

УДК 519.6:550.8.05

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИРАЗВЕДКИ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИАЛЬНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПЛОЩАДЕЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Мотрюк Е.Н., Вельтистова О.М.

*ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,
e-mail: kmotryuk@yandex.ru*

Согласованная с геофизическими полями модель строения осадочного чехла позволяет проводить геологическую интерпретацию на высоком уровне и способствует повышению эффективности работ, направленных на выявление перспективных зон нефтегазоносности. Структурно-плотностная модель среды, с заданной степенью точности удовлетворяющая наблюдаемому гравитационному полю, формируется путем решения обратных задач гравirazведки. В статье рассматриваются вопросы выбора оптимальных параметров при решении обратных задач гравirazведки на основе критериального подхода итерационным методом решения. Представлена вычислительная схема алгоритма решения с введением параметра релаксации. В программном редакторе геолого-геофизических моделей среды GeoVIP в качестве примера исследовались профили Верхнепечорской впадины и Среднепечорского поперечного поднятия. Выполнено геоплотностное моделирование путем решения обратной плотностной задачи гравиметрии. Установлена зависимость невязки наблюдаемого и рассчитанного полей от шага расчетов. Выбран оптимальный шаг для интерполяции и решения с учетом минимального значения невязки и времени расчета – он должен лежать в пределах второй четверти интервала расположения пунктов съемки наблюдения. Для структур подобного типа разработаны методические рекомендации по выбору значений критерия оптимальности, шага интерполяции и решения обратной задачи данным методом, а также оптимальной величины невязки.

Ключевые слова: алгоритм решения обратной задачи гравirazведки, критерий оптимальности, невязка наблюдаемого и рассчитанного полей, шаг интерполяции, количество итераций, структурно-плотностные модели

SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR SOLVING THE INVERSE PROBLEMS OF GRAVOGRAPHIC EXPLORATION ON THE BASIS OF A CRITERIAL APPROACH FOR AREAS OF THE TIMAN-PECHORA PROVINCE

Motryuk E.N., Veltistova O.M.

Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: kmotryuk@yandex.ru

The sedimentary cover structure model agreed upon by geophysical fields allows for a high-level geological interpretation and helps to increase the efficiency of work aimed at identifying promising oil and gas zones. The structural-density model of the medium, with a given degree of accuracy satisfying the observed gravitational field, is formed by solving inverse problems of gravity exploration. The article discusses the choice of optimal parameters when solving inverse problems of gravity exploration based on the criteria approach using an iterative method of solution. A computational scheme of a solution algorithm with the introduction of a relaxation parameter is presented. In the program editor of geological and geophysical models of the GeoVIP medium, as an example, the profiles of the Verkhnepechorsky Depression and the Middle Pechorsky Transverse Rise were studied. The density-density modeling was performed by solving the inverse density problem of gravimetry. The dependence of the discrepancy between the observed and calculated fields on the calculation step is established. The optimal step for interpolation and solution was chosen taking into account the minimum value of the discrepancy and the calculation time – it should lie within the second quarter of the interval of the location of observation observation points. For structures of this type, methodological recommendations were developed for choosing the values of the optimality criterion, the interpolation step and solving the inverse problem by this method, as well as the optimal value of the residual.

Keywords: algorithm for solving the inverse problem of gravity exploration, optimality criterion, discrepancy between the observed and calculated fields, interpolation step, number of iterations, structural-density models

Формирование достоверных физико-геологических моделей сред изучаемых регионов является основой для выявления перспективных зон нефтегазоносности, что, в свою очередь, позволяет эффективно принимать решения о проведении поисковых геологоразведочных работ. Наличие согласованной с геофизическими полями модели строения осадочного чехла является важнейшим условием успешной геологической интерпретации.

Построение необходимых для этого структурно-плотностных моделей исследуемой среды, с заданной степенью удовлетворяющей наблюдаемому гравитационному полю и соответствующих имеющимся представлениям о строении изучаемой площади, осуществляется решением обратных задач гравirazведки. В этой связи является важным выбор метода и параметров решения для получения наилучшего результата.

Цель исследования: определение оптимальных параметров решения обратной задачи гравиразведки в рамках критериального подхода с интегральным критерием оптимальности и итерационным методом решения.

Материалы и методы исследования

Процесс моделирования включает в себя решение обратных задач гравиразведки в двух постановках (поиск конфигурации структурного фактора и изучение аномального дифференцирования плотностных характеристик) [1–3]. Одним из наиболее эффективных подходов к решению обратной задачи является критериальный. В его основе лежит нахождение оптимального относительно заданного критерия оптимальности $J[\sigma, g]$ или $J[f, g]$ решения обратной задачи. В качестве нулевого приближения рассматривается модель g , а функционал J содержит дополнительную информацию о неоднородности данных или положении плотностных границ, на основе которых выполнялись построения [4; 5, с. 188–195]. Критерий обеспечивает доопределение решаемой задачи реконструкции изучаемого параметра, в нашем случае это или плотностные характеристики, или глубины залегания границ.

