

МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ДАНИЛОВСКОГО ГРАБЕНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2014 г. Н. П. Костров, Е. А. Манушко, К. С. Иванов

Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: Kostrov65@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.08.2013 г.

Наличие интенсивной аномалии в пределах Даниловского грабена Западной Сибири при практической немагнитности базальтов грабена и липаритов триаса, которые, вероятно, соединяются в единое немагнитное тело, заставляет предположить наличие магнитных масс на большой глубине. Правомерность такого предположения, как и геологических представлений о строении грабена можно подтвердить или опровергнуть при помощи компьютерного моделирования. Для моделирования применен метод объемных векторных интегральных уравнений. Приведена структура магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности модели. Выделены зоны, над которыми модель индуцированной намагниченности воспроизводит аномальное геомагнитное поле только частично и которые требуют введения остаточной намагниченности, обратной современному геомагнитному полю. По результатам моделирования построена поверхность магнитных пород с магнитной восприимчивостью от $6000 \cdot 10^{-5}$ до $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, лежащих под грабеном и поднимающихся с глубины 12,5 км единым блоком. Моделирование подтвердило геологические представления о строении грабена. Дальнейшее уточнение геологической модели возможно при комплексном сопоставлении плотностной и магнитной моделей с формированием общей гравимагнитной модели.

Ключевые слова: грабен, магнитная аномалия, моделирование, интегральное уравнение, интерпретация.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитные аномалии позволяют картировать разломы земной коры, границы блоков и структур [3, 10]. В частности, относительно магнитные серпентиниты могут создавать цепочки аномалий вдоль границ грабенов. С другой стороны, наличие интенсивной аномалии в пределах Даниловского грабена Западной Сибири при практической немагнитности базальтов грабена и липаритов триаса, которые, вероятно, соединяются в единое немагнитное тело, заставляет предположить наличие магнитных масс на большой глубине. Правомерность такого предположения, как и геологических представлений о строении грабена можно подтвердить или опровергнуть при помощи компьютерного моделирования. Цель данной работы – построить магнитную модель центральной части триасового Даниловского грабена, расположенного в пределах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО).

МЕТОД

Трехмерная магнитная модель строилась методом подбора при многократном решении прямой задачи магниторазведки, реализованном в программном комплексе “3-D Интерпретации потен-

циальных полей” [8]. Методология подбора учитывает наличие априорной геологической информации [1, 2, 4, 9, 11], а также представлений о процессах образования грабенов. Таким образом, в данном методе интерпретации оператор задает на входе намагничивающее поле, распределение магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности в моделируемом объеме, а на выходе получает аномалию полного вектора магнитного поля, которое сравнивает с наблюдаемым аномальным магнитным полем (АМП). Для заданного распределения намагничивающего поля, задавая каждый раз распределением магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности в результате решения интегрального уравнения для напряженности магнитного поля, последовательно получаем значение поля внутри объема, а затем и в точках наблюдения, которые совпадают с узлами сетки наблюдаемого поля. Далее, вычитая из наблюдаемого АМП модельное АМП, получаем остаточное поле, которое служит мерой качества подбора наблюдаемого АМП. Если размах (от минимального до максимального значения) остаточного поля лежит в заданном диапазоне, а его изолинии формируют мозаичную картину, когда минимумы и максимумы распределены равномерно по всей площади моделирования, то результат подбора считается удовлет-

ворительным и подбор прекращается. Таким образом, интерпретатор анализирует остаточное поле и, руководствуясь геологическими гипотезами и априорной информацией о районе моделирования, вносит изменения в распределение магнитной восприимчивости, а затем запускает расчет заново, повторяя эту процедуру до удовлетворения критерия качества подбора. Таким образом, в процессе подбора многократно решается следующее уравнение для магнитного поля $H(r)$:

$$H(r) = H_0(r) - \frac{1}{4\pi} \nabla \int_{V_2} (\kappa(r') H(r') + R(r')) \cdot \frac{r - r'}{|r - r'|^3} dV_2, \quad (1)$$

где $|r - r'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$, r' — радиус-вектор точки источника $P' \equiv (x', y', z')$, r — радиус-вектор точки наблюдения $P \equiv (x, y, z)$, в которой вычисляется поле, $\kappa(r')$ — магнитная восприимчивость. Точка наблюдения может быть как внутри, так и вне тела V_2 . Уравнение (1) можно получить из определения аномального магнитного поля [15, 18] или из уравнений Максвелла посредством стандартной процедуры, включающей применение теоремы Грина к скалярному потенциалу и функции Грина [5–7, 16, 17]. Уравнение решалось численным методом, изложенным в [7, 13, 14].

МОДЕЛИРОВАНИЕ

В верхней части рис. 1 приведена геологическая карта центральной части Даниловского грабена Западной Сибири и показан участок моделирования. На нижней части, рис. 1б, изображен слой модели, лежащий вблизи эрозионного среза кристаллического фундамента в пределах участка моделирования с вынесенными профилями, вдоль которых далее рассматриваются сечения модели.

