

УДК 551.214

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «КОСКАД 3D»

© 2010 А.В. Петров, Д.Б. Юдин, Хоу Сюели

Российский государственный геологоразведочный университет, Москва, 117997

Рассматривается программно-алгоритмическое обеспечение эффективной компьютерной технологии по обработке геоданных – программного комплекса статистического и спектрально-корреляционного анализа геоданных «КОСКАД 3D». Подчеркиваются ее отличительные особенности при обработке методами вероятностно-статистического подхода геофизических данных, заключающиеся в применении адаптивных процедур, обеспечивающих корректную обработку нестационарных наблюдений. Приводятся стандартные графы обработки потенциальных полей и решаемые с их помощью геологические задачи. Рассматриваются перспективы вероятностно-статистического подхода к обработке и интерпретации геолого-геофизической информации.

Ключевые слова: геофизика, потенциальные поля, интерпретация, математическая статистика, компьютерные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

До 1950-х годов исследования в области разработки новых способов обработки и интерпретации геофизических наблюдений характеризовались исключительно *детерминированным подходом* и основывались на применении аналитических методов теории потенциала, уравнений Максвелла, теории упругости.

В конце 1950-х годов наряду с дальнейшим развитием детерминированного подхода (методов аналитического продолжения гравитационных и магнитных полей, частотного анализа) работы (Тархов и др., 1959; Халфин, 1958) положили начало принципиально новому, *вероятностно-статистическому подходу* к обработке геофизических данных.

Этот подход получил широкое развитие в различных областях разведочной геофизики: сейсморазведке (Гольцман, 1971), структурной и рудной геофизике (Тархов и др., 1959; Никитин, 1977; Аронов, 1977; Гольцман, Калинина, 1983; Серкерев, 1986), каротаже (Губерман, 1964; Элланский, 1978).

Применение вероятностно-статистического подхода при обработке геоданных обусловлено характерной особенностью геофизических наблюдений, заключающейся в том, что полученные

в отдельных точках данные следует рассматривать как случайные величины и процессы. Случайно также расположение разнообразных геологических объектов, точек наблюдений и даже площадей наблюдений, поскольку при съемках другими исполнителями, проведенных в другое время, могут изменяться контуры площадей и положение точек сети измерений. Но самое главное, из-за наложения помех, вызванных погрешностями измерений, геологическими неоднородностями, неучтенными вариациями полей и другими причинами, само физическое поле реализуется случайным образом. Именно поэтому подавляющее большинство методов обработки базируется на математическом аппарате вероятностно-статистического подхода.

Помимо способов обработки и интерпретации геофизической информации, базирующихся на теории вероятностей и математической статистики, методы вероятностно-статистического подхода сегодня включают технологии, использующие такие разделы современной математики, как вейвлет анализ (Пискун, 2004), нейронные сети (Приезжев, 2010; Шимелевич, Оборнев, 2008), генетические алгоритмы (Приезжев, 2010), размытые множества (Гвишиани и др., 2002).

Очевидно, что эффективность использования методов детерминистского и вероятностно-статистического подходов определяется не только

качеством теоретических построений, но и наличием соответствующих программных разработок, реализующих конкретные способы обработки геофизической информации. К сожалению, в последнее время в мире доля российских разработок в области компьютеризации геологических исследований значительно уменьшилась. Прежде всего, это относится к областям, где традиционно наблюдалось отставание – в разработке географических информационных систем и глобальных баз данных, картографических систем и средств визуализации. С другой стороны, огромное количество отечественных теоретических разработок в различных областях интерпретации, накопленных за предыдущие десятилетия, частично реализованы в современных компьютерных технологиях, не уступающих западным аналогам по качеству и содержанию. При этом в последнее время наблюдается увеличение количества разработок, решающих определенный спектр задач интерпретации данных гравиметрии, электроразведки, электромагнитных наблюдений, обработки ядерно-радиометрических данных, где традиционно российская школа занимала ведущие позиции.

