

Геоинформатика. 2022. № 3. С. 30–38.  
*Geoinformatika*. 2022;(3):30–38.

### Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья  
 УДК 004.94::[550.831.017:550.8.056]  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-30-38>

## Монтажный метод в ГИС INTEGRО для решения обратной задачи магнитного поля

© 2022 г. — Татьяна Павловна Широкова<sup>a)</sup>, Иван Викторович Спиридонов<sup>b)</sup>, Сергей Валерьевич Мицын<sup>c)</sup>

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»; Москва, Россия

<sup>a)</sup>tpshirokova@yandex.ru, <sup>b)</sup>i.spiridonov@geosys.ru, <sup>c)</sup>smitsyn@yandex.ru

**Аннотация:** В рамках ГИС INTEGRО разработана оригинальная реализация монтажного метода, использующаяся уже несколько лет для решения обратных задач на гравитационные поля. В статье рассматриваются возможности реализации монтажного метода в ГИС INTEGRО в приложении к решению обратных задач на магнитные поля для регионального трёхмерного моделирования крупных нефтегазоперспективных территорий. На модельных данных исследованы способы контроля и регуляризации процесса минимизации невязки полей с помощью регуляризирующих параметров «приоритета» и отличия их от задач гравитационного моделирования. В частности, значение приоритета по глубине влияет на ход эволюции модели схоже с гравитационной задачей, но «сбалансированное» значение коэффициента выше. Рассмотрено применение монтажного метода решения задач магниторазведки для исследования параметров литосферного источника спутниковой аномалии магнитного поля, ассоциирующейся с Гулинским массивом.

**Ключевые слова:** обратная задача магниторазведки, монтажный метод, Гулинский массив.

Для цитирования: Широкова Т.П., Спиридонов И.В., Мицын С.В. Монтажный метод в ГИС INTEGRО для решения обратной задачи магнитного поля // Геоинформатика. — 2022. — № 3. — С. 30–38. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-30-38>.

### Modeling of geological objects and geoproceses

Original article

## Assembly method in GIS INTEGRО and its usage for solving of magnetic inverse problem

© 2022 — Tatyana P. Shirokova<sup>a)</sup>, Ivan V. Spiridonov<sup>b)</sup>, Sergey V. Mitsyn<sup>c)</sup>

All-Russian Research Geological Oil Institute; Moscow, Russia

<sup>a)</sup>tpshirokova@yandex.ru, <sup>b)</sup>i.spiridonov@geosys.ru, <sup>c)</sup>mitsyn@yandex.ru

**Abstract:** A tool for problem of inversion of geopotential fields has been developed for GIS INTEGRО under the name of “assembly method”, a family of which is currently gaining attention. In the article the capabilities of this specific implementation are being examined in the application to inversion of magnetic fields for regional 3D-modelling of large oil and gas perspective territories. The available methods of control and regularization of minimization of field residual are investigated using synthetic model data in the application to magnetic data and their differences to more well-understood gravity fields. In particular, a value of “depth priority” has the similar effect on model evolution as in the case of gravity problem, but the balanced value is larger. In the last section, an example of the method application is presented: the parameters of lithospheric source of satellite magnetic anomaly associated with Guli massif are investigated.

**Key words:** inverse problem of magnetic prospecting, assembly method, Guli massif.

For citation: Shirokova T.P., Spiridonov I.V., Mitsyn S.V. Assembly method in GIS INTEGRО and its usage for solving of magnetic inverse problem. *Geoinformatika*. 2022;(3):30–38. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-3-30-38>. In Russ.

## Введение

Монтажный метод [2] и его реализации в ГИС INTEGRO уже несколько лет используется для регионального трёхмерного моделирования геопотенциальных полей крупных нефтегазоперспективных территорий; основной объём работ произведён по гравитационным данным, полученным в регионе Енисей-Хатангской НГО [3]. В этой статье мы рассматриваем возможность моделирования глубинного строения этой и других областей уже на основе подбора магнитных аномалий, что, в силу особенностей геомагнитного поля, представляет собой существенно более сложную задачу.

## Монтажный метод в ГИС INTEGRO

Монтажный метод в общем виде исчерпывающе описан в работах П.И. Балка и А.С. Долгала [2]. Суть монтажного метода — подбор конфигурации геологических тел во вмещающей среде по измеренным геопотенциальным полям при соблюдении ограничений, накладываемых другими априорными данными — гипотезами информацией о глубинном строении территории, полученной исходя из сейсмических данных, МТЗ и др. В ГИС INTEGRO, в связи с особенностями его применения, монтажный метод реализован в альтернативной, оригинальной постановке [3], краткому изложению которой посвящён данный параграф.

Центральными для построения модели глубинного распределения какого-либо физического параметра являются два понятия: классовая модель и функция изучаемого параметра. Классовая модель соотносит каждой ячейку (элемент) сеточной модели территории метку класса (или определяет её в класс (множество) ячеек), а функция параметра задаёт, какое значение параметра имела бы данная ячейка, если бы принадлежала данному классу (имела данную метку класса). В случае решения геомагнитной задачи используется термин «функция намагничённости» или «функция магнитной проницаемости», или же просто «функция физического параметра». Комбинация классовой модели  $L$  и функции физического параметра  $D$  задаёт модель физического параметра  $M$ . Классы из  $L$  могут соответствовать как одному искомому телу, так и набору тел с похожими физическими свойствами.

Процесс получения решения состоит в том, что, начиная с некоторой начальной классовой модели  $L_0$  при неизменной функции физического параметра за  $n$  итераций осуществляется переход к другой классовой модели  $L_n$ , для которой модель физического параметра  $M_n$  лучше бы приближала искомое поле. Такой итерационный процесс оптимизации мы называем эволюцией модели.