Плотностная задача гравиразведки

$$A[\sigma(v)] = \gamma \int_V \frac{\sigma(v) z dx dy dz}{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + z^2]} = u_z(s_0),$$

$$J[\sigma(v)] = \|F\sigma(x)\|_{L_2(v)} = \int_V \frac{[\sigma(v) - \sigma^*(x)]^2}{\tau^2(v)} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Для ее решения требуется найти такое распределение плотности $\sigma(v)$ по наблюдаемой $u_z(s_0)$, которая минимизирует $J[\sigma(v)]$ и удовлетворяет наблюдаемой $u_z(s_0) = u_z(x_0, y_0)$ с заданной степенью точности ϵ . Требуемая точность задается исходя из свойств исходных данных и цели последующего использования модели. Здесь v – область нижнего полупространства (может быть и двумерная $v = s = (x, z)$, и трехмерная $v = (x, y, z)$), где необходимо найти распределение параметра, s_0 – область наблюдения поля u_z, γ – гравитационная постоянная. Параметр $\tau^2(v)$, входящий в конструкцию критерия оптимальности (1), можно интерпретировать как величину, связанную с априорной оценкой достоверности (сред-

неквадратичной погрешности построения) нулевого приближения $\sigma^*(v)$. В (1) имеются также F – линейный замкнутый оператор, F^* – сопряженный к F оператор.

Итерационный алгоритм построения сходящейся последовательности искомого параметра основан на принципе наискорейшего убывания невязки по полю, реализует вариационный принцип равномерной оптимизации заданной модели [6]. Для линейных задач, каковой является плотностная, вычислительная схема итерационного алгоритма последовательных приближений реализуется в форме

$$\sigma^{n+1}(v) = \sigma^n(v) + \alpha_n F^{-1} \xi^n(s_0);$$

$$\xi^n(s_0) = u_z(s_0) - A\sigma^n(v);$$

$$\sigma^0(v) = \sigma^*(v). \quad (2)$$

Здесь α_n – параметр релаксации, выбираемый по требованию скорейшего убывания невязки, при этом скорость убывания невязки обеспечивается следующим его значением:

$$\alpha_n = - \frac{\langle \xi^n(s_0) | A_v F^{-1} \xi^n(s_0) \rangle}{\|A_v F^{-1} \xi^n(s_0)\|_{L_2}^2}. \quad (3)$$

Алгоритм (2, 3) монотонно сходится к решению уравнения (1). Критерием его остановки служит достижение требуемого уровня невязки $\|\xi^n(s_0)\|_{L_2}^2$.

Параметр, регулирующий свойства оптимальности, это оператор F^{-1} – обратный к F оператор. Он выражает априорные данные о строении изучаемой среды на момент очередного шага решения обратной задачи и может уточняться в процессе вычислений.

Следует помнить, что полученное решение является оптимальным лишь с точки зрения задаваемой модели и критерия. На самом деле мы получаем одно из допустимых, априори равноправных решений при других условиях. В зависимости от целей модель можно упростить или наполнить дополнительными данными и рассматривать решение в этих классах моделей. Выбор параметрической размерности (сложности) модели возмущающих объектов, согласованный с объемом априорной информации, является фактором, во многом предопределяющим качество решений обратных задач [7, 8].

Если решение плотностной задачи не дает удовлетворительных результатов, требуется уточнить расположение структурно-плотностных границ путем решения структурной задачи.

В структурной модели среды задаются плотности в N пластах и $N + 1$ границ $z_i = f_i(x, y)$, характеризующих глубину залегания z в зависимости от координат $s = (x, y)$ на поверхности, для двухмерного случая $s = x$. Координаты точек наблюдения $s_0 = (x_0, z_0)$. Вертикальное изменение плотности в структурной модели не допускается. Связь между структурными элементами – $f(s) = \{f_i(s), i = 0, \dots, N\}$, $\sigma(s) = \{\sigma_i(s), i = 0, \dots, N\}$ и «наблюдаемой» вертикальной производной гравитационного потенциала $u_z(s_0)$ в области S нижнего полупространства ($z > 0$) имеет вид

$$A(f(x), \psi_j) = \sum_{i=0}^N \int_a^b \Delta\sigma_i(x) \ln \left[(x - x_j)^2 + (f_i(x) - h_j)^2 \right] dx = \frac{\Delta u_z(s_j)}{\gamma},$$

$$h_j = \psi(x_j), j = 0, \dots, M, \Delta\sigma_i(x) = \sigma_i(x) - \sigma_{i-1}(x), \sigma_0(x) = \sigma_{N+1}(x) = 0, \quad (4)$$

где $[a, b]$ – профиль, вне которого границы выходят на асимптоты и их влияние (боковых зон) учитывается отдельным образом, $\psi = \{\psi(x_j)\}$ – высоты рельефа, в точках которого $s_j = (x_j, h_j = \psi(x_j))$ задано поле, $M + 1$ – количество точек наблюдения, $\Delta\sigma_i(x)$ – перепад плотности на контакте с номером i . Соотношение (4) в операторном виде вместе с критерием:

$$A[f(x)] = u_z(s_0),$$

$$J[f(x)] \rightarrow \min. \quad (5)$$

Можно считать, что для каждой точки профиля возможные глубины залегания границ образуют множество, где для каждого двух произвольно взятых глубин одной границы, z_1 и z_2 , можно указать, какая из них наиболее предпочтительна, или они имеют одинаковый ранг (приоритет), в том числе ранг недопустимой глубины (например, на дневной поверхности или выше нее). Алгоритм (5) решения (1) строится аналогично случаю плотностной задачи.

