

Геоинформатика. 2022. № 4. С. 63–74.
Geoinformatika. 2022;(4):63–74.

Применение ГИС-технологий

Научная статья
 УДК 528.8.04:001.51
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-63-74>

Применение ГИС INTEGRО при комплексном геофизическом изучении глубинного строения нефтегазоперспективных регионов (часть 1)

© 2022 г. — Е.М. Большаков^{1, а)}, И.А. Бисеркин^{1, б)}, И.С. Куприянов^{1, в)}, Н.Н. Пиманова^{1, д)}, Е.Ю. Соколова^{1, 2, е)}, В.А. Спиридонов^{1, ф)}, М.Я. Финкельштейн^{1, г)}

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт; Россия, г. Москва

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук; Россия, г. Москва

^{а)}bolshakov.e.m@yandex.ru, ^{б)}igor_workbox@mail.ru, ^{в)}kupriyanov@vnigni.ru, ^{д)}nadja@geosys.ru, ^{е)}sokol_l@mail.ru,

^{ф)}victor@geosys.ru, ^{г)}m.finkeistein@mail.ru

Аннотация: На примере материалов комплексных геофизических исследований Енисей-Хатангского прогиба продемонстрирована методическая канва и технологические приемы построения глубинных физико-геологических моделей (ФГМ) крупных регионов с помощью комплекса ГИС INTEGRО. Представленный граф опирается на пространственный анализ данных потенциальных полей, а также анализ сейсмических и геоэлектрических разрезов по линиям комплексных профилей МОГТ-2D и МТЗ с привлечением геологических сведений, скважинных данных и материалов по физическим свойствам породных комплексов. Результаты анализа используются далее для построения ФГМ по данным отдельных методов. Исследование фокусируется на построении объемной плотностной модели региона, интегрирующей всю комплексную геолого-геофизическую информацию и предназначенной служить главной опорой для разработки/корректировки структурно-тектонических и эволюционных моделей нефтегазоносной области в прогнозных целях. Обсуждаются актуальные результаты подобных построений для региона, Енисей-Хатангского прогиба и их значение для нефтегазового поиска.

Ключевые слова: комплексный анализ геофизических данных, обратные задачи, модели глубинного строения нефтегазоносных регионов, Енисей-Хатангский региональный прогиб, геоинформационная система

Для цитирования: Большаков Е.М., Бисеркин И.А., Куприянов И.С., Пиманова Н.Н., Соколова Е.Ю., Спиридонов В.А., Финкельштейн М.Я. Применение ГИС INTEGRО при комплексном геофизическом изучении глубинного строения нефтегазоперспективных регионов (часть 1) // Геоинформатика. — 2022. — № 4. — С. 63–74. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-63-74>.

Application of GIS-Technologies

Original article

The use of INTEGRО GIS in the integrated geophysical study of the deep structure of oil and gas prospective regions (part 1)

© 2022 — E.M. Bolshakov^{1, а)}, I.A. Biserkin^{1, б)}, I.S. Kupriyanov^{1, в)}, N.N. Pimanova^{1, д)}, E.Yu. Sokolova^{1, 2, е)}, V.A. Spiridonov^{1, ф)}, M.Ya. Finkelstein^{1, г)}

¹All-Russian Research Geological Oil Institute; Moscow, Russia

²Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

^{а)}bolshakov.e.m@yandex.ru, ^{б)}igor_workbox@mail.ru, ^{в)}kupriyanov@vnigni.ru, ^{д)}nadja@geosys.ru, ^{е)}sokol_l@mail.ru,

^{ф)}victor@geosys.ru, ^{г)}m.finkeistein@mail.ru

Abstract: Using the materials of integrated geophysical studies of the Yenisei-Khatanga trough as an example, the methodological outline and techniques for constructing deep physical-geological models (PGM) of large regions using the INTEGRО GIS complex are demonstrated. The presented graph is based on spatial analysis of potential field data, as well as analysis of seismic and geoelectric sections along the lines of integrated profiles of CDP-2D and MTS with the involvement of geological data, borehole data and materials on the physical properties of rock complexes. The results of the analysis are then used to construct the PGM according to the data of individual methods. The research focuses on the construction of a volumetric density model of the region that integrates all geological and geophysical information and is intended to serve as the background for the development/correction of structural-tectonic and evolutionary models of oil and gas bearing region for predictive purposes. The actual results of such constructions for the Yenisei-Khatanga trough region and their significance for oil and gas exploration are discussed.