Техническое описание модели

При моделировании использовалась Декартова система координат с вертикальной осью, направленной вверх, осью абсцисс, направленной на восток, и осью ординат, направленной на север. Для представления данных использовалась проекция Гаусса-Крюгера для 11-й зоны. Итоговая модель состоит из 222301 ячейки, расположенных в 22 слоях. Размер ячеек в горизонтальной плоскости составляет 1.5 на 1.5 км и одинаков для всех слоев. Один слой содержит 10100 ячеек. Слои от 300 до 50 м имеют мощность 50 м, что нужно для отображения рельефа дневной поверхности; далее идет слой от 50 м до –1 км, за ним следуют слои от –1 км до –1.25 км мощностью 250 м. Далее идут слои от –1.25 до –2.5 км мощностью 250 м для отображения доюрского основания, а глубже, от –2.5 до –12.5 км, слои имеют мощность 1 км. Размерности сеток наблюденного поля, дневной поверхности и фундамен-

та совпадают и имеют следующие характеристики:

начало сетки

$$X_{min} = 11\,465\,468, X_{max} = 11\,611\,499.146667$$

$$Y_{min} = 6\,727\,995, Y_{max} = 6\,878\,004$$

Размерность расчетной сетки 74 на 76 узлов.

Моделировалось АМП (рис. 3б из работы [11]), которое приведено к эпохе 1965 г., что обусловило и выбор намагничивающего поля по модели IGRF11 (<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>), рассчитанного на эпоху 1965 г. Намагничивающее поле вычислялось в каждом узле сети наблюденного АМП и считалось постоянным до половины расстояния до следующего узла сети. Данные о значениях магнитной восприимчивости брались характерными для комплексов пород участка [1, 2].

Точность подбора

Точность подбора характеризуется остаточным полем (рис. 2б), полученным как разность между наблюденным (рис. 2а) и модельным АМП. Из рис. 2б видно, что изолинии остаточного поля окончательной модели представляют собой мозаичную структуру с мелкими деталями. Размах остаточного поля равен ± 30 нТл, что составляет не более 5% от диапазона изменения наблюденной аномалии (от –242 до 1053 нТл), за исключением краев планшета, где сказывается влияние масс, лежащих за пределами рассматриваемой площади.

При предположении, что АМП в данном районе вызвано только индуцированной намагниченностью не удалось воспроизвести целиком некоторые локальные отрицательные аномалии над очень слабомагнитными породами. Предположение о том, что АМП над всем участком моделирования содержит существенную региональную составляющую, не подтвердилось, поскольку любая фильтрация с целью разделения региональной и локальной составляющей приводила к обширным отрицательным аномалиям в остаточном (локальном) поле над большей частью (около 90%) площади моделирования, которое могло быть интерпретировано только повсеместным введением остаточной намагниченности, обратной современному полю для всех геологических тел. Из двух возможных вариантов подбора (подбора исходного АМП и подбора фильтрованного АМП), мы остановились на интерпретации исходного магнитного поля, вводя для полной компенсации отрицательных аномалий блоки пород с обратной намагниченностью на глубинах 10–12 км, которые приведены на рис. 3. Для определенности, была задана только **Z-компонента остаточной намагниченности**, а остальные компоненты приравнены нулю. Эти отрицательные аномалии проецируются на следующие структуры, согласно геологической карте [3], (в скобках указана магнитная восприимчивость в ед. СИ): 1 – терригенно-сланцевая формация карбона ($5 \cdot 10^{-5}$); 2 – сиалические гнейсы,