Проведем ряд экспериментов, позволяющих определить наилучшие параметры решения обратной плотностной задачи гравиразведки для получения оптимального результата при минимальной затрате времени для выбранного критерия и алгоритма (1–3). Решение будем проводить в программном редакторе геолого-геофизических моделей среды GeoVIP [4, 9].

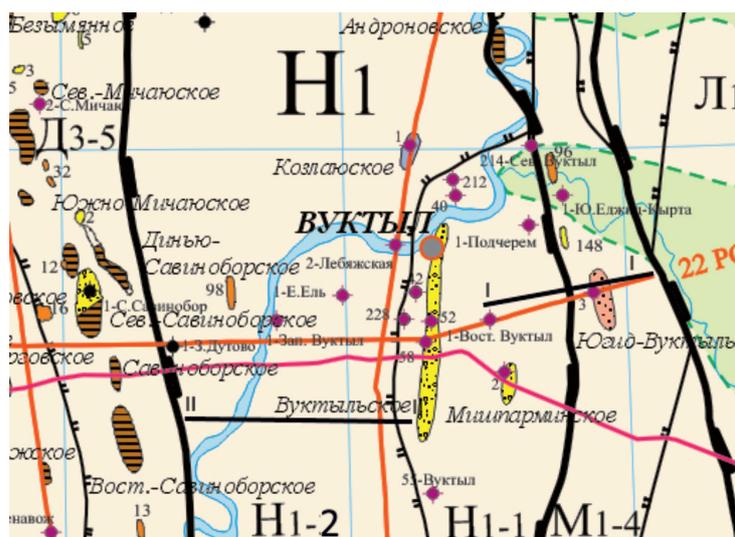
Для исследований были выбраны два профиля, расположенные в различных структурно-тектонических зонах (рис. 1). Профиль I–I расположен в пределах восточного борта Верхнепечорской впадины и Среднепечорского поперечного поднятия, профиль II–II пересекает Печоро-Ильчскую моноклинал Верхнепечорской впадины, где по данным сейсморазведки выделяются рифогенные постройки. Рассматриваемая территория покрыта детальными гравиметрическими съемками

масштаба 1:25 000 и 1:50 000. Анализ гравиметрических карт в пределах впадины показал, что среднеквадратическая ошибка определения аномалий Буге в пределах Верхнепечорской впадины составляет $\pm 0,2 - 0,25$ мГал. Учитывая погрешность съемок, можно полагать, что по их данным принципиально возможно выявление объекта, если гравитационный эффект от него превышает величину 0,2 мГал. Такой эффект на картах масштаба 1:25 000 и 1:50 000 будет проявляться в виде малоамплитудных аномалий, в основном в изгибах изоаномал. В последнее время исследователи ТПП особое внимание уделяют выделению органогенных построек как элементов, связанных с перспективами запасов нефти и газа. В нашем случае выделение на картах гравитационного поля и его трансформант рифов доманико-турнейского возраста, расположенных на глубинах 2500–3000 м, довольно проблематично. Тем не менее геоплотностное моделирование, основанное на решении обратных задач гравиразведки, в комплексе с данными сейсморазведки, позволяет выделить плотностные характеристики, связанные с литологическими неоднородностями осадконакопления.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим профиль I–I. Длина профиля 40000 м, глубина 13000 м. Для получения полезной информации об изучаемой территории длина профиля к его глубине должна относиться не менее чем 3:1. Для определения интересующих нас параметров имеются установленные погрешности [10] (табл. 1).

Для определения критериев оптимальности при решении обратных задач гравиразведки необходимо, чтобы искомое решение минимально отклонялось от заданного нулевого приближения с учетом различной степени достоверности его построения в задаваемых точках. Значения весового множителя задаются в пределах от 0 до 1.



H_1 – Верхнепечорская впадина
 H_{1-1} – Вуктыльская тектоническая пластина
 H_{1-2} – Печоро-Илычская моноклинал
 M_1 – Среднепечорское поперечное поднятие
 M_{1-4} – Югид-Кыртинская антиклинальная зона
 — профили I–I и II–II

Рис. 1. Схема расположения профилей

Таблица 1

Интервалы варьирования параметров и погрешностей гравиметрической съемки

Параметр	Значение
Масштаб отчетной карты	1:25 000
Сечение изоаномал, мГал	0,25
Средняя квадратическая погрешность определения аномалии Буге, мГал	$\pm 0,1$
Средняя квадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести, мГал	$\pm 0,06$
Полная погрешность интерполяции, мГал	$\pm 0,2$
Средняя квадратическая погрешность определения высот, м	$\pm 0,350$
Средняя квадратическая погрешность определения координат пунктов относительно Государственной геодезической сети, м	± 20
Число пунктов на 1 км ²	12–16
Расстояния между пунктами при наблюдениях по профилям, м	50–250

Исследования проводились с учетом следующих начальных параметров:

Максимальная глубина исследований – $h_{\max} = 13\ 000\ \text{м} = 13\ \text{км}$;

Глубина залегания рассматриваемой плотностной неоднородности – h (км);

Вспомогательный коэффициент $\beta = 1/h_{\max} = 1/13$;

Значение критерия – $k = \beta h = (1/13) h$.

