

Овсов М.К., Шувал-Сергеев В.Н. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКАХ ХРОМИТОВ В ПРЕДЕЛАХ УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

*Предложена методика, которая позволяет эффективно снизить влияние случайной составляющей и в наибольшей степени сохранить информативные компоненты геофизических данных при их обработке. Методика предполагает ведение обработки в два этапа. На первом этапе осуществляется ограничение выдающихся и ураганных значений в ведомости наблюдений, а также фильтрация профильных данных в окне, размер которого не превышает межпрофильное расстояние. Второй этап фильтрации выполняется после построения регулярной двухмерной сети точек. Фильтрация помехи и вычисление трансформант для последующей обработки сопровождается моделированием помехи и количественной оценкой информативности. Полученные результаты дают основание для дальнейшего развития компьютерной технологии обработки профильных геофизических данных. **Ключевые слова:** погрешность, случайная природная изменчивость, помеха, структурные компоненты, моделирование помехи, информативность, достоверность.*

Ovsov M.K., Shuval-Sergeev V.N. (Geologorazvedka)

FEATURES OF COMPUTER PROCESSING OF MAGNETOPROSPECTING DATA BY SEARCHES OF CHROMITES WITHIN ULTRABAZITOVY MASSIFS OF POLAR URAL MOUNTAINS

*The technique reduces effectively the impact of random component (signal-to-noise ratio) and keeps the most informative components of geophysical data during their processing.. The technique involves doing the processing in two stages. The first stage is the limitation of prominent and hurricane values in the statement of observations and filtering of the profile data in the window, the size of which does not exceed iprofile the distance. The second stage filtering is performed after constructing a regular two-dimensional network of points. Noise filtering and calculation of transformants for subsequent processing accompanied by a noise modeling and quantitative evaluation of informativeness. The obtained results provide a basis for further development of computer technologies of processing of relevant geophysical data. **Key words:** error, random natural variability, disturbance, structural components, modeling of noise, informativeness, credibility.*

Геофизические работы с применением трехкомпонентной магнитной съемки (магнитоградиентометрия) проводились в пределах Полярного Урала магнитометрами ММПГ-1 (ФГУНПП «Геологоразведка»). Измерялись три компоненты магнитного поля:

приращение полного вектора магнитного поля по вертикали (dT/dZ). База магниточувствительных бло-

ков (МЧБ) — 1,8 м, нижний МЧБ-1 подключен к первому каналу Т1;

приращение полного вектора магнитного поля по горизонтали (dT/dX), направление штанги от МЧБ-1 к МЧБ-2 вдоль профиля на увеличение номеров пикетов;

приращение полного вектора магнитного поля по горизонтали (dT/dY), направление штанги от МЧБ-1 к МЧБ-2 ортогонально профилю, справа налево по ходу на увеличение пикетажа.

Разность измерений двух датчиков, расположенных на штанге длиной 1,8 м, позволяет получить градиентную характеристику магнитного поля по направлению штанги. Измерения двух каналов в трех ортогональных направлениях — вертикальном, горизонтальном вдоль линии профиля и горизонтальном перпендикулярно ей, позволяют получить три градиентных характеристики магнитного поля в пространстве. Несложные преобразования данных измерений позволяют получить также величину этого изменения (модуль) и его угловые характеристики — склонение в горизонтальной плоскости и наклонение в вертикальной плоскости.

Выполненные работы в смежных масштабах позволили определить геофизические критерии локализации оруденения в ранге рудного поля (1:50 000–1:25 000), месторождения и рудной залежи (1:5 000–1:2 500). Наиболее трудным оказалось найти решение задачи для крупномасштабных исследований. Особенности обработки материалов крупномасштабной магнитной съемки составляют предмет обсуждения этой статьи. Компьютерная обработка проводилась с целью картографирования данных геофизических наблюдений (общая задача) и выявления геофизических критериев локализации оруденения (специальная задача). Для решения этих связанных задач применялись технологии, разработанные в ФГУНПП «Геологоразведка». Известные и широко опубликованные технологии включают методы структурного анализа данных [4, 5], распознавания с обучением [2, 3] и объемного моделирования с расчетом эффективных геофизических параметров в нижнем полупространстве [7, 8].