Эволюция ограничена главным правилом: модифицируется только метка класса у ячеек, причём новое значение метки берётся только из непосредственно соседних с ней ячеек. Опыт показывает, что

необходим инструмент *контроля эволюции*, который в ГИС INTEGRO главным образом осуществляется за счёт приоритета: приоритет по окрестности ячейки  $\alpha$ , влияющий на компактность получаемых классов, и приоритет по глубине  $\beta$ , позволяющий контролировать направление модификаций или область, в которой они осуществляются. Изменяя параметры  $\alpha$  и  $\beta$ , можно получать различные результаты, схожие по аномальному полю. Более точный контроль можно осуществлять за счёт ввода ограничений на область оптимизации (эволюции), т.е. исключать множество ячеек из оптимизации (фиксировать их заданные значения).

Некоторыми исследователями, разрабатывающими монтажный метод, указывается, что важной чертой монтажного метода, привносящей в некотором смысле стабильность эволюции, является включение в процесс оптимизации не только геометрии тел, но и значению их физического параметра через решение небольших линейных задач для каждой потенциальной модификации [2]. Выскажем несколько соображений относительно включения оптимизации по физическому параметру:

1. Одним из преимуществ оптимизации по значению физического параметра называется повышение стабильности метода. В ГИС INTEGRO стабильность достигается за счёт использования приоритетов модификаций, и оптимизация по физическому параметру (плотности, намагничённости) с этой точки зрения не требуется.

2. Хотя в «классическом» монтажном методе можно осуществлять оптимизацию по физическому параметру, важно, что он не является предметом подбора: эволюция считается удачной только в том случае, если значение физического параметра попадает в заранее заданный достаточно узкий интервал, который должен соответствовать физическим свойствам искомым тел. То есть, ограничения на возможные значения физического параметра всё равно необходимо задать заранее.

3. При оптимизации по физическому параметру исследователю труднее интерпретировать значение невязки.

4. Реализация монтажного метода в ГИС INTEGRO позволяет задавать сложные модели, где у конкретного класса может быть разное значение плотности или намагничённости в различных ячейках, в зависимости от априорных сведений о глубинном строении исследуемой территории. В этом случае затруднительно задать метод выбора и оптимизации переменного значения физического параметра.

Ввиду этих пунктов, несмотря на преимущества, предоставляемые оптимизацией по физическому параметру, авторы полагают, что она не является необходимым атрибутом хорошего многоэлементного метода подбора, что продемонстрировано в статье ниже. Также авторы считают во-

прос о том, является ли многоэлементный метод, реализованный в ГИС INTEGRО, монтажным, чисто терминологическим.

**Исследование работы алгоритма монтажного метода на модельных данных**

Первый этап тестирования состоял в подборе модели равномерно намагниченного шара по его рассчитанному магнитному отклику. Целевая модель радиусом 30 км строилась в сеточной аппроксимации с ячейкой 1×1 км.

Подбор синтетического поля осуществлялся в процессе эволюции решения, стартовая модель которого представляла собой шар меньшего радиуса, совмещенный центром с целевой моделью.

Процесс тестирования работы алгоритма состоял в изучении возможности управлять характером эволюции подобранной модели с помощью выбора параметров процесса оптимизации.

Ниже приводятся результаты исследования влияния выбора параметров приоритета модификаций модели (меток класса ячеек) по глубине ( $\beta$ ) и окрестности ( $\alpha$ ).

Проведенные численные эксперименты показали следующее.

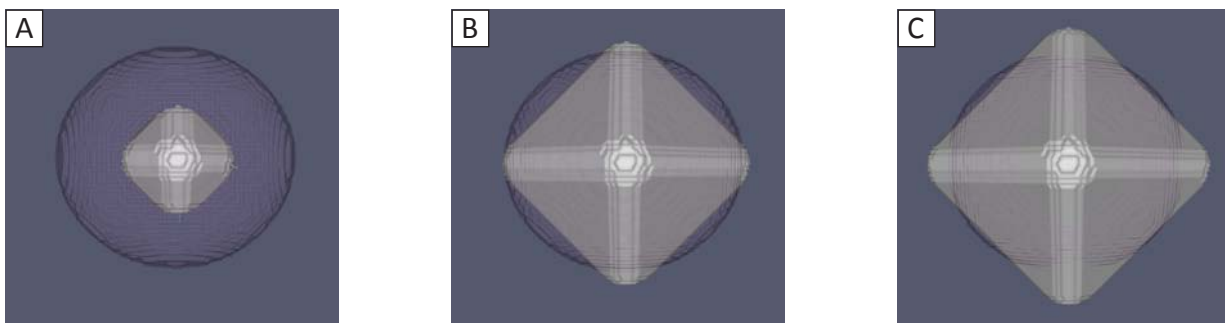
При малых значениях приоритета по глубине ( $\beta$ ) модельное поле растёт симметрично относительно осей XYZ (рис. 1). При значениях приоритета  $\beta$  от 0,5 до 2,4 модельное поле развивается преимущественно вверх по оси Z (рис. 2, рис. 3). Абсолютно идентичную картину можно увидеть если придать значениям  $\beta$  отрицательную величину.

Модель при значениях  $\beta$  от 2,5 до 2,7 (рис. 4), весьма сходна по параметрам роста с картиной, возникающей при ничтожно малых значениях (до 0,01).

Моделирование при значениях  $\beta$  от 2,8 до 3 показало результаты наиболее близкие к эталонным (рис. 5, рис. 6). Именно при значениях в этом диапазоне преодолевается «невидимая граница», ниже которой моделирование прекращалось.