Одной из таких разработок является компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D», предназначенная для анализа трехмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода (Петров, Трусов, 2000).

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «КОСКАД 3D»

Первые версии компьютерной технологии появились в начале 1980-х годов и содержали программные реализации оригинальных методов вероятностно-статистического подхода, разработанных в Московском геологоразведочном институте на кафедре ядерно-радиометрических методов под руководством профессора А.А. Никитина

Совершенствование известных и создание новых способов и алгоритмов обработки геоинформации привело к формированию в середине восьмидесятых годов прошлого столетия уникальной компьютерной технологии, занявшей определенное место в общей структуре вероятностно-статистического подхода к интерпретации геофизической информации.

Технология предназначена для обработки данных, организованных в трехмерные (как частный случай – двумерные) регулярные сети и сегодня достаточно широко используется во многих геологоразведочных организациях России и за рубежом (www.coscad3d.ru). С ее помощью решается широкий спектр интерпретационных задач геофизики при обработке потенциальных

полей, сейсмических данных, геохимических наблюдений и другой оцифрованной геолого-геофизической информации на основе методов вероятностно-статистического подхода.

За более чем 25-летний период эксплуатации технологии «КОСКАД 3D» были выработаны и отлажены методико-технологические сценарии обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, базирующиеся на *оценке и анализе статистических, градиентных и спектрально-корреляционных характеристик геополей, методах линейной оптимальной фильтрации, способах обнаружения слабых аномалий, алгоритмах классификации и распознавания.*

Статистические характеристики геополей. Практически любые данные, получаемые в результате геолого-геофизических исследований, в силу объективных причин можно считать выборкой одной или нескольких случайных величин. Это позволяет анализировать их статистические характеристики с помощью аппарата теории оценок. Такой анализ существенно увеличивает объем полезной для исследователя информации, содержащейся в наблюдениях, позволяет подчеркнуть особенности изменения геополей по площади, оценить закономерности распределения изучаемого параметра, что существенно повышает эффективность процесса геологической интерпретации и качество конечных результатов обработки в целом.

Одно из условий эффективного применения математических методов в определенной прикладной области требует детального учета свойственной этой области особенностей. Использование математического аппарата без учета этого приводит к заведомо отрицательным результатам. Характерной чертой геолого-геофизических наблюдений является то, что они в большей части являются пространственными, то есть любое измерение значения параметра, сопровождается набором атрибутов, определяющих координаты точки наблюдения в пространстве. Если наблюдения проводятся вдоль профиля (профильные наблюдения), то точка характеризуется одной координатой X , определяющей ее положение на профиле. При площадных съемках положение точки наблюдения описывается двумя координатами X, Y . Наиболее общий случай – когда положение точки измерения параметра в пространстве характеризуется набором из трех координат X, Y, Z . Иногда атрибутом, сопровождающим отдельное наблюдение геолого-геофизического параметра, является параметр, определяющий время его наблюдения.

Другой важнейшей особенностью геолого-геофизических измерений является то, что выборка, полученная в результате наблюдений случайного параметра в различных точках наблюдения, не является однородной и представлена на-

бором нескольких случайных величин. Это связано с изменением статистических характеристик геополей в пространстве (статистической нестационарностью геополей), то есть, наблюдения случайной величины в различных точках, часто являются элементами выборок разных случайных величин. Так, например, оценивая среднее значение поля по данным площадных наблюдений, состоящей из m профилей и n пикетов, можно в качестве выборки использовать все $m \times n$ значений и получить одну оценку среднего значения. Можно получить m различных оценок среднего, используя m выборок, включающих по n наблюдений на каждом профиле. Анализ полученных оценок средних значений поля на каждом из профилей определяет закономерности изменения поля от профиля к профилю.

