

Программное обеспечение позволяет решать следующие задачи.

1. Создание, поддержка и обслуживание баз данных.
2. Определение пространственных координат точек измерения потенциала и построение трехмерной модели измеренного поля.
3. Визуализация моделей полей в горизонтальных и вертикальных плоскостях.
4. Построение моделей условно-нормального и аномального полей в плоскости вертикальных и горизонтальных разрезов.
5. Конвертирование результатов обработки в формат пакета SERFER.

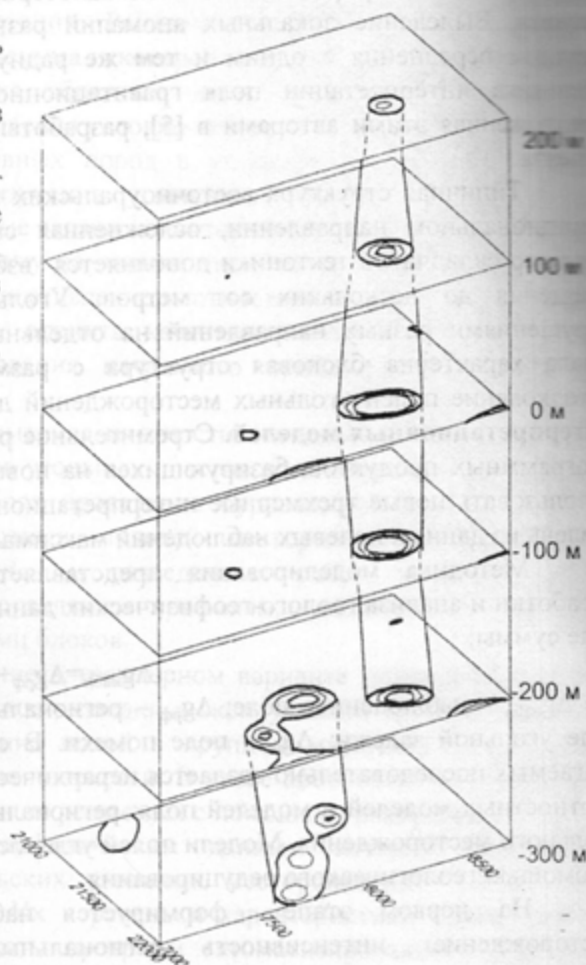


Рис. 3. Положение зоны повышенной электропроводности в области исследования поля

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. М.: Недра, 1990. 301 с.
2. Козырин А.К. Электрическая корреляция разрезов скважин. М.: Недра, 1985. 136 с.
3. Семенов М.В., Сапожников В.М., Авдевич М.М., Голиков Ю.В. Электроразведка рудных полей методом заряда. Л.: Недра, 1984. 216 с.
4. Серков В.А. Использование аппроксимирующих полиномов для обработки и интерпретации результатов метода заряда // Российский геофизический журнал, № 1. СПб.: Рудгеофизика, 1993. С. 51-54.

УДК 550.831

В.Б. Виноградов

О МЕТОДИКЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВОСТОЧНОУРАЛЬСКИХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучению угольных месторождений восточного склона Урала на основе геофизических данных посвящены работы второй половины 90-х годов Б.Г. Семенова, А.М. Сухорукова, В.А. Казачихина [4, 5, 6] и др. Ими рассмотрены результаты гравиметрических съемок масштаба 1:50000 в угленосных районах и разработана методика прогноза ресурсов ископаемых углей по аномалиям силы тяжести с привлечением данных магнитной съемки. Авторы не использовали

современные интерпретационные компьютерные технологии, расчеты проводили с помощью палеток. Выделение локальных аномалий разной интенсивности, формы и площади проведено методом осреднения с одним и тем же радиусом, что не могло не отразиться на результатах. Методика интерпретации поля гравитационного и магнитного полей угленосных структур, предложенная этими авторами в [5], разработана для изолированного, двумерного возмущающего объекта.

