

## ДЕТАЛЬНОЕ ПЛОТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Т. А. Воронова, О. М. Муравина

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 14 марта 2014 г.

**Аннотация:** рассматриваются вопросы построения трехмерной плотностной модели среды по гравиметрическим и петрофизическим данным. Результативная модель показывает основные особенности объемного строения участка работ.

**Ключевые слова:** гравитационное поле, плотностное моделирование, строение массива, петрофизическая база данных.

**Abstract:** the article deals with the construction of three-dimensional density model of the medium by gravimetric and petrophysical data. The resultant model shows the main features of volumetric structure of the investigated area.

**Key words:** gravity field, density modeling, massif structure, petrophysical data base.

Как известно, изучение плотностного строения верхней части земной коры выполняется на основе решения обратной задачи гравиметрии в различных постановках [1, 2]. В результате решения обратной задачи создается некоторая модель пространственного положения аномальных плотностных объектов в изучаемом пространстве, которая отвечает заданным принципам оптимальности искомого решения и с гарантированной точностью удовлетворяет наблюдаемому гравитационному полю [3]. Развитие методов такого моделирования постоянно совершенствуется, и в настоящее время предложено достаточно много различных программных комплексов построения плотностных моделей среды для различных геологических ситуаций. Однако остается нерешенным ряд принципиальных вопросов, касающихся практического применения плотностного моделирования на основе общего решения обратной задачи при изучении верхней коры платформенных областей, в том числе и Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

На практике одним из самых существенных аспектов плотностного моделирования для верхней части кристаллического фундамента является использование геологически содержательной начальной плотностной модели изучаемой среды, которая должна отвечать реальной информации о строении среды и данным о ее физических свойствах. В качестве обобщенных геометрических параметров изучаемой среды можно использовать некоторые простые оценки глубинного положения источников поля [4], а также данные о распределении плотности пород

кристаллического фундамента, известные или предполагаемые по результатам петрофизического картирования [5]. Помимо указанных характеристик среды, эффективным приемом моделирования является также использование некоторого простого начального приближения среды, которое можно получить на основе приближенного подбора аномальных объектов в заданной области [6–8].

Все предложенные выше приемы усовершенствования плотностного моделирования, позволяющие более достоверно изучать строение верхней части кристаллической коры платформенных областей, обстоятельно рассмотрены ниже на примере изучения одного из участков ВКМ.

Интерпретируя локальные аномалии гравитационного поля и используя данные о плотности пород, можно построить плотностную трехмерную модель среды. Построение такой модели осуществлялось при помощи программы, основанной на следующих принципах решения обратной задачи.

Используя значения гравитационного поля в узлах сетки на поверхности и стартовую модель распределения плотности в нижнем полупространстве, можно решить прямую задачу для верхнего слоя. Далее рассчитывается невязка поля, которая на следующем шаге определяется как распределение эквивалентной плотности в ограниченном плоском слое, затем производится распределение невязки модели в нижнем полупространстве. Для полученной модели также рассчитывается гравитационное поле, которое сравнивается с исходным наблюдаемым полем. Цикл повторяется до достижения необходимой точности.

Реализацию предложенного алгоритма решения обратной задачи можно рассмотреть на примере по-

строения трехмерной плотностной модели участка, размером  $20 \times 20$  км, расположенного в юго-восточной части ВКМ.

В первую очередь была произведена оценка мощности гравиактивного слоя в районе работ. Для этого рассчитывалась двухмерная нормированная автокорреляционная функция локальных аномалий гравитационного поля, которая сравнивалась с модельными значениями автокорреляционной функции для 3D слоя со случайным распределением сингулярных ис-

точников. Глубина залегания верхней границы гравиактивного слоя выбиралась согласно положению кровли фундамента на участке исследования (250 м). В результате сравнения значений автокорреляционных функций была получена мощность интересующего нас слоя, которая равняется 8 км (рис. 1).

На втором этапе рассчитывалась стартовая модель, в качестве которой были использованы плотностные модели гранитных интрузий, расположенных в пределах участка работ (рис. 2).

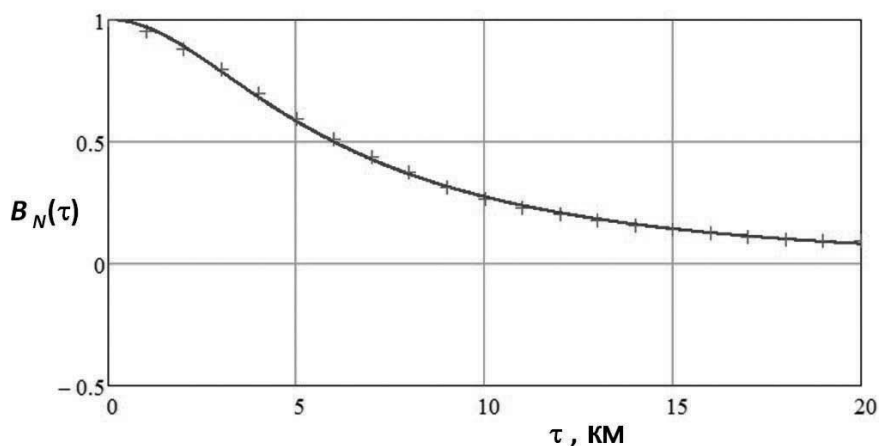


Рис. 1. Оценка мощности гравиактивного слоя в районе работ.

