

тонкослоистой пачки павдинской свиты, содержание урана и тория оказалось ниже порога чувствительности анализа. То же самое можно сказать и о содержании калия в одном из образцов, однако в другом оно оказалось неожиданно высоким – 2,9 %.

Сопоставляя распределение радиоактивных элементов с другими данными по разрезу скважины, можно заключить, что оно определяется рядом факторов, часто наложенных друг на друга. Среди них можно выделить следующие.

Химический состав пород. В интервале, охватывающем нижнюю пачку отложений переходной толщи, и верхнюю – отложений павдинской свиты, поведение урана и калия аналогично поведению кремнекислоты: с повышением уровня SiO_2 увеличивается и содержание в них указанных элементов. В меньшей степени такая связь прослеживается и для тория. Указанная закономерность четко прослеживается для пород дайкового комплекса, где наблюдается постепенное уменьшение содержания всех радиоактивных элементов при переходе от диоритов через нормальные и высокомагнезиальные базальты к пикрит-базальтам. Возможно, определенную роль играл и фактор метаморфизма: довольно четкое повышение содержания радиоактивных элементов на глубинах 3400-3500 м совпадает со сменой кварц-пумпеллит-пренит-хлоритовой ассоциации на существенно кальцит-эпидот-хлорит-пренитовую.

Фациальная обстановка осадконакопления. Как уже отмечалось, ряд локальных аномалий содержания урана приурочен к слоям, обогащенным углеродистым веществом и фосфором. По-видимому, повышенное содержание последних создавало условия для лучшей сорбции урана из растворов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башта К.Г., Горбунов В.А., Марченко А.И. и др. Уральская сверхглубокая скважина СГ-4 (путеводитель). Екатеринбург, 2000. 22 с.
2. Гурбанов А.Г. и др. Петрогенезис и возраст вулканических образований именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0-4617 м) // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4) // Научное бурение в России: Сб. науч. тр. Вып. 5. Ярославль, 1999.
3. Игумнов С.А. Применение метода наименьших квадратов при обработке спектров гамма-излучения в экологии и геохимии // Изв. УГГА. Серия: Геология и геофизика. Вып. 5. 1996. С. 146-150.
4. Игумнов С.А., Семенов В.С., Фефелов В.А. Экспериментальная проверка эффективности программ обработки сцинтилляционных спектров // Радиационная безопасность Урала и Сибири: Мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. Екатеринбург, 1997. С. 53.

УДК 550.837.9

В.А. Серков, О.В. Захаров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЯ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При проведении детальной разведки месторождений рудных полезных ископаемых, особенно колчеданных, широко используется метод электрической корреляции [2]. При этом нередко измерения в нескольких скважинах производятся при фиксированном положении точечного источника тока в зарядной скважине, расположенного в пределах рудного интервала. Если процесс измерений по скважинам сопровождать определением потенциала точечного источника на поверхности и устьях измерительных скважин, то появится возможность выяснения распределения потенциала по скважинам относительного единого уровня. Иными словами, такое дополнение методики измерений позволяет получить значения потенциала заряда в трехмерном пространстве. По аналогии с термином “метод заряда” назовем эту методику измерений “методом объемного заряда”.

Очевидно, что изучение поля точечного источника тока в трехмерном пространстве более информативно с точки зрения исследования особенностей геоэлектрического строения среды, нежели анализ потенциала по отдельным скважинам или на поверхности. Вместе с тем существуют и определенные трудности проведения анализа такого поля, которые связаны с достаточно сложным

поведением трасс измерения потенциала (скважин) в пространстве, неравномерностью их расположения, влиянием границы раздела “земля – воздух” и т. п. В данной статье приводятся некоторые результаты решения этих проблем, реализованные авторами на примере анализа данных метода объемного заряда по одному из рудных месторождений Урала, где измерения потенциала выполнены по 22 скважинам при одном положении заряда.

Исходными данными для проведения анализа поля являются:

- результаты измерений потенциала по скважинам при фиксированном положении точечного источника тока;
- значения потенциала устья скважин относительно постоянной точки на поверхности земли;
- результаты инклинометрии скважин;
- данные о рельефе дневной поверхности.