Типичная структура восточноуральских месторождений – синклиальная зона, вытянутая в меридиональном направлении, осложненная складчатостью более высокого порядка. Сложный характер складчатой тектоники дополняется взбросами, надвигами, сдвигами и т. д., с амплитудой смещения до нескольких сот метров. Угольные толщи разбиты крупными тектоническими нарушениями разных направлений на отдельные блоки. Для месторождений восточного склона Урала характерна блоковая структура с размерами 1,5×1 км (Зотова, 1991). Следовательно, истолкование полей угольных месторождений должно проводиться только на основе **трехмерных интерпретационных моделей**. Стремительное развитие вычислительной техники, появление новых программных продуктов, базирующихся на новых алгоритмах решения обратных задач, позволяет использовать новые трехмерные интерпретационные модели [1, 3 и др.]. Их применение позволяет извлечь из данных полевых наблюдений максимально возможное количество информации.

Методика моделирования представляет собой логическую последовательность этапов обработки и анализа геолого-геофизических данных [1]. Наблюдаемые поля принято представлять в виде суммы:

$$\Delta g_{\text{набл}} = \Delta g_{\text{рф}} + \Delta g_{\text{стр}} + \Delta g_{\text{м}} + \Delta g_{\text{п}}$$

где $\Delta g_{\text{набл}}$ – наблюдаемое поле; $\Delta g_{\text{рф}}$ – региональный фон; $\Delta g_{\text{стр}}$ – поле угленосной структуры; $\Delta g_{\text{м}}$ – поле угольной залежи; $\Delta g_{\text{п}}$ – поле помехи. В соответствии со структурой поля для первых трех слагаемых последовательно создается иерархически упорядоченная последовательность трехмерных плотностных моделей и моделей поля: региональная модель, модель угленосной структуры, модель угольного месторождения. Модели полей угленосных структур и угольных месторождений получают с помощью геологического редуцирования.

На первом этапе формируется набор параметров, всесторонне характеризующих месторождение: интенсивность региональных гравитационных и магнитных аномалий, интенсивность и площадь локальных геофизических аномалий, плотность, магнитные свойства и др. Характеристики полей должны отражать существенные особенности геологического строения. Интенсивность региональной аномалии силы тяжести и региональной магнитной аномалии характеризует принадлежность изучаемой территории к крупным тектоническим структурам. Интенсивность локальной аномалии силы тяжести зависит от мощности и угленасыщенности угленосной толщи.

Наличие мощных пластов отражает условия угленакопления. А.Б. Поляков в конце 80-х годов отметил, что угленосные отложения с маломощными пластами угля обладают плотностью 2,54 г/см³, а те же отложения с мощными пластами угля обладают плотностью 2,05 г/см³, что неизбежно отражается в гравитационном поле. Таким образом, если имеются основания предполагать наличие мощных пластов, то избыточная плотность угленосной толщи должна корректироваться. Величина избыточной плотности зависит также от угленасыщенности. На основе анализа собранных сведений выбираются горизонтальные размеры трехмерной модели.

На этом этапе на основе сопоставления площади и интенсивности аномалий силы тяжести изучаемого и других месторождений, на которых проведены оценочные и разведочные работы, определяется коэффициент промышленной угленосности, может быть выполнена экспресс-оценка прогнозных ресурсов. Близкие значения интенсивности и размеры площади аномалий месторождений указывают на приблизительное равенство запасов угля.

На втором этапе с целью выделения регионального фона и выбора вертикального размера объемной модели масштаба 1:50000 проводится построение плотностной модели угленосной площади масштаба 1:200000. Плотностная модель масштаба 1:200000 используется для обоснованного выбора модели регионального поля и выделения локальных аномалий силы тяжести, обусловленных угленосной структурой. Это позволяет избежать ошибок, возникающих при использовании полей, вычисленных со стандартным радиусом осреднения. На основе анализа полученных результатов строится начальное приближение плотностной и магнитной трехмерных моделей масштаба 1:50000.