Таким образом, изменяя состав выборки посредством выбора точек наблюдения в соответствии с их пространственным расположением, можно получать различные оценки статистического параметра. Наилучшим вариантом, с точки зрения корректности оценки параметра, представляется случай, когда все $m \times n$ наблюдений случайной величины разбиваются на k однородных выборок, каждая из которых представляет одну случайную величину. Такое пространственное разбиение всей совокупности наблюдений на статистически однородные (стационарные) области является важнейшей задачей интерпретации геолого-геофизической информации с использованием методов вероятностно-статистического подхода.

При интерпретации полей статистических характеристик геофизических наблюдений необходимо учитывать следующее:

– границы аномалий в полях статистических характеристик трассируются экстремальными значениями;

– аномалии простой формы в исходных данных, в полях статистических характеристик представлены более дифференцированными по форме аномалиями;

– поля статистических характеристик могут быть включены в обработку на этапе анализа многопризнаковых данных с помощью алгоритмов распознавания образов и классификации;

– анализ полученных оценок статистических характеристик позволяет оптимальным образом выбрать граф дальнейшей обработки исследуемого геофизического поля с использованием алгоритмов технологии «КОСКАД 3D»;

Трассирование границ аномалий экстремумами в полях статистических характеристик достаточно просто объясняются, если вспомнить о том, что границы аномалий представляют собой не что иное, как области нарушения стационарности поля, то есть области, в которых изменяется

математическое ожидание или (и) дисперсия случайной величины.

Градиентные характеристики геополей. Известно, что для детализации особенностей поведения любой математической функции (определения точек перегиба, экстремальных значений и т.д.) в математике используются ее производные первого и высших порядков. В случае функции двух переменных вычисляются производные по направлению или градиенты. Очевидно, что знание градиентных характеристик геофизических полей, позволяет детализировать особенности поля и подчеркнуть положение границ аномальных объектов. При анализе градиентных характеристик площадных геолого-геофизических наблюдений обычно вычисляется градиент поля вдоль простирания профилей $\Delta x = \partial f / \partial x$, вкрест простирания профилей $\Delta y = \partial f / \partial y$, полный градиент $\Delta_{xy} = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2}$ и его направление $\alpha = \arctg(\Delta y / \Delta x)$.

Так как геофизические поля не являются непрерывными функциями, то использование стандартных математических приемов для оценки их производных невозможно. Для оценки градиентных характеристик геополей существует несколько вычислительных алгоритмов. Как показывает практика их использования, достаточно эффективные оценки градиентов получаются при использовании алгоритма, заключающегося в расчете по методу наименьших квадратов, аппроксимирующего полинома первой степени по трем точкам поля – анализируемой и двух соседних с ней (соответственно по пикетам для градиента вдоль профилей и профилям для градиента вкрест простирания профилей).

В случае трехмерных наблюдений, кроме градиентов Δx и Δy можно оценить градиент по оси z (высоте или глубине) $\Delta z = \partial f / \partial z$. В этом случае формула для расчета полного градиента примет вид: $\Delta f = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$. Направление полного градиента в пространстве для трехмерного случая определяется двумя углами: первый – в плоскости пикетов и профилей $\alpha = \arctg(\Delta y / \Delta x)$, второй – между полным градиентом в плоскости пикетов и профилей и градиентом вдоль оси z : $\beta = \arctg(\Delta_{xy} / \Delta z)$.

Опыт обработки большого количества реальных геолого-геофизических наблюдений позволяет сделать следующие выводы, которые необходимо учитывать при интерпретации полей градиентных характеристик.

– границы аномальных объектов отмечаются экстремумами в полях градиентов вдоль осей и максимумами в поле полного градиента;

– экстремумами, в полях градиентных характеристик, отмечаются границы аномалий различных амплитуд, что позволяет при визуализации

увидеть одновременно контуры аномалий различной амплитуды;

– градиентные характеристики вдоль определенного направления позволяют подчеркнуть границы аномалий, простирающиеся перпендикулярно этому направлению;

– поле направления полного градиента позволяет оценить простирающиеся аномалии в каждой точке исходной сети наблюдений, а контрастные переходы от минимальных значений к максимальным значениям контролируют положение осей аномалий;

Наряду с оценкой градиентных характеристик геополей при решении задачи трассирования границ аномалий полезно использовать оригинальную процедуру автоматического трассирования осей аномалий. Процедура позволяет определять положение осей и точек перегиба аномалий различных энергий от профиля к профилю по площади. В основе алгоритма трассирования используется оригинальная модификация алгоритма одномерной адаптивной фильтрации.