Key words: integrated analysis of geophysical data, inverse problem, models of the deep structure of oil and gas regions, Yenisei-Khatanga regional trough, geoinformation system

For citation: Bolshakov E.M., Biserkin I.A., Kupriyanov I.S., Pimanova N.N., Sokolova E.Yu., Spiridonov V.A., Finkelstein M.Ya. The use of INTEGRО GIS in the complex geophysical study of the deep structure of oil and gas prospective regions (part 1). *Geoinformatika*. 2022;(4):63–74. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-63-74>. In Russ.

Введение

Рациональный выбор направлений поисковых работ на территориях крупных нефтегазоперспективных областей (НГО) осуществляется на основе научного геологического прогноза по результатам анализа региональных структурно-тектонических и эволюционных моделей. Их разработка существенным образом опирается на геофизические данные, без которых невозможно осветить внутреннюю архитектуру изучаемых территорий. При этом в силу неоднозначности интерпретации материалов отдельных методов необходим комплексный подход к анализу всей совокупности геофизической информации, заключающийся в построении различных физико-геологических моделей (ФГМ) и их взаимной увязке на основе геологических сведений. Подобные построения дают возможность получить наиболее достоверных представлений о глубинном строении области исследования и, следовательно, значительно снизить риски ошибочных решений на стадии поиска углеводородов (УВ) и заложения поисково-разведочных скважин.

В данной статье мы представляем методическую канву и технологические приемы построения физико-геологических моделей НГО на примере материалов региональной стадии изучения Енисей-Хатангского прогиба, расположенного в северном обрамлении Сибирской платформы. Этот регион активно исследуется в последние два десятилетия в целях уточнения его УВ потенциала и поиска новых месторождений [3]. Основу используемого комплекса региональных геофизических работ составляют профильные зондирования МОГТ-2D и МТЗ (рис. 1). В нашей работе совместно анализируются как данные этих зондирований, так и ретроспективные материалы потенциальных полей (масштаба 1:200 000 [2]), а также ГСЗ.

Истолкование данных современного комплекса геофизических методов изучения крупных регионов можно эффективно произвести только с помощью современных компьютерных технологий, основанных на математических методах интерпретации геофизических полей, в сочетании с возможностями пространственного представления и сопоставления получаемых результатов в едином ГИС-проекте. Инструментом всестороннего анализа геофизических данных, включая построение различных ФГМ, в нашем исследовании служит комплекс ГИС INTEGR0 [10], совмещающий в себе оба необходимых подхода.

Геоинформационная система INTEGR0 позволяет работать не только с различными вариантами картографической информации (векторные и растровые карты, гриды), но также включать в геоинформационный проект скважины и геофизические разрезы (сейсмические, геологические, магнитотел-

