

УДК 550.831.016; 550.831.015.072

ПЛОТНОСТНОЕ 2D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОЙ ЮЖНО-ОНЕЖСКОЙ МУЛЬДЫ

П. А. Рязанцев¹, Н. В. Кошелева²

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН

² Институт геофизики Уральского отделения РАН

В работе представлены результаты 2D плотностного моделирования аномалий гравитационного поля в пределах Южно-Онежской мульды (Южная Карелия). Для вычислений применялся итерационный алгоритм послойного подбора плотностей в модели слоисто-блокового строения земной коры. В качестве начальных параметров модели использовались имеющиеся геологические, сейсмические и петрофизические данные о строении исследуемого региона. Результаты исследования позволили уточнить структуру мульды, выделить два массива глубинного залегания, оценить их форму и размеры.

Ключевые слова: Южно-Онежская мульда; гравитационное поле; аномалия; плотностная модель; блоки земной коры.

P. A. Ryazantsev, N. V. Kosheleva. 2D DENSITY MODELING OF THE PALEOPROTEROZOIC SOUTH ONEGA TROUGH

The paper presents the results of 2D density modeling of gravity anomalies within the South Onega trough (South Karelia). The iterative algorithm of layering selection was applied in the model of layer-block structure of the earth's crust. The primary parameters of the model were obtained based on geological, seismic and petrophysical data on the structure of the study region. The results of the investigation allowed us to determine the structure of the trough, identify the existence of two deep geological bodies and evaluate their form and size.

Keywords: South Onega trough; gravity field; density model; anomaly; crustal blocks.

Введение

Актуальной задачей для современных геофизических исследований является интерпретация существующих данных гравитационных карт с использованием новых методов создания 2D и 3D плотностных моделей [Мартышко и др., 2012]. Большинство таких методов базируются на существовании корреляционной зависимости между скоростями распространения сейсмических волн и плотностными

параметрами в блоках геологической среды, что позволяет переходить к комплексным физико-геологическим моделям. Анализ плотностных моделей дает возможность выделить геологические структуры глубинного залегания, которые не выходят на уровень эрозионного среза или перекрыты мощным чехлом четвертичных отложений, определить положение границ блоков земной коры.

В работе представлены результаты расчета обратной задачи гравиметрии (ОЗГ) по

наблюденному полю аномалий силы тяжести в редукции Буге в пределах Южно-Онежской структуры. Интерес к такому объекту обусловлен наличием интенсивных геофизических аномалий неустановленной природы, которые различные исследователи связывают с глубинными интрузивами основных пород [Онежская палеопротерозойская структура..., 2011]. ОЗГ решалась с помощью итерационного алгоритма, в основе которого предположение о слоисто-блоковом строении земной коры с кусочно-постоянной плотностью [Мартышко и др., 2010]. Основной целью выполненных исследований являлось создание 2D плотностных моделей как средства для анализа геологического строения Южно-Онежской мульды и изучения пространственного распределения слагающих ее блоков. Для создания моделей дополнительно к гравиметрическим данным привлекались материалы по опорным сейсмологическим профилям, проходящим через исследуемую область, а также современные геодинамические концепции формирования региона.

Геологический очерк исследуемого района

Геологическое строение объекта исследований отражено на карте, которая составлена по материалам тематических работ масштаба 1:200000, а также в нескольких обобщающих трудах, описывающих регион в целом [Гарбар, 1971; Геология..., 1987; Онежская палеопротерозойская структура..., 2011]. Южно-Онежская мульда расположена в южной части палеопротерозойского Карельского кратона. Она имеет форму близкую к овальной и протягивается от г. Петрозаводска в юго-восточном направлении более чем на 120 км, достигая 50–70 км по ширине.

В геологическом строении района принимают участие терригенные отложения девона, венда и вепсийского надгоризонта нижнего протерозоя, а также интрузивные образования Ропручейского плутонического комплекса с возрастом 1770 млн лет (рис. 1). Северо-восточное крыло мульды сложено моноκлиально падающими на юго-запад слабометаморфизованными и слабодислоцированными нижнепротерозойскими отложениями петрозаводской и шокшинской свит, образованных в условиях протоплатформенного режима. В разрезе шокшинской свиты присутствуют пластовые тела габбро-долеритов. Подстилающие образования Южно-Онежской мульды представлены палеопротерозойскими осадочно-вулканогенными толщами и архейскими гранитоидами [Онежская палеопротерозойская структура..., 2011].

Процессы тектогенеза внесли существенный вклад в современный облик района Южно-Онежской мульды. Его образование приходится на конец палеопротерозоя, когда происходил переход от свекофеннской орогении к относительно спокойному посторогеному режиму [Сыстра, 1993]. Породы в регионе смяты в пологие продольные и поперечные складки протяженностью от первых километров до 15 км и шириной от нескольких сотен метров до 3–5 км. Эти складки в свою очередь осложнены пликативными дислокациями более высоких порядков [Гарбар, 1971].