На основе этих данных строится трехмерная модель поля точечного источника тока. Построение модели поля заключается в вычислении значений потенциала в узлах равномерной сети по всему изучаемому пространству. Для решения этой задачи в области изучения поля строится серия горизонтальных плоскостей, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 1). На основе результатов инклинометрии определяются точки пересечения скважин с каждой плоскостью, а по данным метода электрической корреляции, - значения потенциала в этих точках. Следующий этап построения модели сводится к задаче интерполяции при произвольном расположении узлов (точек с известными значениями поля) на плоскости. Наиболее оптимальным (по мнению авторов) методом определения значений потенциала в узлах равномерной прямоугольной сети в таких условиях является крайгинг [1]. В этом случае учитывается и неравномерное распределение узлов интерполяции на плоскости, и наличие погрешности в результатах измерений потенциала. Оценка эффективности определялась по погрешности определения потенциала в точках пересечения скважин с плоскостью построения модели поля. Для крайгинга эта погрешность была минимальна.

На рис. 1 приведен пример модели поля точечного источника тока в виде изолиний потенциала в семи горизонтальных плоскостях, построенных с интервалом 100 м. Отсутствие резких изменений характера поля между соседними плоскостями свидетельствует об удовлетворительных результатах реконструкции поля по данным измерений потенциала в скважинах.

После построения моделей распределения потенциала точечного источника на плоскости целесообразно использовать при последующей интерпретации уже опробованные способы, разработанные для метода заряда в его традиционной форме. Общее признание в рудной геофизике получили способы, основанные на выделении аномальной составляющей поля точечного источника тока с ее последующим анализом [3]. Модель измеренного поля в этом случае представляется в виде суммы трех компонент:

$$U_{\text{изм}} = U_0 + U_a + U_p, \quad (1)$$

где U_0 , U_a и U_p – потенциалы нормального, аномального полей и помеха.

Основная проблема в выделении аномальной составляющей заключается в определении значений потенциала нормального поля. Обычно нормальное поле определяется как поле точечного источника тока на поверхности однородного безграничного полупространства. Использование более сложных моделей среды предполагает учет в нормальном поле влияния анизотропии электропроводности среды, влияния приповерхностного слоя и т. п. Таким образом, выделение аномального потенциала предполагает определение модели среды, в которой расположен источник поля, определение параметров модели, влияние которых необходимо исключить из аномальной составляющей потенциала, и построение математического аппарата для вычисления значений поля (математической модели). В случае “объемного заряда” задача усложняется тем, что измерения производятся в нижней части полупространства, где учет влияния границы раздела земля – воздух имеет более сложный характер, нежели при измерениях на поверхности.

