

МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ (НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ) С ЦЕЛЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

В.Ю. Косыгин, И.А. Польников
ВЦ ДВО РАН, г.Хабаровск

Одной из основных задач при интерпретации потенциальных полей является их разделение на составляющие. Применяемые обычно в гравиразведке способы разделения полей можно объединить в две группы. Первая включает в себя способы выделения фона (пересчет в верхнее полупространство, осреднение, сглаживание) и локальных аномалий (вычисление высших производных, пересчет в нижнее полупространство). Ко второй группе можно отнести различные способы экстраполяции и аппроксимации (с использованием полиномов, рядов и других способов).

Рассматриваемый способ разделения потенциальных полей, основанный на решении обратной задачи поиска источников фонового и локальных полей, относится ко второй группе.

Рассмотрим общую постановку обратной задачи гравиразведки. Пусть задано суммарное поле

$$u_\delta(x, z) = u_n(x, z) + u_\phi(x, z) + \delta u(x, z)$$

с погрешностью δ так, что $\|\delta u(x, z)\| \leq \delta$. Необходимо

определить локальную u_n и фоновую u_ϕ составляющие, а по ним найти параметры источников. Поставленную задачу можно решать двумя способами.

Первый подход предполагает, что приближенно известны области расположения источников локального и фонового полей. В этом случае возможно одновременное определение параметров источников u_n и u_ϕ по заданному полю.

Второй подход позволяет находить источник локальной аномалии в два этапа, предварительно выделив ее из суммарного поля. Для его реализации необходимо задание участков поля (c, e) и (f, d) (рис.1), где влияние локальной аномалии мало и удовлетворяет условию

$$\|u_n(x, z)\|_{c[(c,e)+(f,d)]} = \max |u_n(x, z)|_{(c,e)+(f,d)} \leq \delta$$

тогда, решая по полю $u_\delta(x, z)$ на участках $(c, e) + (f, d)$ обратную задачу

$$\|u_\delta(x, z) + u_\phi(x, z, s)\|_{L_2[(c,e)+(f,d)]} \leq 2\delta$$

с ограничениями на искомый вектор s (вектор параметров источника), находим вектор \tilde{s} , фоновое поле u_ϕ на всем интервале (c, d) и локальную аномалию $\tilde{u}_n = u_\delta - \tilde{u}_\phi$. Если выполняются условия единственно-

сти определения s по u_ϕ , имеет место сходимость регуляризованного решения, $\tilde{s} \rightarrow s$ к точному решению при $\delta \rightarrow 0$ и $\eta = (f - e)/(d - c) \rightarrow 0$, где η характеризует отношение длины распространения локальной аномалии к длине всего интервала $d - c$, используемого при решении задачи разделения полей [1-4].

В данной работе в качестве системы источников фона выбрана система, включающая ряд материальных полос (отрезков) произвольного направления. На рис. 1 представлена указанная система отрезков, аппроксимирующих геологически содержательные источники фона, - слой с линейно меняющейся плотностью, наклонные ступени, контактные границы. Источники регионального фона аппроксимируются более простыми математическими моделями - указанными материальными отрезками. Единственность восстановления такой системы доказана в [5]. Прямой эффект таких отрезков выражается в комплексной форме следующим образом:

$$u(x, z) = \text{Im} \sum_{k=1}^N A_k \ln \frac{t - a_k}{t - b_k} \quad (1.1)$$

где $A_k = 2G\mu_k e^{i\varphi_k}$; G - гравитационная постоянная, $\mu_k = \sigma_k h$ - поверхностная плотность, σ_k - эффективная плотность в г/см, h - мощность источника в км, φ_k - угол наклона отрезка равный нулю для горизонтального отрезка и $\pi/2$ для вертикального; a_k и b_k - комплекс-