Все образования района разбиты многочисленными разнонаправленными разрывными нарушениями на ряд крупных и мелких блоков. Преимущественное развитие имеют разломы северо-западного (СЗ) и северо-восточного (СВ) простирания. СЗ нарушения относятся к системе Прионежского глубинного разлома, проходящего под акваторией Онежского озера и ограничивающего Южно-Онежскую мульду с востока. Они заложены в раннем протерозое в виде раздвигов и испытывали в дальнейшем неоднократное подновление. С ними связано внедрение Ропручейского силла, создание грабеноподобной структуры Онежского озера, образование блоков, смещение пластов и т. д. [Онежская палеопротерозойская структура..., 2011]

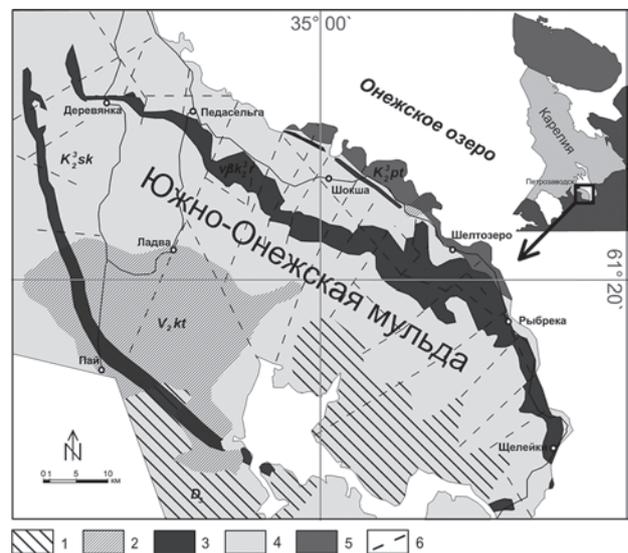


Рис. 1. Геологическая схема Южно-Онежской мульды:

1 – нерасчлененные саргаевский и пашинский горизонты глин девона; 2 – нерасчлененная котлинская свита глин венда. Палеопротерозой: 3 – нерасчлененная шокшинская свита песчаников, кварцитопесчаников, конгломератов, алевролитов; 4 – ропручейский интрузивный комплекс габбро-долеритов, мелкозернистых диабазов; 5 – нерасчлененная петрозаводская свита кварцитопесчаников, песчаников; 6 – тектонические нарушения

Геофизические исследования регионального характера в пределах Южно-Онежской мульды выполнялись в различных масштабах. По данным 1:200 000 магнитометрической съемки уверенно выделяются зоны локальных линейных аномалий в виде цепочек максимумов и минимумов, которые соотносятся с частями силла, подходящими к поверхности эрозионного среза. Гравиметрические наблюдения позволяют определить соответствие между областями пониженных значений силы тяжести и синклинорными зонами, тогда как локальные положительные аномалии объясняются интрузивными образованиями. Некоторые особенности интерпретации потенциальных полей исследуемого района были приведены в работе [Рязанцев, 2014].

При изучении территории Южно-Онежской мульды большое значение имеет сейсмологический профиль МОВЗ Мяндусельга-Петрозаводск-Вознесенье, проходящий в восточной части изучаемого района вдоль Онежского озера. Его интерпретация позволила изучить глубинное строение района, которое характеризуется как сложное, с большим количеством нарушений и раздробленностью коры на блоки [Глубинное строение..., 2004]. Анализ современного состояния геолого-геофизических данных показал, что имеющейся информации зачастую не достаточно для решения геологических задач при изучении глубинного строения земной коры в регионе. Поэтому создание новых 2D и 3D плотностных моделей является важной задачей современного этапа исследований.

Гравитационное поле Южно-Онежской мульды и ее обрамления

Гравиметрические исследования регионального характера выполнены в 1952 г. Онежско-Ладужской экспедицией Западного геологического треста (О. М. Кабанов) и в 1961 г. Белозерской партией (З. И. Меерсон). Аномальные значения интенсивности гравитационного поля (Δg) были получены по результатам единой обработки данных в масштабе 1:200000 и расчетом редукции Буге с плотностью промежуточного слоя $\sigma = 2,67 \text{ г/см}^3$ (рис. 2, Б). Обзор данных гравиметрии показывает однозначное соответствие между аномалиями Δg и наиболее представительными региональными геологическими структурами (рис. 2, А). Так, например, подобное детальное исследование структурных элементов земной коры на основе интерпретации поля силы тяжести в регионе показано в монографии [Гришин, 1990].

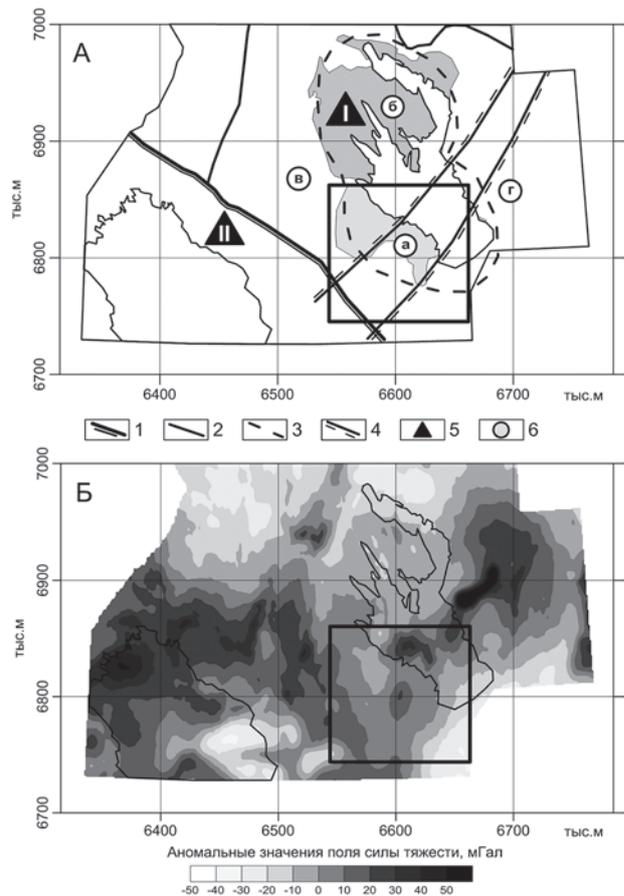


Рис. 2. Карты района работ (исследуемая область выделена квадратом).