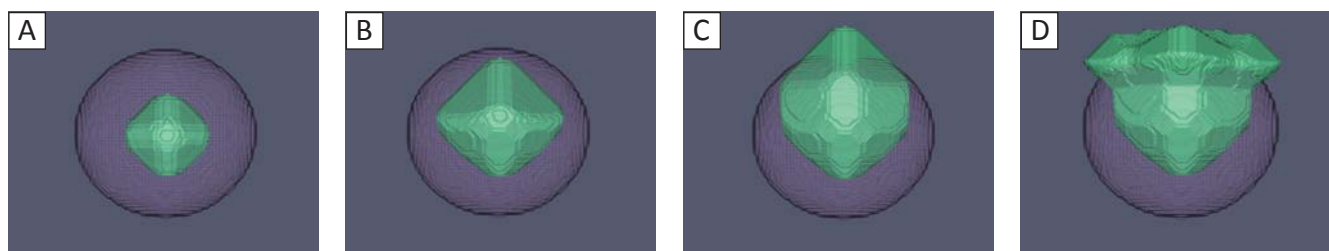
При проведении испытаний выявлена особенность реализации монтажного метода, заключающаяся в том, что при построении модели первые итерации (1–10) всегда идентичны независимо от значений приоритета. Это связано с выбором

**Рис. 1.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 0,05$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$   
*Fig. 1. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 0,05$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A — 10 итераций, B — 30 итераций, C — 40 итераций.  
 A — 10 iterations, B — 30 iterations, C — 40 iterations.

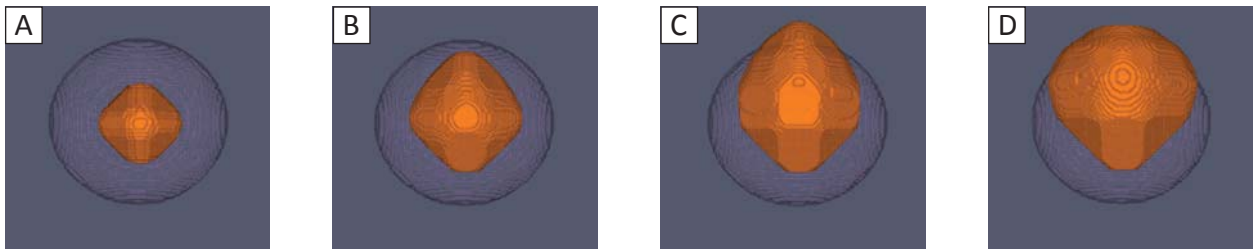
**Рис. 2.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 0,5$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$   
*Fig. 2. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 0,5$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A — 10 итераций, B — 30 итераций, C — 50 итераций, D — 70 итераций.  
 A — 10 iterations, B — 30 iterations, C — 50 iterations, D — 70 iterations.

**Рис. 3.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 1,5$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$

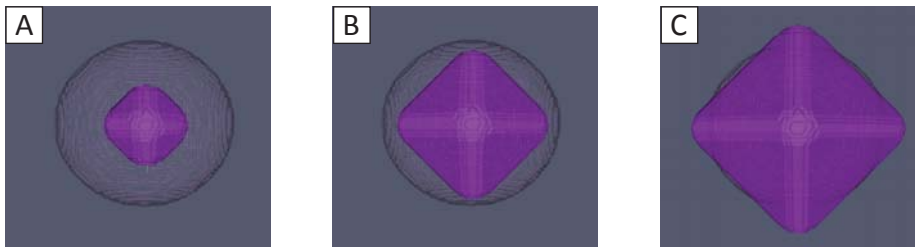
*Fig. 3. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 1,5$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A – 10 итераций, B – 30 итераций, C – 50 итераций, D – 70 итераций.  
A – 10 iterations, B – 30 iterations, C – 50 iterations, D – 70 iterations.

**Рис. 4.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 2,5$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$

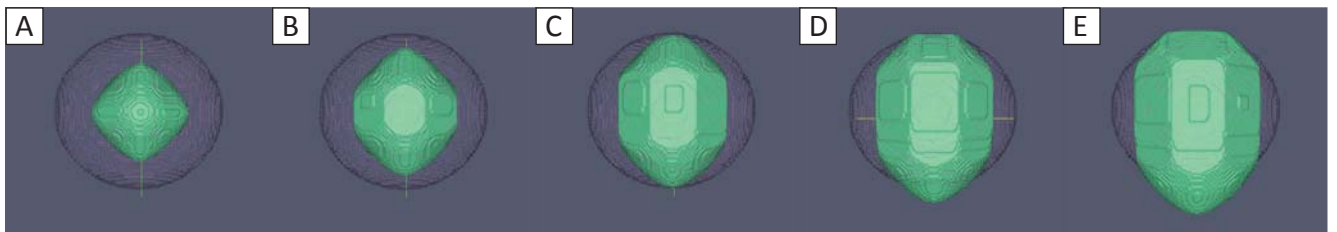
*Fig. 4. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 2,5$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A – 10 итераций, B – 30 итераций, C – 50 итераций.  
A – 10 iterations, B – 30 iterations, C – 50 iterations.

**Рис. 5.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 2,8$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$

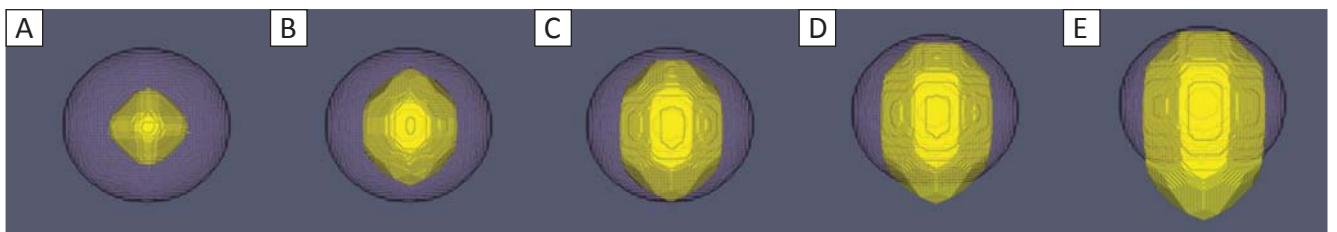
*Fig. 5. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 2,8$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A – 10 итераций, B – 40 итераций, C – 60 итераций, D – 80 итераций, E – 100 итераций.  
A – 10 iterations, B – 40 iterations, C – 60 iterations, D – 80 iterations, E – 100 iterations.