Интегральные критерии оптимальности и, в частности, имеющие вид квадратичной формы, отражают усредненные характеристики искомого решения. В случае имеющих сведений о высокой степени достоверности информации, используемой при начальном построении, таких как данные бурения, ГИС, лабораторных исследований, критерий оптимальности можно уменьшить, а если имеется недостаток данных, то значение его необходимо увеличить.

В частности, в пределах территории, достаточно разбуренной поисковыми скважинами, параметр критерия оптимальности берется близким к 0, а по мере удаления от таких мест – к 1. Исходя из этих соображений, для плотностной задачи критерий был пересмотрен.

Обратная задача решена для профиля I–I (длина $L = 40000\ \text{м}$) до пяти итераций (табл. 2) со следующими параметрами:

Δx – шаг интерполяции границ и решения прямой и обратной задач (м);

d – количество интервалов по профилю: $d = L/\Delta x$ или $d = [L/\Delta x] + 1$;

$\delta_{\text{пр}}$ – невязка при решении прямой задачи (мГал);

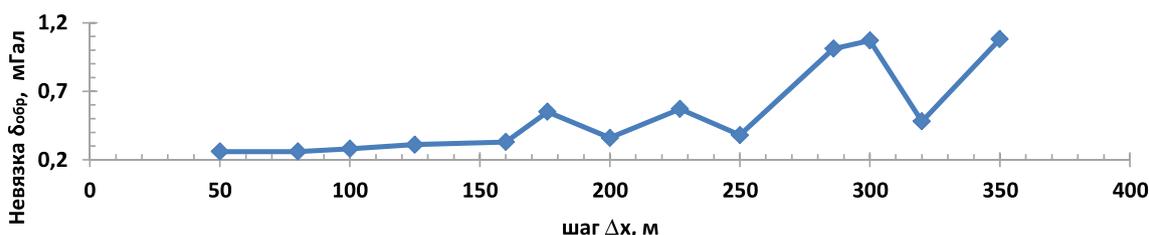
$\delta_{\text{обр}}$ – невязка при решении обратной задачи (мГал);

T – время решения обратной задачи для пяти итераций и соответствующем шаге (с).

Таблица 2

Зависимость невязки при решении обратной плотностной задачи от Δx для 5 итераций (профиль I-I)

$\Delta x, \text{ м}$	$L = \Delta x * d, d \in N$								$L \approx \Delta x * d, d \in N$				
	50	80	100	125	160	200	250	320	176	227	285	300	350
d	800	500	400	320	250	200	160	125	227	177	140	133	114
T, с	183	41	29	19	17	8	6	6	11	9	6	6	5
$\Delta z, \text{ м}$	50	100	100	125	150	200	250	300	150	200	250	320	320
$\delta_{\text{пр}}, \text{ мГал}$	6,00	6,01	5,88	5,69	5,58	5,56	5,53	5,24	9,21	8,99	12,02	12,37	11,86
$\delta_{\text{обр}}, \text{ мГал}$	0,26	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,48	0,55	0,57	1,01	1,07	1,08

Рис. 2. График зависимости $\delta_{\text{обр}} = \delta_{\text{обр}}(\Delta x)$ для пяти итераций решения обратной задачи для профиля I-I для шага Δx : $L \approx \Delta x * d$

Шаг интерполяции по глубине Δz выбирается соразмерно шагу Δx . Следует отметить, что шаг интерполяции при решении прямой и обратной задач гравirazведки должен быть одинаков, иначе алгоритм может привести к ухудшению результата, т.е. увеличению значений невязок.

На рис. 2 показан график зависимости невязки при решении обратной задачи от произвольного шага.

По полученным результатам можно утверждать, что алгоритм расчета неустойчив относительно произвольного шага. Поэтому следует выбирать Δx : $L = \Delta x * d$, $d \in N$. В табл. 3 приведена полученная зависимость такого шага и числа итераций. Оптимальным шагом, соответствующим минимальному числу итераций при условии минимизации времени расчета обратной задачи, следует считать 100 м.