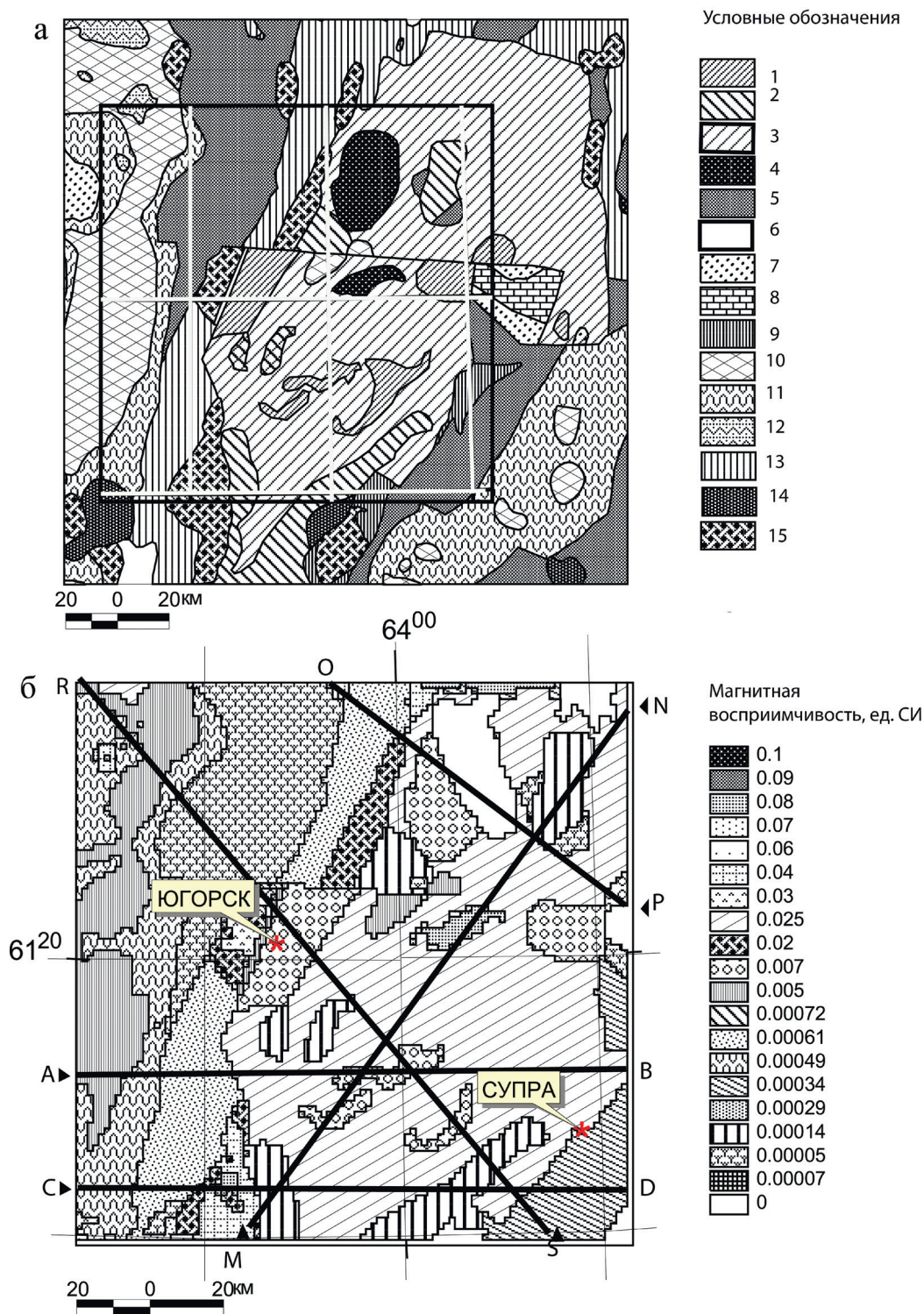


Рис. 1. Геологическая карта доюрского основания западной части ХМАО (а) [4] в пределах Даниловского грабена. Черный прямоугольник – площадь моделирования. Белые линии внутри прямоугольника – линии координатной сетки. Горизонтальный срез слоя магнитной модели (б), в пределах контура моделируемого участка, на глубине от 2.5 км с выносом сечений (AB, CD, RS, OP, MN).

1 – липариты триаса; 2 – эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава; 3 – базальты грабена; 4 – габбро-долерит; 5 – терригенно-сланцевая формация карбона; 6 – Терригенно-карбонатные отложения C_1 -v; 7 – вулканогенно-осадочные толщи девона; 8 – известняк D_{2-3} ; 9 – порфиристы, диабазы, яшмы нижнего палеозоя; 10 – гранитоиды; 11 – сиалические гнейсы, сланцы; 12 – кварцевые диориты и гнейсы сиалические магнитные; 13 – эффузивы D_3 - C_1 ; 14 – габбро; 15 – серпентиниты. Справа от рис. 1б показана шкала магнитной восприимчивости.