Практическая и модельная двухмерная нормированная автокорреляционная функция локальных аномалий гравитационного поля. Модель: 3D слой с сингулярными источниками,  $h = 0,25$  км,  $\Delta H = 8$  км

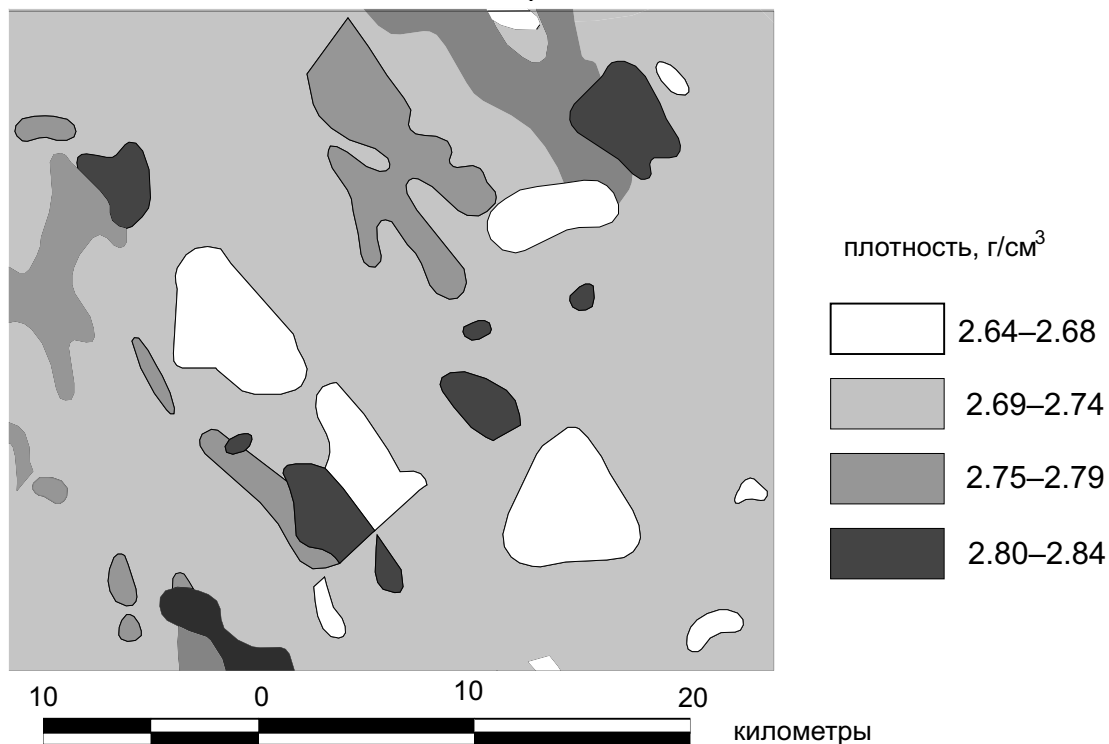


Рис. 2. Петрофизическая схема района работ

В гравитационном поле данные массивы проявляются по пониженным значениям. Объекты относятся к гранитоидам бобровского комплекса ( $PR_1b$ ), которые широко распространены на территории Хоперского мегаблока [9], [10]. В составе комплекса преобладают нормальные биотитовые и двуслюдяные граниты, плагиограниты, адамеллиты [Бердников и др., 1977]. Возраст гранитов оценивается в  $2022 \pm \pm 3$  млн лет [11]. Гранитные интрузии являются секущими к образованиям воронцовской серии нижнего протерозоя ( $PR_1vc$ ), которая представлена метаграввакково-сланцевым комплексом, отличающимся однородным вещественным составом. Мощность отложений воронцовской серии, по сейсмическим данным, изменяется от 2 до 8 км.

Граниты бобровского комплекса имеют низкую магнитную восприимчивость и очень выдержанную плотность –  $2,63 \text{ г/см}^3$ . В геофизических полях гранитные объекты или системы более мелких сближенных тел комплекса в силу своих петрофизических показателей отражаются хорошо выраженными минимумами поля силы тяжести.