Таблица 3

Зависимость количества итераций (It – количество итераций) для достижения удовлетворительной невязки 0,25 мГал при решении обратной плотностной задачи от Δx

Δx	50	80	100	125	160	200	250	320
It	7	7	7	9	9	11	13	17

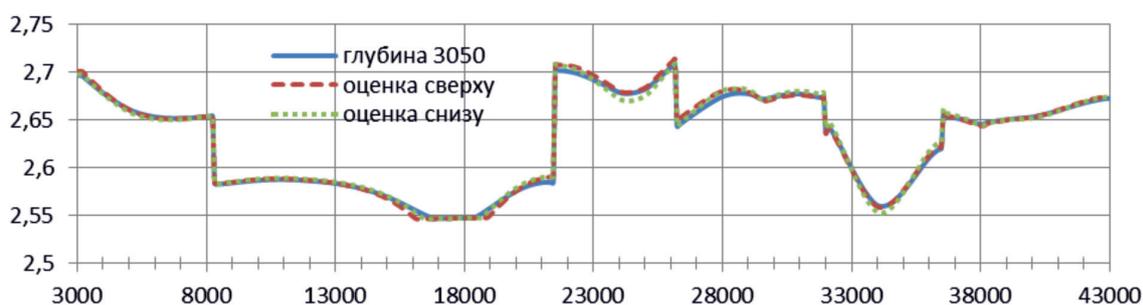
Для невязки 0,125 мГал количество итераций увеличилось в несколько раз. Для теста была решена обратная плотностная задача для шага 80 м и 100 м. Количество

итераций для этих шагов увеличилось с 7 (невязка 0,25 мГал) до 25 и 29 соответственно для невязки 0,125 мГал. Анализ результатов экспериментов показал, что оптимальной надо считать невязку 0,25 мГал.

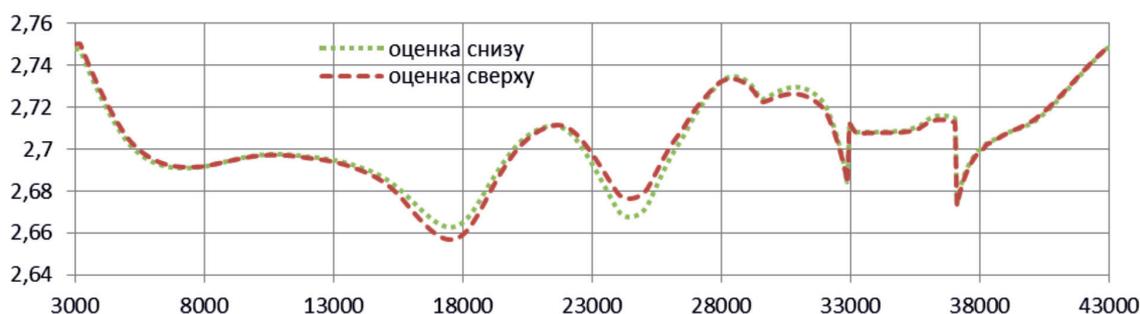
Решение обратной плотностной задачи гравirazведки для начальной модели, построенной по имеющимся данным бурения, сейсморазведки и по заданным плотностным характеристикам комплексов горных пород, для оптимального выбранного значения шага Δx , равного 100 м, количества итераций – 7, выявило невязку между наблюдаемым и рассчитанным полем до 6 мГал, после решения обратной задачи – порядка 0,24 мГал.

Далее осложним наблюдаемое поле помехой в пределах 10% имеющихся значений. Для наглядности полученные интервалы изменения плотностных характеристик покажем на срезах 3000 м (рис. 3, а) и 5000 м (рис. 3, б).

Максимальная невязка между верхней и нижней границами плотностей на данных срезах соответственно равна 0,00886 г/см³ и 0,00880 г/см³. Таким образом, результаты показывают, что наличие погрешности поля в 10% для данной модели практически не влияет на плотностные характеристики. Погрешность зависит и от глубины исследования, но так как в нашем случае значения критерия на указанных глубинах равны с точностью до сотых, то максимальная невязка почти не отличается.



а)



б)

Рис. 3. Вариирование плотностных характеристик по профилю I-I на глубине: а) 3000 м; б) 5000 м

Таблица 4

Зависимость невязки при решении обратной плотностной задачи для профиля II-II от Δx для пяти итераций

Δx , м	$L = \Delta x * d, d \in N$								$L \approx \Delta x * d, d \in N$		
	50	100	125	200	220	250	275	440	81	174	316
d	1100	550	440	275	250	220	200	125	679	316	174
T , с	300	45	26	12	11	8	8	5	68	16	8
Δz , м	50	100	125	200	200	250	250	300	100	150	300
$\delta_{пр}$, мГал	10,34	10,37	10,34	10,44	10,44	10,47	10,49	10,54	10,34	10,1	10,06
$\delta_{обр}$, мГал	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,43	0,44	0,79	0,52	0,98	0,85

Рассмотрим профиль II-II. Проведем такие же исследования для профиля II-II (длина $L = 55000$ м) до пяти итераций с критерием, установленным аналогично случаю с профилем I-I (табл. 4). Для невязки 0,125 мГал количество итераций увеличилось в несколько раз. В этом случае решение прямой задачи гравirazведки для начальной модели, построенной по имеющимся данным бурения, сейсморазведки и по заданным плотностным характеристикам комплексов горных пород, при значении шага $\Delta x = 125$ м, выявило невязку между наблюдаемым и рассчитанным полем до 10,34 мГал.

Для получения оптимальных значений невязки 0,117 мГал было проведено 16 ите-

раций (табл. 5). После решения обратной задачи с количеством итераций, равным 8, невязка составила 0,22 мГал. Анализ выполненных операций позволил выбрать шаг $\Delta x = 125$ м и невязку 0,25 мГал.