Характеристика магнитной неоднородности объекта изучения

Методика выполнения полевых наблюдений, обработки площадных и профильных данных, а также представления полученных результатов на участках массива ультрабазитов отработаны в общих чертах в ходе опытно-методических работ на известных месторождениях и рудопроявлениях массива Рай-Из. Эта методика нацелена на выявление локальных рудоконтролирующих структур. Результаты работ показали, что рудоконтролирующие линейные структуры отмечаются отчетливыми аномалиями углов склонения и наклонения вектора градиента магнитного поля. Этот установленный факт объясняется тем, что хромовые руды и вмещающие породы дунит-гарцбургитового комплекса образовались в разные геологические эпохи и имеют различные на-

правления вектора остаточной намагниченности. Наряду с рудоконтролирующими зонами подобными аномалиями углов склонения и наклонения отмечаются разрывные нарушения, а также крутопадающие контакты пород с различными магнитными свойствами. Этот результат был зафиксирован как один из критериев локализации хромового оруденения в ранге месторождения и рудной залежи. Однако профильный характер полевых наблюдений не позволил установить действительность этого критерия в анализе пространственных закономерностей на площади крупномасштабной съемки.

Главной причиной, осложняющей обработку магнитных данных, является крайне высокая степень магнитной неоднородности верхних отложений — курумов и осыпей. На это указывает значительное превышение рассеяния данных измерений, зафиксированных нижним и верхним датчиками при вертикальном расположении измерительной штанги. Так, подсчитанное по ведомости наблюдений среднее квадратическое отклонение (СКО) данных верхнего датчика (Т2Н) составляет 163 нТл, для нижнего датчика (Т1Н) эта характеристика составляет 216 нТл. Второй аргумент, в пользу природного характера наблюдаемой неоднородности извлечен из результатов обработки данных по участкам детализации. В пределах контура площади крупномасштабной магнитной съемки по сети 50×10 м были выполнены более детальные работы по сети 25×5 м на 5 участках с размером в среднем 150×200 м. Данные независимых измерений в контрольных точках, число которых составило 400, в целом показали, что погрешность полевых наблюдений соответствует техническим требованиям — 2 нТл. Однако на двух участках погрешность превысила этот предел. Сам по себе этот факт ни в коем случае не ставит под сомнение качество выполненной магнитной съемки. Примечательно другое — на двух отмеченных участках характер пространственной изменчивости значимо различный, это отчетливо видно по изолинейному изображению данных. Подобные ситуации известны в геологической практике. Объяснение этому явлению дал Л.И. Четвериков [6]. Природная система характеризуется естественными иерархическими уровнями строения и изменчивости данных. Достоверное изучение строения системы на любом уровне достигается при соответствующей плотности поисковой или разведочной сети. Зависимость изменчивости данных наблюдений от плотности представляет собой структурную функцию с характерными плато и крутыми участками перехода между уровнями. Эта фундаментальная структурная зависимость и положена в основу всех методов технологии структурного анализа [4, 5]. Если плотность реальной сети наблюдений соответствует крутому интервалу структурной функции (скачку), то в данных наблюдений кроме локальной изменчивости отражается изменчивость детального уровня строения геологической системы, который не может быть достоверно изучен. В этом случае изменчивость детального уровня проявляет себя как случайная функция и не может быть отделена от погрешности измерений. Совокупность изменчивости такого порядка названа помехой. Обработка данных осложняется с увеличением амплитуды помехи (СКО), которая может

быть равной или многократно превосходить природную локальную изменчивость, которая при меньшей амплитуде помехи могла быть выявлена. Именно поэтому рядом исследователей геохимический метод поисков месторождений хромитов в условиях Полярного Урала был забракован [1]. По той же причине для изучения пространственных закономерностей магнитного поля над рудными телами месторождения Центральное применялась микромагнитная съемка (по сети 2×2 или 1×1 м), что помогло достоверному изучению изменчивости детального порядка. Подобные ситуации в геологической практике встречаются довольно часто в наблюдении данных с высоким пространственным разрешением — радиометрии, геофизического опробования месторождений с неравномерным характером оруденения. Практическое решение в подобных условиях в разведочной практике найдено давно: изменчивость данных, которая в принятом масштабе изучения недр не может быть достоверно изучена, должна быть каким-то способом изъята из наблюдений (отфильтрована) или подавлена, насколько это возможно. И это положение находится в противоречии с часто применяемой поисковой методикой — сохранить локальную компоненту «во что бы то ни стало».

