

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ФИЛЬТРОВ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ
(на примере Меградзорского месторождения РА)**

© 2018 г. К.А. КАРАПЕТЯН

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА
Гюмри, 3115, ул. В. Саргсяна, 5, Республика Армения
e-mail: Kara.Karapetyan@gmail.com
Поступила в редакцию 12.10.2017г.
Окончательный вариант 30.08.2018г.*

На основании разложения исходного поля на региональные и локальные составляющие с помощью энергетического фильтра решена задача выделения полезного сигнала для сложных электрических полей. Представлены результаты двумерной энергетической фильтрации данных площадных наблюдений, полученных на Меградзорском золоторудном месторождении Армении. В статье даны сравнительные оценки значений дисперсий по использованным методам (комбинированное электропрофилирование, естественное электрическое поле, магниторазведка).

Ключевые слова: аномалия, слабый сигнал, помеха, статистическая обработка, линейный фильтр, собственные значения

Одна из основных задач обработки любого геофизического поля – это выделение аномалий на фоне помех. Для решения этой задачи в последнее время в разведочной геофизике широко применяются линейные фильтры. Учитывая неизбежное изменение физических свойств горных пород и геометрических характеристик исследуемых объектов по площади наблюдений, наиболее обоснованным следует считать задание статистической модели наблюдаемого поля по формуле(1) (Гольцман, 1971;Robinson, Treitel, 1980)

$$f_j = S_{\text{рег}j} + S_{\text{лок}j} + n_j, \quad (1)$$

где f_j – исходное поле; $S_{\text{рег}j}$ – региональная составляющая исходного поля, $S_{\text{лок}j}$ – локальная составляющая исходного поля, n_j – помехи.

Наша задача - выделение локальных сигналов (аномалий), когда прежде всего важно установить наличие или отсутствие сигнала, искаженного помехами. При этом исходят из того, что фильтрация должна обеспечить максимальное отношение сигнал/помеха даже при существенном искажении формы сигнала, что очень важно. При такой постановке задачи требуется выбор фильтра, оптимального по критерию максимума пикового отношения сигнал/помеха - ρ (λ), который на выходе фильтра вычисляется по формуле(Гольцман, 1971)

$$\rho = \lambda = \frac{\bar{h}'[R_a]\bar{h}}{\bar{h}'[R_n]\bar{h}}, \quad (2)$$

где \vec{h}' - вектор строка, \vec{h} - вектор столбец весовых коэффициентов фильтра,
 R_a - корреляционная матрица аномалий исходного поля,
 R_n - корреляционная матрица помехи исходного поля.
 После последующих преобразований имеем

$$[R_a] \vec{h} - \lambda [R_n] \vec{h} = \vec{0} \text{ или } ([R_a] - \lambda [R_n]) \vec{h} = \vec{0}, \quad (3)$$

При этом максимум λ ищут среди функций h , удовлетворяющих условию нормирования

$$\sum_{i=1}^m h_{ij}^2 = 1; j = 1, \dots, m; \text{ где } m - \text{порядок матрицы } [R_a] \text{ (Никитин, 1979).}$$

При статистической обработке геофизических данных для облегчения задачи помехи считают некоррелированные, с единичной дисперсией. Тогда выражение (3) превращается в уравнение

$$([R_a] - \lambda [I]) \vec{h} = \vec{0}, \quad (4)$$

где R_a и R_n - корреляционные матрицы соответственно сигнала и помехи, $[I]$ - единичная диагональная матрица.

Выражения (3) и (4) позволяют вычислить весовую функцию энергетического фильтра как собственный вектор h_{ik} , соответствующий максимальному собственному значению λ_{\max} корреляционной матрицы $[R_a] - \lambda [R_n]$.

Таким образом, задача нахождения весовой функции выбранного нами энергетического фильтра (как одного из вариантов из линейных фильтров), сводится к определению максимального собственного значения λ_{\max} некоторой корреляционной матрицы и соответствующего ему собственного вектора h_{ik} (Никитин, Петров, 2013).

