

А. Г. ТАРХОВ

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Сравнительно недавно было выдвинуто предложение о статической обработке данных геофизического опробования, имеющей целью получение наиболее достоверных средних значений физических параметров горных пород и руд.

Необходимость последнего определяется хотя бы тем, что при полевых геофизических съемках всегда приходится иметь дело с полями, уже естественным образом до некоторой степени осредненными. В опубликованной по этому вопросу статье [6] было также высказано мнение о том, что область применения средств математической статистики в разведочной геофизике может быть значительно расширена и, в частности, распространена на само проведение геофизических работ и интерпретацию получаемых результатов. При этом, конечно не имелась в виду радиометрия, в которой благодаря статистическому характеру регистрируемого радиоактивного распада эти средства уже используются сравнительно широко.

Ниже приводится краткое обсуждение современного состояния поднятого вопроса и даются некоторые рекомендации по дальнейшим исследованиям.

1. Применяемые сейчас аналитические решения прямых и обратных задач, как известно, являются основой современных методов количественной интерпретации геофизических данных. При этом совершенно неизбежной оказывается известная идеализация формы и эффективных физических свойств возмущающих объектов*, границ раздела различных сред и прочих определяющих условий. Как следствие, возникают известные погрешности расчетов и получаемый результат в общем случае является лишь только более или менее близкой аппроксимацией к истинной величине. В несколько меньшей степени это обстоятельство проявляется и при моделировании.

Указанный недостаток, однако, не имеет решающего значения и как теоретические вычисления, так и данные моделирования широко используются в разведочной геофизике. Пожалуй, более серьезным является другое обстоятельство, на которое до недавнего времени не обращалось достаточного внимания.

* Т. е. степени отличия их от вмещающих и перекрывающих пород.

Дело в том, что аналитическое решение любой задачи геофизики базируется на основном и весьма существенном допущении того, что аномалия поля, обусловленная тем или иным геологическим объектом, может быть выделена в чистом виде. В реальной же обстановке это условие, конечно, почти никогда не соблюдается и наблюдаемые поля обычно в той или иной мере искажены за счет влияния разнородных помех. Под последними следует понимать все то, что осложняет как само проведение геофизических измерений или наблюдений, так и интерпретацию получаемых результатов. Так, например, индустриальные токи в земле, микросейсмы, геомагнитные вариации оказывают воздействия на данные, соответственно, электроразведки, сейсморазведки, магниторазведки. С другой стороны, неоднородности в коренных породах (неравномерное выветривание) и, особенно в наносах, рельеф видимый и погребенный и многие другие факторы часто сильно влияют на данные всех без исключения методов геофизических исследований. К тому же, нередко, аномалии приобретают сложный характер, поскольку они вызываются несколькими, близко расположенными геологическими объектами (например, рудными телами).

Искажающие влияния помех иногда становятся настолько интенсивными, что не позволяют применить более совершенную методику наблюдений или приборы повышенной чувствительности, поскольку достигаемое при этом увеличение точности является не действительным, а лишь кажущимся [4]. По той же, главным образом, причине оказываются практически мало пригодными так называемые методы чистой аномалии, в которых тем или иным искусственным путем достигается уменьшение нормального, т. е. первичного поля в точке приема [5].

В практике геофизических работ до сих пор использовались два пути борьбы с помехами.

Первый из них—чисто технический. Так, применение пульсатора или осциллографической записи в некоторых случаях позволяет при электроразведочных работах избавиться от влияния блуждающих токов индустриального происхождения. Использование вариационных станций или проведение одновременных (спаренных) наблюдений двумя приборами дает возможность исключить непостоянство геомагнитного поля во времени. В сейсморазведке применяют группирование приемников и т. д.

Второй путь—введение соответствующих поправок, рассчитанных теоретически, а также полученных с помощью моделирования или путем сравнения с результатами полевых работ в аналогичных условиях на хорошо изученном участке сходного геологического строения. Наиболее часто таким образом находят топографические влияния в гравиразведке.

Оба эти направления, конечно, в некоторой мере облегчают как проведение полевых работ, так и геологическую интерпретацию ре-

зультатов. Однако каждое из них обладает существенными недостатками и даже совместное их использование во многих случаях не позволяет получить удовлетворительного решения задачи. Главной причиной этого является именно уже упоминавшееся многообразие источников помех, затрудняющее учет и исключение создаваемых ими искажений того или иного поля. Но как раз это обстоятельство и позволяет считать искажения геофизических полей имеющими статистический характер и применить для их исключения специфическую методику.