Разделение данных на структурные компоненты

Методика построения пространственно регулярных сетей (матриц, файлов типа name.grd) непосредственно по множеству точек применялась стандартная — через двумерную интерполяцию методом Крайгинга с минимальным радиусом зоны влияния. На следующем этапе выполняется деление данных на составляющие разностные функции — компоненты или факторы. Методика такого деления подробно изложена в работе [4]. Результатом этой обработки является выделение небольшого числа практически некоррелированных компонент, относительно которых имеется полная статистическая характеристика: граничные радиусы осреднения, среднее значение, изменчивость (СКО), вклад компоненты в СКО исходных данных, корреляция компоненты с исходными данными и другими компонентами. Деление по той же методике и с такими же параметрами модельной помехи дает те же характеристики и позволяет оценить погрешность компонент. Выбор информативных компонент осуществляется не только из визуального картографического анализа карты изолиний, но и, обязательно, из логического анализа статистического описания. Так, для гравитационного поля вклад компоненты помехи не превышает десятых долей процента от СКО исходных данных. При этом первая локальная компонента включает в себя (по результатам моделирования) от 2/3 до 4/5 СКО случайной составляющей. Важная оценка отношения СКО компоненты к СКО помехи (отношение сигнал/шум) составляет от первых единиц до десятых долей при критическом значении не менее двух. Понятно, что исключение компоненты помехи, в чем и состоит операция фильтрации, практически не уменьшает потенциально полезной информации и предохраняет от получения результатов обработки, недостоверных для объекта изучения. Для магнитного поля ситуация отличается принципиально. Вклад компоненты помехи в общее

СКО составляет десятки процентов. Для измерительных каналов (Т1Н, Т2Н, Т1Х, Т2Х, Т1У, Т2У) по участку этот вклад составляет около 20 %. При этом в компоненту помехи включается 2/3 до 9/10 СКО модели искусственной помехи, т.е. отношение сигнал/шум меньше единицы. Компонента с такими свойствами должна быть исключена из числа информативных компонент как непредставительная по отношению к объекту изучения. Еще менее достоверны производные от измерительных каналов, без которых не обойтись при вычислении градиентных составляющих и угловых характеристик вектора градиента. Для вертикального градиента вклад компоненты помехи составляет уже около 47 %. Для угла наклона вектора градиента магнитного поля эта оценка превышает 60 %. Полученные результаты обработки приводят к выводу о необходимости предварительного этапа профильной обработки данных, главная задача которого — фильтрация помехи, совокупности погрешности наблюдений и детальной изменчивости в ряду профильных наблюдений до построения регулярных двухмерных сетей. Профильная обработка применяется к данным собственно наблюдений — измерениям датчиков Т1 и Т2 при трех ортогональных расположениях измерительной штанги градиентометра.

Алгоритм профильной обработки данных

Обработка профильных данных осуществляется в два этапа:

- статистическая фильтрация с «мягким» ограничением выдающихся значений;
- фильтрация помехи с делением данных на структурные компоненты.

Ограничение выдающихся значений, сопоставимых по величине с ураганными значениями, выполнено с применением статистического фильтра, вида

$$z_f = z / (1 + 0.2 * \text{abs}(z)),$$

где z , z_f — стандартизированное значение исходное и исправленное, $\text{abs}(z)$ — абсолютная величина.