**Рис. 6.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 3$ , приоритет окрестности  $\alpha = 0,05$

*Fig. 6. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 3$ , neighborhood priority  $\alpha = 0,05$*



A – 10 итераций, B – 30 итераций, C – 50 итераций, D – 70 итераций, E – 90 итераций.  
A – 10 iterations, B – 30 iterations, C – 50 iterations, D – 70 iterations, E – 90 iterations.

ограничения на количество применённых модификаций меток ячеек за одну итерацию: так как «идеальная» модель, на которой проводились исследования, мала, то в течение первых итераций применялись все доступные модификации, так как, во-первых, их количество меньше заданного ограничения, и, во-вторых, они все уменьшают невязку.

Попытки взаимодействия с параметром приоритета по окрестности позволили сделать интересное наблюдение. При построении моделей магнитного поля параметр  $\alpha$  не влияет на результат (или влияет незначительно) (см. рис. 7, рис. 8).

**Практическое применение монтажного метода при изучении литосферной магнитной аномалии**

Монтажный метод в реализации ГИС INTEGRО авторы применили при решении обратной задачи магнитного поля в целях определения параметров литосферного источника обширной положительной спутниковой аномалии, которую ассоциируют с Гулинским массивом [1, 5]. В подборе используется наблюденное на высоте спутниковой съемки (350 км) магнитное поле [5]. В своем экстремуме аномалия, представленная на рисунке 10, достигает амплитуды 18–20 нТл.

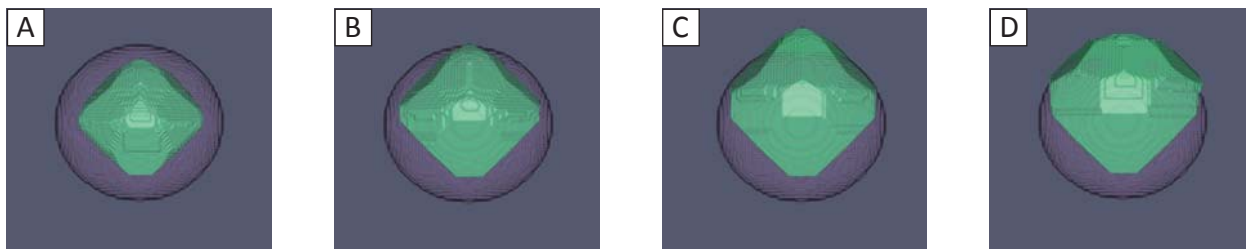
Для определения стартовых параметров объемного аномалообразующего тела сначала была подобрана двумерная магнитная модель с эллипсоидальным сечением, вписанным в нижнюю кору выше уровня точки Кюри. В первом приближении ее магнитное поле описывалось графиком рис. 9В. Верхняя кромка эллипса расположена на глубине 27 км, его длина составила примерно 700 км, а намагниченность 4000 мА/м. Глубина точки Кюри для данной территории была определена по методу Середкиной и Филлипова [4] и составила 42 км.

С использованием стартовых параметров для модели 2D в модуле ГИС INTEGRО «Подбор комплексной модели» были определены стартовые параметры модели 3D, которая, в свою очередь, является эллипсоидом (рис. 11).

Намагниченность стартовой модели колебалась в зависимости от размеров эллипсоида в пределах 2500–3500 мА/м и составила 3000 мА/м для модели, которая в итоге применялась для нулевой итерации в монтажном методе. Минимальная невязка (среднеквадратическое отклонение) для стартовой модели составила  $\pm 3,15$  нТл для параметров эллипсоида 590×450×15 км.

**Рис. 7.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 0,5$ , приоритет окрестности  $\alpha = 2$

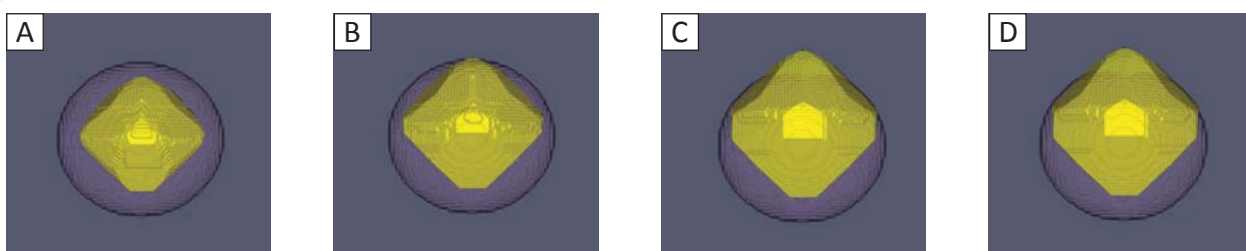
*Fig. 7. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 0,5$ , neighborhood priority  $\alpha = 2$*



A – 40 итераций, B – 60 итераций, C – 80 итераций, D – 90 итераций.  
A – 10 iterations, B – 60 iterations, C – 80 iterations, D – 90 iterations.