Таким образом, в общем случае при любом геофизическом исследовании прежде всего возникает задача выделения искомой аномалии на фоне искажающих помех.

2. Аналогичная по характеру задача давно поставлена и в значительной степени уже решена в радиолокации, где большой интерес представляет выделение слабых отраженных сигналов от удаленных целей на фоне интенсивных искажающих радишумов, которые могут быть, таким образом, рассматриваемы как помехи.

Достигнутые в этом направлении успехи позволили настолько увеличить дальность действия установок, что, например, оказалась возможной радиолокация ближайших планет—Луны, Венеры, Марса. Основную роль при этом сыграло использование для обработки данных наблюдений следствий из одного раздела математической статистики, который был назван теорией информации.

Получив свое начало в радиолокации, эта теория в дальнейшем стала применяться и в ряде других отраслей техники, вплоть до машинного перевода текстов с одного языка на другой.

До недавнего времени вопросы статистической обработки полевых геофизических данных ставились, главным образом, в применении к сейсморазведке [9], где одновременно для достижения той же цели, увеличения отношения сигнал/шум использовались и другие средства, например, способ накопления. Сейчас появляются работы, касающиеся и других методов, особенно гравиразведки и магниторазведки [8]. Наряду с американскими выступают и советские исследователи. Из их числа особо следует отметить И. Г. Клушина, решившего практически важную задачу выделения геофизических аномалий, по интенсивности меньших среднеквадратичной погрешности измерений [2]. Оперируя с теоретически рассчитанной гравитационной аномалией, осложненной влиянием случайных погрешностей измерения*, с помощью фильтрации результирующей кривой он достиг увеличения отношения: аномалия/погрешность в 4,1 раза. Тем самым оказалось возможным выделить аномалию в 0,5 мгл при размахе погрешностей в $\pm 1,0$ мгл.

* В соответствии с вышеприведенным, их также можно рассматривать как помехи.

Очень интересна статья Л. А. Халфина, поставившего вопрос о разработке теории информационной методики интерпретации геофизических данных [7]. В ней уже прямо рассматривается вопрос о теоретическом учете искажений полей, возникающих под влиянием помех.

Несмотря на некоторую схематичность, все же эта работа может быть использована в практических целях; хотя, конечно, содержащиеся в ней рекомендации общего характера требуют значительного развития и конкретизации применительно к частным задачам разведочной геофизики. Столь же необходимым представляется их подкрепление и иллюстрация практическими примерами.

3. Несмотря на большое многообразие возможных приемов математической обработки геофизических данных, все они выполняют роль фильтра, аналогичного фильтру электрическому, и преследуют цель выделения аномалий (сигнала) на фоне более или менее интенсивных помех (шума). При этом конечно, нет никаких оснований рассчитывать на увеличение объема полезной информации сигнала, наоборот, последний может уменьшиться. Однако, вследствие более или менее значительного подавления вредной информации—шума—отношение: аномалия/помеха возрастает. Чтобы продемонстрировать достигаемые при этом преимущества ограничимся приведением двух примеров численного моделирования, первый из которых взят из американского источника [9], а второй составлен нами.

На фиг. 1 показана результирующая кривая *D*, полученная графическим сложением кривых *A*, *B* и *C*, представляющих, соответственно, низкие, средние и высокие частоты некоторой исследуемой величины. Это обезличенная кривая, взятая в самом общем виде. Она может, например, представлять геологический разрез, составленный по геофизическим данным, профиль наблюдений ускорения силы тяжести, кажущегося сопротивления, напряженности магнитного поля или просто является частью осциллографической записи (сейсмической, электротеллурической и т. д.).

Проведем обработку кривой *D* последовательным осреднением. При этом составляем средние значения по 2, 3, 5, 7, 9 и 13 равноудаленным точкам и строим соответствующие кривые.