Энергетический фильтр осуществляет сглаживание со среднеквадратической погрешностью, незначительно превосходящей погрешность фильтра Колмогорова - Винера, в то же время он позволяет решить задачу обнаружения при незначительном искажении формы сигнала, поскольку основан на максимизации энергии сигнала к мощности помехи в отличие от максимизации пикового отношения сигнал/помеха для фильтра обнаружения (Карапетян, 2011; Карапетян, Чилингарян, 2014; Lines, Castagna, 2001).

При обработке данных площадных наблюдений матрица исходных данных умножается на вектор - столбец фильтра h_{ik} , образуя вектор $Y_{ik} = (Y_{11}, Y_{21}, \dots, Y_{n1})$, т.е.

$$\begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & \dots & f_{N1} \\ f_{12} & f_{22} & \dots & f_{N2} \\ - & - & - & - \\ f_{1n} & f_{2n} & \dots & f_{Nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ \vdots \\ h_{1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{21} \\ \vdots \\ Y_{n1} \end{bmatrix} \text{ или } Y_{i1} = \sum_{k=1}^N f_{ki} h_{1k}, \quad (i= 1, 2, \dots, n). \quad (5)$$

Для решения поставленной нами задачи, региональная составляющая вычисляется по формуле (6)

$$Y_{ij}^{per} = \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{21} \\ \vdots \\ Y_{n1} \end{bmatrix} [h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1N}] + \bar{F}_k = \begin{bmatrix} Y_{11}h_{11} + \bar{F}_1 & Y_{11}h_{12} + \bar{F}_2 & \dots & Y_{11}h_{1N} + \bar{F}_N \\ Y_{21}h_{11} + \bar{F}_1 & Y_{21}h_{12} + \bar{F}_2 & \dots & Y_{21}h_{1N} + \bar{F}_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1}h_{11} + \bar{F}_1 & Y_{n1}h_{12} + \bar{F}_2 & \dots & Y_{n1}h_{1N} + \bar{F}_N \end{bmatrix} \cdot \quad (6)$$

При использовании линейных фильтров, обычно используется только первый (максимальный) собственный вектор - λ_{max} , что приводит к потере полезной информации. Для получения полной оценки исследуемого поля в данной работе исследованы возможности фильтра при использовании всех собственных значений матрицы R_a .

Для этого, располагая собственные значения матрицы исходных данных R_a по их убыванию $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$ и решая для каждого из них систему уравнений из (6), находим соответствующие им весовые функции h_{ik} .

Цель работы - оценка возможностей линейных фильтров при повышении информативности геофизических наблюдений, в частности, при интерпретации результатов наблюдений электроразведочными методами.

Научная новизна представленных исследований состоит в том, что энергетический фильтр, в основном, используется при статистической обработке данных гравиразведки и магниторазведки (Никитин, 1979). В представленной работе изучены возможности использования данного фильтра при обработке весьма сложных электрических полей.

В статье по изложенной выше методике решена эта задача при обработке и интерпретации данных полевых наблюдений, полученных на Меградзорском золоторудном месторождении Армении. Выбран Участок 1, где наблюдения проводились по одиннадцати профилям, ориентированным в крест простирания "слепого" рудного тела. На месторождении оруденение представлено кварцевыми жилами, прожилками и линзами, заключенными в зонах гидротермально измененных пород (Амирян, 1984). Из большого объема данных площадных наблюдений выбраны геофизические методы естественного электрического поля (ЕЭП), сопротивления (комбинированное электропрофилеирование - КЭП) и магниторазведки (Карапетян, Чилингарян, 1998; Карапетян, 2007; Фонды ИГИС, 1986; Фонды ИГИС, 1993).

При магниторазведке измерялась вертикальная составляющая напряженности магнитного поля, которая характеризуется сравнительно низкими значениями ΔZ_a . В ходе статистической обработки данных ΔZ было подтверждено уточнено расположение предполагаемой рудной зоны.

Данные наблюдений по методам комбинированного электропрофилеирования и естественного электрического поля также нуждались в более надежной оценке и количественной интерпретации, так как аномалии по этим методам выражены нечетко (Фонды ИГИС, 1986).

Результаты обработки данных магниторазведки в виде карт изолиний исходных значений (а) вертикальной составляющей напряженности геомагнитного поля ΔZ и локальных аномалий и (б), полученные после фильтрации исходных данных, представлены на рис.1. Как видно из рисунка, нулевая изолиния на карте (рис.1б) проходит от восточной границы участка до западной, рядом с рудным телом, известным по геолого – геофизическим данным. Наблюдается вытянутость изолиний по направлению рудного тела.