На третьем этапе создается плотностная модель угленосной структуры масштаба 1:50000 для определения контуров угленосной толщи. Начальная модель корректируется с учетом данных,

полученных в результате различных трансформаций полей, определения интегральных характеристик и иных методов экспресс-интерпретации. Решение обратной задачи сводится к формальной математической процедуре поиска экстремума некоторой целевой функции. Желательно для надежности получаемых результатов решения обратных задач использовать два – три программных продукта с различными алгоритмами решения условно-экстремальных задач [7].

Наличие туфогенного материала и эффузивных пород в угленосных толщах позволяет применять высокоточную магниторазведку для изучения угленосных структур. Современные компьютерные технологии позволяют решать обратные задачи магниторазведки для слабомагнитных сред, к которым относятся угленосные толщи. Поэтому на данном этапе создается петромагнитная модель угленосной структуры масштаба 1:50000. Сопоставление плотностной и магнитной моделей позволяет корректировать процесс интерпретации, оценить качество получаемых результатов. Полученные результаты служат основой для создания начального приближения трехмерной плотностной модели масштаба 1:10000.

На четвертом этапе создается детальная трехмерная плотностная модель масштаба 1:10000 для выявления блоковой структуры, участков выходов угольных пластов под покровные отложения, подсчета прогнозных ресурсов, обоснованного выбора проведения буровых работ и разработки месторождений. Надежность полученных плотностных моделей месторождений проверяется сопоставлением с результатами поисково-оценочных и разведочных работ, сопоставлением петроплотностных и петромагнитных моделей по отдельным профилям, повторным решением обратной задачи с измененными границами и размерами блоков.

На этом же этапе имитационное моделирование в трехмерном варианте позволяет оценить возможности детальной гравиметровой съемки на этапе разведки и эксплуатации месторождения в конкретной геологической обстановке. Моделирование полей в крупном масштабе необходимо проводить на физической земной поверхности, а не на плоскости. В итоге обоснованно выбирается сеть наблюдений, определяется круг задач, решаемых и не решаемых с помощью гравиразведки.

С целью подсчета ресурсов угля по геофизическим данным автором проведено математическое моделирование шести восточноуральских угольных месторождений на основе трехмерных слоисто-блоковых плотностных моделей. Их перечень и характеристики приведены в таблице. Для моделирования были использованы пакеты программ автоматизированного решения прямых и обратных задач гравиразведки и магниторазведки адаптивным методом ADG, ADG-2, ADM, разработанные в Институте вычислительного моделирования СО РАН под руководством В.А. Кочнева, [3] и программы автора.

Основной целью работ являлась оценка прогнозных ресурсов Маньинской площади. На основе региональной модели масштаба 1:200000 Маньинской площади вертикальный размер крупномасштабной модели был принят равным 1300 м. По результатам моделирования был исправлен региональный фон поля силы тяжести, после чего интенсивность локальной аномалии Маньинской структуры уменьшилась в 1.5 раза по сравнению с указанной в [6]. В региональной плотностной модели Маньинская структура имеет пологий западный и крутой восточный борты, что подтверждает имеющиеся представления о строении Маньинской впадины.

Модель масштаба 1:50000 получена с помощью пакета ADG-3. Ее начальное приближение составлено с учетом результатов решения обратных двумерных задач Б.Г. Семеновым [5], а также различных трансформаций гравитационного и магнитного полей. Модель, полученная в результате формального решения обратной задачи, не противоречит имеющимся данным разведочных работ. Надежность и устойчивость результатов моделирования проверена повторным расчетом с иной сеткой разбиения среды.

На рис. 1 приведены результаты моделирования Маньинского месторождения в масштабе 1:50000 на одном из участков. В модели угленосная толща выделяется аномально низкой отрицательной избыточной плотностью до -0.40 г/см^3 . Мощность угленосной толщи Маньинского месторождения оценивается разными авторами от 350 до 500 м. На этом участке, согласно полученным данным, мощность пород с аномально низкой плотностью достигает 1 км, что позволяет предположить существование тектонически сдвоенной угольной залежи.