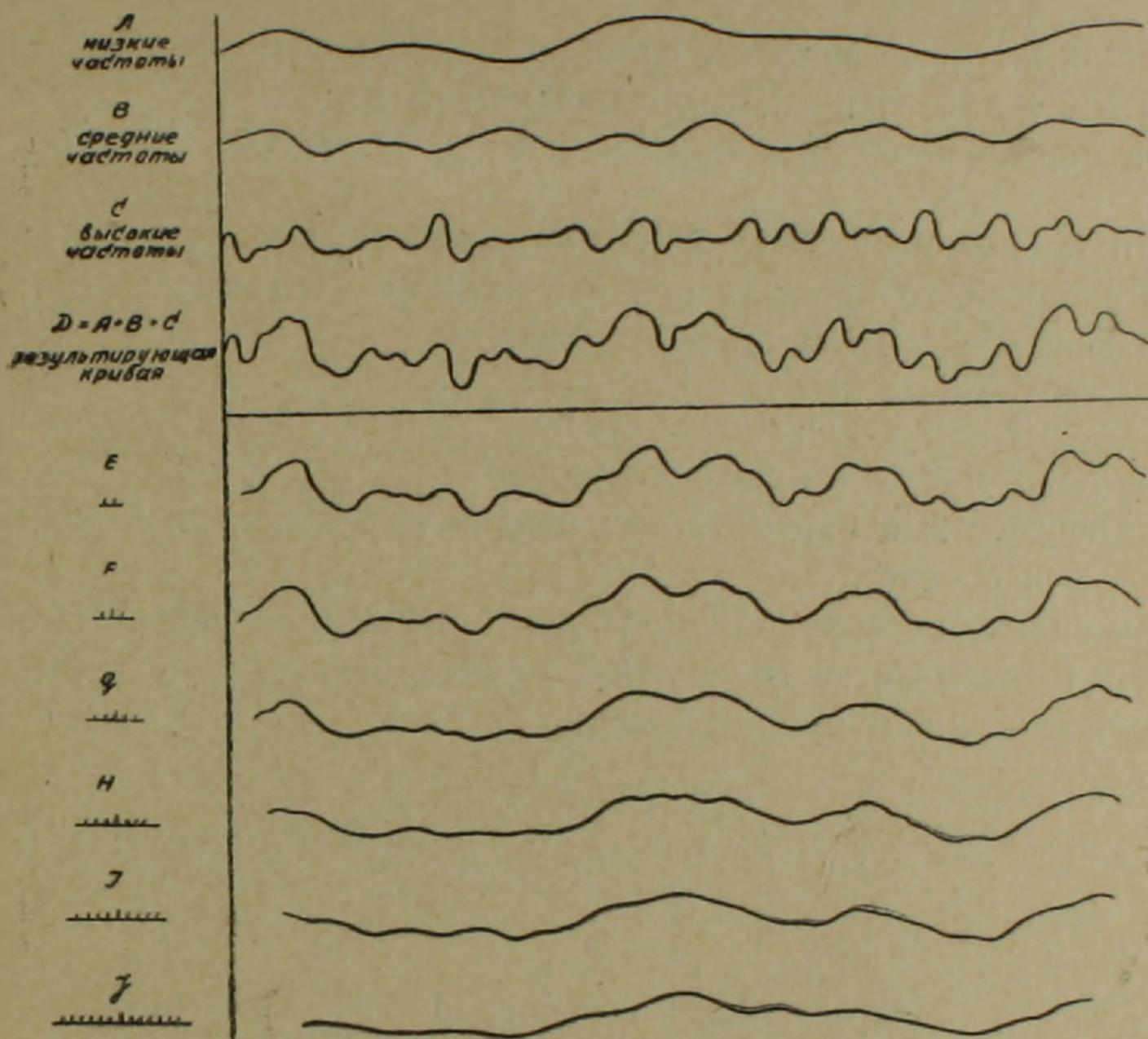
Число используемых точек и их расположение показаны слева от графиков. В каждом случае расстояния между соседними точками брались одинаковыми, а среднее значение относилось к центру группы.

Из рассмотрения этих кривых видно, что по мере увеличения числа точек сначала пропадают наиболее высокие частоты, затем средние и, наконец, остаются лишь низкие частоты, причем и они оказываются несколько подавленными. В последнем легко убедиться, сравнивая, например, кривые *A* и *J*. Это находится в соответствии с вышеприведенным замечанием о том, что при обработке объем инфор-

мации может даже уменьшаться, но отношение: аномалия/помеха* растет.

Поэтому на кривых F или G низкие частоты проявляются гораздо отчетливее, чем на результирующей кривой D , которую можно считать наблюдаемой.