С целью иллюстрации возможностей обработки геофизической информации методами вероятностно-статистического подхода рассмотрим пример обработки аэрогравиметрических наблюдений территории Бразилии (провинция Бело, 45° з.д., 18° ю.ш., 190×280 км) с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» (рис. 1 на 4 стр. обложки). При интерпретации результатов интерес представляют области экстремальных значений параметров, которые позволяют трассировать оси аномалий и границы между стационарными областями, которые, в свою очередь, часто совпадают с положением геологических границ.

Корреляционные и спектральные характеристики геополей. Трудно найти какую-либо отрасль науки, которая не приводила бы к изучению данных, в виде случайных функций (процессов) или временных рядов. В большей мере это относится к геолого-геофизическим наблюдениям. Наблюдаемые значения геофизических полей вдоль профиля, отдельные сейсмограммы, стационарные наблюдения определенных геофизических параметров во времени можно считать реализациями различных, случайных функций. Этот факт логично предполагает использование в процессе обработки и интерпретации геолого-геофизической информации аппарата теории случайных функций.

Важнейшими характеристиками любой случайной функции, имеющими прикладное значение, являются ее корреляционные функции и спектр Фурье.

В процессе обработки и интерпретации геолого-геофизической информации чаще всего используются:

– автокорреляционная функция $R(m)$, по радиусу корреляции которой определяют глубину залегания источника аномалии;

– взаимно-корреляционная функция для изучения корреляционных связей между двумя различными геофизическими полями;

– двумерная автокорреляционная функция для выделения основных направлений простирающихся аномалий по площади исследований.

Анализ значений спектра Фурье позволяет получить информацию о частотных составляющих наблюдаемого поля, оценить амплитуду и частоту полезных сигналов и высокочастотной помехи.

Помимо спектра Фурье в компьютерной технологии «КОСКАД 3D» имеется возможность оценить спектральные характеристики полей с помощью вейвлет-преобразования.

Статистическое зондирование геополей. Под статистическим зондированием понимается оригинальный подход к оценке изменения статистических и корреляционных характеристик поля с глубиной на основе их вычисления в скользящих окнах различных размеров.

Оценки радиуса корреляции в скользящем окне позволяют оценить глубину залегания аномалиеобразующих объектов, градиентные характеристики – подчеркнуть «тонкие» особенности характера изменений геополей.

Особый интерес представляет расчет коэффициента взаимной корреляции между двумя различными полями. В этом случае можно проанализировать корреляционную связь между различными частотными составляющими этих полей. Расчет коэффициента корреляции в окне малых размеров позволяет оценить корреляционные связи между высокочастотными компонентами двух полей, в окнах больших размеров – низкочастотными составляющими. Статистическое зондирование с расчетом коэффициента корреляции между двумя полями позволяет получить полную информацию о корреляционных связях для различных частотных составляющих полей.

Важным моментом в методике статистического зондирования является форма представления конечных результатов. Наиболее содержательной и естественной является создание трехмерных сетей, состоящих из отдельных слоев, являющихся результатом расчета той или иной статистической характеристики при конкретном значении скользящего окна. При этом верхний слой такой сети представляет результат расчета статического параметра в окне минимальных размеров (3×3), следующий – в окне (5×5) и последний – в окне максимальных размеров.

Такое представление результатов имитирует пересчет значений статистических характеристик вниз, так как с увеличением размеров окна анализируются все более низкочастотные составляющие поля, индуцируемые геологическими объектами, залегающими на больших глубинах.