**Рис. 8.** Преобразование модели в процессе применения монтажного метода. Значение приоритета по глубине  $\beta = 0,5$ , приоритет окрестности  $\alpha = 3$

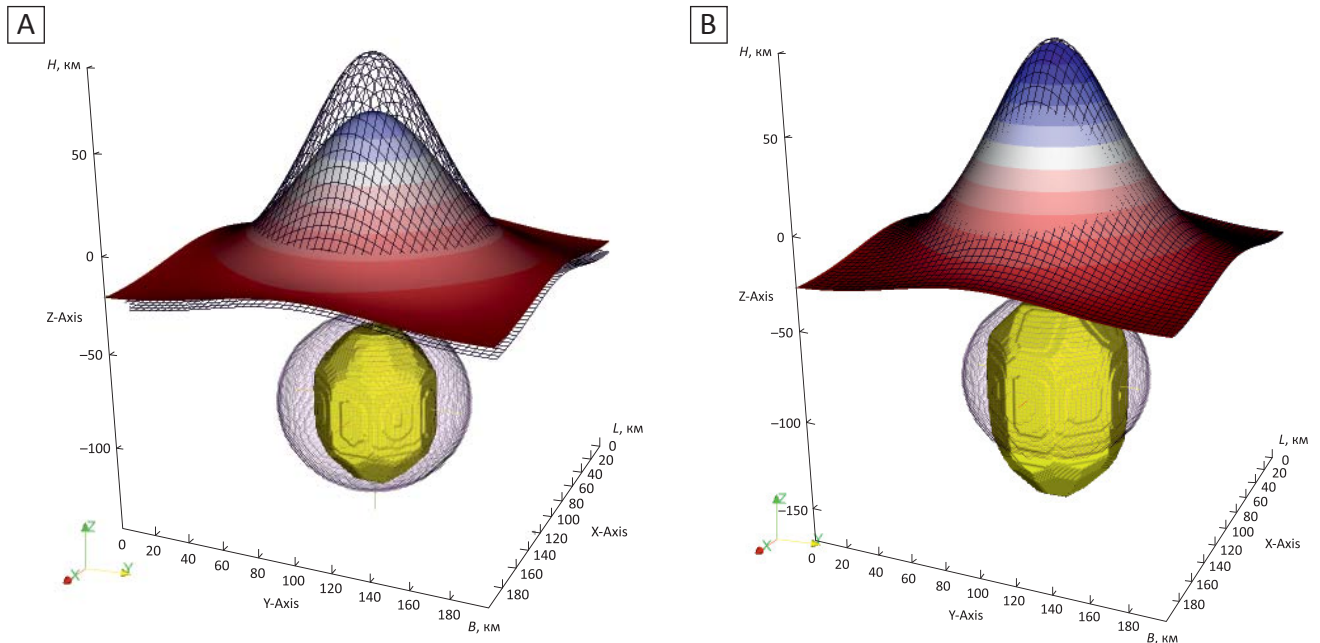
*Fig. 8. Transformation of the model in the process of applying the installation method. Depth priority value  $\beta = 0,5$ , neighborhood priority  $\alpha = 3$*



A – 40 итераций, B – 60 итераций, C – 80 итераций, D – 90 итераций.  
A – 10 iterations, B – 60 iterations, C – 80 iterations, D – 90 iterations.

**Рис. 9.** Сопоставление модельного и подобранного магнитных полей, а также целевой и подобранной моделей в ходе итерационного процесса (эволюции модели) при заданных параметрах  $\beta = 3, \alpha = 0,05$

*Fig. 9. Comparison of the model and fitted magnetic fields, as well as the target and fitted models during the iterative process (model evolution) with the given parameters  $\beta = 3, \alpha = 0,05$*