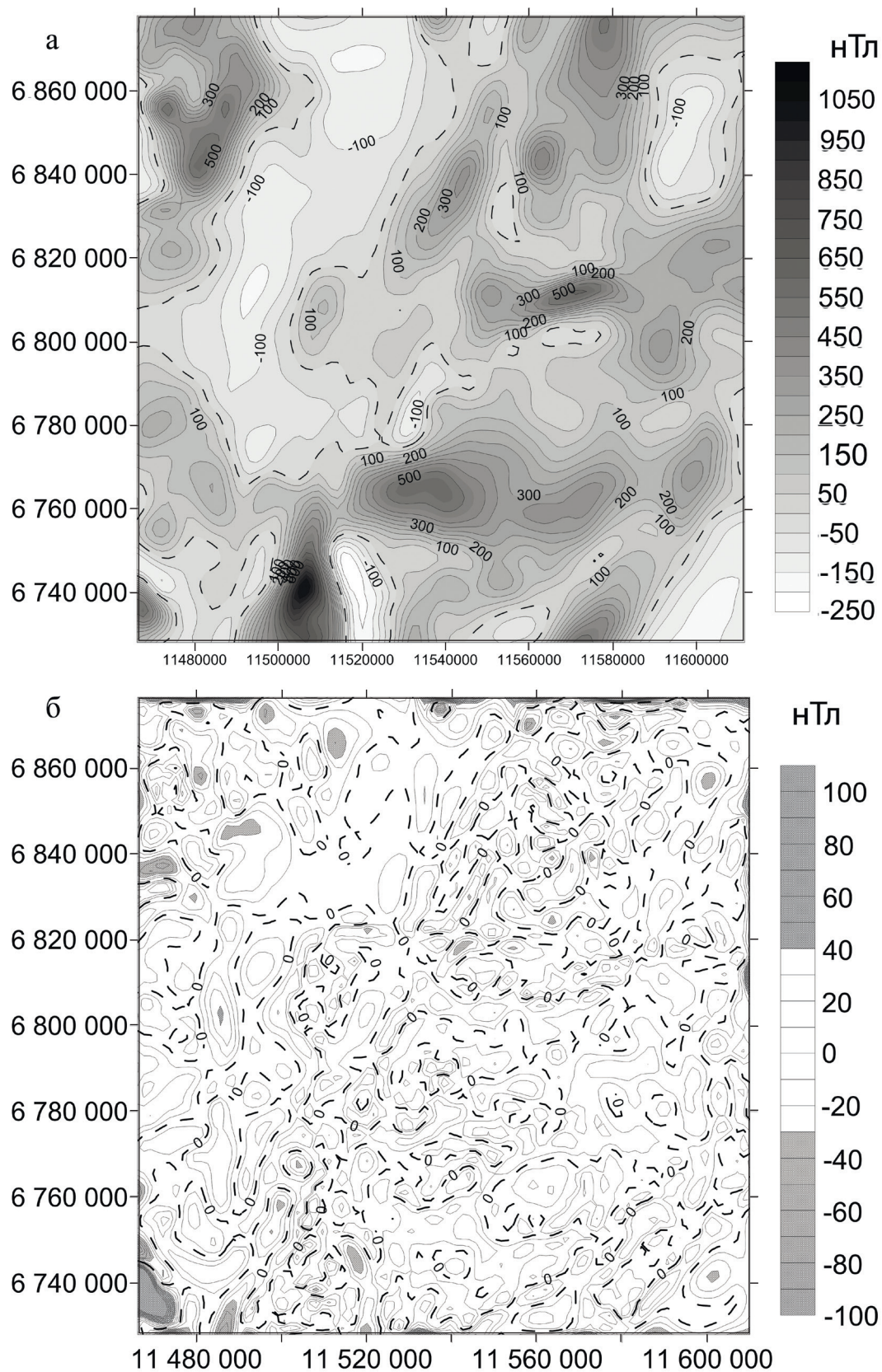


Рис. 2. Наблюдаемое аномальное магнитное поле (а) и остаточное магнитное поле (б).

Цифры на изолиниях – значения АМП в нанотеслах (нТл). Светлая область в нижней части (б) показывает, что остаточное поле лежит в допустимых пределах от -30 до $+30$ нТл. Цифры по периметру рисунка – прямоугольные координаты в системе Гаусса-Крюгера. Справа приведены шкалы изменения наблюдаемого и остаточного полей в нТл.

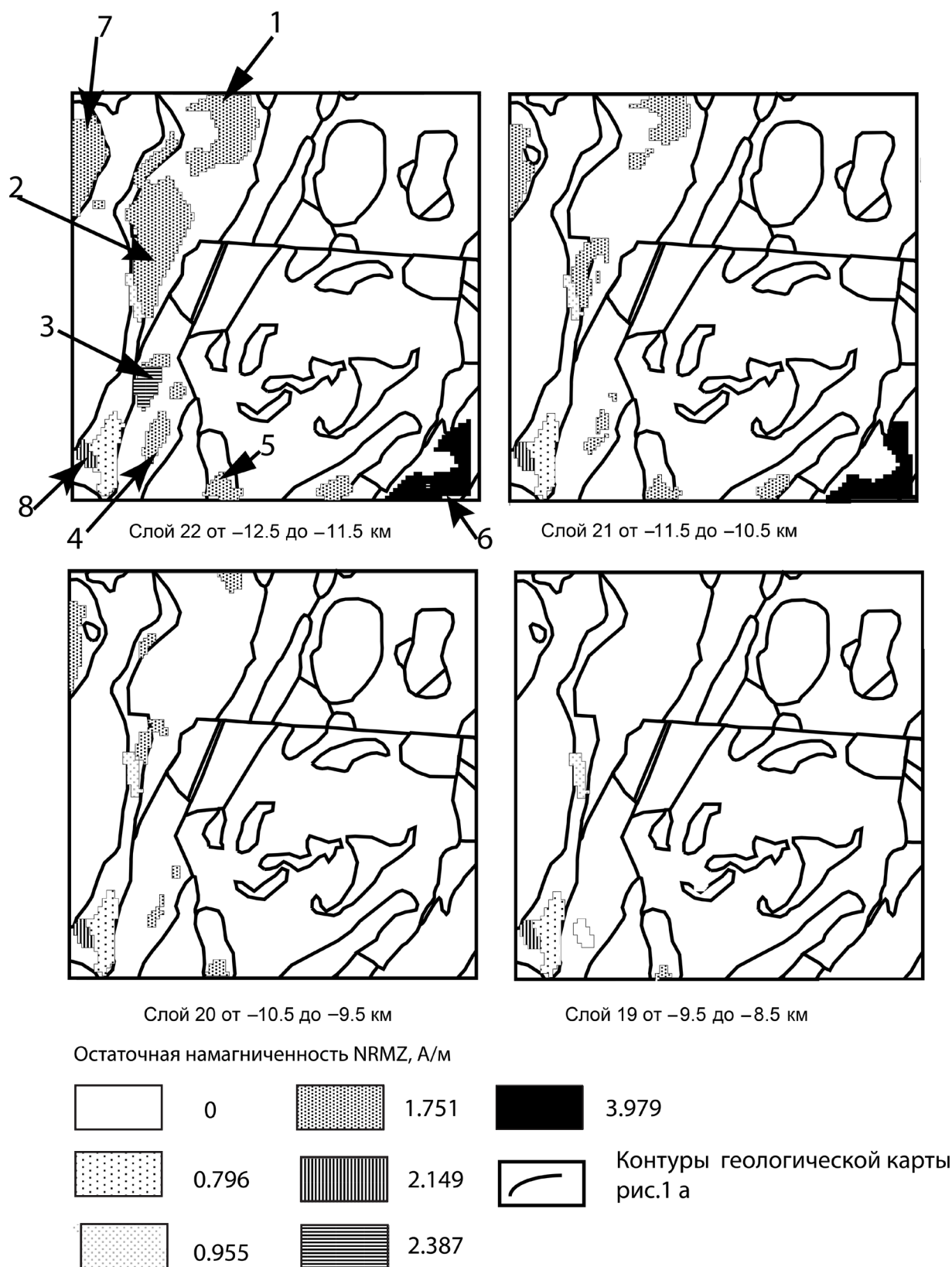


Рис. 3. Структура остаточной намагненности модели.