А. Карта тектонического районирования [по Онежская палеопротерозойская структура..., 2011]: 1 – граница структур первого порядка; 2 – граница структур второго порядка; 3 – граница Онежской структуры; 4 – границы Бураковской зоны тектоно-магматической активизации; 5 – структурно-формационные зоны: I. Центрально-Карельская архей-протерозойская, II. Северо-Ладужская ранне-позднепротерозойская; 6 – подзоны: а – Южно-Онежская мульда, б – Северо-Онежский синклинорий, в – Ведлозерско-Сегозерский позднеархейский зеленокаменный пояс, г – Ведлозерский архейский блок гранитоидов.

Б. Карта аномальных значений поля силы тяжести в редукции Буге

Аномальные значения силы тяжести Δg , полученные в исследуемом районе, обладают гладким распределением и характеризуются малой чувствительностью к локальным объектам. Уверенно выделяются крупные тектонические структуры. Например, граница раздела между Центрально-Карельской и Северо-Ладужской структурно-формационными зонами выражена изменением средних значений $\Delta g = -10 \text{ мГал}$ на 20 мГал . Проявляются и структуры более низких порядков, среди которых наиболее убедительно выделяются синклинорные зоны и крупные интрузивные образования. К первым относятся главным образом Онежская структура и ее составляющие

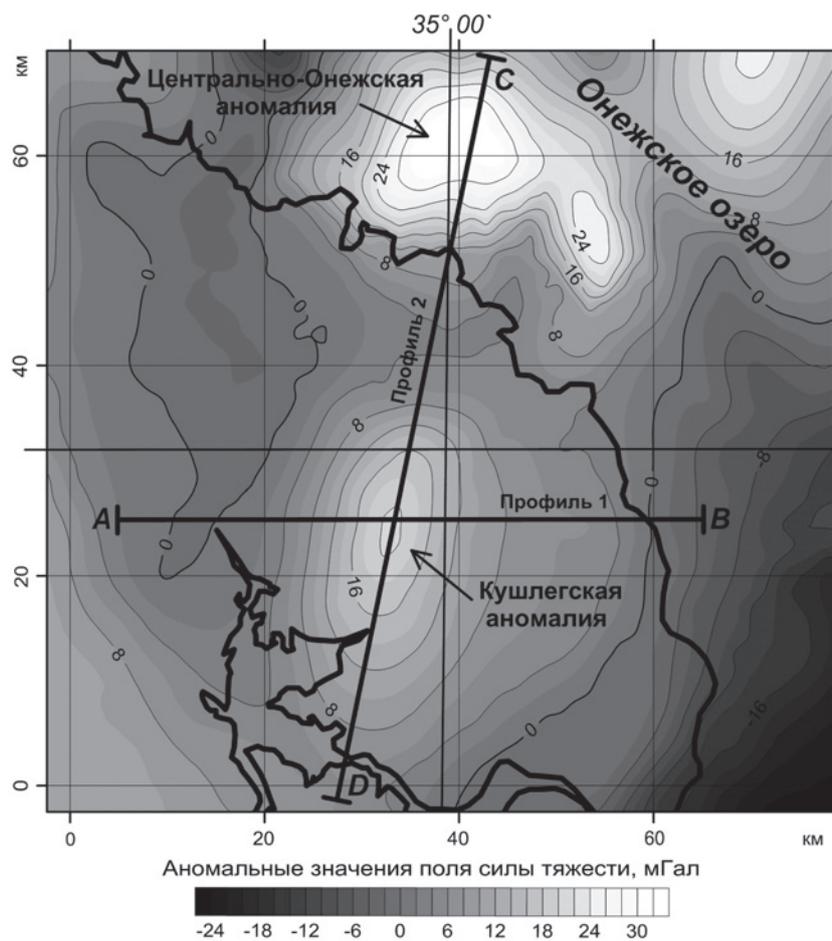


Рис. 3. Карта аномальных значений поля силы тяжести в пределах Южно-Онежской мульды и положения профилей

части – Северо-Онежский синклиниорий и Южно-Онежская мульда, проявленные общим понижением уровня Δg и наличием обрамляющих градиентных зон, отражающих их форму. Ярким представителем второй группы является раннепалеопротерозойская Бураковская расчлененная мафит-ультрамафитовая интрузия, приуроченная к глубинной зоне тектономагматической активизации и характеризующаяся значениями $\Delta g = 80$ мГал и более. Кроме того, следует отметить архейский Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, характеризующийся положительной аномалией субмеридионального направления, со средними значениями Δg порядка 30 мГал.