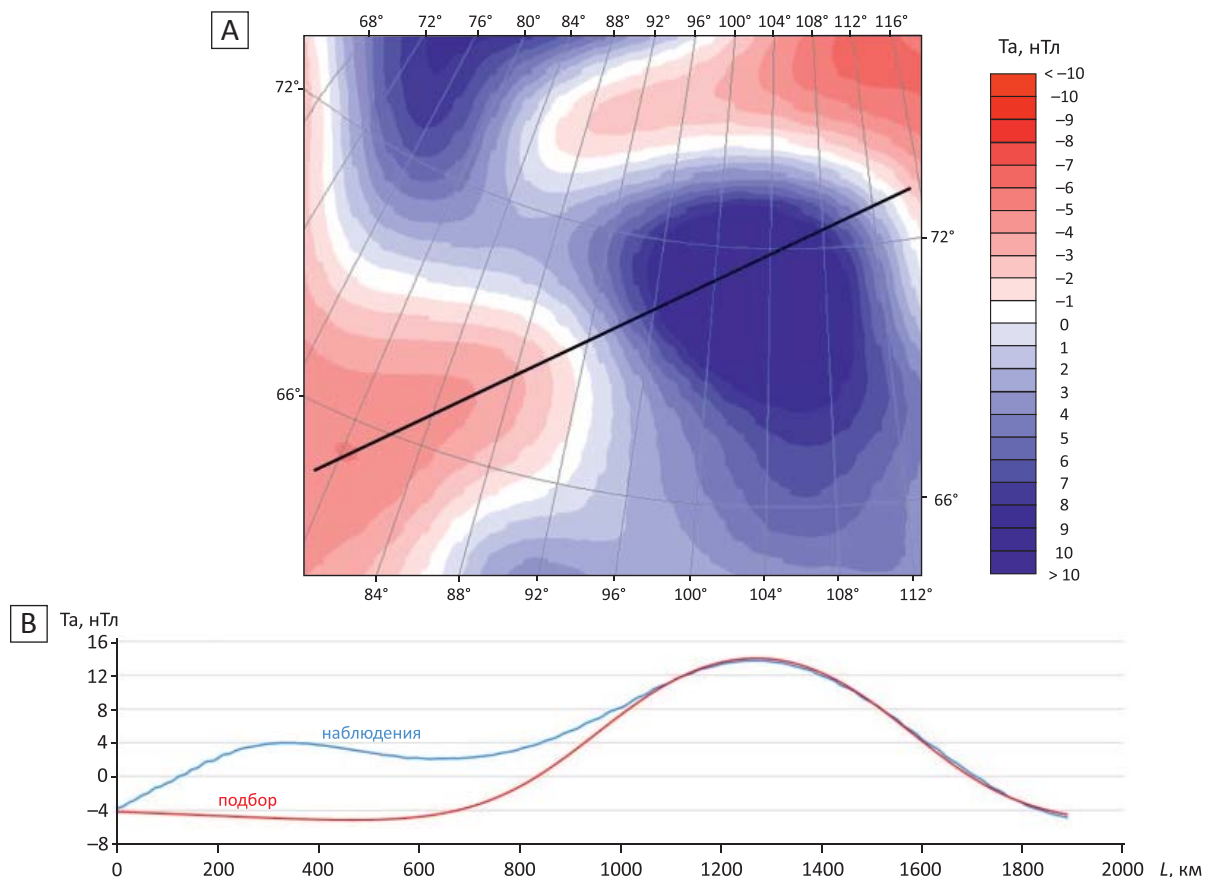


A – пятидесятая итерация, B – сотая результирующая итерация.

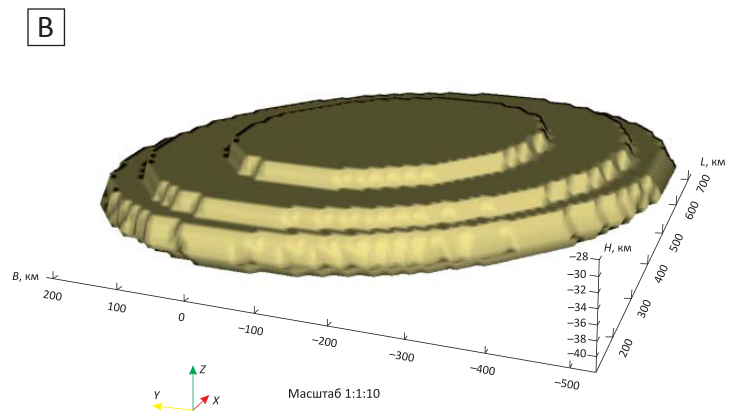
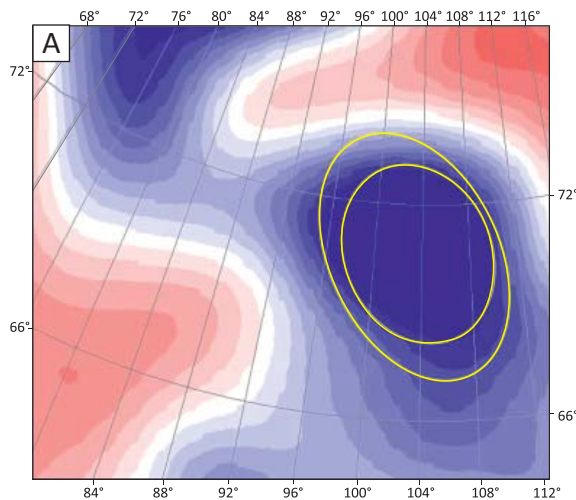
A – 50th iteration, B – 100th resulting iteration

**Рис. 10.** Карта аномального магнитного поля (A) и график его изменения по профилю, проходящему через центр аномалии (B)

*Fig. 10. Map of the anomalous magnetic field (A) and a graph of its change along the profile passing through the center of the anomaly (B)*



**Рис. 11.** Стартовая модель эллипсоида на фоне аномального магнитного поля (А) и в объеме (В)  
*Fig. 11. Starting model of an ellipsoid against the background of an anomalous magnetic field (A) and in a volume (B)*



На следующем этапе решалась обратная задача магнитного поля с помощью монтажного метода, для чего определялись оптимальные параметры приоритета по глубине и по окрестности: чтобы модель с увеличением невязки не «разваливалась» на несколько аномалиеобразующих тел (рис. 12А) и не уходила ниже точки Кюри (рис. 12В). Приоритет по глубине составил 1,500, в то время как приоритет по окрестности составил 0,25.

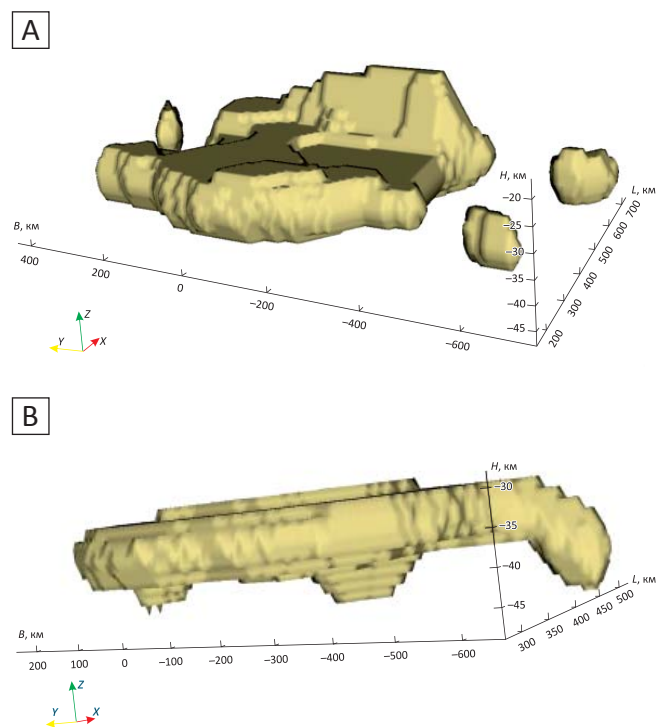
Финальная модель литосферной аномалии представлена на рисунке 13. Интересно, что модельное (подобранное) аномалообразующее тело стремится утониться в середине до 10-11 км. Параметры остаточного поля для стартовой и финальной моделей отличаются не так сильно (рис. 14А и рис. 14В), что происходит из-за того, что подбирается только одна аномалия, однако можно отметить, что невязка стала меньше и достигла  $\pm 3,01$  нТл.