Оценка параметров аномалиеобразующих

объектов. Синтез принципов статистического зондирования, технологии скользящего окна «живой» формы позволил реализовать модификацию метода вариаций, предложенного в работе (Андреев, Клушин, 1965) для оценки распределения аномалиеобразующих объектов по глубине.

В основе модифицированного алгоритма лежит нетрадиционный подход к решению подобного рода задач, базирующийся на построении полосового фильтра в окне «живой» формы. Применение такого фильтра позволяет корректно осуществлять полосовую фильтрацию в условиях нестационарности анализируемого поля. Полученный для определенного диапазона частот результат фильтрации отражает распределение и интенсивность источников на определенных глубинах. Проведение такой фильтрации с последовательным уменьшением значений граничных частот позволяет построить *трехмерную модель относительного распределения гравитационных и магнитных масс по глубине*.

Для оценки правильности модельных построений технология «КОСКАД 3D» содержит программные реализации быстрых алгоритмов решения прямых трехмерных задач гравимагнитометрии.

Возможности оценки трехмерного распределения гравитационных масс представлены на [рис. 2](#) (4 стр. обложки).

Линейная оптимальная фильтрация геофизических наблюдений. Тренд-анализ и фильтрация геофизических полей занимают важнейшее место в обработке геолого-геофизических данных. С их помощью решаются задачи:

- *разложения геофизических полей на составляющие;*
- *восстановления аномалий, осложненных помехой;*
- *обнаружения слабоконтрастных аномалий;*

Под фильтрацией понимается преобразование экспериментальных данных для выделения полезной информации, создаваемой сигналом (аномалией), на фоне различного типа помех, накладывающихся на сигнал и тем самым затрудняющих его выделение. Простейшим примером линейной фильтрации геофизических данных является обыкновенное осреднение по профилю по нескольким точкам.

Одномерной фильтрацией в геофизике принято называть фильтрацию по отдельным профилям, которая сводится к реализации операции свертки с определенными весовыми коэффициентами h_1 . Двумерной фильтрацией в геофизике называют фильтрацию по площади, которая сводится к реализации операции свертки в окне размером в N_0 пикетов и M_0 профилей.

При адаптивной фильтрации и фильтрации в окне «живой» формы для каждой точки на профиле выбираются собственные параметры фильтра,

а именно размеры окна фильтрации и весовые коэффициенты фильтра. При этом фильтр настраивается на оценку параметров наиболее энергоемких аномалий в окрестностях базового окна отдельной точки наблюдений. Практика использования алгоритмов адаптивной фильтрации показала их преимущества перед традиционными методами фильтрации во временной области, особенно при обработке нестационарных наблюдений.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность применения методов адаптивной оптимальной фильтрации, на [рис. 3](#) (4 стр. обложки) изображены результаты решения задачи разложения гравитационного поля на составляющие.

Такое представление наблюденного поля суммой компонент разной частоты позволяет оценить глубину соответствующих частотам источников.

Выделение слабых геофизических аномалий. Методы линейной оптимальной фильтрации позволяют решить широкий спектр задач обработки геофизических наблюдений, включая выделение или обнаружение слабых локальных аномалий. При этом решение о наличии или отсутствии аномалии принимается достаточно субъективно.

В разведочной геофизике *слабым сигналом (слабая аномалия)* принято считать сигнал, который соизмерим по интенсивности с уровнем помех или ниже этого уровня. Их визуальное обнаружение практически исключено. Тем не менее проблема обнаружения слабых сигналов в разведочной геофизике приобретает все большее значение в связи с поисками месторождений, залегающих на больших глубинах, а также с поисками объектов, аномальные эффекты от которых осложнены интенсивными помехами самой разной природы. Под *обнаружением сигнала* обычно понимают факт установления его наличия.