Акцентируя внимание на Южно-Онежской мульде, можно достаточно уверенно локализовать ее положение в поле силы тяжести по характерной овальной форме распределения изаномал. В западной части граница мульды определяется как зона положительного градиента силы тяжести от 5 до 10 мГал, отражающего переход от менее плотных осадочных пород к более плотным магматическим

и метаморфическим породам Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Подобная ситуация наблюдается и в южной части, где граница прослеживается как область резкого перехода Δg от 0 до -16 мГал, что, скорее всего, отражает нарастание мощности осадочного чехла. На севере существует небольшая аномальная область, разделяющая Северо-Онежский синклиниорий и Южно-Онежскую мульду [Онежская палеопротерозойская структура..., 2011].

Главной особенностью детальной карты Δg Южно-Онежской мульды (рис. 3) является наличие двух интенсивных аномалий (до 30 мГал), одна из которых расположена практически в центре Южно-Онежской мульды (Кушлегская), а вторая локализуется в пределах акватории Онежского озера (Центрально-Онежская). Вопрос о природе аномалий поднимался в работе [Рязанцев, 2014], где рассматривались гипотезы разных исследователей об их источниках. Кроме того, в этой же работе было проведено численное моделирование, позволяющее подтвердить предположения

о существовании глубинных плутонов основного или ультраосновного состава. Для проверки имеющихся геолого-геофизических представлений и получения качественно новой информации о строении земной коры в пределах Южно-Онежской мульды в данной статье приводится дополнительный расчет гравитационных аномалий и построение 2D плотностных моделей глубинного строения для профилей А–В и С–D, пересекающих Кушлегскую и Центрально-Онежскую аномалию (рис. 3).

Методика создания плотностной модели

Для создания моделей распределения плотности в земной коре использовался итерационный алгоритм решения двумерной линейной обратной задачи гравиметрии. Основное используемое предположение при создании модели – слоисто-блоковое строение разреза с постоянной плотностью в пределах одного блока. Исходные данные для моделирования: сетка гравитационных значений Dg ; геометрия разреза, представленного слоисто-блочной моделью; начальные значения плотностей слоев и блоков; ограничения, накладываемые на вектор плотностей. Модель определяется путем подбора плотностей блоков, которые обеспечивают сходимость измеренного и модельного полей. Метод расчета подобных моделей приведен в статье [Мартышко и др., 2010], а в работе [Кошелева, 2014] был показан алгоритм устойчивого решения с учетом априорной информации. Такой подход широко использовался при изучении глубинного строения Уральского региона [Мартышко и др., 2012] и докембрийского основания Тимано-Печорской плиты [Дружинин и др., 2013]. Основные этапы метода заключаются в реализации следующих шагов:

- 1) построение исходной модели по геолого-геофизическим данным о строении региона, параметризация слоисто-блоковой модели, т. е. переход от имеющегося формата данных к виду «слои» и «блоки». Основное используемое предположение при создании модели – слоисто-блоковое строение земной коры с постоянной плотностью в пределах одного слоя;
- 2) работа алгоритма послойного подбора плотностей. На начальном этапе методом минимизации подбирается плотность только для одного слоя модели. На каждом последующем шаге количество слоев, участвующих в минимизации, увеличивается на единицу.

Такой подход позволяет интерактивно определять: гравитационный слой, формирующий

аномалии гравитационного поля; слой, поле которого существенно увеличивает норму разности измеренного и модельного полей. В этом случае предполагается, что: либо а) границы слоя изначально заданы неверно, тогда необходимо их уточнение, либо б) слой существенно неоднороден и требуется разбить этот слой на несколько блоков с разными плотностями, например, на основе гипотезы об изостатической компенсации на глубине.

Для сопоставления с аномалиями наблюдаемого поля Dg в расчеты вводят отклонения истинной плотности s_k от некоторого значения s_F так называемой фоновой плотности. Слоистая среда изначально задается в виде набора границ $y_k(x)$, $k = 1 \dots M$ и набора плотностей $(s_k - s_F)$. Слой – область с плотностью $(s_k - s_F)$ выше заданной границы $y_k(x)$ до предыдущей границы $y_{k-1}(x)$. По умолчанию принимается, что первая граница – это дневная поверхность $y_0(x) = 0$. Переход от многослойной среды с плотностями тел $(s_k - s_F)$ к представлению модели среды в виде аномальных тел с относительными плотностями $Ds_k = (s_{k+1} - s_k)$, $k = 1 \dots M$ осуществляется следующим образом. Последовательно для всех границ $y_k(x)$, $k = 1 \dots M$ проводится горизонтальная линия H_k . Затем для полученных аномальных тел определяется их плотность: если граница слоя $y_k(x)$ находится выше уровня H_k , то область, заключенная между $y_k(x)$ и H_k , берется с плотностью $+Ds_k$, если граница $y_k(x)$ ниже H_k , то область между берется с плотностью $-Ds_k$. Вводится новое обозначение $s_{M+1} = s_F$ для сохранения единого вида в формулах.

В общем случае значение горизонтальной границы H_k может задаваться произвольно. Для минимизации краевых эффектов предлагается использовать следующее выражение H_k – это среднее значение для y -компонент двух крайних точек границы слоя в пределах выделенного профиля. Дополнительно предлагается для тел, имеющих значения $y_k(x)$ равные нулю, задавать $H = 0$ для удобства вычислений и представления поля. Кроме того, чтобы оптимально рассчитать поле, необходимо подобрать также среднее значение измеренного и модельного полей. Для этого преобразуется задача минимизации.

Для вычисления поля от слоистой модели использовалась следующая формула:

$$\Delta g = \sum_{k=1}^M \Delta \sigma_k \cdot S(H_k, y_k(x)),$$

где S – аномальное поле слоя с единичной плотностью, заключенного между границами H_k и $y_k(x)$.