Таблица 5

Зависимость количества итераций (It – количество итераций) для достижения удовлетворительной невязки 0,25 мГал при решении обратной плотностной задачи для профиля II-II от Δx

Δx	50	100	125	200	220	250	275	440
It	8	8	8	9	10	8	10	117

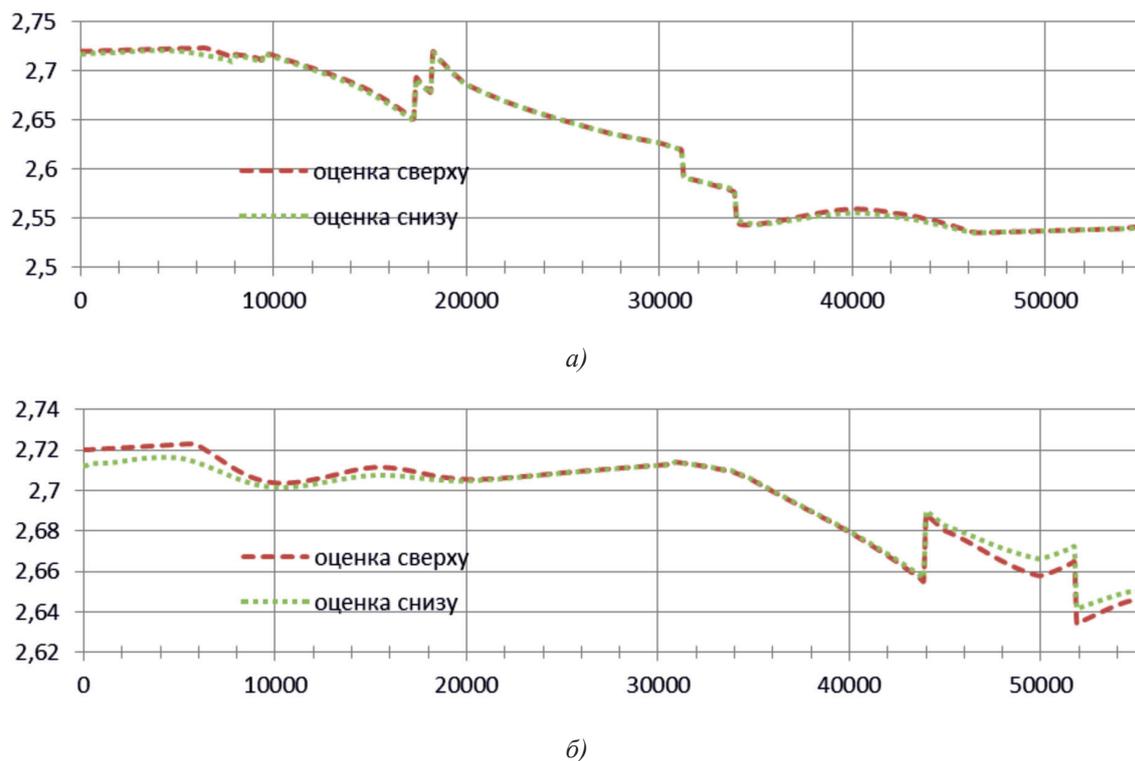


Рис. 4. Варьирование плотностных характеристик по профилю II-II на глубине: а) 3000 м; б) 5000 м

Далее осложним наблюдаемое поле по-мехой в пределах 10% имеющихся значений (рис. 4, а, б). Максимальная невязка между верхней и нижней границей плотностей на срезах 3000 м и 5000 м составила соответственно 0,007447 г/см³ и 0,008879 г/см³.

Результаты проведенных исследований показывают, что наличие погрешности поля в 10% практически не влияет на плотностные характеристики. Это подтверждает утверждение о том, что погрешности такого порядка не несут серьезных изменений в построенных моделях.

Следует помнить, что полученное решение является оптимальным лишь с точки зрения задаваемой модели и критерия. Все эксперименты проводились с постоянными первоначально заданными значениями параметров. На эффективность исследований в зависимости от решаемых геологических задач значительно влияет масштаб съемки, степень изученности, наличие информации о геологическом строении. В сложных структурно-тектонических зонах упрощенные модели иногда предпочтительней, чем сложные, относительно выбранного критерия качества решения. В любом случае объем априорной информации напрямую влияет на допустимую сложность задаваемой модели.

Полученные результаты решения обратной плотностной задачи гравиразведки

соответствуют необходимой точности, поэтому структурная задача не решалась.

Перейдем к описанию полученных моделей.

Профиль I-I (рис. 5) пересекает разные структурно-тектонические зоны – восточный борт Верхнепечорской впадины и Югид-Кыргинскую зону Снеднечорского поперечного поднятия. Характер распределения гравитационного поля в пределах изучаемого профиля соответствует тектоническим элементам.