Монтажный метод решения обратной задачи магнитного поля в оригинальном варианте, реализованном в комплексе ГИС INTEGRO, был успешно использован в целях интерпретации реальных наблюдаемых данных. Результаты моделирования позволили уточнить параметры источника крупнейшей литосферной аномалии Сибири (как физические, так и геометрию) и подтвердить гипотезу о его пространственной ассоциации с Гулинским массивом. Полученную трехмерную модель намагниченности предполагается уточнять и усложнять для дальнейшего изучения истории магматической активности Сибирского суперплюма.

**Заключение**

В оригинальной постановке решена проблема решения обратной задачи магнитного поля с применением монтажного метода. Алгоритм реализован в программном комплексе ГИС INTEGRO.

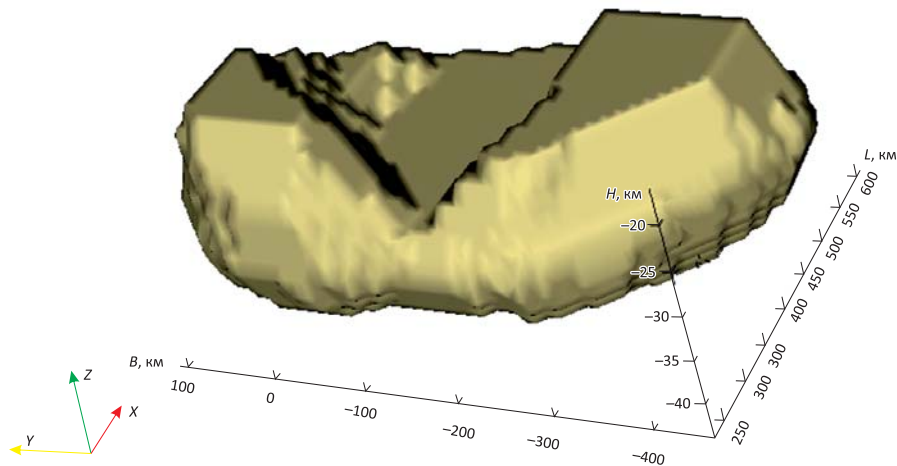
**Рис. 12.** Промежуточные неудачные модели аномального тела  
*Fig. 12. Intermediate unsuccessful models of the anomalous body*



А — аномальное тело «развалилось» на несколько тел,  
 В — аномальное тело превысило глубины точки Кюри.  
 Масштаб 1:1:10  
 A — the anomalous body "collapsed" into several bodies,  
 B — the anomalous body exceeded the depth of the Curie point.  
 Scale 1:1:10.

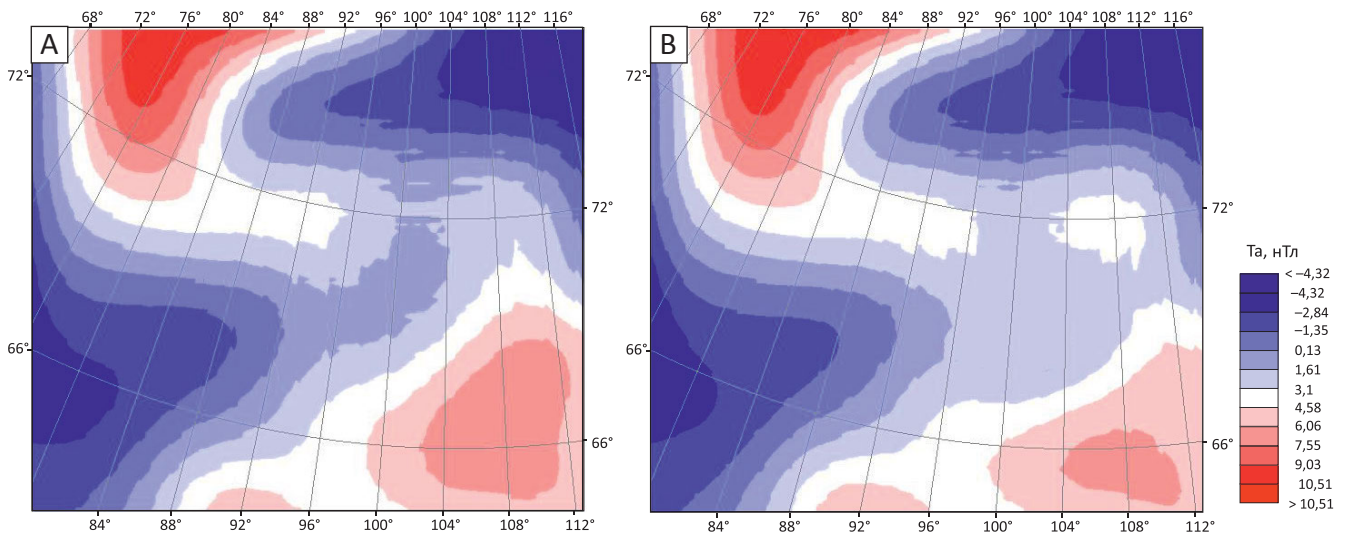
**Рис. 13.** Финальная модель литосферной аномалии. Масштаб 1:1:10

*Fig. 13. Final model of the lithospheric anomaly. Scale 1:1:10*



**Рис. 14.** Остаточное магнитное поле стартового эллипсоида (А) и финальной модели (В)

*Fig. 14. Residual magnetic field of the starting ellipsoid (A) and the final model (B)*



В ходе исследований на модельных и реальных данных выяснилось, что выбор значения коэффициента приоритета по глубине влияет на ход эволюции модели также, как и в случае гравитационной задачи, но «сбалансированное» в некотором смысле значение коэффициента является иным — 2,8 вместо 0,5. Это легко объясняется характером магнитного поля, величина которого асимптотически эквивалентна величине, обратной кубу расстояния от источника, по сравнению с гравитационным, которое спадает согласно квадрату соответствующего расстояния. Соответственно, для компенсации эффекта убывания поля требуется большее значение приоритета по глубине.