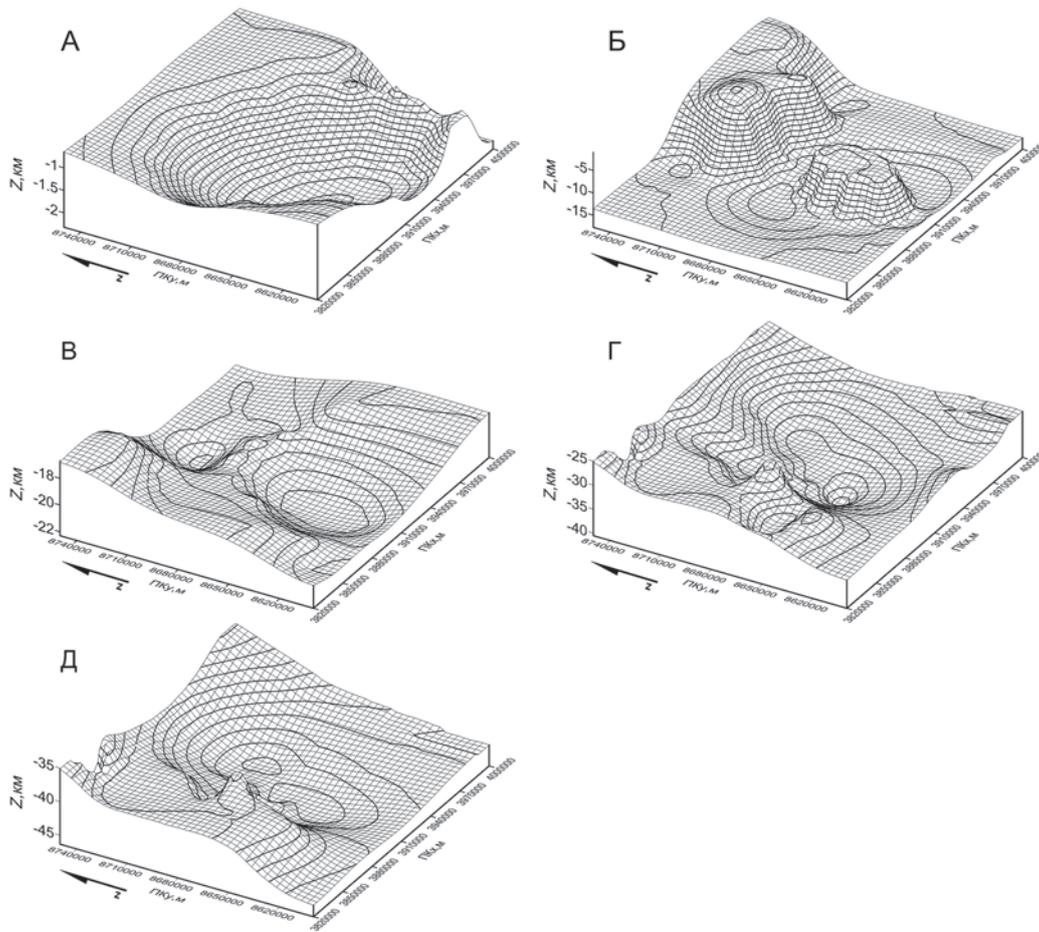


Рис. 4. Модели границ для слоев земной коры Южно-Онежской мульды (на основании данных, приведенных в [Голышева, 2012; Гришин, 1990; Онежская палеопротерозойская структура..., 2011]):

А. осадки – граниты; Б. граниты – базитовый слой; В. базитовый слой – габбро, пироксениты; Г. габбро, пироксениты – переходный слой кора; Д. переходный слой – мантия

Используемый алгоритм устойчивого решения двумерной ОЗГ, как показано в [Кошелева, 2014], имеет следующие возможности для выполнения разностороннего анализа изучаемой территории:

- 1) выделение гравиактивного слоя;
- 2) определение слоев, параметры которых могут быть изменены;
- 3) определение плотностей конкретной произвольной части модели.

Для создания моделей потребовался набор первичных данных, включающий положение границ слоев земной коры и значения плотности в их пределах. Как правило, эти показатели получают из результатов региональных сейсмических наблюдений [Федорова и др., 2010]. В случае Южно-Онежской мульды для определения литологических границ земной коры использовались скоростные модели (сост. Э. В. Исанина, С. И. Южанинова), полученные по сейсмологическим профилям МОБЗ VIII

и XII, а также части геотраверса 1-ЕВ [Онежская палеопротерозойская структура..., 2011].

Кроме того, привлекались результаты плотностного моделирования, выполненного в пределах Северо-Онежского синклиналия, который рассматривается как объект, имеющий общие геологические черты с Южно-Онежской мульдой. Поэтому при определении формы ее разделов использовалось предположение, что вся консолидированная кора представляет собой синформу [Голышева, 2012]. Всего было получено пять основных границ (рис. 4), для каждой из которых определялись скоростные и плотностные характеристики, а также примерный состав пород (табл.).