Среди способов обнаружения слабых аномалий в компьютерной технологии «КОСКАД 3D» реализованы способы обратных вероятностей, самонастраивающейся фильтрации и межпрофильной корреляции. Применение этих методов позволяет эффективно решать следующие геологические задачи:

- *картирования слабопроявленной в геопоях тектоники;*
- *выделения малоамплитудных поднятий, к которым тяготеют залежи углеводородов;*
- *обнаружения слабых аномалий, обусловленных небольшими по размерам геобъектами, расположенными на небольших глубинах.*

Обработка многопризнаковой геофизической информации. Обработка многопризнаковой геолого-геофизической информации объединяет процедуры, реализующие методы классификации, распознавания образов и компонентного анализа. В этих процедурах в качестве входной информации могут быть использованы значения различных

геолого-геофизических признаков и их производных. Большинство алгоритмов базируется на проверке многомерных статистических гипотез, что позволяет наиболее полно использовать информацию о структуре межпризнаковой связи между различными геофизическими полями.

Процедуры обработки многопризнаковой информации направлены на эффективное решение следующего круга задач:

– *разбиения анализируемой площади на однородные по нескольким признакам области (геологическое районирование);*

– *распознавания многопризнаковых геофизических аномалий при наличии априорной информации о форме эталонной многопризнаковой аномалии;*

– *анализа многопризнаковой информации с помощью классического компонентного анализа;*

– *оценки информативности отдельных признаков и их различных комбинаций.*

Классификационные алгоритмы построены на принципах самообучения, учета корреляционных связей всего признакового пространства и возможности корректной работы в условиях отсутствия априорной информации о положении начальных центров классов и конечном числе однородных областей.

В общей постановке задачи проблема классификации объектов заключается в том, чтобы всю анализируемую совокупность признаков разбить на сравнительно небольшое число однородных, в определенном смысле, групп или классов. При этом термин «классификация» используют, в зависимости от контекста, для обозначения как самого процесса разделения, так и его результата. Это понятие тесно связано с такими терминами, как группировка, систематизация, дискриминация, кластеризация, и является одним из основополагающих в практической и научной деятельности человека (Аренс, Лейтер, 1985).

Для алгоритмов распознавания исходной информацией является лишь форма аномалии, а в ряде случаев, когда эталоном является фрагмент исследуемой площади, лишь контур многопризнаковой аномалии. При этом оценка параметров многомерной помехи и ее влияние исключаются непосредственно в процессе распознавания. Параметрами, характеризующими эталонный объект для алгоритмов распознавания, являются двумерные поверхности, заданные в дискретных точках наблюдений прямоугольной сети. Каждая поверхность отражает форму проявления конкретного физического поля над эталонным объектом. Признаками в общем случае могут быть значения различных геофизических полей, их производных, наблюдения поля на различных уровнях, оцифрованная геологическая, петрофизическая и геохимическая информация.

На рис. 4 (4 стр. обложки) приведен результат

районирования исследуемой территории по исходному гравитационному полю (рис. 1а) и его полному градиенту (рис. 1б) на основе классификационного алгоритма разделения многомерных нормальных смесей. В результате классификации исследуемая площадь была разбита на 13 областей, однородных по значениям гравитационного поля и его полному градиенту. Такое районирование позволяет повысить надежность, принимаемых геологом решений о геологическом строении исследуемой территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа геофизической информации «КОСКАД 3D» предназначена для обработки данных, организованных в трехмерные (как частный случай – двумерные) регулярные сети. Известно, что геофизические наблюдения практически никогда не выполняются по регулярным сетям наблюдений. При этом шаг между соседними точками наблюдений на профиле очень мал, а иногда равен нескольким сантиметрам (морская геофизика) или метрам (аэрогеофизическая съемка). Расстояние же между профилями часто измеряется в километрах. Такой подход при выборе сети наблюдений определяется прежде всего экономическими соображениями, так как стоимость площадных съемок по густой сети слишком высока.

Таким образом, использование площадных методов анализа геофизических наблюдений требует предварительного выполнения процедуры приведения исходных наблюдений к регулярной сети – *гридования*. Все известные алгоритмы гридования базируются на различных методах аппроксимации и интерполяции, для которых характерно сглаживание исходных наблюдений, то есть исключение высокочастотной компоненты и экстраполяции наблюдений в точки, где информация отсутствует. При этом с учетом сложности геологического строения земной коры, особенно в ее верхней части, достоверность значений поля между соседними профилями, полученных с помощью процедур приведения к регулярной сети, невелика.