Западная часть профиля характеризуется отрицательными значениями гравитационного поля, которые связаны с большой мощностью теригенных пород и понижением основной гравитирующей границы – кровли карбонатов. Восточная часть – Югид-Кыргинская антиклинальная зона отображается в наблюдаемом поле максимумами поля силы тяжести. Распределение изолиний плотности осадочного чехола на расчетной модели довольно рельефно. В пределах Верхнепечорской впадины отмечаются зоны повышенной плотности – пикеты 9000–12000 и зоны разуплотнений – пикеты 17000–18000. В западной части профиля на геоплотностном разрезе хорошо выделяется надвиг Югид-Вуктыльской структуры. Значения плотности отложений верхнего девона составляют 2,68–2,72 г/см³, в поро-

дах среднего девона – 2,60–2,65 г/см³. Отмечаются области разуплотнений в поднадвиговой части разреза. Породы фундамента характеризуются высокими значениями плотностей, от 2,85 до 2,92 г/см³.

На рис. 6 показан результат решения обратной задачи гравиразведки в классе распределения плотностей по профилю П–П, расположенному в пределах Печоро-Ильчской моноклинали от западного ее борта (ме-

сторожение Восточный Савинобор) до Вуктыльской складки. Гравитационное поле характеризуется понижением значений с запада на восток и хорошо коррелирует с поведением подошвы терригенных отложений. На геоплотностном разрезе ярко выраженной литолого-физической границей отмечается кровля карбонатного доманиково-нижнепермского комплекса, плотности отложений которого колеблются от 2,65 до 2,71 г/см³.

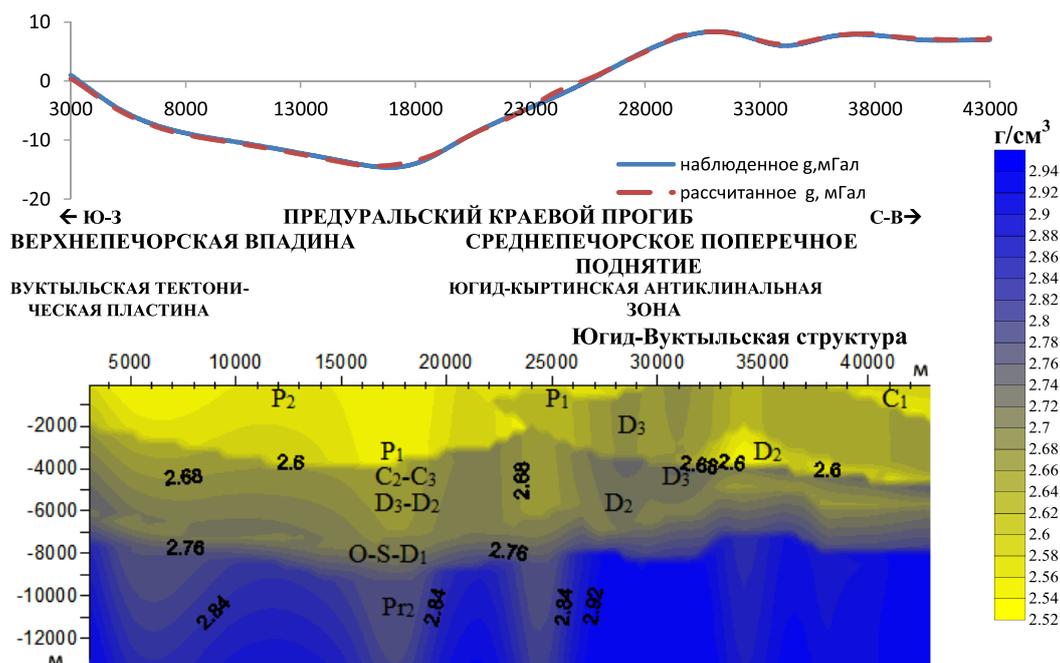


Рис. 5. Геоплотностная модель по профилю I–I. Решение обратной плотностной задачи. Невязка 0,25 мГал и семи итераций