Обсуждение результатов моделирования

В результате проведенного моделирования получены две плотностные модели разреза земной коры по профилям

Параметры, используемые при моделировании

Слой	Главные породы	Значение V_{cp} , м/с	Значение σ_{cp} , г/см ³
Осадочный слой	Кварциты	5,7	2,5
Гранитный слой	Граниты	6,3	2,6
Базитовый слой	Базиты	6,8	2,65
Аномальные тела	Габбро-нориты	6,5	2,9
Габбро-пироксенитовая ассоциация	Габбро, пироксениты	7,5	3
Переходный слой кора-мантия		8	3,2
Верхняя мантия		8,2	3,4

А–В и С–D, пересекающим главные аномалии Δg (Кушлегскую и Центрально-Онежскую), выделяемые в области исследования. Анализируя плотностную модель разреза по профилю А–В (рис. 5), можно с уверенностью утверждать, что в его пределах существует тело глубинного залегания, имеющее избыточную плотность $\sigma = 0,3$ г/см³ в сравнении с вмещающими породами и продуцирующее поле Δg интенсивностью до 16 мГал. Плотностная модель по профилю С–D представлена на рис. 6, в ее пределах выделяется два аномалеобразующих тела. Первое из них соотносится с массивом на модельном разрезе для профиля А–В и соответствует его параметрам.

Верхняя кромка данного плутона расположена на глубине 7,6 км, что близко к оценке в 7,2 км, полученной в работе [Левин, 1964]. Этот плутон имеет субовальную форму и протяженность 25 км с запада на восток и 35 км с севера на юг. Второе тело, существование которого предположил В. С. Куликов, создает более интенсивную аномалию Δg порядка 20 мГал, что обусловлено его расположением ближе к дневной поверхности, с верхней кромкой залегания равной 1,6 км. Оно имеет округлую форму и размеры 20 на 20 км. Обнаруженные глубинные плутоны имеют интрузивное происхождение, связанное с зоной тектономагматической активизации, и, по-видимому, родственны по

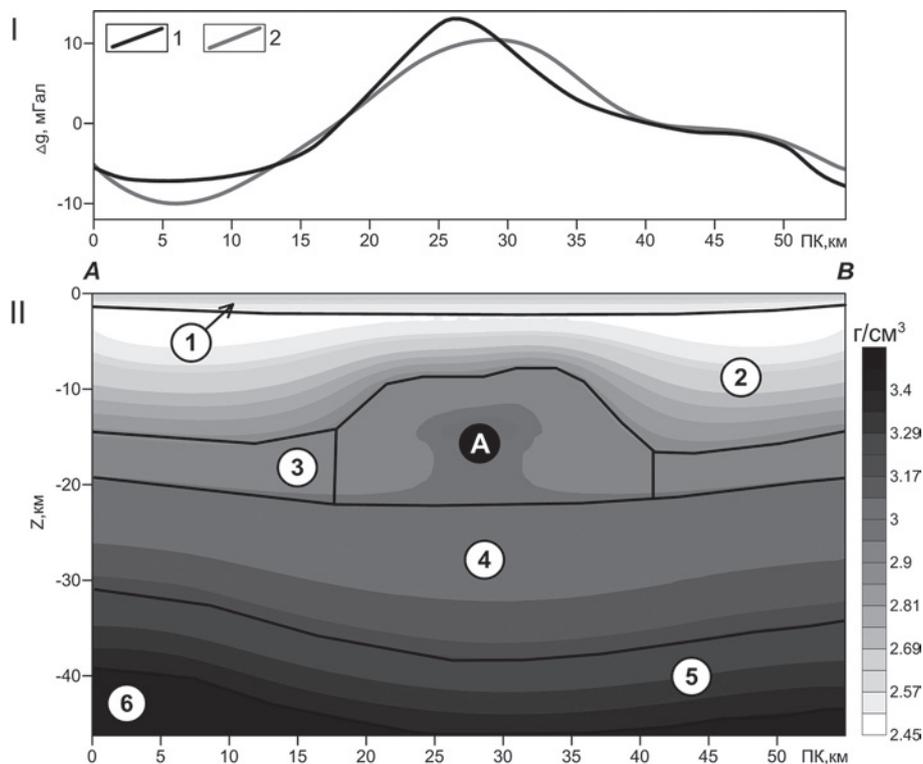


Рис. 5. Плотностная модель по профилю А–В:

I. графики поля Δg : 1 – измеренное, 2 – рассчитанное; II. выделенные слои земной коры: 1 – осадочный слой, 2 – гранитный, 3 – базитовый, 4 – габбро-пироксенитовая ассоциация, 5 – переход кора-мантия, 6 – верхняя мантия, А – аномальное тело (плутон основного состава)