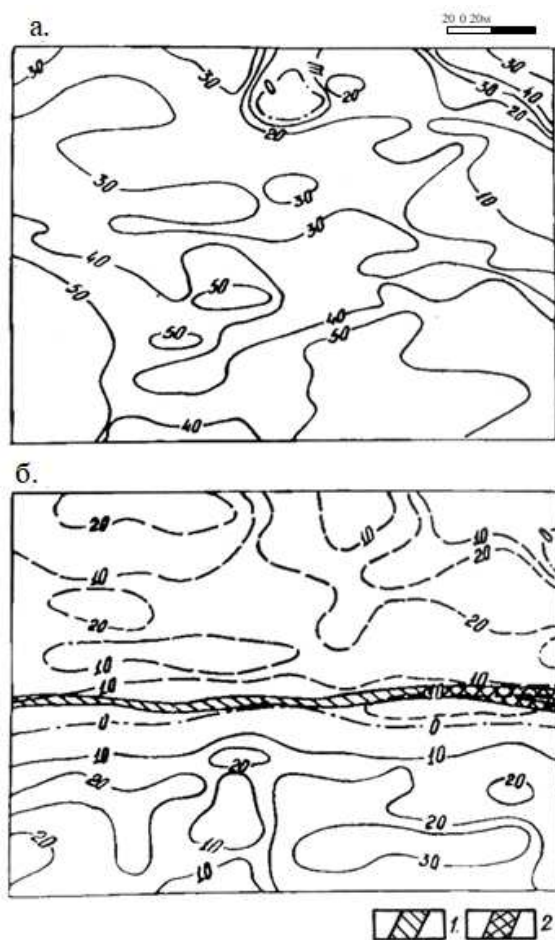


Рис.1. Выделение локальных аномалий ΔZ на основе разложения поля по собственным векторам.
 а - исходное поле ΔZ (нТл); б- локальная составляющая, полученная после фильтрации данных ΔZ .
 1- предполагаемая кварц-сульфидная зона по геофизическим данным
 2- известная рудная зона.

На рис.2а представлена карта изолиний исходных значений кажущегося удельного сопротивления ρ_k . После фильтрации получены локальные значения поля, представленные изолиниями на рис.2б. Рудное тело

прослеживается по нулевой изолинии с переходом на высокие значения кажущегося сопротивления. Здесь, кроме четко выраженного известного рудного тела, которое на рис.2б обозначено (2), нами выделяется предполагаемое рудное тело, заштрихованное как (1).

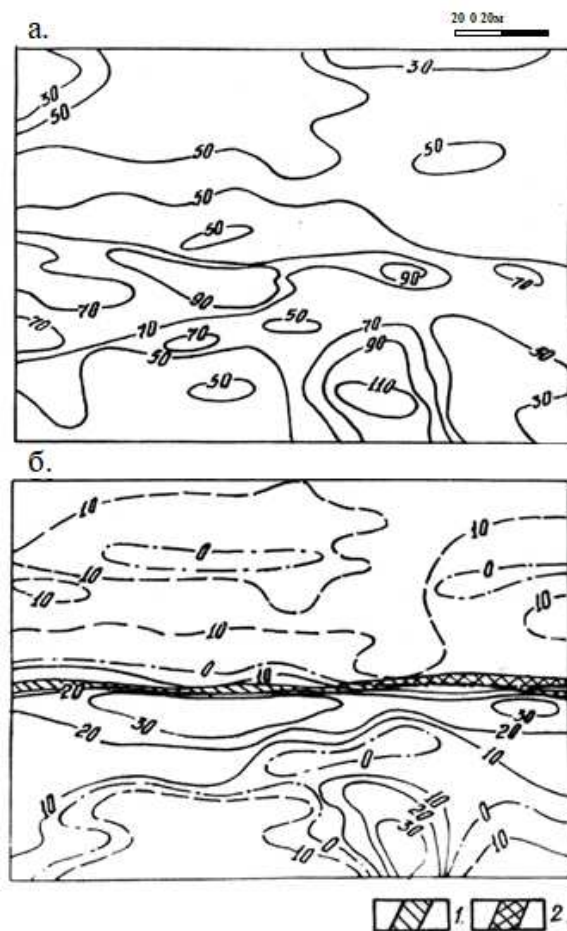


Рис.2. Выделение локальных аномалий ρ_k на основе разложения поля по собственным векторам.