Базальтовые порфириды, их туфы и другие магматические породы основного состава Маньинской площади обладают высокой магнитной восприимчивостью [6]. Амплитуда обусловленных ими аномалий превышает 1000 нТл. Площади распространения угленосных отложений характеризуются отрицательным магнитным полем небольшой интенсивности. С помощью пакета решения обратных задач магниторазведки ADM была построена магнитная модель, уточнены положение палеозойского фундамента и контуры массивов основных пород.

Характеристики	Дальне-Буланашское	Махневское	Трошковское и Липовское	Еловское	Маньинское
Площадь аномалии км ²	30	25	20	24	24
Интенсивность локальной аномалии Δg , мГал	-3	-3.5	-3	-1.2	-4
Интенсивность региональной аномалии Δg , мГал	-16	-6	-6	-6	+28
Интенсивность локальной магнитной аномалии, нТл	0	0	+30	-40	0
Интенсивность региональной магнитной аномалии, нТл	-50	-150	-90	-90	-200
Угленосность, %	7,3	6	9	10	7?
Наличие мощных пластов	-	-	+	+	+
Запасы, млн т	163	213	173	132	120
Мощность угленосных отложений	500	1000	350	500	500
Количество пластов	42	60	8	49	?

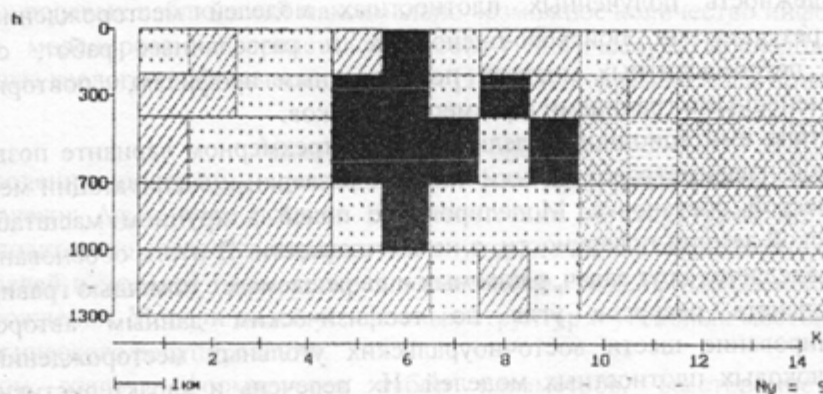


Рис. 1. Петроплотностной разрез по одному из профилей Маньинской площади (Черным цветом выделены блоки, отождествляемые с "угленосной толщей", другими знаками выделены блоки, относящиеся к другим петроплотностным группам)

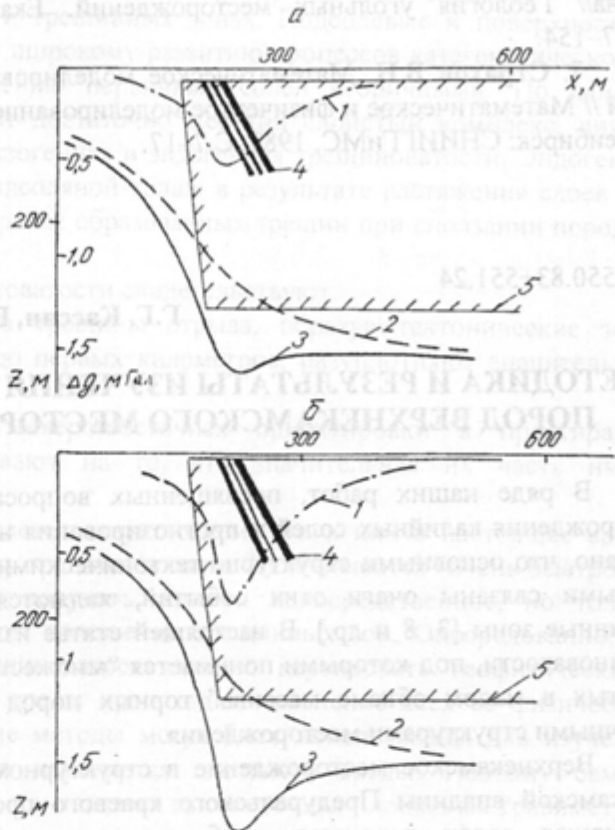
Так же, как и на Трошковском месторождении, моделирование Маньинского месторождения с размером ячейки 500×500×100 м позволило выявить его блоковую структуру. Размеры блоков оказались типичными для уральских месторождений.