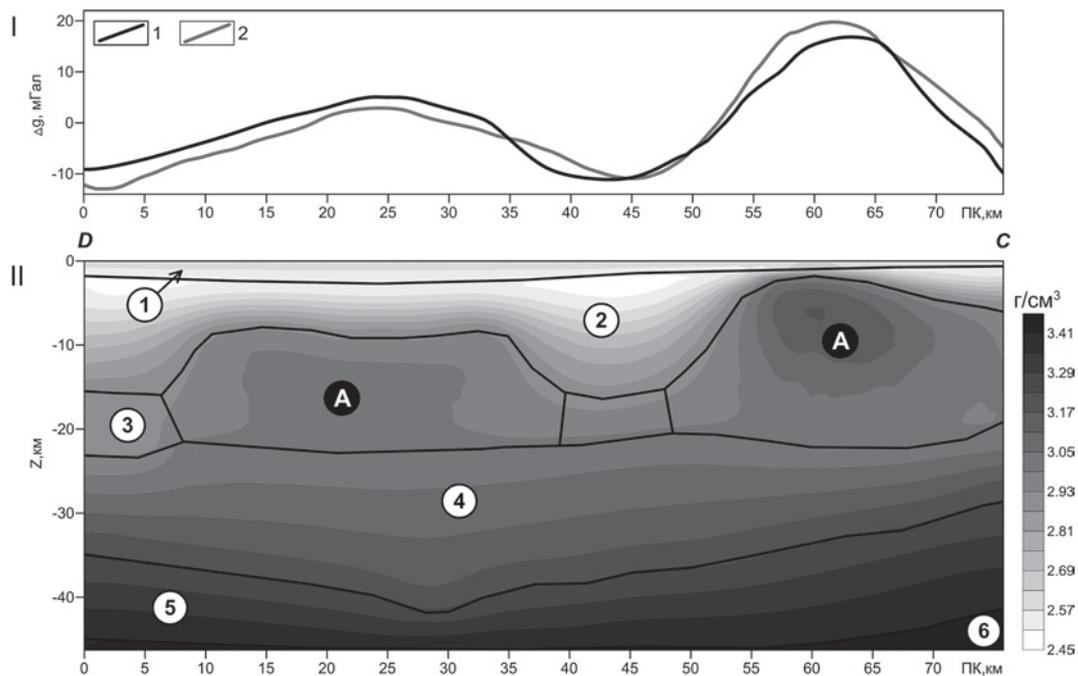


Рис. 6. Плотностная модель по профилю С–D:

I. графики поля Δg : 1 – измеренное, 2 – рассчитанное; II. выделенные слои земной коры: 1 – осадочный слой, 2 – гранитный, 3 – базитовый, 4 – габбро-пироксенитовая ассоциация, 5 – переход кора-мантия, 6 – верхняя мантия, А – аномальное тело (плутон основного состава)

генезису и составу Бураковскому расслоенному массиву. Кроме того, полученные плотностные модели подтверждают синформное залегание слоев земной коры, связанное с процессами мульдообразования.

Заключение

В итоге проведенной работы созданы 2D плотностные модели, характеризующие изменение плотностных свойств литосферы в пределах Южно-Онежской мульды. Определено пространственное распределение крупных геологических объектов и блоков земной коры, различающихся по плотностям. Установлено существование двух плутонов глубинного залегания, происхождение которых связано с Бураковской тектонической зоной. Полученные модели отражают главные особенности гравитационного поля и в первом приближении соответствуют имеющимся петрофизическим данным о плотностных характеристиках слагающих мульду пород, а также сейсмическим параметрам, характеризующим глубинное строение региона. Результаты моделирования подтвердили, что со структурной точки зрения Южно-Онежская мульда представляет собой синформу. Наряду с этим очевиден недостаток данных для формирования единой модели, описывающей строение земной коры исследуемого

района, что требует выполнения новых исследований гравитационного поля в его пределах.

Литература

- Гарбар Д. И. Стратиграфия. Верхний протерозой. Йотнийская серия, Верхнепротерозойские (постиотнийские) магматические образования // Геология СССР. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1971. Т. I. С. 64–81.
- Геология Карелии / Ред. В. А. Соколов, В. С. Куликов, М. М. Стенарь. Л.: Наука, 1987. 231 с.
- Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 353 с.
- Голышева Ю. С. Применение 3D плотностного моделирования при создании Онежской «опорной площадки» // Геофизические методы исследования Земли и ее недр. СПб.: СПбГУ, 2012. С. 49–53.
- Гришин А. С. Геоблоки Балтийского щита. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1990. 112 с.
- Дружинин В. С., Мартышко П. С., Начапкин Н. И. и др. Модель докембрия Тимано-Печорского геоблока // Вестник института геологии Коми научного центра РАН. 2013. № 9. С. 2–8.
- Кошелева Н. В. О решении линейной обратной задачи гравиметрии для 2D слоистой модели с интерактивным учетом априорной информации // Уральский геофизический вестник. 2014. № 2. С. 50–59.
- Левин Г. М. Отчет о работах, выполненных Южно-Онежской геофизической партией за 1963 г.

Петрозаводск. ФГУ «ТГФ по Республике Карелия», 1964. Инв. № 2873. 98 с.

Мартышко П. С., Ладовский И. В., Цидаев А. Г. Построение региональных геофизических моделей на основе комплексной интерпретации гравитационных и сейсмических данных // *Физика Земли*. 2010. № 11. С. 23–35.

Мартышко П. С., Дружинин В. С., Начапкин Н. И. и др. Схематическое тектоническое районирование Уральского региона на основе разработанных алгоритмов и методики создания объемной геофизической модели верхней части литосферы // *Литосфера*. 2012. № 4. С. 208–218.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерогения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров,

В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Рязанцев П. А. Геологическая природа аномалий магнитного и гравитационного поля в пределах Южно-Онежской мульды // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. 2014. Вып. 17. С. 110–117.

Сыстра Ю. Й. Тектонические эпохи Карельского региона // *Проблемы геологии докембрия Карелии*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1993. 138 с.

Федорова Н. В., Колмогорова В. В., Ладовский И. В. Геофизические модели строения земной коры по Красноленинскому профилю // *Уральский геофизический вестник*. 2010. № 1. С. 59–68.