Моделирование трехмерного строения массивов выполнялось в среде Mathcad. Интрузии были представлены набором параллелепипедов [12]. Горизонтальные размеры дискретного элемента составляли  $1000 \times 1000$  м, длина ребра по вертикали – 500 м. Количество параллелепипедов в плане выбиралось в зависимости от формы массивов, положение верхних элементов задавалось в соответствии с данными о положении кровли кристаллического фундамента, а

их количество по вертикали подбиралось в процессе моделирования. Абсолютная плотность всех элементов задавалась дискретным набором величин.

Решение прямой задачи гравиметрии выполнялось при помощи программы, которая основана на использовании внутренней рекурсии, что позволяет осуществить дополнительное разбиение исходного элементарного параллелепипеда на более тонкие параллелепипеды. Используя рекурсивный алгоритм, можно обеспечить достаточную точность вычисления поля в тех точках, где это необходимо по смыслу вычислительной прямой задачи, не создавая дополнительных элементов разбиения во всей области определения модели среды.

Решение обратной задачи осуществлялось методом неоптимизированного (интуитивного) подбора. Модель формировалась путем добавления слоев мощностью 500 м, состоящих из параллелепипедов, количество которых варьировалось в зависимости от значений невязок расчетного поля по сравнению с наблюдаемым гравитационным полем. Коррекции подвергались элементы модели, которые располагались под соответствующей точкой с известной невязкой поля, т.е. был реализован принцип «локальной коррекции» невязки [13].

Полученная в итоге плотностная модель среды состоит из пятнадцати слоев, достигающих глубины 7500 м, что вполне согласуется с рассчитанной мощностью «гравиактивного слоя». Причем размеры интрузивных массивов уменьшаются с глубиной (рис. 3).

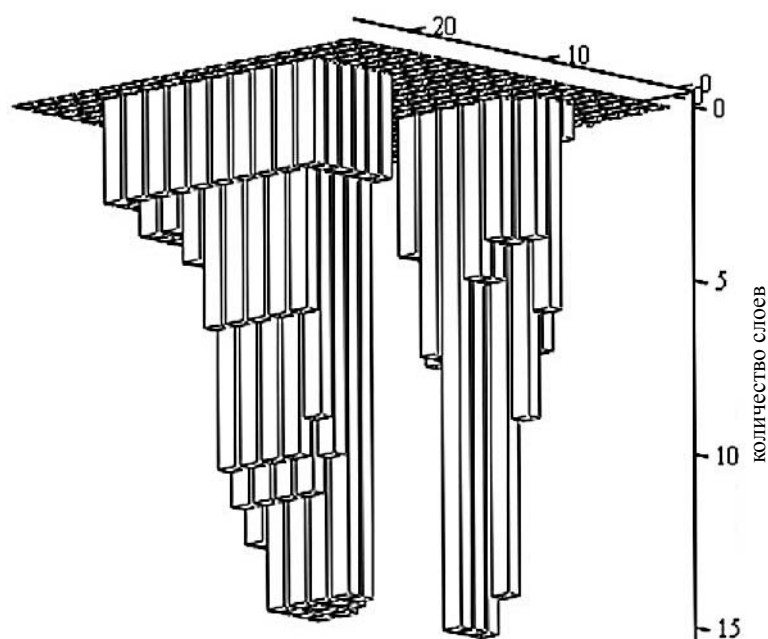


Рис. 3. Исходная модель (гранитные массивы)

На заключительном этапе, используя алгоритм решения обратной задачи, предложенный выше, петрофизические данные по району работ, данные по положению кровли кристаллического фундамента

ВКМ, а также рассчитанные исходные модели гранитных интрузий, была построена трехмерная плотностная модель участка исследования (рис. 4).