Другая важная выявленная особенность реализации монтажного метода связана со способом расчёта и аппроксимации поля ячейки. В текущей

реализации поле аппроксимируется полем точечного диполя, что, как было выявлено, не позволяет использовать магнитный монтажный метод для моделирования приповерхностных аномалий, но более «честный» расчёт гораздо сложнее вычислительно. Исследование других способов аппроксимации можно выделить как ещё одно направление для дальнейших исследований.

Монтажный метод в данной реализации для решения магнитных задач авторами был применен для исследования параметров литосферного источника ассоциирующей с Гулинским массивом спутниковой аномалии магнитного поля. Полученные результаты могут стать основой для дальнейшего изучения истории магматической активности Сибирского суперплюма.



## Список источников

1. Андреев В.С., Бисеркин И.А., Довыденко Г.М., Пиманова Н.Н., Слинчук Г.Е., Соколова Е.Ю., Спиридонов В.А., Широкова Т.П., Яковлев Д.В. Новые результаты геолого-геофизического изучения пермотриасовых магматических образований Енисей-Хатангского прогиба // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность — 2021: сб. науч. трудов междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 27–28 мая 2021 г.) / Отв. ред. А.В. Ступакова. — М. : Перо, 2021. — С. 540–544.
2. Балк П.И., Долгаль А.С. Аддитивные методы решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. М.: Научный мир, 2020. — 456 с.
3. Мицын С.В., Большаков Е.М. Монтажный метод в ГИС INTEGRО и его использование для решения обратной гравитационной задачи // Геоинформатика. — 2021. — № 3. — С. 36–47. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-36-47.
4. Середкина А.И., Филиппов С.В. Глубины залегания магнитных источников в Арктике и их связь с параметрами литосферы // Геология и геофизика. — 2021. — Т. 62. — № 7. — С. 902–916. DOI: 10.15372/GiG2020162.
5. Maus S., Yin F., Lühr H., Manoj C., Rother M., Rauberg J., Michaelis I., Stolle C., Müller R.D. Resolution of direction of oceanic magnetic lineations by the sixth-generation lithospheric magnetic field model from CHAMP satellite magnetic measurements // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. — 2008. — Vol. 9. — Issue 7. — Q07021. DOI: 10.1029/2008GC001949.

## References

1. Andreev V.S., Biserkin I.A., Dovydenko G.M., Pimanova N.N., Slinchuk G.E., Sokolova E.YU., Spiridonov V.A., Shirokova T.P., Yakovlev D.V. Novye rezul'taty geologo-geofizicheskogo izucheniya permotriasovykh magmaticheskikh obrazovaniy Enisei-Khatangskogo progiba [New results of the geological and geophysical study of the Permian-Triassic igneous formations of the Yenisei-Khatanga trough]. In: *Novye idei v geologii nefiti i gaza. Novaya real'nost'* — 2021: sb. nauch. trudov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Moscow, 27–28 May 2021). Stupakova A.V., ed. Moscow: Pero; 2021. pp. 540–544. [in Russian].
2. Balk P.I., Dolgal A.S. Additive methods for solving inverse problems of gravity and magnetic prospecting. Moscow: Nauchny Mir; 2020. 456 p. [in Russian].
3. Mitsyn S.V., Bolshakov E.M. Assembly method in GIS INTEGRО and its usage for solving of gravitational inverse problem. *Geoinformatika*. 2021; 3:36–47. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-36-47. [in Russian].
4. Seredkina A.I., Filippov S.V. The depth to magnetic sources in the Arctic and its relationship with some parameters of the lithosphere. *Russian Geology and Geophysics*. 2021;62(7):735–745. DOI: 10.2113/RGG20194106. [in Russian].
5. Maus S., Yin F., Lühr H., Manoj C., Rother M., Rauberg J., Michaelis I., Stolle C., Müller R.D. Resolution of direction of oceanic magnetic lineations by the sixth-generation lithospheric magnetic field model from CHAMP satellite magnetic measurements. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008; 9(7): Q07021. DOI: 10.1029/2008GC001949.

Статья поступила в редакцию 14.08.2022, одобрена после рецензирования 16.09.2022, принята к публикации 23.09.2022.  
The article was submitted 14.08.2022; approved after reviewing 16.09.2022; accepted for publication 23.09.2022.

## Информация об авторе

### Широкова Татьяна Павловна

Младший научный сотрудник отделения Геоинформатики  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»  
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8  
Аспирант Геологического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
119991 Москва, Ленинские горы, д. 1  
e-mail: tpshirokova@yandex.ru

### Спиридонов Иван Викторович

Инженер отделения Геоинформатики  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»  
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8  
e-mail: i.spiridonov@geosys.ru

### Мицын Сергей Валерьевич

Научный сотрудник отделения Геоинформатики  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»  
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8  
e-mail: smitsyn@yandex.ru

## Information about author

### Tatyana P. Shirokova

Junior Researcher at Department of Geoinformatics  
All-Russian Research Geological Oil Institute  
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia  
Postgraduate at Department of Geology  
Lomonosov Moscow State University,  
1, Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russia  
e-mail: tpshirokova@yandex.ru

### Ivan V. Spiridonov

Engineer at Department of Geoinformatics  
All-Russian Research Geological Oil Institute  
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia  
e-mail: i.spiridonov@geosys.ru

### Sergey V. Mitsyn

Researcher at Department of Geoinformatics  
All-Russian Research Geological Oil Institute  
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia  
e-mail: smitsyn@yandex.ru