На основе моделирования по гравитационному полю был проведен подсчет запасов для Трошковского, Махневского, Дальне-Буланашского, Липовского, Еловского месторождений, на которых проводились оценочные и разведочные работы. Погрешность расчета ресурсов составила 20 %. Исходя из накопленного опыта проведен подсчет запасов по категории P_2 для Маньинского месторождения. Запасы угля по данным гравиметрии оцениваются в 120 млн т.

В настоящее время практический интерес представляют неглубокозалегающие угольные залежи. С целью оценки возможностей детальной гравиразведки для поиска близповерхностных угольных залежей проведено имитационное моделирование Трошковского и Маньинского месторождений. Модель составлена по результатам поисково-оценочных работ. На участках выхода под покровные отложения крутопадающих, мощных угольных пластов наблюдаются отрицательные аномалии силы тяжести интенсивностью 0,3 мГал и более. Как видно из рис. 2, возможности гравиразведки существенно зависят от мощности рыхлых отложений. При мощности рыхлых отложений более 30 м применение гравиразведки нецелесообразно. Выявление всех деталей геологического строения угольных месторождение не обеспечивает даже разведочное бурение. Тем более не решат эту задачу предлагаемые в [2] профильные геофизические съемки. Эта задача может быть решена комплексом методов с обязательным привлечением площадных гравиметровой и магнитной съемок.

Рис. 2. Графики силы тяжести моделей близповерхностных угольных залежей:

а – при мощности рыхлых отложений 20 м, б – при мощности рыхлых отложений 5 м: 1 – аномалия, обусловленная угольными пластами; 2 – аномалия, обусловленная структурой; 3 – суммарная аномалия; 4 – угольные пласты; 5 – контур модели впадины



Выводы. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что гравиметровая съемка масштаба 1:50000 не обладает необходимой разрешающей способностью по вертикали для надежного выявления близповерхностных угольных залежей. Детальные гравиразведочные работы масштаба 1:10000 на площади, где выявлены отрицательные аномалии в результате съемки масштаба 1:50000, позволят существенно уточнить геологическое строение месторождений, выявить участки выхода пластов угля под покровные отложения, сократить объем буровых работ. Однако при мощности покровных отложений более 50 м выявление прямого эффекта от угольной залежи становится практически невозможным.

Проведенное моделирование шести угольных месторождений позволяет сделать вывод о необходимости проведения площадных гравиметровых и наземных магнитных съемок масштаба 1:10000 с целью оценки перспективности месторождений угля для открытой разработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С. Типовая схема процесса автоматизированной интерпретации гравитационного и магнитного полей в условиях Норильского района // Мат-лы Междунар. школы-семинара. Ухта, 2000. С. 3-26
2. Жуков О.В., Божко С.Д., Баскаков А.П. и др. Пути выхода из кризиса угольной геологии и угледобычи на Урале // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. Вып. 7. С. 17-29.
3. Кочнев В. А. Адаптивные методы решения обратных задач геофизики. Красноярск: Красноярский гос. ун-т, 1993. 120 с.
4. Семенов Б.Г., Сухоруков А.М., Исхакова Ф.Ш., Казачихин В.А. Прогноз угленосности геофизическими методами в Егоршино-Каменском и Буланаш-Елкинском районах // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. Вып. 6. С. 153-160.
5. Семенов Б.Г., Сухоруков А.М., Казачихин В.А. и др. Перспективы южного окончания Рефтинской угленосной зоны (Среднее Зауралье) // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1998. Вып. 8. С. 150-156.

