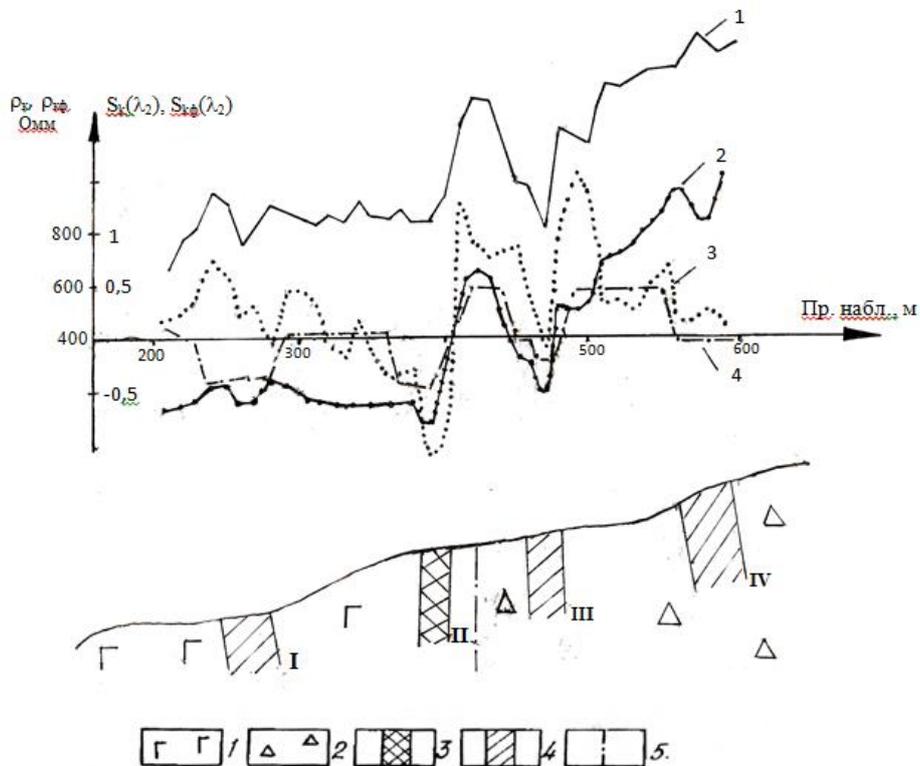


Рис.1. Кривые ρ_k (1), ρ_{kf} (2), $S_k(\lambda_2)$ (3), $S_{kf}(\lambda_2)$ (4) по профилю 7 Центрального участка Меградзорского месторождения:
 1 –агломератовые туфы и туффиты; 2 –сиенит-диориты;
 3 –известная золоторудная зона; 4- предполагаемые рудные зоны;
 5 –предполагаемый контакт пород.

Таблица 2

Значения λ_i и h_{ik} после фильтрации исходных значений наблюдаемых полей по профилю 7 Центрального участка

h_{ik}	h_{i1}	h_{i2}	h_{i3}
λ_i			
$\lambda_1 = 2194,98$	0,025	0,039	0,998
$\lambda_2 = 37,99$	0,705	0,906	-0,066
$\lambda_3 = 35,82$	0,805	-0,709	0,009

Исходя из характера изменения значений $S_{kf}(\lambda_1)$, $S_{kf}(\lambda_2)$, $S_{kf}(\lambda_3)$, учитывая физические свойства пород данного участка, выделяется контакт пород вмещающих сред – агломератовые туфы и туффиты с сиенит – диоритами.

Проведенные исследования показали, что более информативными оказались значения $S_{k\phi}(\lambda_2)$ (рис. 1, кривая 4), полученные после фильтрации исходных данных и при выявлении слабых аномалий они более эффективны.

Выводы:

- Для выделения слабых геофизических аномалий предварительная фильтрация исходных данных повышает информативность комплексного параметра S_k .
- Выявлено, что при доминирующем числе электроразведочных методов в комплексе надо вычислить параметр $S_{k\phi}$ для всех собственных значений корреляционной матрицы A исходных полей.

Литература

- Амирян Ш. О. 1984. Золоторудные формации Армянской ССР, Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 303с.
- Карапегян К.А. 2018. Возможности использования линейных фильтров при обработке геофизических данных (на примере Меградзорского месторождения РА). Изв. НАН РА, Науки о Земле, т. 71, № 3, с. 51-58
- Комплексные геофизические исследования на флангах и подземных выработках Меградзорского месторождения. Договорной отчет, Фонды ИГИС, Ленинакан, 1986, 98с.
- Никитин А.А. 1979. Статистические методы выделения геофизических аномалий. М., Недра, 280 с.
- Никитин А.А., Петров А.В. 2013. Теоретические основы обработки геофизической информации. Москва, Изд. ВНИИгеосистем, 118с.
- Трофимова Т.А., Никитин А.А. 1975. Корреляционный способ обработки данных геофизического комплекса. Изв. вузов, Геология и разведка, №9, с.92 -99
- Anstey N.A. 1964, Correlation techniques. Geophysical. Prosp., v. XII, N4, pp 355-382
- Chayes F., 1971, Ratio correlation, University of Chicago Press, 108 p.
- Morrison D.F. 1967. Multivariate statistical methods. McGraw Hill, New York, 338 p.
- Till R. 1974. Statistical methods in Earth sciences. John Wiley and Sons, Inc., New York, 154p.
- Treatise on Geophysics, 2015. Second edition, Johns Hopkins University, Elsevier, LA, 595 p,

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ՄԵԿՆԱԲԱՆՈՒՄԸ ԿՈՐԵԼՅԱՑԻՈՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Վարապետյան Կ. Ա., Չիլինգարյան Ա.Ջ.

Ամփոփագիր

Հոդվածը ներկայացնում է ՀՀ Մեղրաձորի ոսկու հանքավայրում ստացված համալիր երկրաֆիզիկական տվյալները կորելյացիոն մեթոդով մշակման ժամանակ առավել արդյունավետ եղանակների գնահատումը: Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ նախնական տվյալների ֆիլտրացիան բարձրացնում է S_k համալիր պարամետրի ինֆորմատիվությունը, մասնավորապես, երբ համալիր պար-

բամետրը որոշվում է կորելյացիոն մատրիցի բոլոր սեփական արժեքների համար:

CORRELATION METHOD FOR COMPLEX INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL DATA

Karapetyan K. A., Chilingaryan A.Z.

Abstract

The presented article is devoted to evaluating the correlation method effectiveness for processing data of a geophysical complex from the methods of magnetic prospecting, natural electric field and resistance method (CEF). It was found that pre-filtering of data increases the information content of the complex parameter S_k , and with the dominant number of electrical exploration methods in the complex, it is necessary to calculate the parameter S_k for all eigen values of the correlation matrix of the initial data.