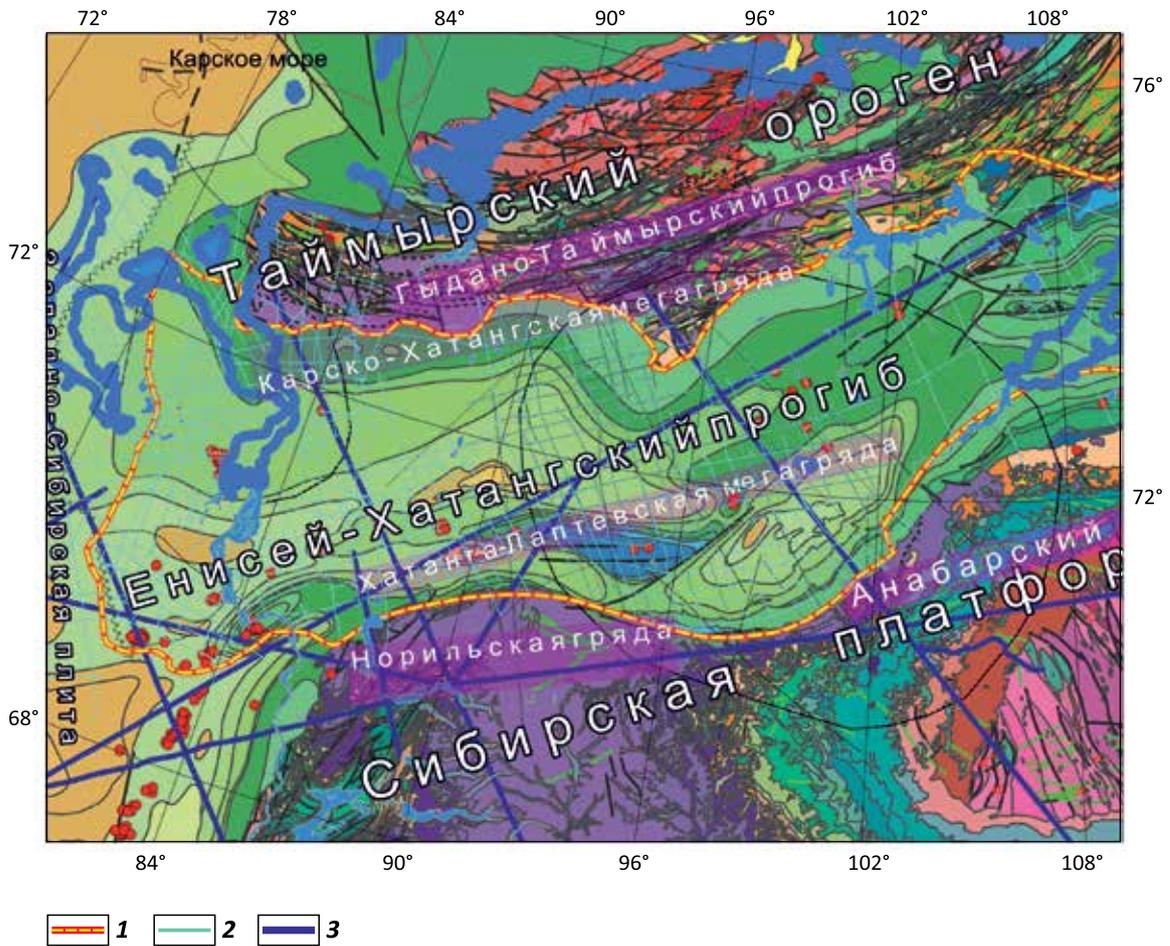
лурические и др.) и интегрировать такую информацию в составе трехмерных сцен. Особенно важно, что кроме возможностей отображения геолого-геофизических данных ГИС INTEGR0 включает мощный аппарат обработки данных потенциальных полей и трехмерных воксельных моделей избыточной плотности, намагниченности, электропроводности. Используются уже ставший традиционным аппарат фильтрации потенциальных полей, разделение их на составляющие, использование для прослеживания тектонических нарушений. В систему включены возможности решения прямых задач грави- и магниторазведки в 2D, профильной, постановке. Кроме того, реализованы процедуры решения 3D прямых и обратных задач гравитационного и магнитного полей, основанные на быстром дискретном преобразовании Фурье. Они позволяют получать объемные распределения избыточных плотности и намагниченности в соответствующих размерных единицах (г/см^3 , мА/м). В связи с тем, что потенциальные поля нельзя разлагать по периодическому базису, как того требует формализм преобразования Фурье, предусмотрена возможность периодического продолжения полей за границы территории во избежание больших граничных невязок при их обработке.

Работа с трехмерными объектами ведется в системе с использованием процедуры, позволяющей варьировать форму произвольных поверхностей. Ее важным применением является модификация поверхностей раздела слоев плотностных моделей в межпрофильном пространстве при решении 3D обратной гравитационной задачи методом подбора. При этом возможна опора на уже имеющиеся базовые поверхности и линии сейсмических горизонтов в профильных разрезах. В ГИС INTEGR0 также реализован «монтажный метод» решения 3D гравитационных и магнитных задач, позволяющий итерационно подбирать форму аномалообразующих объектов с учетом ограничений по данным других геофизических методов (сеймики и электроразведки) [8].