Показаны слои модели и контурь геологической карты (рис. 1). Цифрами на левой верхней части рисунка помечены зоны, которые модель индуцированной намагненности воспроизводит только частично и которые требуют введения остаточной намагненности, обратной современному геомагнитному полю.

сланцы ($49 \cdot 10^{-5}$) и та же терригенно-сланцевая формация; 3, 4 – эффузивы D_3-C_1 ($61 \cdot 10^{-5}$); 5 – эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава ($14 \cdot 10^{-5}$); 6 – терригенно-сланцевая формация карбона ($34 \cdot 10^{-5}$); 7 – сиалические гнейсы, сланцы ($49 \cdot 10^{-5}$); 8 – сиалические гнейсы, сланцы ($34 \cdot 10^{-5}$). Остаточную намагниченность, обратную современному полю, породы могут приобрести либо поменяв положение в пространстве при тектонических движениях, либо при метасоматозе, либо при образовании в эпоху инверсии главного магнитного поля земли [12].

Анализ результата первоначального подбора выявил большое разнообразие величин магнитной восприимчивости пород, которое, однако, оказалось возможным объединить в несколько классов, внутри которых различие магнитной восприимчивости не существенно, тогда как различие восприимчивости между классами составляет десятки и сотни раз. Для каждого класса затем бралось среднее значение, и подбор выполнялся заново за счет изменения геометрии намагниченных тел с несущественной коррекцией магнитной восприимчивости для отдельных тел относительно среднего значения (табл. 1), что весьма ускорило подбор и улучшило его качество.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты моделирования представлены на рис. 4, содержащем разрезы вдоль профилей, приведенных на рис. 1б. По вертикали разрезы охватывают 12.5 км, по горизонтали – до 190 км. Над разрезами приведены кривые АМП.

Рассмотрим для начала сечение модели профилем MN, идущим вдоль грабена с юго-запада на северо-восток (рис. 4). Как видно из рис. 1, этот профиль начинается в зоне серпентинитов, ограничивающих грабен с запада. На разрезе периферия массива серпентинитов, которая моделируется породами с магнитной восприимчивостью от $2000 \cdot 10^{-5}$ до $4000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ до глубины порядка 5.5 км, подстилается практически немагнитными породами. Далее профиль пересекает эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава, отрицательную магнитную аномалию над которыми частично моделируются тела с остаточной магнитной восприимчивостью (рис. 3, зона 5), обратной современному полю, а частично – сильномагнитные серпентиниты. Далее на разрезе четко видны базальты грабена с магнитной восприимчивостью $2500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и менее магнитные липариты ($700 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). На отметке 40 км профиль пересекает интенсивную магнитную аномалию (рис. 2 а), над относительно слабомагнитными базальтами грабена и липаритами (рис. 1а, б), которые, как показало моделирование, создают только слабую магнитную аномалию. Данная аномалия объясняется более магнитными массами под грабеном, которые на данном разрезе

Таблица 1. Значения магнитной восприимчивости, объединенные в классы в пределах моделируемого участка.

№ класса	Осредненные значения, 10^{-5} ед. СИ	Исходные значения, 10^{-5} ед. СИ
1	10000 8000	10000 9000, 8000, 7000
2	3500 2250	4000, 3000 2500, 2000
3	600	700, 500
4	54	72, 61, 49, 34
	22	29, 14
	6	5, 7

зе поднимаются с глубины 12.5 до глубины 5.5 км. Вдоль разреза по магнитной восприимчивости прослеживается поднятие дна грабена с юго-запада на северо-восток. Массив габбро-долеритов (рис. 1а) отмечает локальная магнитная аномалия (около 600 нТл в максимуме), которую можно видеть на профиле в районе отметки 100 км. Аномалия моделируется телом неправильной формы, сечение которого вдоль профиля достигает глубины 11.5 км. Далее по профилю наблюдается протяженная малоинтенсивная аномалия достигающая в максимуме примерно 170 нТл. Однако, согласно геологической карте (рис. 1а) здесь расположены базальты грабена и для объяснения аномалии введено магнитное тело на глубине от 12.5 до 6.5 км. (рис. 4, сечение MN). Далее вдоль профиля эффузивы с преобладанием туфов моделируются породами с магнитной восприимчивостью, близкой к нулю, что и видно на разрезе начиная с отметки 140 км.