Действие фильтра основано на сжатии стандартизированных значений к центру распределения, причем небольшие вариации стандартизированных данных меняются незначительно, заметные — меняются ощутимо, действительно выдающиеся отклонения ограничиваются сильно. Величина множителя 0,2 выбрана исходя из результатов опытной обработки модельных данных нормального распределения. Так, для исходного значения 0,5 исправленное значение составит 0,45, для 1,0 — 0,83, для 1,3 (граница

80 % вероятности) — 1,03, для 2,0 — 1,43, для 5,0 — 2,5. Таким образом, действие выдающихся значений ограничивается «мягко». После статистической фильтрации осуществляется обратная операция дестандартизации. При этом значительно уменьшается пра-

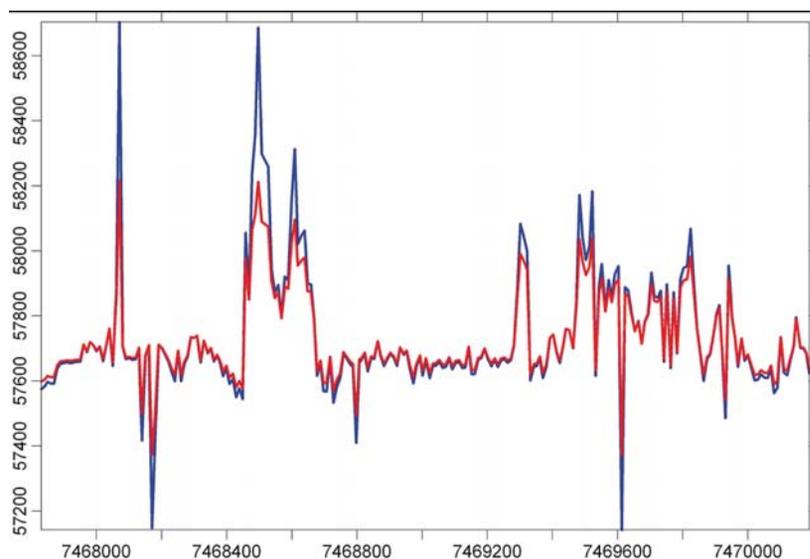


Рис. 1. Данные измерений нижнего датчика Т1Н. Нелинейная фильтрация данных: синяя линия — измеренные данные, красная линия — после нелинейного фильтра