Пространственный анализ геопотенциальных полей

На первом этапе рассмотрения материалов комплекса геофизических съемок Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) проводился площадной анализ потенциальных полей с целью выявления и прослеживания тектонических структур фундамента, магматических тел, особенностей строения осадочного чехла, находящих свое отражение, как в исходных полях, так и в их трансформациях. Обработка потенциальных полей проводилась с помощью процедур блока «Геофизика» ГИС INTEGR0 и включала разделение гравитационного

Рис. 1. Изученность региона Енисей-Хатангского прогиба комплексом геофизических методов
Fig. 1. The results of the study of the Yenisei-Khatanga trough region by integrated geophysical methods



1 — регион Енисей-Хатангского прогиба; **2** — комплексные геофизические профили МОГТ-2D и МТЗ; **3** — профили ГСЗ
1 – Yenisei-Khatanga trough region; 2 – integrated geophysical profiles CDP and MTS; 3 – DSS profiles

Подложка — геологическая карта региона. Указаны основные элементы тектонического деления территории [6].
The substrate is a geological map of the region. The main elements of the tectonic zoning of the territory are indicated [6].

и магнитного полей на составляющие путем осреднения в окне 25×25 км, расчет полного горизонтального градиента, трассирование линейных элементов полей.

Было выявлено, что центральная, наиболее погруженная часть Енисей-Хатангского прогиба, характеризуется пониженным магнитным и гравитационным полями. Ее оконтуривают крупные линейные зоны положительных аномалий магнитного поля, простирающиеся на сотни километров (см. рис. 2). Зоны положительных магнитных аномалий практически на всем своем протяжении коррелированы с положительными аномалиями гравитационного поля, что может свидетельствовать об

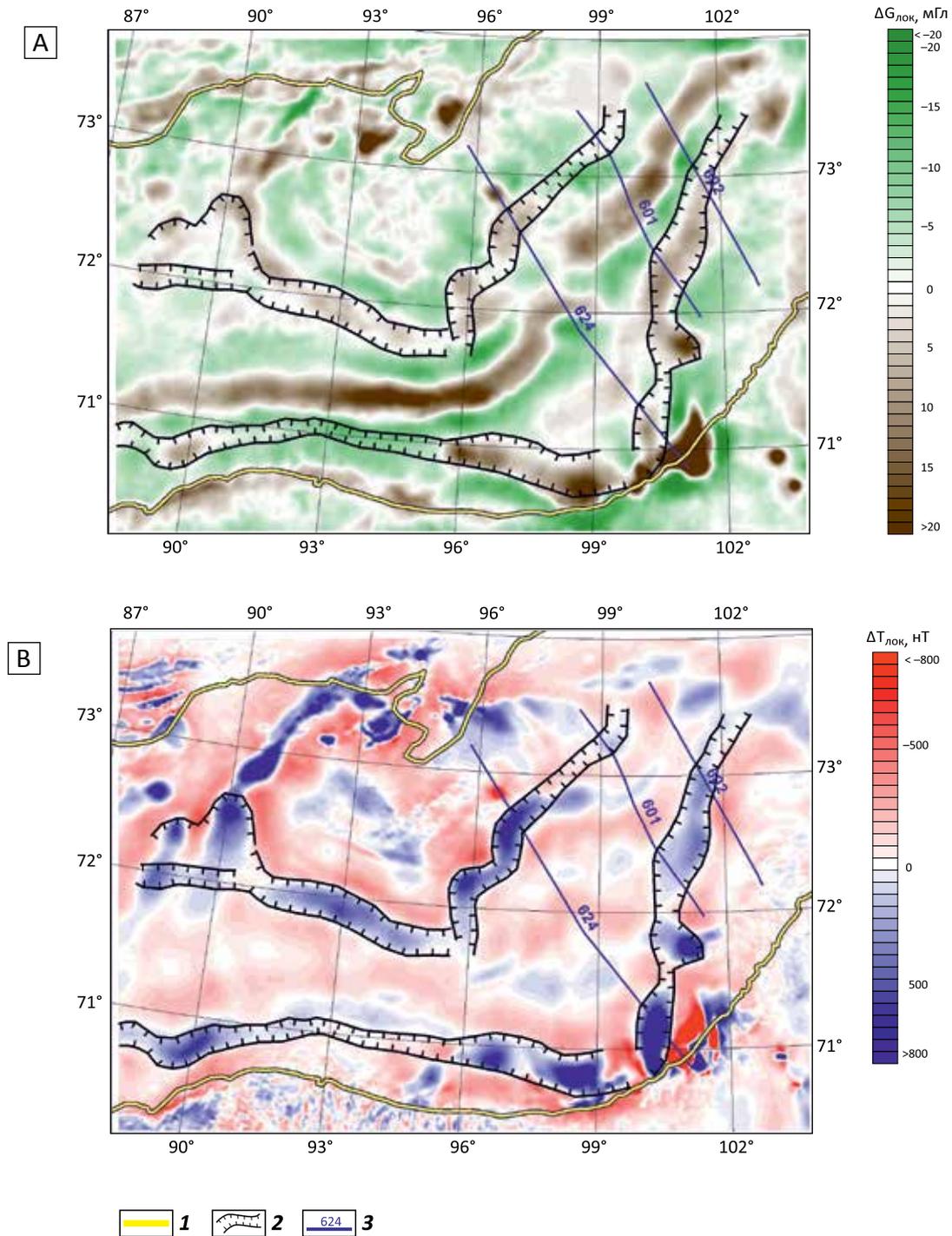
их единой природе, наиболее вероятно, связанной с основным магматизмом.