Это пример наиболее простой обработки данных. Существуют и другие, более сложные способы: последовательных конечных разно-



Фиг. 1. Обработка результатов наблюдений способом последовательных разностей.

стей построения остаточных кривых и т. д. Они достаточно полно описаны в опубликованной литературе [9].

Остановимся на одном специальном способе обработки, вытекающем непосредственно из теории информации и, насколько нам известно, в разведочной геофизике до сих пор неопробованном. Он получил название способа обратной вероятности. Отсылая за теоретическим обоснованием к специальной литературе [1], дадим пример практического его использования на конкретном материале. Пусть ожидаемый сигнал $U(x)$ имеет такую форму и должен появиться на том участке профиля или в тот промежуток времени, как это показано на рис. 2-а. Сигналом может быть импульс тока, упругой волны, электромагнитного поля или какая-либо геофизическая аномалия:

* В данном примере — отношение интенсивностей сигналов низкой и высокой частоты.

магнитная, гравитационная и т. д. Численные величины $U_{(x_i)}$, взятые через постоянный интервал Δx , даются рядом:

$$U_{(x_1)}, U_{(x_2)}, U_{(x_3)} \dots U_{(x_k)} \quad (a)$$

Выпишем ряд случайных отклонений—измеренных значений $N_{(x_i)}$, удовлетворяющих закону нормального распределения (3):

$$N_{(x_1)}, N_{(x_2)}, N_{(x_3)} \dots N_{(x_m)} \quad (б)$$

и представим его графически, с тем же интервалом между соседними точками Δx , в виде кривой, изображенной на рис. 2-б.

Эта кривая вероятных ошибок и будет аппроксимировать шумы-помехи.

При выборе масштабов отношение наибольших величин сигнала и шума вдоль всего профиля принято близким к единице.

На фиг. 2-в дан суммарный график

$$\rho(x_i) = U_{(x_i+x_0)} + N(x_i)$$

где: x_i — попережнему текущая координата;

а x_0 — неизвестный параметр, определяющий положение сигнала на оси абсцисс.

Как видим, не зная „предыстории“ этой кривой, выделить полезный сигнал оказывается совершенно невозможным.

Составим суммы произведений:

$$\sum_{i=1}^k U_{(x_i)} \cdot \rho(x_i); \sum_{i=1}^k U_{(x_i)} \cdot \rho(x_{i+1}); \sum_{i=1}^k U_{(x_i)} \cdot \rho(x_{i+2})$$