Рассмотрим разрез (рис. 4, сечение RS), идущий с северо-запада на юго-восток (рис. 1б), который дает представление о поперечном сечении грабена. Надо сказать, что грабен на этом сечении начинается с отметки 100 км. (магнитная восприимчивость $2500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ). Западнее этой отметки липариты триаса (рис. 1а) моделируются магнитными массами с магнитной восприимчивостью $700 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Профиль также захватывает периферию массива серпентинитов, ограничивающих грабен с запада, но, согласно модели, эта периферия имеет ту же магнитную восприимчивость, либо имеет место продолжение липаритов. Далее на северо-запад терригенно-сланцевая формация имеет магнитную восприимчивость $5 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и не вносит вклад в магнитную аномалию. Напротив, отрицательная магнитная аномалия (порядка –130 нТл в минимуме) примерно лишь наполовину компенсируется окружающими магнитными породами, тогда как вторая половина компенсируется введением масс на глубинах от 12.5 до 9.5 км (рис. 3, зона 2) с остаточной намагниченностью, направленной против современного поля. Над гранитоидами (от 20 до 40

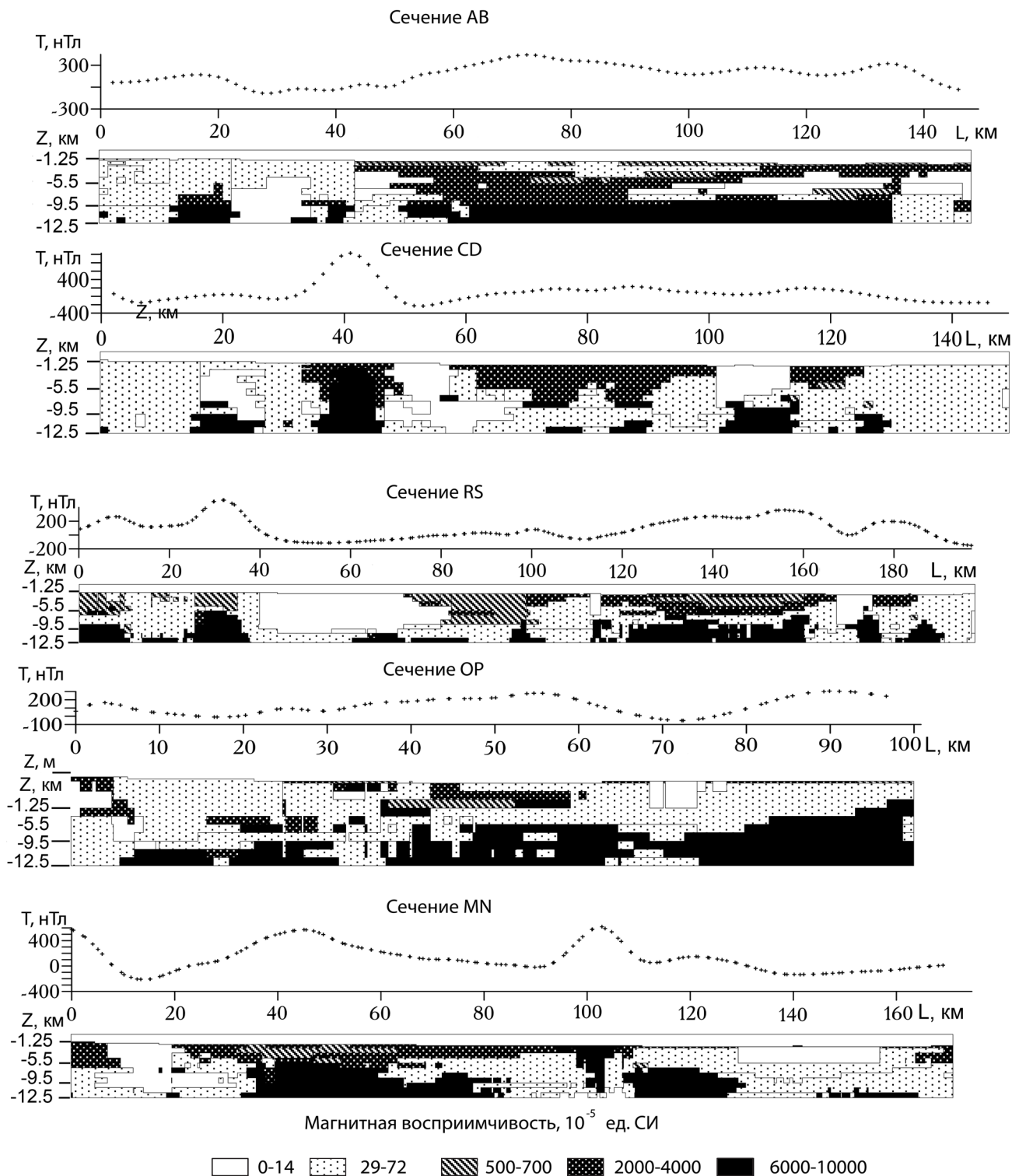


Рис. 4. Сечения вдоль профилей АВ, CD, RS, ОР, MN (см. рис. 1б).

Над каждым сечением приведено АМП

км по профилю) интенсивная магнитная аномалия (492 нТл в максимуме) моделируется магнитными массами, лежащими под ними. Возвращаясь к структуре магнитной восприимчивости горных по-

род внутри грабена (отметка по профилю 110 км и далее), следует отметить, чашеподобную форму грабена, проявленную в магнитных свойствах, причем дно “чаши” проходит на глубине около 5.5 км.