6. Семенов Б.Г., Сухоруков А.М., Казачихин В.А. Дополнительные возможности гравиметрии при изучении структур Зауралья на примере месторождений Серовского угленосного района// Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. Вып. 11. С. 147–154.

7. Страхов В.Н. Математическое моделирование в теории интерпретации гравимагнитных полей // Математическое и физическое моделирование железорудных месторождений и рудных полей. Новосибирск: СНИИГиМС, 1983. С.7–17.

УДК 550.83+551.24

Г.Г. Кассин, В.В. Филатов

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

В ряде наших работ, посвященных вопросам тектонического строения Верхнекамского месторождения калийных солей и прогнозирования на ее территории динамических событий, было показано, что основными структурно-тектоническими элементами строения геологической среды, с которыми связаны очаги этих событий, являются активные разломы, узловые структуры и трещинные зоны [3, 8 и др.]. В настоящей статье излагаются методика и результаты изучения зон трещиноватости, под которыми понимается “множество примерно параллельных трещин совместно развитых в малом объеме массива” горных пород [6], а также взаимосвязь трещинных зон с различными структурами месторождения.

Верхнекамское месторождение в структурном отношении находится в центральной части Соликамской впадины Предуральяского краевого прогиба. Соляная залежь кунгурского возраста, залегающая среди терригенно-карбонатных пород, представляет собой линзообразное тело мощностью до 500 м, вытянутое в меридиональном направлении на 200 км, в широтном – до 50 км. Надсолевые отложения представлены (сверху вниз) двумя толщами: терригенно-карбонатной и соляно-мергельной. Поверхность кристаллического фундамента в районе месторождения находится на глубине 5–6 км.

Трещины в осадочной толще месторождения по генезису делятся на экзогенные и тектонические; по кинематике – на сколовые и отрывные. Экзогенные трещины выветривания и разгрузки, как и на всей Русской платформе, сравнительно неглубокие (первые десятки метров), развиты унаследованно по ранее сформировавшимся системам трещин и не представляют большого значения для изучения и прогнозирования динамических событий. Тектонические трещины делятся на планетарные, соскладчатые и приразломные. Планетарные трещины не связаны с какими-либо структурами. Они равномерно распределены по всей территории месторождения в виде систем (для Русской платформы характерны ортогональная и диагональная системы планетарных трещин), образуя региональный фон, на котором развиваются соскладчатые и приразломные трещины. Важнейшей особенностью этих двух видов трещин является то, что они концентрируются в пределах локальных участков геологической среды.

Трещины отрыва, в отличие от сколовых трещин, повышают проницаемость среды и как следствие способствуют интенсификации фильтрационных процессов, снижению прочности пород и уменьшению силы сцепления между блоками.

Таким образом, из всего многообразия генетических и кинематических видов трещин наибольший интерес для прогнозирования динамических событий в геологической среде месторождения имеют соскладчатые и приразломные трещинные зоны отрывного типа, выявление и изучение которых осуществляется геологическими и геофизическими методами.

Геологическими методами трещиноватость изучается в основном в горных выработках. В.А. Вахромеевой установлена связь сколовых и отрывных трещин со складчатостью; закартированы субвертикальные трещины, простирающиеся на десятки метров в меридиональном направлении, генезис которых ей установить не удалось [2]. О.Ф. Корочкина наблюдала в Тверитинской мульде трещины скола и отрыва, образующие зоны шириной 200–400 м северо-западного простираения [5]. С.А. Филиппов и О.Ф. Корочкина обнаружили крутопадающие трещины отрыва северо-восточного ($10-42^\circ$) и северо-западного ($285-310^\circ$) простираения протяженностью до 90 м, пересекающие сразу несколько продуктивных пластов [9]. Системы тектонических трещин в надсоляной терригенно-