Поэтому одним из направлений дальнейшего развития *вероятностно-статистического подхода* является создание компьютерных технологий, ориентированных на анализ и обработку именно профильных наблюдений. Сервисные и графические модули таких технологий, их функциональное наполнение должны быть ориентированы на работу с данными, организованными в профильные сети.

Нельзя приуменьшить роль методов вероятностно-статистического подхода при геолого-геофизическом моделировании земной коры, наиболее востребованном сегодня направлении обработки и интерпретации геоданных. Исполь-

зование статистических приемов и алгоритмов анализа информации эффективно при оценке достоверности модельных построений, выделении однородных по комплексу признаков областей, оценке геометрии аномалиеобразующих объектов, согласовании результатов моделирования по отдельным геофизическим методам.

Список литературы

Аренс Х., Лейтер Ю. Многомерный дисперсионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1985. 232 с.
Аронов В.И. Методы математической обработки геолого-геофизических данных на ЭВМ. М.: Недра, 1977. 300 с.
Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1965. 405 с.
Гвишиани А.Д., Диаман М., Михайлов В.О. и др. Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий // Физика Земли. 2002. № 7. С. 13-28.
Гольцман Ф.М. Статистические модели интерпретации. М.: Наука, 1971. 327 с.
Гольцман Ф.М., Калинина Т.Б. Статистическая интерпретация магнитных и гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1983. 248 с.
Губерман Ш.А. Комплексная интерпретация геофизических данных с помощью обучающейся программы // Проблемы ядерной геофизики. М.: Недра, 1964. С. 51-57.
Никитин А.А. Использование статистической теории обнаружения сигналов для выделения слабых геофизических аномалий // Изв. вузов.

Геология и разведка. 1977. № 6. С. 77-87.
Пискун П.В. Применение вейвлет-анализа при обработке гравитационных полей. VI Международная научно-практическая конференция ГЕОМОДЕЛЬ. Геленджик, Тез. докл. М.: «ГЕОРАДАР», 2004. С. 81
Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D // Геофизика. 2000. № 4. С. 29-33.
Приезжев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач // Геофизика. 2010. № 1. С. 65-68.
Серкерев С.А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра, 1986. 247 с.
Тархов Г.А., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Принципы комплексирования в разведочной геофизики // Изв. АН Арм. ССР. Сер. геологические и географические науки. 1959. № 6. С. 63-73.
Халфин Л.А. Информационная теория интерпретации геофизических исследований // ДАН. 1958. Т.122. № 6. С. 1007-1010.
Шимелевич М.И., Оборнев Е.А. Нейросетевой метод магнитотеллурического мониторинга геоэлектрических параметров среды на основе неполных данных // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 171-176.
Элланский М.М. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. М.: Недра, 1978. 254 с.

**PROCESSING AND INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL INFORMATION
 BY METHODS OF PROBABILISTIC - STATISTICAL APPROACH
 USING «KOSKAD 3D» COMPUTER TECHNOLOGY**

A.V. Petrov, D.B. Yudin, Khou Syueli

Russian state geological survey university, Moscow, 117997

Computer technology of «COSCAD 3D» is effective computer technologies of processing of geological data. Its programmatic-algorithmic software is examined in this article.

Its distinctive features at processing geophysical information using methods of probabilistic - statistical approaches including using of adaptive procedures which provide correct processing of non-stationary supervisions underlined in this article.

The standard columns of processing of the potential fields and geological tasks which decided with their help are included in this article.

Perspectives of probabilistic - statistical approach for processing and interpretation of geological - geophysical information are examined in this article.

Keywords: geophysics, potential fields, mathematical statistics, interpreting of the geophysical observations, computer technology.