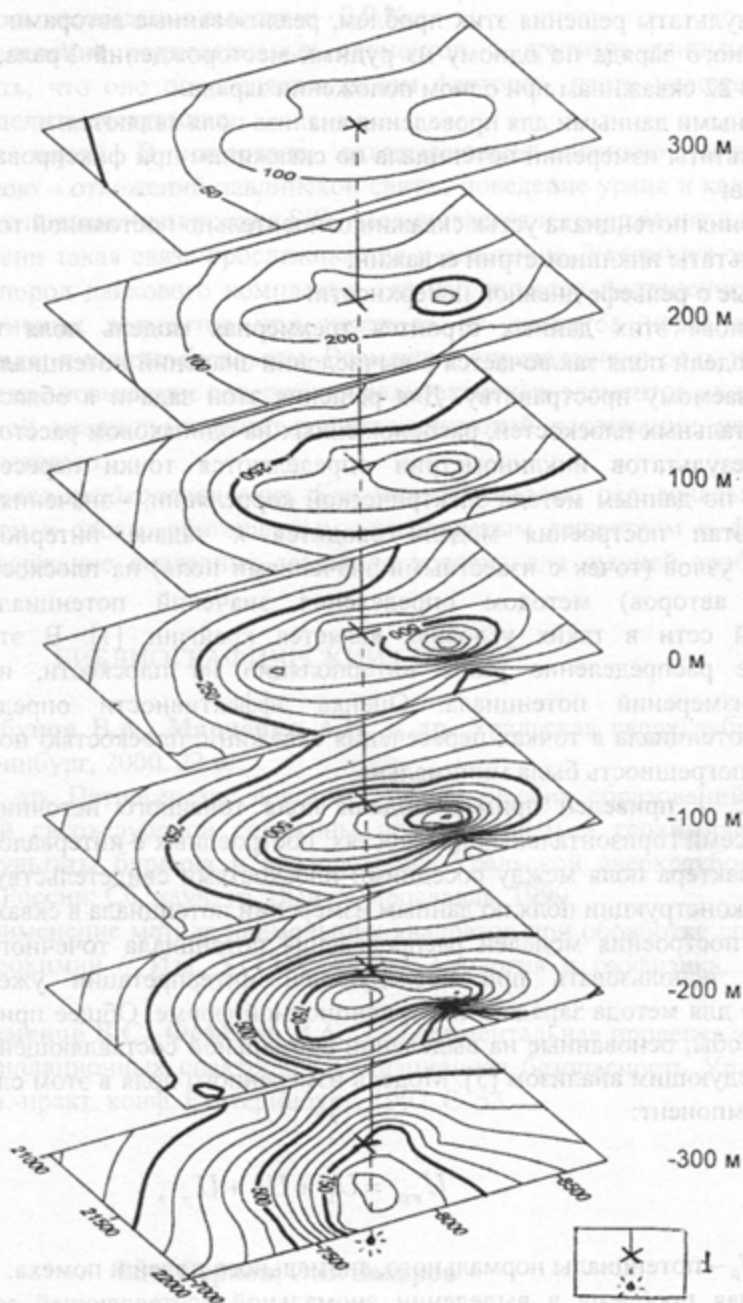


Рис. 1. Изолинии потенциала "объемного заряда" в плоскости горизонтальных разрезов.

1 — положение и проекции точечного источника тока

С учетом этих обстоятельств представляется целесообразным использовать для определения нормального поля методику, которая не требует построения математической модели поля точечного источника в сложно построенной среде. В работе [4] по отношению к методу заряда введено понятие "условно-нормального поля" как некоторой аналитической функции, которой можно заменить потенциал точечного источника на плоскости с максимальной степенью правдоподобия. В качестве такой функции предложено использовать алгебраический многочлен четвертой степени

$$U(x, y) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{6-i} [a_i x^{(6-i-j)} y^{(j-1)}]. \quad (2)$$

Значения параметров a_i ($i=1, 2, 3, \dots, 15$) функции определяются на основе минимизации квадрата разности между измеренными значениями потенциала и функцией (2):

$$\sum_{k=1}^n [U_{\text{изм}}(x_k, y_k) - U(x, y)]^2 = \min, \quad (3)$$

где $U_{\text{изм}}(x_k, y_k)$ - значения поля, измеренные в точках с координатами x_k, y_k на плоскости; n - количество точек, в которых выполнены измерения потенциала; $U(x, y)$ - определяется выражением (2).

Анализ результатов математического моделирования [4] показывает, что предложенная функция удовлетворительно описывает поле точечного источника тока над сложно построенными геоэлектрическими моделями, позволяет учесть влияние анизотропии электропроводности горных пород, влияние удаленного электрода В и влияние приповерхностного слоя. Таким образом, "условно-нормальное поле" учитывает факторы, влияние которых "равномерно" распространяется на всю область измерений поля. Следовательно, данный подход позволит в некоторой степени учесть и влияние границы раздела земля - воздух. Аномальная составляющая поля отражает влияние локальных неоднородностей геоэлектрического строения и влияние контактов горных пород, обладающих различным удельным электрическим сопротивлением. Поскольку измерения потенциала производятся в нижней части полупространства, интенсивность этих аномалий будет соизмерима по амплитуде, чего нельзя сказать об измерениях на поверхности, где интенсивность контактных аномалий в несколько раз превышает интенсивность аномалий от локальных проводников, расположенных в нижнем полупространстве.