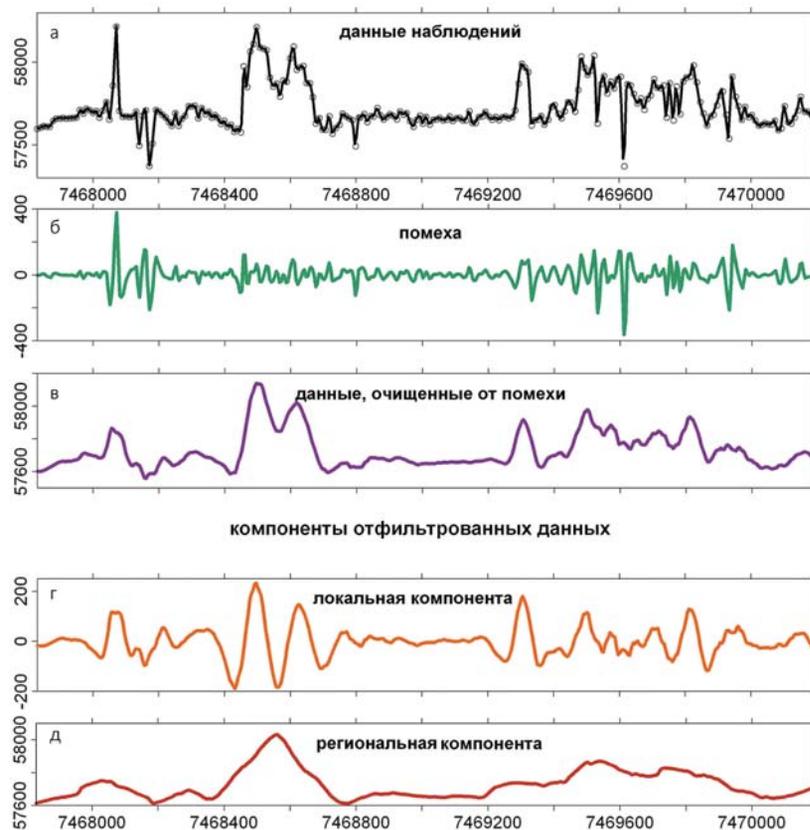


Рис. 2. Данные нижнего датчика Т1Н. Результаты деления на структурные компоненты: а — данные наблюдений помечены кружками, интерполяция с шагом 5 м — сплошная линия; б — первая локальная компонента — помеха, радиус осреднения 20 м, вклад в СКО исходных данных — 22 %; в — отфильтрованные данные — (исходные) минус (помеха); г — локальная компонента с граничными радиусами от 20 до 70 м, вклад в СКО исходных данных — 28 %; д — региональная компонента, вклад в СКО — 50 %

вая скошенность распределения исходных данных. Подобный методический прием успешно использовался для обработки магнитных данных по листу, включающему месторождения КМА, по которому магнитные данные «засорены» ураганными значениями. Действие фильтра демонстрируется на рис. 1.

Оценки среднего квадратического отклонения до и после фильтрации составили соответственно 190 и 133 нТл. Ограничение выдающихся значений можно обосновать с другой стороны. Так, для модели нормально распределенной случайной величины с параметрами (0, 1) и числом точек, равным объему практических данных размах выборки, равный разнице крайних значений, составляет от 10 до 11. Для данных из ведомости наблюдений размах данных по каналу T1H составляет почти 40, по каналу T2H — 13, по расчетным данным вертикального градиента — более 60. Матрицы, построенные непосредственно по ведомости наблюдений, будут нести большие сугубо случайные вариации, которые скажутся на результатах последующей обработки. Деление профильных данных на структурные компоненты осуществляется также как и матричных с применением программы LinAn [4]. Структурному анализу данных предшествует интерполяция на регулярную одномерную сеть точек наблюдений, шаг регуляризации выбран вдвое меньшим шага наблюдений — 5 м. Пример интерполяции данных на регулярную сеть и последующего структурного анализа показан на рис. 2. Отношение реальных и интерполированных данных показывает высокое качество алгоритма интерполяции в программе даже для крайне неоднородных данных. Основная задача деления данных на структурные компоненты решается в строгом соответствии с алгоритмом последовательного дихотомического деления. Параметры граничных радиусов осреднения выбраны в результате обработки параметрического профиля. Из анализа результатов обработки следует:

большой вес в изменчивости исходных данных составляет изменчивость самого высокого порядка (радиус осреднения для детальной компоненты 4 с шагом 5 м, т.е. менее половины межпрофильного расстояния);

высокий коэффициент корреляции помехи с исход-

ным полем (0,487) является еще одним аргументом в пользу природного характера детальной изменчивости;

для изучения магнитного поля по площади участка первая компонента является помехой, ее достоверное изучение невозможно, а результаты обработки с ее участием могут привести к ложным геологическим выводам, поэтому из дальнейшей обработки по площади работ помеху необходимо изъять;

исключение помехи, которая характеризуется высокой амплитудой, дает надежду на выявление тонких закономерностей локального характера, информация о которых содержится в других компонентах.

Построение регулярных двухмерных сетей и двухмерная фильтрация

Далее следует обычная операция построения регулярной сети и последующее деление данных на структурные компоненты. При этом решаются связанные между собой задачи: фильтрация помехи и выделение информативных компонент. Статистическое описание матриц приведено в таблице, в которой содержатся две группы матриц: построенные непосредственно по

Статистические характеристики матриц данных магнитной съемки и вертикального градиента