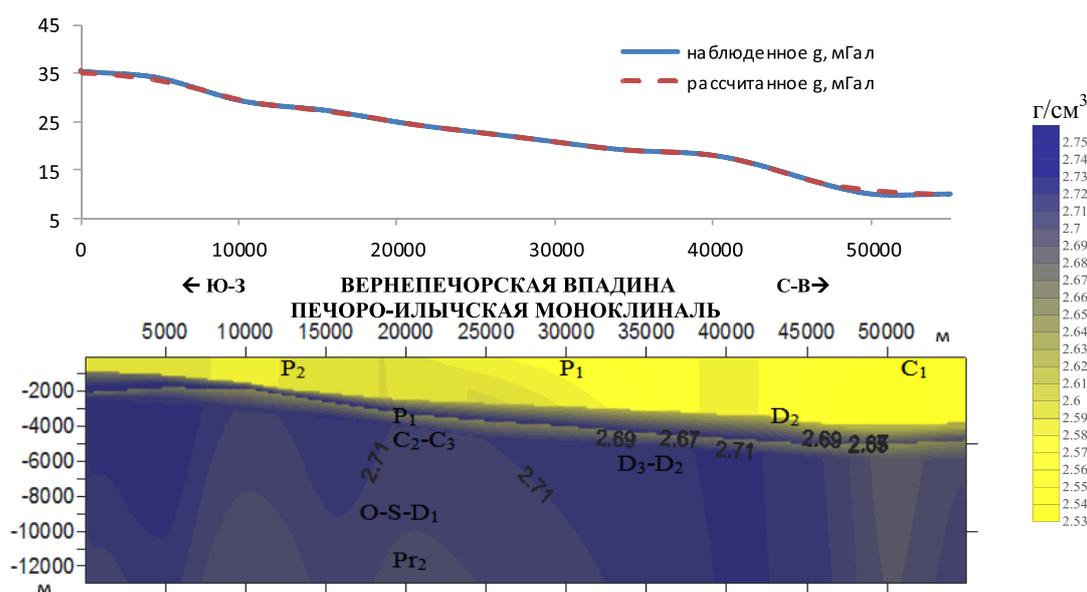


Рис. 6. Геоплотностная модель по профилю II–II. Невязка 0,22 мГал и восьми итераций

Плотности пород верхнего терригенного комплекса варьируют в пределах 2,55–2,60 г/см³, уменьшаясь в восточном направлении. Интересующих нас объектов доманиково-нижнепермского комплекса, в виде плотностных неоднородностей, т.е. зон разуплотнений или объектов с повышенными плотностными свойствами, связанными с рифогенными постройками, не выявлено. Породы, залегающие ниже, характеризуются дифференциацией плотностей от 2,71 до 2,75 г/см³.

Выводы

На качество построенных нулевых приближений моделей сред, в том числе не осложненных резкими перепадами границ и плотностей, в первую очередь влияет качество и количество исходной информации. Это же определяет и сложность модели. Дальнейшая работа состоит в уточнении начальных построений и зависит от выбранного метода решения.

В случае решения обратной плотностной задачи гравиразведки итерационным методом с использованием интегрального критерия оптимальности, в тех областях, где относимся к имеющимся данным с высокой степенью доверия, этот весовой множитель берем близким к 0, а в случае недостатка информации или если она не подтверждена – к 1. Кроме того, в каждом задаваемом слое задаются возможные интервалы изменения плотностей. При выборе этого параметра интерпретатору придется самому оценить данные и в случае необходимости вносить поправки после первых шагов решения обратной задачи и в нулевое приближение к решению, и в значения критерия.

Для случая детальных гравиметрических съемок масштаба 1:25 000 и 1:50 000 при решении выбранным методом двумерных задач при расположении рядовых пунктов съемки 50 м – 250 м, шаг решения обратной задачи и интерполяции следует выбирать в пределах второй четверти интервала интервала 50 м – 250 м, и он должен целое число раз укладываться в длине профиля. В этом случае достигается минимум невязки полей с учетом минимизации времени расчета.

Установлено, что оптимальная невязка наблюдаемого и рассчитанного полей, где построенная модель соответствует наблюдаемому полю именно с этой погрешностью, должна соответствовать сечению

изоаномал 0,25 мГал. Уменьшение невязки не влияет на достоверность модели, а только ведет к увеличению временного интервала вычислений и количества итераций.

Результаты экспериментов позволяют утверждать, что погрешность (помехи) в значениях наблюдаемого поля в пределах 10% не несут серьезных изменений в построениях. Для приведенного примера при интервале плотностей 2,53–2,94 г/см³ максимальная невязка плотностей не превышает 0,007–0,009 г/см³.

Выработанные рекомендации можно использовать для решения обратных задач гравиразведки в рамках критериального подхода с интегральным критерием оптимальности и итерационным методом решения для площадей со схожей структурой.

Список литературы

1. Гравиразведка. Справочник геофизика / Под ред. Е.А. Мудрецовой. М.: Недра, 1981. 397 с.
2. Кобрунов А.И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике. Избранные главы: учебное пособие. Ч. 2. Системный анализ и моделирование в условиях неопределенности. Ухта: УГТУ, 2014. 154 с.
3. Freedon W., Nashed M.Z. Operator-theoretic and regularization approaches to ill-posed problems. GEM-International Journal on Geomathematics. 2018. № 9/1. P. 1–115.
4. Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н. Современные отечественные программные комплексы интерпретации гравимагнитных данных // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. № 3 (15). С. 70–80.
5. Кобрунов А.И., Мотрюк Е.Н. Критерии оптимальности при решении обратных задач геофизики // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: Ги УрО РАН, ПГНИУ. 2019. 433 с.
6. Мотрюк Е.Н. Технология и методика объемной реконструкции геоплотностных моделей: монография. Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 128 с.
7. Балк П.И. Априорная информация и допустимая сложность модели аномалиеобразующих объектов при решении обратных задач гравиразведки // Физика земли. 2013. № 2. С. 13–25.
8. Балк П.И., Долгаль А.С., Балк Т.В., Христенко Л.А. Использование информации о помехах в монтажных технологиях интерпретации гравитационных аномалий // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Москва, 23 января – 27 января 2017 г.). М.: ИФЗ РАН, 2017. С. 38–42.
9. Куделин С.Г., Барабанов М.И., Кобрунов А.И. Технология интегрированного физико-геологического моделирования на основе системной инверсии // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2012. № 4/269. С. 22–28.
10. Инструкция по гравиразведке / Под ред. К.Е. Веселова и др. М.: Недра, 1980. 89 с.