Рассмотрим разрезы вдоль профилей, идущих с запада на восток, а именно сечения АВ и CD (рис. 4, рис. 16). В районе отметки 40 км профиль АВ проходит через эффузивы D_3-C_1 , представленные практически немагнитными массами, в то время как профиль CD, расположенный в 30 км к югу, пересекает зону магнитных серпентинитов (магнитная восприимчивость которых меняется от $6000 \cdot 10^{-5}$ до $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ в центре и от $2000 \cdot 10^{-5}$ до $4000 \cdot 10^{-5}$ на периферии), дающих аномалию магнитного поля порядка 1000 нТл в максимуме, имеющих восточное падение и ограничивающих грабен с запада. Непосредственно к зоне серпентинитов примыкают эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава, которые представляют полностью немагнитные массы. Отрицательная аномалия –260 нТл над ними обязана своим происхождением, по большей части, магнитным серпентинитам на западе, однако для полного объяснения этой аномалии на глубинах от 12.5 до 8.5 км пришлось вводить породы с остаточной намагниченностью, противоположной современному магнитному полю (рис. 3, зона 5). Грабен четко виден на этом разрезе, как магнитные массы с магнитной восприимчивостью от $2000 \cdot 10^{-5}$ до $4000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, достигающие глубины более 5 км. В конце разреза, за отметкой 120 км и до конца профиля наблюдается понижение АМП до –170 нТл. Этот участок проходит над немагнитной терригенно-сланцевой формацией карбона и отрицательное АМП не может быть объяснено индукцией близлежащих сильномагнитных масс и смоделировано глубинными породами, имеющими остаточную намагниченность, противоположную современному магнитному полю (рис. 3, зона 5). Относительно сечения АВ можно сказать, что под сравнительно слабомагнитными породами грабена – базальтами и липаритами – просматривается блок сильномагнитных пород с магнитной восприимчивостью порядка $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, на глубине от 8.5 до 12.5 км. Магнитная же восприимчивость пород грабена составляет $(2000-4000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, которые с нижележащими породами формируют обширную положительную аномалию.

Разрез вдоль профиля ОР демонстрирует поперечное сечение структуры магнитной восприимчивости пород грабена на северо-востоке (рис 16), где дно грабена поднимается к эрозионному срезу кристаллического фундамента. Профиль берет начало с периферийного фрагмента серпентинитов, большая часть которых расположена за пределами участка моделирования, что нашло отражение в структуре магнитной восприимчивости первые 5 км вдоль профиля. Далее, профиль пересекает эффузивы D_3-C_1 и базальты грабена (тонкая полоска сверху разреза с магнитной восприимчивостью $(2000-4000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), а также массив габбро-долеритов с магнитной восприимчивостью $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Обращает на себя внима-

ние отрицательное АМП вблизи отметки 70 км по профилю. Эта аномалия формируется сильно намагниченными телами с магнитной восприимчивостью от $6000 \cdot 10^{-5}$ до $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, лежащими за ее пределами на глубинах от 7.5 км на северо-западе и уступом поднимающимся до 4.5 км на юго-востоке.

Относительно структуры магнитной восприимчивости гранитоидов, и обрамляющих их сиалических гнейсов, лежащих к западу от грабена можно сказать, опираясь на разрезы RS и АВ, что их магнитная восприимчивость, лежащая в диапазоне $(500-700) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ первые 40 км на разрезе RS, и в диапазоне $(29-72) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и первые 20 км на разрезе АВ, недостаточна для воссоздания наблюдаемой аномалии и требует введения пород с повышенной магнитной восприимчивостью порядка $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ под ними.

Представление об общем рельефе тел с магнитной восприимчивостью $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ дает рис. 5, на котором изображен рельеф их общей поверхности. Рельеф строился объединением элементарных ячеек-параллелепипедов с заданными величинами магнитной восприимчивости снизу, с отметки –12.5 км. Построение прерывалось, как только над такими ячейками встречались ячейки с магнитной восприимчивостью отличной от заданной. Ввиду такого построения, можно сказать, что рис. 5 дополняет приведенные разрезы, но не учитывает сильномагнитные вкрапления, лежащие выше и не связанные с основной массой ячеек с заданной магнитной восприимчивостью.

ВЫВОДЫ

При моделировании предполагалось, что АМП над всем участком моделирования не содержит существенную региональную составляющую. Моделирование магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности пород в районе Даниловского грабена Западной Сибири выявило наличие монолитных магнитных масс поднимающихся с глубины 12.5 км с магнитной восприимчивостью $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, которые могут быть интерпретированы как проявление мантийного диapiра. Моделирование показало, что некоторые локальные зоны немагнитных, согласно геологической карте, пород требуют введения на глубинах от 9.5 до 12.5 км пород с остаточной намагниченностью, обратной современному геомагнитному полю, что может быть объяснено их формированием в период инверсии или рекурсии геомагнитного поля, а также метасоматозом или тектоническими движениями. В целом, представления о геологическом строении триасового Даниловского грабена подтверждены результатами моделирования, которое, в свою очередь, позволило уточнить глубинную структуру грабена.

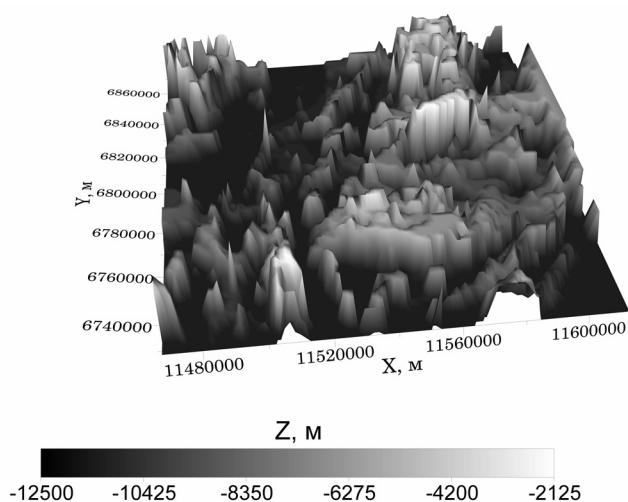


Рис. 5. Поверхность магнитных пород с магнитной восприимчивостью от $6000 \cdot 10^{-5}$ до $10000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, построенная по результатам моделирования.