Имя файла	Стандартное отклонение СКО	Вклад фактора в СКО		Оценка СКО помехи		Характеристика информативности матрицы	
		единиц	%	единиц	%	(3)/(5)	ДИГП
1	2	3	4	5	6	7	8
Матрицы по ведомости наблюдений							
По данным измерений нижнего датчика							
T1_F1 -помеха	57.58	28.26	16.76	24.73	87.45	1.1	–
T1-H без помехи	149.11	140.41	83.24	3.53	12.55	39.8	99.9
T1_H (сумма)	168.68	168.68	100.0	28.26	100.0	6.0	94.4
По данным измерений верхнего датчика							
T2H_F1 -помеха	44.54	19.85	13.20	16.47	82.97	1.2	–
T2H_F2 без помехи	136.46	130.50	86.80	3.38	17.03	38.6	99.9
T2H (сумма)	150.35	150.35	100.0	19.85	100.0	7.6	96.5
Вертикальный градиент							
D_TH -помеха	40.49	30.97	47.27	23.35	75.39	1.3	–
D_TH без помехи	43.28	34.54	52.73	7.62	24.61	4.5	93.8
D_TH (сумма)	65.51	65.51	100.0	30.97	100.0	2.1	55.3
Матрицы с предварительной профильной фильтрацией							
По данным измерений нижнего датчика							
T1H-1 -помеха	17.14	6.05	5.22	3.63	60.05	1.7	–
T1H-без помехи	111.10	109.93	94.78	2.42	39.95	45.4	99.9
T1_H (сумма)	115.99	115.99	100.0	6.05	100.0	19.2	99.5
По данным измерений верхнего датчика							
T2H -помеха	13.73	4.02	3.68	1.16	28.86	3.4	–
T2H-без помехи	105.94	105.12	96.32	2.86	71.14	36.8	99.9
T2H (сумма)	109.14	109.14	100.0	4.02	100.0	26.0	99.7
Вертикальный градиент							
D_TH -помеха	6.71	3.76	15.59	1.18	31.29	3.2	–
D_TH-без помехи	21.11	20.38	84.41	2.58	68.71	7.9	97.0
D_TH (сумма)	24.13	24.13	100.0	3.76	100.0	6.4	95.1

ведомости наблюдений (контрольные) и после предварительной профильной фильтрации. В каждой группе по три матрицы: нижний и верхний датчики при вертикальном расположении измерительной штанги и матрицы вертикального градиента. Эти результаты содержатся в столбцах (1-4). В столбцах (5-6) содержатся

результаты моделирования погрешности по методике, описанной в работе [4]. В последних столбцах приведены информационные характеристики матриц. Отношение СКО матрицы к СКО помехи, или отношение (сигнал плюс шум)/(шум) приведены в столбце (7). В качестве дополнительной информационной харак-