а- исходное поле ρ_k (ом.м); б- локальная составляющая, полученная после фильтрации данных ρ_k .

1-предполагаемая кварц-сульфидная зона по геофизическим данным,

2- известная рудная зона.

Результаты исследований по методу естественного электрического поля представлены на рис.3. Карта изолинии исходных значений ЕЭП приведена на рис.3а, для локальной составляющей – на рис.3б. Из рис.3б видно, что после статистической обработки данных метода комбинированного электропрофилирования рудное тело прослеживается между нулевой и отрицательной изолиниями по всем 11 профилям.

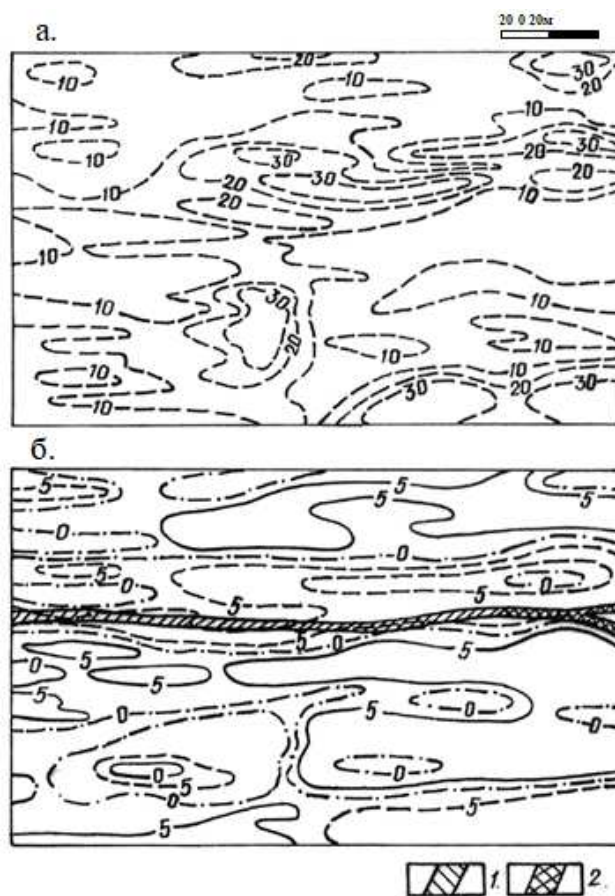


Рис.3. Выделение локальных аномалий ЕЭП на основе разложения поля по собственным векторам.
 а- исходное поле ЕЭП; б- локальная составляющая, полученная после фильтрации данных ЕЭП.
 1-предполагаемая кварц-сульфидная зона по геофизическим данным,
 2- известная рудная зона.

Результаты статистической обработки по всем трем методам подтверждают положение известного рудного тела (2), а также уточняют расположение предполагаемого рудного тела (1), определяя его протяженность по всем одиннадцати профилям наблюдений.

Надо отметить, что аномалии, полученные методом естественного электрического поля совпадают с аномалиями кажущегося электрического сопротивления с некоторым расхождением, что связано с наклонным падением околорудной вкрапленной минерализации.

Оценены также собственные значения и соответствующие им собственные векторы корреляционной матрицы исходных данных. Сопоставлены суммы вкладов собственных значений в общую дисперсию для каждого геофизического метода.

Проведенные исследования показали, что при применении метода магниторазведки первые два собственных значения дают более 98% суммы вкладов в общую дисперсию, т.е. можно ограничиться первыми двумя собственными значениями. Для метода электрического сопротивления же сумма вкладов достигается при трех собственных значениях, а при методе ЕЭП этот результат получается с учетом всех шести собственных значений.