Отметим и тот факт, что процедура вычисления условно-нормального поля не требует предварительной информации о структуре и параметрах геоэлектрической модели среды. Отмеченное снижает влияние субъективного фактора на результаты обработки и позволяет алгоритмизировать указанную процедуру с высокой степенью формализации, что весьма важно при разработке компьютерных технологий анализа результатов измерений. Кроме того, данный способ вычисления аномального потенциала избавляет от необходимости введения в программное обеспечение средств поддержки математических моделей поля точечного источника для сред сложного геоэлектрического строения.

На рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий технологию получения модели аномального поля. На основе обработки значений потенциала измеренного поля (см. рис. 2,а) определяются параметры аппроксимирующего многочлена (2) с использованием метода наименьших квадратов. На следующем этапе производится вычисление потенциала условно-нормального поля и построение модели этого поля (см. рис. 2,б). Модель аномального поля определяется разностью потенциалов измеренного и условно-нормального полей (см. рис. 2,в).

Выполнив обработку результатов измерений по всем горизонтальным плоскостям, можно построить объемную модель аномального поля, пример которой приведен на рис. 2,г. Оценка качества обработки исходных данных на этом этапе выполняется путем визуального анализа характера аномального потенциала. Отсутствие резких изменений в структуре поля на соседних горизонтах и корреляция эпицентров аномальных зон в вертикальном направлении свидетельствуют об удовлетворительном характере определения моделей условно-нормального и аномального полей.

Заключительным этапом анализа моделей является определение пространственного положения областей с повышенной электропроводностью (рис. 3). Поскольку источник тока в приведенном примере находился в пределах рудной зоны, то последняя будет выделяться интенсивными положительными аномалиями потенциала, определение контуров которых и составляет задачу интерпретации.

Обработка и анализ результатов измерений методом "объемного заряда" требует выполнения большого количества трудоемких вычислений. Поэтому авторами разработано и опробовано программное обеспечение в виде автоматизированной системы "КОБРА" для IBM совместимых компьютеров, которое позволяет решать весь комплекс задач этого метода.

Информационную основу системы составляют базы данных (результаты измерений потенциала по скважинам, данные инклинометрии, координаты скважин, результаты измерений потенциала на поверхности).