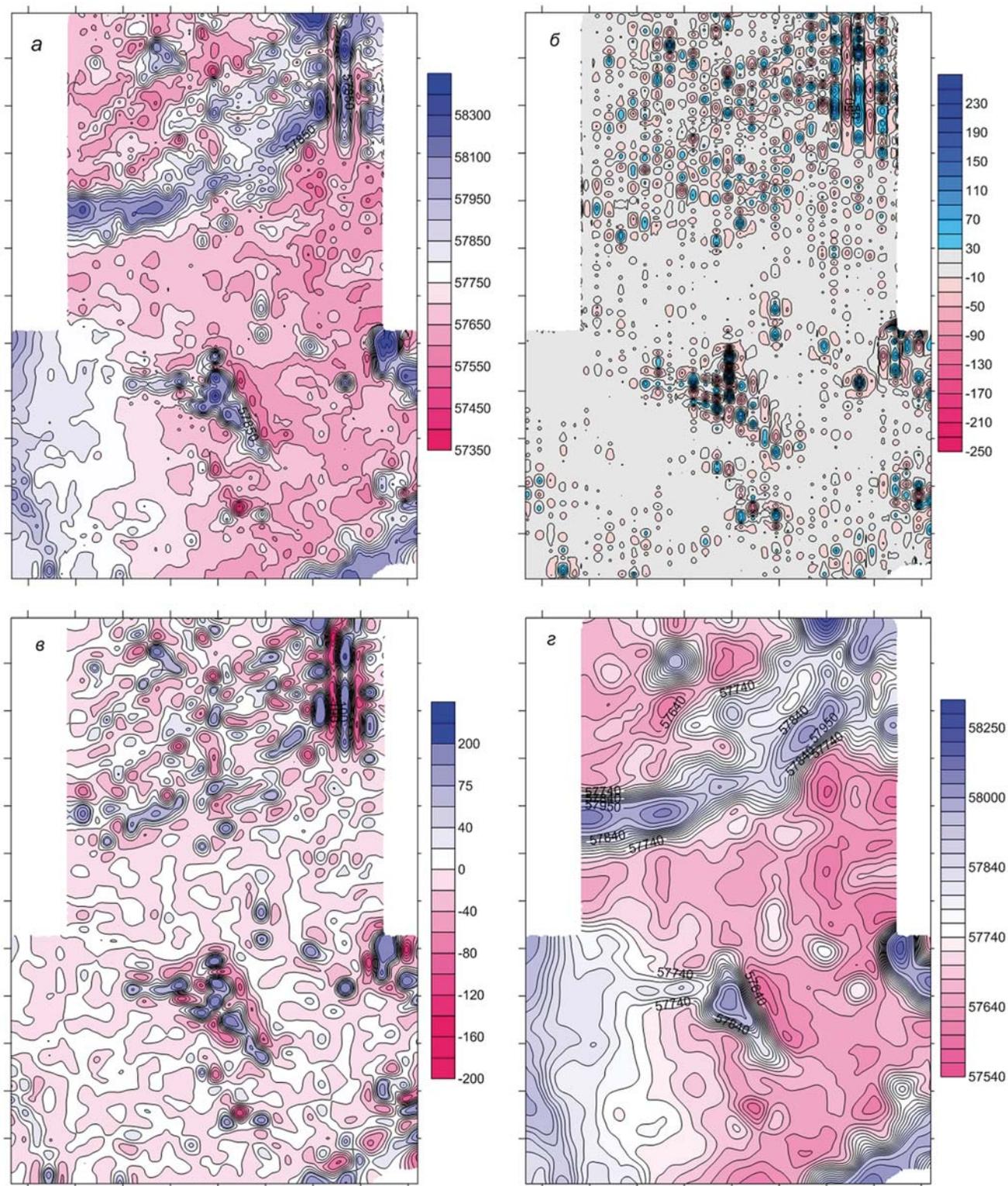


Рис. 3. Картографические результаты профильной и матричной фильтрации данных, измерительный канал Т1Н: а — матрица данных, построенная по результатам профильной фильтрации; б — помеха, остаток от осреднения в окне радиусом 30 м; в — локальная информативная компонента, радиус осреднения 60 м; г — региональная информативная компонента

теристики приведена оценка доступной в анализе изменчивости признака (ДИГП). Напомним, что под изменчивостью здесь подразумевается дисперсионная оценка [6]. Доступную в анализе изменчивость относительно общей можно определить таким образом: ДИГП равняется — общая изменчивость минус удвоенная величина помехи, отнесенная к общей изменчивости данных. Эта оценка характеризует потенциал данных для углубленной обработки и извлечения геологической информации и проставлена в столбце (8) таблицы в процентах. (Для правильной оценки характеристики приведем пояснение: 1) при общей СКО = 1, погрешности с СКО = 0,71, отношение СКО составит 1,41, ДИГП = 0; 2) при общей СКО = 1, погрешности с СКО = 0,5, отношение СКО = 2, ДИГП = 50 %.)

Из анализа приведенных оценок можно сделать следующие выводы:

изменчивость данных после предварительной профильной фильтрации снижается примерно в полтора раза для измерительных каналов и в 2,7 раза для производной;

при этом амплитуда помехи уменьшается гораздо сильнее — для измерительных каналов примерно в 3 раза, для производной — в 6 раз;

помеха, исключаемая из дальнейшей обработки, характеризуется, как правило, отношением (сигнал плюс шум)/(шум) ниже предельного 2, т.е. компоненты помехи необходимо исключить из обработки;

информационная емкость оставшейся информативной части данных повышается в несколько раз для матриц измерительных каналов и до 2 раз для производной;

наиболее неблагоприятно в статистическом описании, как и ожидалось, выглядит матрица производной — вертикального градиента; данные подсчитанные непосредственно по ведомости наблюдений непригодны для дальнейшей обработки; несмотря на эффективную фильтрацию случайной составляющей, информационная емкость оставшейся полезной части данных возросла менее чем в 2 раза, для локальной компоненты это отношение будет еще меньше; это означает, что компоненты градиента можно использовать как дополнительную характеристику к локальным пространственным особенностям, установленным при углубленной обработке данных измерительных каналов — построение линейных элементов и районирование по геофизическим данным. Итоговые результаты двухэтапной фильтрации — профильной и матричной — показаны на рис. 3.