Выводы:

- Вычисление по корреляционной матрице исходного поля целого ряда собственных значений и соответствующих им собственных векторов, т.е. весовых функций позволяет использовать энергетический фильтр для решения задачи выделения полезных сигналов по их энергии для весьма сложных электрических полей.
- Линейные фильтры можно эффективно использовать для уточнения электроразведочных аномалий и повышения достоверности геофизической информации.
- По сравнительным оценкам суммарных дисперсий можно определить достаточное число используемых собственных значений при энергетической фильтрации геофизических данных.

Литература

- Амирян Ш. О.** 1984, Золоторудные формации Армянской ССР, Ереван, Изд. АН АрмССР, 303с.
- Гольцман Ф. М.** 1971, Статистические модели интерпретации. М., Наука, 327с.
- Карапетян К.А., Чилингарян А.З.** 1998, Применение корреляционного способа обработки геофизических данных на Меградзорском месторождении (Армения). Изв. НАН РА, Науки о Земле, LI, №1-2, с.114-117
- Карапетян К.А., Чилингарян З.А.** 2007, Определение оптимальных параметров окна для самонастраивающейся фильтрации. Изв. НАН РА, Науки о Земле, LX, № 3, с.53-58
- Карапетян К.А.** 2011, Результаты одномерной энергетической фильтрации данных электроразведки. Геоинформатика, М., Изд. ВНИИгеосистем, № 3, с.23-28
- Карапетян К.А., Чилингарян А.З.** 2014, Статистические методы обработки данных наблюдений при сравнительной оценке возможностей геофизических методов. Геофизика, ЕАГО, М., «Издательство ГЕРС», № 4, с.59-63
- Комплексные геофизические исследования на флангах и подземных выработках Меградзорского месторождения. 1986, Договорной отчет, фонды ИГИС, Ленинакан, 98с.
- Никитин А.А.** 1979, Статистические методы выделения геофизических аномалий. М., Недра, 280с.
- Никитин А.А., Петров А.В.** 2013, Теоретические основы обработки геофизической информации. М., Изд. ВНИИгеосистем, 118с.
- Оценка перспективности флангов действующих рудных месторождений с использованием комплексных геолого-геофизических данных наземных и подземных наблюдений, (на примере Меградзорского золоторудного месторождения). 1993, Науч.-техн. отчет, фонды ИГИС, Гюмри, 78с.
- Lines Larry, Castagna John P., Treitel Swen** 2001, Geophysics in the new millennium. Geophysics, № 1, p.14
- Robinson E.A. and Treitel S.V.** 1980, Geophysical signal analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., 486p.

Рецензент С.Назаретян

**ԵՐԿՐԱՏԻԶԻԿԱԿԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ
ԳԾԱՅԻՆ ՏԻԼՏՐԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
(ՀՀ Մեղրաձորի հանքավայրի օրինակով)**

Կ. Ա. Կարապետյան

Ամփոփագիր

Հոդվածում ներկայացված են ՀՀ Մեղրաձորի ոսկու հանքավայրում մակերևութային չափումներից ստացված տվյալների երկչափ էներգետիկ ֆիլտրացիայի արդյունքները: Նախնական դաշտի արժեքները էներգետիկ ֆիլտրով մշակմամբ ռեգիոնալ և լոկալ բաղադրիչների անջատելու միջոցով լուծվել է բավական բարդ էլեկտրական դաշտերի համար օգտակար ազդանշանի անջատման խնդիրը: Հիմնավորվել է գծային ֆիլտրերի կիրառման արդյունավետությունը: Ներկայացված երկրաֆիզիկական մեթոդների համար (կոմբինացված էլեկտրապրոֆիլավորում, բնական էլեկտրական դաշտ, մագնիսահետախուզություն) տրվել է դիսպերսիայի արժեքների համեմատական գնահատականը:

**POSSIBILITIES OF LINEAR FILTERS USING/APPLICATION
IN THE PROCESSING OF GEOPHYSICAL PROSPECTING DATA
(On the example of the Megradzor deposit)**

K. A. Karapetyan

Abstract

The paper presents the results of two-dimensional energy filtering of the data from area observations, obtained at the Megradzor gold deposit in Armenia. Decomposition of the original field on the regional and local components through energy filter solves the problem of separating the useful signal for a very complex electric fields. The application of linear filters is substantiated. A comparative estimation of the dispersion values for the used geophysical methods (combined electrical profiling, natural electric field, magnetic prospecting) is given.