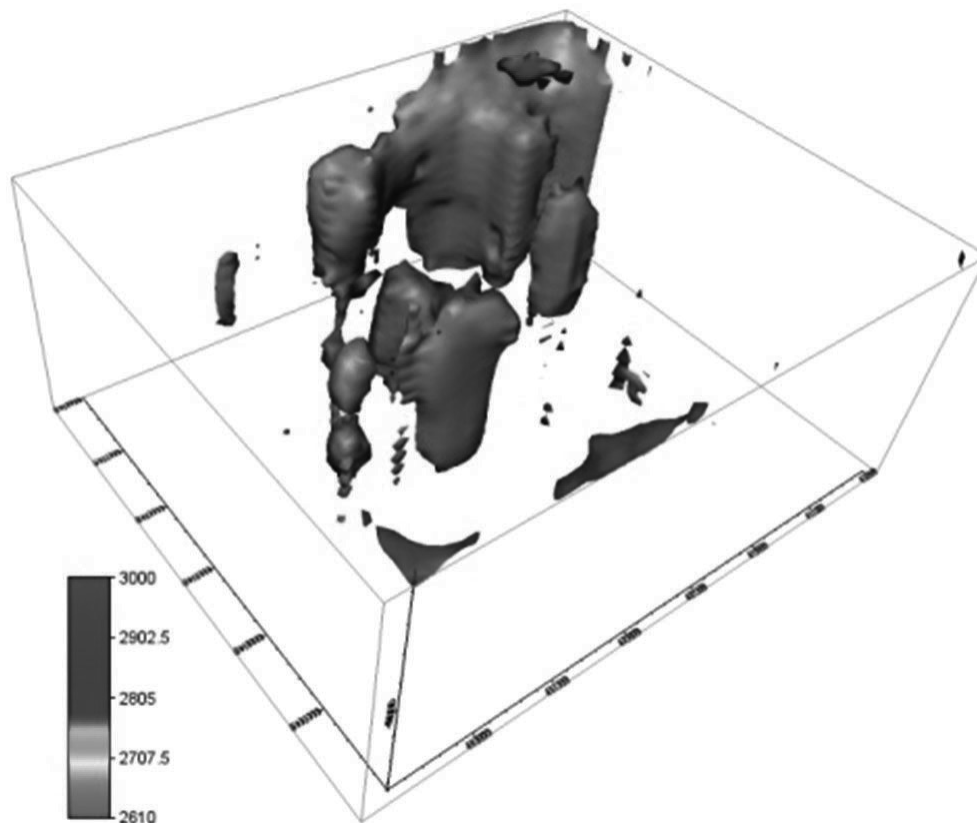


Рис. 4. Трехмерная плотностная модель по результатам инверсии поля

Моделирование подобного рода позволит не только сделать некоторые выводы о формировании фундамента Воронежского кристаллического массива, но и уточнить форму и местоположение аномалеобразующих объектов, выделенных на геологической карте по результатам качественной интерпретации геофизических данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Старостенко В. И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии / В. И. Старостенко. – Киев : Наукова думка, 1978. – 228 с.
2. Долгаль А. С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности / А. С. Долгаль. – Абакан : Март, 2002. – 187 с.
3. Кобрунов А. И. Математические основы теории интерпретации геофизических данных / А. И. Кобрунов. – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 288 с.
4. Глазнев В. Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии / В. Н. Глазнев. – Апатиты : КазМ, 2003. – 252 с.
5. Муравина О. М. Петроплотностная модель кристаллического фундамента Воронежского кристаллического

массива / О. М. Муравина, В. И. Жаворонкин, В. Н. Глазнев // Материалы 41-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». – Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2014. – С. 171–174.

6. Воронова Т. А. Трехмерная плотностная модель Коршевского гранитного массива в связи с его металлогенической специализацией / Т. А. Воронова, В. Н. Глазнев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – № 2. – С. 164–169.

7. Воронова Т. А. Строение гранитных интрузий бобровского комплекса по геофизическим данным / Т. А. Воронова, В. Н. Глазнев // Материалы XVIII Междунар. конф. «Геологическая среда, минерагенические и сейсмотектонические процессы». – Воронеж : ВГУ, 2012. – С. 78–79.

8. Воронова Т. А. Построение объемной плотностной модели гранитных интрузий Хоперского мегаблока (Воронежский кристаллический массив) / Т. А. Воронова, В. Н. Глазнев // Материалы 40-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». – М. : ИФЗ РАН, 2013. – С. 94–98.

9. Чернышов Н. М. Геодинамическая модель формирования ВКМ / Н. М. Чернышов [и др.] // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–31.

10. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / гл. ред. член.-кор. РАН Н. М. Чернышов. – Воронеж : Научная книга, 2012. – 330 с.

11. Бибикина Е. В. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии : изотопно-геохронологическая характеристика супракрупных пород и гранитоидов / Е. В. Бибикина [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2009. – № 6. – С. 3–16.

*Воронежский государственный университет*

*Воронова Т. А., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики*

*E-mail: voronova28@yandex.ru*

*Тел.: 8-473-220-83-85*

*Муравина О. М., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики*

*E-mail: muravina@geol.vsu.ru*

*Тел.: 8-473-220-83-85*

12. Глазнев В. Н. Об одном методе моделирования рудных объектов с использованием адаптивной аппроксимации / В. Н. Глазнев, Г. Г. Лошаков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – № 1. – С. 243–246.

13. Мартышко П. С. Технология разделения источников гравитационного поля по глубине / П. С. Мартышко, И. Л. Пруткин // Геофизический журнал. – 2003. – Т. 25. – № 3. – С. 159–169.

*Voronezh State University*

*Voronova T. A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Geophysical Department*

*E-mail: voronova28@yandex.ru*

*Tel.: 8-473-220-83-85*

*Muravina O. M., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Geophysical Department*

*E-mail: muravina@geol.vsu.ru*

*Tel.: 8-473-220-83-85*