Поступила в редакцию 08.07.2015

References

Garbar D. I. Stratigrafiya. Verkhniy proterozoi [Stratigraphy. The Upper Proterozoic]. Lotniiskaya seriya, Verkhneproterozoiskie (postiotniiskie) magmaticheskie obrazovaniya. Geologiya SSSR. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti [Jotnian series, the Upper Proterozoic magmatic formation. Geology of the USSR. Leningrad, Pskov and Novgorod regions]. Moscow: Nedra, 1971. Vol. I. P. 64–81.

Geologiya Karelii [Geology of Karelia]. Eds V. A. Sokolov, V. S. Kulikov, M. M. Stenar'. Leningrad: Nauka, 1987. 231 p.

Glubinnoe stroenie i seismichnost' Karel'skogo regiona i ego obramleniya [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its margins]. Ed. N. V. Sharov. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. 353 p.

Golyshcheva Yu. S. Primenenie 3D plotnostnogo modelirovaniya pri sozdaniy Onezhskoi "opornoj ploshchadki" [The application of 3D structural density modeling to the creation of the Onega base platform]. Geofizicheskie metody issledovaniya Zemli i ee nedr [Geophysical methods of survey of the Earth and its subsoil]. St. Petersburg: SPbGU, 2012. P. 49–53.

Grishin A. S. Geobloki Baltiiskogo shchita [The geoblocks of the Baltic Shield]. Petrozavodsk: Karel'skii filial AN SSSR, 1990. 112 p.

Druzhinin V. S., Martyshko P. S., Nachapkin N. I., Osipov V. Yu., Udoratin V. V. Model' dokembriya Timano-Pechorskogo geobloka [Model of Precambrian Timan-Pechora Geoblock]. *Vestnik instituta geologii Komi nauchnogo tsentra RAN [Vestnik of the Institute of Geology of the Komi SC UB RAS]*. 2013. No. 9. P. 2–8.

Kosheleva N. V. O reshenii lineinoi obratnoi zadachi gravimetrii dlya 2D sloistoi modeli s interaktivnym uchetoм apriornoj informatsii [Solution of the linear inverse problem of gravimetry for 2D layered model with interactive priori information]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik [Urals Geophysical Herald]*. 2014. No. 2. P. 50–59.

Levin G. M. Otchet o rabotakh vypolnennykh Yuzhno-Onezhskoi geofizicheskoi partiei za 1963 g. Petrozavodsk. FGU "TGF po Respublike Kareliya" [The report on the work of the South Onega geophysical party in 1963. Fed. State. Inst. "TGF of the Republic of Karelia"], 1964. Inv. no. 2873. 98 p.

Martyshko P. S., Ladovskii I. V., Tsidaev A. G. Postroenie regional'nykh geofizicheskikh modelei na osnove kompleksnoi interpretatsii gravitatsionnykh i seismicheskikh dannykh [Construction of regional geophysics models based on the joint interpretation of gravity and seismic data]. *Fizika Zemli [Physics of the solid Earth]*. 2010. No. 11. P. 23–35.

Martyshko P. S., Druzhinin V. S., Nachapkin N. I., Ladovskii I. V., Byzov D. D., Osipov V. Yu., Tsidaev A. G. Skhematicheskoe tektonicheskoe raionirovanie Ural'skogo regiona na osnove razrabotannykh algoritmov i metodiki sozdaniya ob'emnoi geofizicheskoi modeli verkhnei chasti litosfery [Schematic tectonic zonation of the Urals region on the basis of developed algorithms and techniques of the creation of volumetric geophysical model of lithosphere upper part]. *Litosfera [Lithosphere]*. 2012. No. 4. P. 208–218.

Onezhskaya paleoproterozoiskaya struktura (geologiya, tektonika, glubinnoe stroenie i minerageniya) [The Onega Palaeoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure and minerageny)]. Eds L. V. Glushanin, N. V. Sharov, V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2011. 431 p.

Ryazantsev P. A. Geologicheskaya priroda anomalii magnitnogo i gravitatsionnogo polya v predelakh Yuzhno-Onezhskoi mul'dy [Geological nature of the anomalies of the magnetic and gravitational field within the South Onega trough]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii [Geology and mineral resources of Karelia]*. 2014. Iss. 17. P. 110–117.

Systra Yu. I. Tektonicheskie epokhi Karel'skogo regiona [Tectonics of the Karelian Region]. *Problemy geologii dokembriya Karelii [Problems of the Precambrian geology of Karelia]*. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1993. 138 p.

Fedorova N. V., Kolmogorova V. V., Ladovskii I. V. Geofizicheskie modeli stroeniya zemnoi kory po Krasnoleninskomu profilyu [Geophysical models of the Earth's crust structure using the Krasnoleninsk profile]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik [Urals Geophysical Herald]*. 2010. No. 1. P. 59–68.

Received July 08, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Рязанцев Павел Александрович

младший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: chthonian@yandex.ru
тел.: +79062074456

Кошелева Наталья Викторовна

младший научный сотрудник
Институт геофизики Уральского отделения РАН
ул. Амундсена, 100, Екатеринбург, Россия, 620016
эл. почта: natalyvfadeeva@gmail.com
тел.: +79221283119

CONTRIBUTORS:

Ryazantsev, Pavel

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: chthonian@yandex.ru
tel.: +79062074456

Kosheleva, Natal'ya

Institute of Geophysics, Ural Branch,
Russian Academy of Sciences
100 Amundsen St., 620016 Ekaterinburg, Russia
e-mail: natalyvfadeeva@gmail.com
tel.: +79221283119