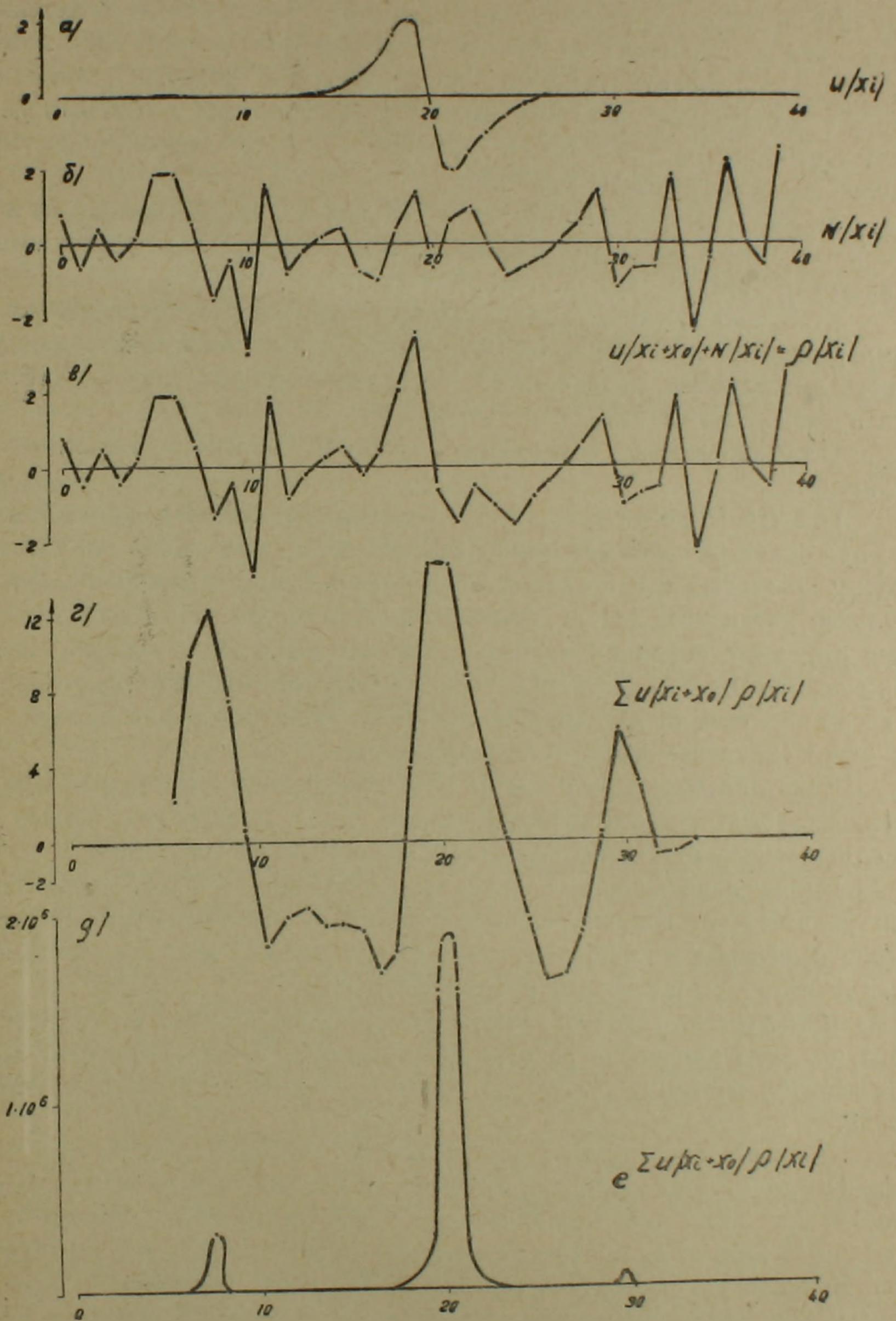
$$\sum_{i=1}^k U_{x_i} \cdot \rho(x_{i+m-k}).$$

При этой операции ряд (а) последовательно перемещается вдоль ряда (б), каждый раз на один интервал.

Результаты изображены на фиг. 2-г, где местоположение сигнала отмечается максимальным пиком. Для достижения большей наглядности еще рассчитаем величины I^A где A — значения, представленные на фиг. 2-г, и изобразим их графически на фиг. 2-д. После этого, как видим, обнаружение сигнала уже не представляет никаких трудностей.

4. Область приложения в геофизике способов математической обработки исходных данных весьма обширна и многообразна.

Возьмем пример последовательного осреднения, представленный на фиг. 1. Как было показано, этот способ позволяет подавить высокие частоты. Следовательно, его можно рекомендовать тогда, когда целью является выявление основных элементов того или иного геофизического поля, завуалированных влиянием несущественных подробностей второго порядка. Такие случаи часто встречаются при региональных съемках (особенно магнитных и гравитационных). Мето-



Фиг. 2. Пример использования способа обратной вероятности.

дика обработки, конечно, должна быть изменена, если требуется, наоборот, выделить высокочастотные составляющие. Эта задача сходна со снятием нормального фона, применяемым, в частности, при деталь-ных съемках. Сопоставляя два этих взаимно-обратных случая, мож-но также попутно отметить, что, таким образом, понятия сигнал и шум в разведочной геофизике имеют не абсолютный, а относитель-ный характер. То, что в одних условиях является шумом, в других может стать сигналом и наоборот.

Можно одновременно подавить как низкие, так и высокие частоты и тем самым более рельефно выделить сигнал, характеризуемый некоторой средней промежуточной частотой.

Этой цели служит упоминавшийся выше способ последователь-ных разностей, в пределе, при бесконечно малых интервалах между соседними точками, сводящийся к построению первых, вторых, треть-их производных от исходных величин [9].

Особенно велики возможности способа обратной вероятности (фиг. 2).

Прежде всего он должен быть применен в методе радиоволново-го просвечивания для выделения слабого сигнала на фоне интенсив-ных собственных шумов схемы. Тем самым будет достигнуто значи-тельное увеличение дальности действия аппаратуры, что очень важно для районов с породами малого сопротивления, обладающими высо-ким коэффициентом поглощения радиоволн. На тех же основаниях способ обратной информации может быть применен и для борьбы с шумами (микросейсмами) в сейсморазведке.