Выводы:

1. Геофизические данные наблюдений, как и радиометрические и геохимические, кроме региональной и локальной компонент изменчивости, составляющих основу изучения пространственных закономерностей, содержат детальную изменчивость, достоверное изучение которой в принятом масштабе изучения недр невозможно. Детальная изменчивость проявляет себя как случайная и неотличима от погрешности, в совокупности с которой образует помеху. Вклад детальной изменчивости в общую изменчивость данных может быть незаметным (как, например, для однородных данных гравиразведки), так и весьма значительным. Это затрудняет последующую обработку, особенно с использованием

производных данных наблюдений и может привести к выявлению несуществующих, ложных закономерностей. Поэтому в общем алгоритме обработки данных необходим этап предварительной фильтрации с целью исключения помехи из дальнейшей обработки. Пренебрежение этой операцией влечет ошибки второго ряда.

2. Геофизические съемки с неравной плотностью сети точек наблюдения при отношении шага по профилю к межпрофильному расстоянию 1/5–1/10 представляют совокупность профильных наблюдений. В этом случае предварительная фильтрация данных осуществляется в два этапа — профильная и матричная. Профильная фильтрация позволяет осуществить эффективное подавление помехи при сохранении основной части пространственно закономерной изменчивости данных — локальной и региональной.

3. Итоговая фильтрация помехи и выбор информативных компонент исключительно с помощью визуальной экспертной оценки карт — «на глазок» — недопустимы. Необходим тщательный анализ изменчивости данных с моделированием искусственной помехи. Технология структурного исследования данных с выделением структурных компонент и их статистическим описанием, применяемая в ФГУНПП «Геологоразведка», позволяет осуществить такой анализ. Результатом анализа является выделение представительных объектов изучения данных, достоверных по отношению к случайным помехам. Полученные результаты в содержательном и технологическом смысле открывают возможность дальнейшего развития технологии структурного исследования применительно к обработке профильных данных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б. Геохимические поиски хромитовых месторождений в альпинотипных гипербазитах Урала // Российский геофизический журнал. — 2014. — № 53–54. — С. 43–67.
2. Калинин Д.Ф. Информационно-статистический прогноз полезных ископаемых / Министерство природных ресурсов и экологии РФ, ФГУНПП «Геологоразведка» — СПб., 2011–164 с.
3. Калинин Д.Ф. MultAlt. Технология многоальтернативной классификации и прогноза — <http://www.geolraz.com>.
4. Овсов М.К. Трансформации геофизических данных, оценка погрешности трансформант и учет погрешности в обработке данных // Российский геофизический журнал. — 2014. — № 53–54. — С. 68–78.
5. Овсов М.К. Структурный анализ геоданных в технологии геофизического картирования при создании геофизической основы — <http://www.geolraz.com>.
6. Четвериков Л.И. Теоретические основы разведки недр. — М.: Недра, 1984. — 156 с.
7. Штокаленко М.Б., Алексеев С.Г., Сенчина Н.П. Итерационная или медианная полосовая фильтрация как средство фокусирования потенциального поля в томографии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. 41-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского. — Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2014. — С. 286–288. <http://www.igeoph.net/Seminary/uspen2014/uspen2014.pdf>.
8. Штокаленко М.Б., Алексеев С.Г. Новая технология плотностной и магнитной томографии по данным гравиметрических и магнитных съемок. Алгоритмы и применение // 83-я сессия Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (НМС ГТТ) Минприроды России по тематике «Проблемы и перспективы технико-технологического перевооружения геологической отрасли. Постановка задачи. Механизмы реализации». — СПб., 2013.

© Овсов М.К., Шувал-Сергеев В.Н., 2016

Овсов Михаил Константинович // ovsovmk@mail.ru
Шувал-Сергеев Владимир Николаевич // vsuvshal-sergeev@yandex.ru