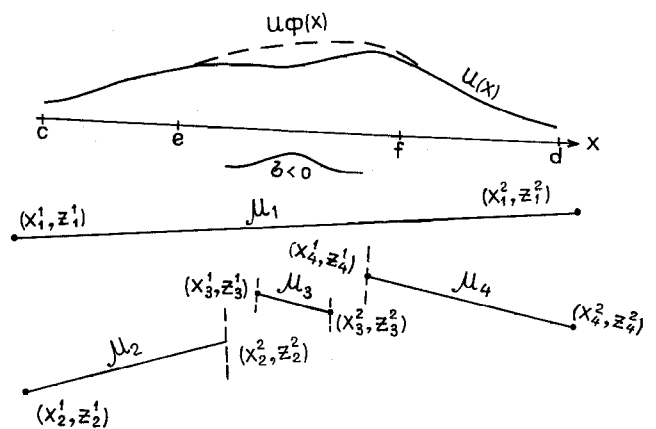


Рис. 1. Модель источников фона – система произвольных отрезков

ные аффиксы (координаты) концов отрезка $a_k = x_{1k} + iz_{1k}$, $b_k = x_{2k} + iz_{2k}$, x_{1k} , x_{2k} - горизонтальные координаты концов k -го отрезка, z_{1k} , z_{2k} - глубины концов k -го отрезка, $t = x + iz$ - комплексный аффикс (координата) внешней точки, в которой вычисляется прямой эффект, u - поле силы тяжести.

Рассмотрим выражение (1.1) и приведем его к действительной форме. После преобразования получим:

$$u(x, z, s) = G \sum_{k=1}^N \mu_k \left[\sin \varphi_k \ln \frac{(x-x_{2k})^2 + (z-z_{2k})^2}{(x-x_{1k})^2 + (z-z_{1k})^2} + 2 \cos \varphi_k \left(\operatorname{arctg} \frac{x-x_{1k}}{z_{1k}-z} + \operatorname{arctg} \frac{x_{2k}-x}{z_{2k}-z} \right) \right]$$

где:

$$\sin \varphi_k = \frac{z_{2k} - z_{1k}}{\sqrt{(x_{2k} - x_{1k})^2 + (z_{2k} - z_{1k})^2}},$$

$$\cos \varphi_k = \frac{x_{2k} - x_{1k}}{\sqrt{(x_{2k} - x_{1k})^2 + (z_{2k} - z_{1k})^2}},$$

$$s = \{x_{11} \dots x_{1N}, x_{21} \dots x_{2N}, z_{11} \dots z_{1N}, z_{21} \dots z_{2N}, \mu_1 \dots \mu_N\},$$

$$s = \{s_m\}, 1 \leq m \leq 5N$$

φ_k - угол наклона отрезка, отсчитываемый от горизонтального уровня с центром в точке x_{1k} . При $\varphi_k = 0$ пластина становится горизонтальной ($\cos \varphi_k = 1, \sin \varphi_k = 0$) и эффект совпадает с эффектом горизонтальной пластинки, при $\varphi_k = \pi/2$ (угол отсчитывается вниз) пластинка становится вертикальной ($\cos \varphi_k = 0, \sin \varphi_k = 1$) и эффект совпадает с эффектом вертикальной пластинки.

Поскольку задача является некорректно поставленной, то есть малым погрешностям задания u_δ могут соответствовать значительные погрешности определения параметров источников, для ее решения ставится задача минимизации сглаживающего функционала

$$M^a[s, u_\delta] = N[s, u_\delta] + \alpha \Omega[s], \quad (1.3)$$

где

$$N[s, u_\delta] = \int_c^e (u_\delta(x, z) - u(x, z, s))^2 dx + \int_f^d (u_\delta(x, z) - u(x, z, s))^2 dz,$$

$$\Omega[s] = \sum_{i=1}^{5N} (s_i - s_i^{on})^2 q_i \quad (1.4)$$

s_i^{on} - опорные априорные значения искомым параметров,

q_i - веса составляющих $\Omega[s]$.