На переднем плане видно поднятие магнитных пород под практически немагнитными липаритами и базальтами грабена.

Структура грабена, прослеженная по магнитной восприимчивости, указывает, что дно грабена поднимается с юго-запада на северо-восток, что с северо-запада на юго-восток грабен имеет чашеподобное строение с восточным падением западных границ, отмеченных серпентинитами, и западным падением восточных границ. Дальнейшее уточнение геологической модели возможно при комплексном сопоставлении плотностной и магнитной моделей с формированием общей гравимагнитной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Е.М., Винничук Н.Н., Иванов К.С. и др.* О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 114 с.
2. *Гусев Б.В., Металлова В.В., Файнберг Ф.С.* Магнетизм пород трапповой формации западной части Сибирской платформы. М., Л.: Недра, 1967. 84 с.
3. *Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. и др.* Основные черты строения доюрского фундамента Шаимского нефтегазоносного района // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: мат-лы VI научно-практ. конф. Т. 1. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2003. С. 102–113.
4. *Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф. и др.* История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 4. С. 484–501.
5. *Кормильцев В.В., Костров Н.П.* Исследование алгоритмов, основанных на объемном векторном интегральном уравнении для напряженности магнитного поля. Деп. в ВИНТИ: 1999, № 83-В99, 19 с.
6. *Кормильцев В.В., Ратушняк А.Н.* Векторные интегральные уравнения для градиента потенциала геофизических полей // Российский геофизический журнал. 1995. № 5-6. С. 4–10.
7. *Кормильцев В.В., Ратушняк А.Н.* Моделирование геофизических полей при помощи объемных векторных интегральных уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 97 с.
8. *Костров Н.П., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н.* Система 3D интерпретации результатов гравимагнитных наблюдений с целью геологического картирования доюрского комплекса Западной Сибири // Горные ведомости. 2005. № 1. С. 57–61.
9. *Костров Н.П., Манушко Е. А., Иванов К. С.* Плотностная модель центральной части Даниловского грабена Западной Сибири // Ежегодник-2011, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 159. 2012. С. 33–39.
10. *Рыбаков М.Б., Гольдшмидт В.И., Холл Д., Бен-Аврахам Ж., Лазар М.* Новые представления об источниках магнитных аномалий в Восточном Средиземноморье: ключ к локализации офиолитов и габброидных интрузий // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 4, С. 487–511.
11. *Чурсин А.В., Прутьян А.М., Федорова Н.В.* Цифровая карта аномального магнитного поля Северного, Среднего и Южного Урала и прилегающих территорий Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ // Литосфера. 2008. № 6. С. 63–72.
12. *Яновский В. М.* Земной магнетизм. Л.: ЛГУ, 1978. 592 с.
13. *Apostol T.M.* Calculus. John Wiley & Sons, 1969
14. *Atkinson K.E.* The numerical Solution of Integral Equations of the Second Kind. Cambridge Univ. Press., 1997.
15. *Blokh Yu.I.* Magnetic field calculation for three-dimensional anisotropic geological objects with corrections for demagnetization // Izvestiya, Earth Physics 1987. V. 23, № 12. P. 1003–1008.
16. *Eloranta E.H.* Potential field of a stationary electric current using Fredholm's integral equations of the second kind // Geophysical Prospecting. 1986. 34. P. 856–872.
17. *Kostrov N.P.* Calculation of magnetic anomalies caused by 2D bodies of arbitrary shape with consideration of demagnetization // Geophysical Prospecting. 2007. V. 55 (1), P. 91–115.
18. *Sharma P.V.* Rapid computation of magnetic anomalies and demagnetization effects caused by bodies of arbitrary shape // Pure and Applied Geophysics. 1966. V. 64, № 2. P. 89–109.

Рецензенты В.Б. Виноградов, А.Г. Талалай

Magnetic model of central part of Danilov graben, West Siberia

N. P. Kostrov, Ye. A. Manushko, K. S. Ivanov

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The presence of an intensive magnetic anomaly within the boundaries of Danilov graben of West Siberia while the practically non magnetic basalt and Triassic liparite which probably join together and form a single non magnetic body let us suppose that there are magnetic rocks at the large depth. This hypothesis as well as geological ideas on the graben structure may be proved or rejected by a computer modeling. The method of volume integral equations has been employed as well as the trial-and-error procedure for the anomalous geomagnetic field interpretation. The model structure of magnetic susceptibility and natural remanent magnetization has been shown. It was marked out zones, which pure induced magnetization cannot explain completely the observed field and which require to introduce remanent magnetization opposite to the present geomagnetic field. Based on the model the surface of highly magnetized rocks (magnetic susceptibility $(6000-10000) \cdot 10^{-5}$ SI) coming up continuously from the bottom of the model and situated under the graben has been constructed. The modeling has proved the main geological ideas on a graben structure but to elaborate more precise graben geology one should take into account the density models and then to make a common gravimagnetic graben model.

Key words: *graben, magnetic anomaly, modeling, integral equation, interpretation.*