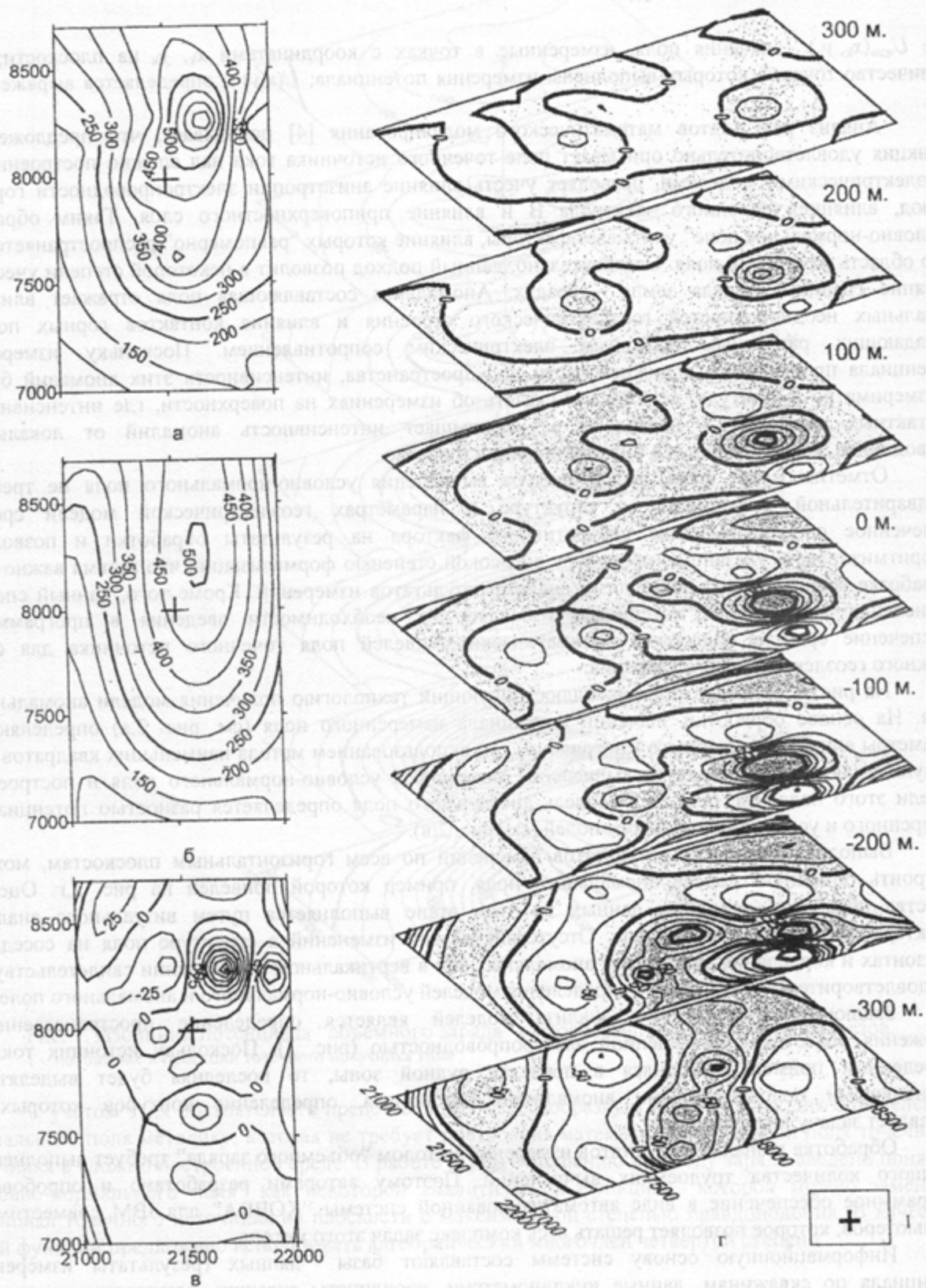


Рис. 2. Построение модели аномального поля:

а – изолинии потенциала измеренного поля по горизонту 0 м; б – изолинии потенциала условно-нормального поля; в – изолинии потенциала аномального поля; г – изолинии потенциала аномального поля в плоскостях горизонтальных разрезов; л – проекция источника на плоскость исследования

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.

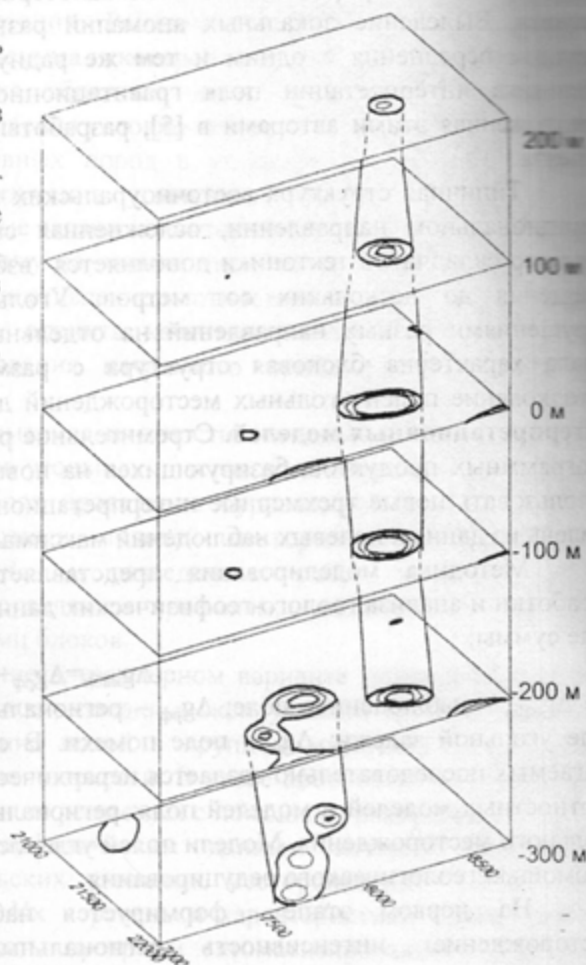


Рис. 3. Положение зоны повышенной электропроводности в области исследования поля

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