Минимизация функционала M^a по параметрам s_i осуществлена модифицированным методом Ньютона ре-

шения системы Эйлера (1.5)

$$\frac{\partial M^a}{\partial s_i} = 0 \quad (1.5)$$

в итерационном цикле по $\alpha_i = \alpha_0 (\Delta \alpha)^{j-1}$, $1 \leq j \leq N_\alpha$ в основе которого лежит выбор оптимального решения по квазиоптимальному критерию Тихонова-Гласко [3, 4].

$$\min_{\alpha_j} \left\| \frac{s^{\alpha_j} - s^{\alpha_{j-1}}}{s^{\alpha_j}} \right\|_C = \min_{\alpha_j} \max_m \left| \frac{1}{s_{m_j}} (s_{m_j} - s_{m_{j-1}}) \right|$$

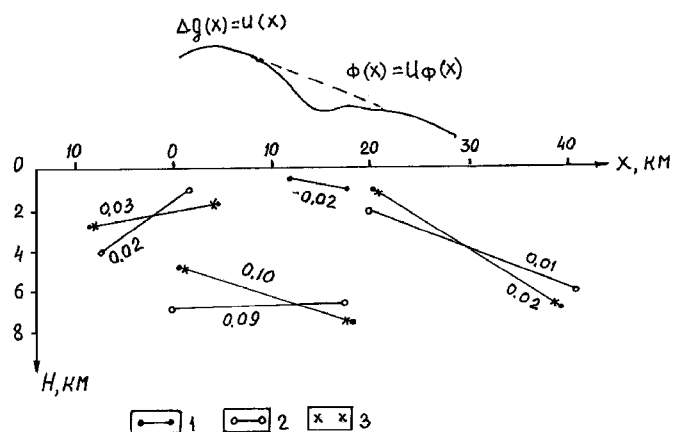
Объединение статистического подхода с принципом регуляризации обеспечивает устойчивость алгоритма и быстрдействие. В этом преимущество алгоритма по сравнению с другими способами.

Данный алгоритм реализован в программе РЕСТ статистической регуляризации на ЭВМ типа ЕС. Программа РЕСТ является реализацией первого подхода, которого придерживается В.И. Старостенко, то есть решения проблемы фона в рамках наиболее полной модели, включающей все источники фона и локальных составляющих (рис. 1).

При технологической реализации программы предусмотрено, что исходными значениями являются поля $u(x, z)$ на всем интервале задания (c, d), то есть интервал $(e, f) = 0, e = f$. В содержательном плане это соответствует случаю, когда N_1 - номер конца первого интервала и N_2 - номер конца второго интервала связаны соотношением $N_1 + 1 = N_2$.

Программа РЕСТ опробована на модельных примерах (рис. 1, 2).

Так на рисунке 2 приведен модельный пример восстановления системы отрезков по их начальным приближениям.



1 - положение отрезков;
2 - начальное приближение;
3 - восстановленные концы отрезков.

Рис. 2. Модельный пример восстановления системы отрезков по программе РЕСТ

ЛИТЕРАТУРА

1. Жбанков Ю.В., Филатов В.Г. Алгоритм разделения потенциальных полей. М.: Информационный листок МГЦНТИ., 1986. С. 13-86.
2. Красиков В.Н., Жбанков Ю.В., Бережин В.М., Филатов В.Г., Хандошко А.Л. Разделение потенциальных полей на основе метода регуляризации с целью выделения залежей углеводородов // Тихоокеанская геология. 1990. №4. С.76-81.
3. Мудрецова Е.А., Филатов В.Г. Выделение гравитационного эффекта залежей нефти и газа и определение их месторождения на основе регуляризации. Разведочная геофизика.: Недра, 1977. С. 67-71.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 288 с.
5. Филатов В.Г. Вероятностно-статистический подход при решении обратных задач гравиразведки // Прикладная геофизика 1985. Вып.3. С. 82-86.