Нетрудно видеть, что эти задачи совершенно аналогичны выде-лению слабых сигналов в радиолокации, о чем говорилось выше и поэтому каких-либо дополнительных пояснений не требуется.

Второе направление, с которого, собственно, и было начато на-ше рассмотрение вопроса—борьба с помехами—искажениями за счет влияний рельефа, неоднородностей и т. д. Особенно важной эта задача, как известно, является для рудной геофизики [4].

И, в третьих, следует иметь ввиду возможность определения полного вида кривой по данным ограниченного числа измерений, при проведении которых, к тому же, были допущены некоторые погреш-ности.

Ценность последнего станет особенно очевидной, если учесть, что по результатам общей геофизической съемки, до проведения по-следующих деталь-ных исследований со сгущением сети, решение об-ратной задачи, т. е. количественная интерпретация данных, затрудне-но. Нередко это обстоятельство влечет за собой задержку в поста-новке дальнейших проверочных геолого-разведочных работ. С другой стороны, становится возможным нахождение необходимой и доста-точной густоты сети. Как известно, вследствие слабой разработанно-сти данного вопроса во многих случаях выбор сети производится без

строгих оснований. В силу этого возможно неоправданное излишнее сгущение сети или, наоборот, из-за чрезмерного ее разрежения пропуск интересных геологических объектов (контакты разнородных пород, зоны тектонических нарушений, рудные тела, структуры и т. д.).

Наконец, нужно иметь в виду, что наряду со способом обработки вероятности из теории информации можно извлечь много других полезных следствий, которые, в конечном счете, позволят значительно расширить геологические возможности разведочной геофизики.

Осветить этот вопрос с достаточной полнотой в данном предварительном сообщении, к сожалению, оказалось невозможным.

В заключение укажем, что бояться кажущейся громоздкости математической обработки геофизических данных не следует, конечно, если только будут созданы специализированные быстродействующие вычислительные машины, что по-видимому, никаких принципиальных затруднений не встретит.

Московский геолого-разведочный институт им. Г. К. Орджоникидзе

Поступила 4 VII 1959

Ա. Գ. ՏԱՐԵՈՎ

ՀԵՏԱԽՈՒՋԱԿԱՆ ԳԵՈՓԻԶԻԿԱՅՈՒՄ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒԿՋԸ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Հողվածում բերվում է գեոֆիզիկական տվյալների վիճակագրական մշակման վերաբերյալ հարցի ժամանակակից վիճակի համառոտ քննարկումը և արվում են որոշ առաջարկություններ հետագա ուսումնասիրությունների համար:

Գեոֆիզիկական աշխատանքների պրակտիկայում մինչև այժմ օգտագործվում էին խանգարումների դեմ պայքարելու երկու եղանակ: Առաջին եղանակը զուտ տեխնիկական է, իսկ երկրորդը՝ հանգում է համապատասխան ուղղումներ մտցնելուն: Այդ եղանակներից յուրաքանչյուրն ունի էական թերություններ և շատ դեպքերում նույնիսկ նրանց համատեղ օգտագործումը թույլ չի տալիս ստանալու խնդրի բավարար լուծում:

Այսպիսով յուրաքանչյուր գեոֆիզիկական հետազոտության ժամանակ ամենից առաջ ծագում է աղավաղող խանգարումների ֆոնից որոնելի անոմալիայի անջատման խնդիրը:

Ըստ բնույթի նույն տիպի խնդիր վաղուց դրված և մեծ չափով լուծված է ռադիոլոկացիայում: Այդ ուղղությամբ ձեռք բերված հաջողություններում հիմնական դեր է խաղացել մաթեմատիկական վիճակագրության բաժիններից մեկի հետևությունների օգտագործումը դիտողությունների տվյալների մշակման համար, որը անվանվել է ինֆորմացիայի տեսություն:

Մինչև վերջերս վիճակագրական մշակման հարցերը հիմնականում դրվում էին սելսմոհետախուզության նկատմամբ: Այժմ երևան են գալիս նաև

այլ մեթոդներ, հատկապես գրավիհետախուզությանը և մագնիսահետախուզությանը վերաբերող աշխատութիւններ:

Գեոֆիզիկայում սկզբնական տվյալների մաթեմատիկական մշակման եղանակների կիրառման շրջանակները չափազանց ընդարձակ են և բազմազան:

Հաջորդական միջինացման եղանակը հնարավորութիւն է տալիս ոչընչացնել բարձր հաճախականութիւնները: Հետևապես այդ եղանակը կարելի է օգտագործել այն դեպքում, երբ հարկավոր է հայտնաբերել այս կամ այն գեոֆիզիկական դաշտի հիմնական էլեմենտները, որոնք քողարկված են երկրորդ կարգի ոչ էական մանրամասնութիւններով: Այդպիսի դեպքեր հաճախ հանդիպում են ունեցող հանութեան (հատկապես մագնիսոմետրական և գրավիմետրական) ժամանակ:

Եթե ընդհակառակը, պահանջվում է առանձնացնել բարձր հաճախականութիւն բաղադրիչները, ապա մշակման մեթոդը պետք է լինի: Այդ խնդիրը համանման է նորմալ ֆոնի հեռացման հետ, որը կիրառվում է, մասնավորապես, մանրամասն հանութեան ժամանակ: Այսպիսով ազդանշանը և աղմուկը հետախուզական գեոֆիզիկայում ունեն ոչ թե բացարձակ, այլ հարաբերական բնույթ:

Առանձնապես մեծ են հակադարձ հավանականութիւն եղանակի հնարավորութիւնները: Ամենից առաջ նա պետք է կիրառվի ռադիոալիքային թափանցման մեթոդում, սխեմայի ինտենսիվ սեփական աղմուկների ֆոնից թույլ ազդանշանը առանձնացնելու համար: Հակադարձ ինֆորմացիայի եղանակը կարող է կիրառվել նաև սելսմոհետախուզութիւն մեջ աղմուկների (միկրոսելսմների) դեմ պայքարելու համար:

Երկրորդ ուղղութիւնը դա պայքարն է խանգարումների-աղավաղումների դեմ, որոնք առաջանում են ուլթրա, անհամասեռութիւնների և այլ գործոնների ազդեցութիւն հետևանքով: Այս խնդիրը առանձնապես կարևոր նշանակութիւն ունի հանքային գեոֆիզիկայի համար:

Երրորդը՝ դա սահմանափակ թվով չափումների տվյալների հիման վրա կորի լրիվ տեսքը որոշելու հնարավորութիւնն է:

Վերջապես, հարկավոր է ի նկատի ունենալ, որ հակադարձ հավանականութիւն եղանակի հետ միասին ինֆորմացիայի տեսութիւնից կարելի է ստանալ շատ ուրիշ օգտակար հետևութիւններ, որոնք, վերջին հաշվով, հրնարավորութիւն կտան զգալի կերպով ընդլայնելու հետախուզական գեոֆիզիկայի երկրաբանական հնարավորութիւնները:

Գեոֆիզիկական տվյալների մաթեմատիկական մշակման մեծածավալութիւնից չպետք է վախենալ, եթե իհարկե «տեղծվեն մասնագիտացված, արագ գործող հաշվիչ մեքենաներ»:

ЛИТЕРАТУРА

1. Вудворд Ф. М. Теория вероятностей и теория информации с применением в радиолокации. Изд-во «Советское радио», Москва, 1955.
2. Клушин И. Г. О выделении геофизических аномалий, меньших среднеквадратичной погрешности измерений. Известия АН СССР, серия геофизическая, № 2 1959.

3. Морз Ф. М., Кимбелл Д. Е. Методы исследования операций. Изд-во „Советское радио“, Москва, 1956.
4. Тархов А. Г. К использованию магниторазведки в рудных районах. Известия АН СССР, серия геофизическая, № 8, 1956.
5. Тархов А. Г. Об электроразведочных методах чистой аномалии. Известия АН СССР, серия геофизическая № 8, 1957.
6. Тархов А. Г. О статистической обработке результатов массовых определений физических свойств образцов горных пород. Прикладная геофизика, выпуск 20, Гостоптехиздат, 1958.
7. Халвин Л. А. Информационная теория интерпретации геофизических исследований. ДАН СССР, том 122, № 6, 1958.
8. Dean, William C. Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation, Geophysics, vol. XXIII, № 1, January, 1958.
9. Swartz C. A. and Sokoloff U. M.—Tietering Associated with Selektive Sampling of Geophysical Data, Geophysics, vol, XIX № 3, July, 1954.