В самой глубокой части прогиба по протяженным линейным положительным аномалиями локального гравитационного поля прослеживаются структурные валообразные поднятия толщ повышенной плотности. Эти объекты в магнитном поле не прослеживаются.

Для получения представлений об объемных распределениях эффективной (избыточной) плотности и намагниченности использовался аппарат решения трехмерных обратных задач геопотенциальных полей на базе быстрого преобразования Фурье (рис. 3). Данная процедура решает задачу получения по данным грави- или магниторазведки эквивалентного

Рис. 2. Карта локального гравитационного ($R_{\text{фильтрации}}=25 \text{ км}$) (А) и карта локального магнитного (В) полей центральной части ЕХРП на область моделирования

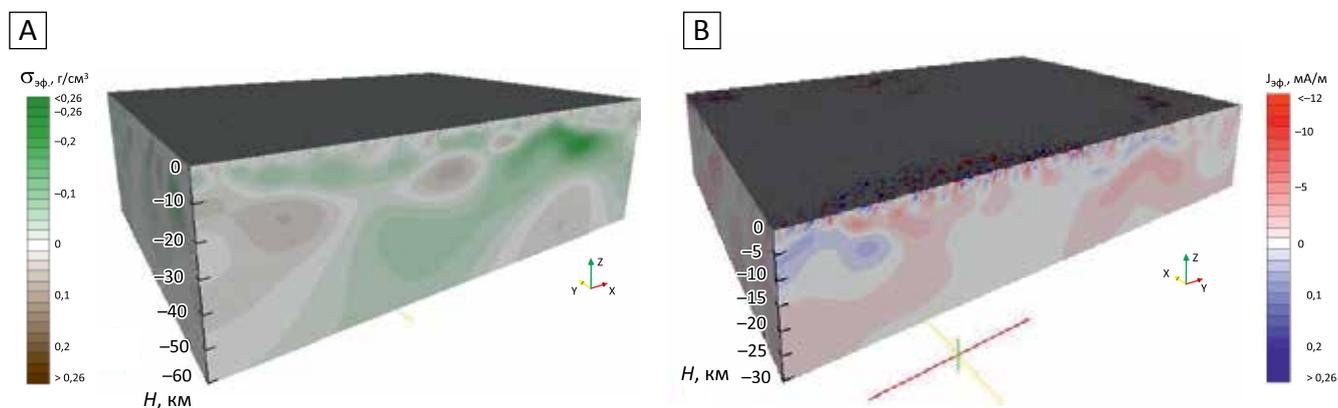
Fig. 2. A map of the local gravitational (filtration $R=25 \text{ км}$) (A) and a map of the local magnetic fields (B) of the central part of the YKRT for the modeling area



1 — граница осадочного чехла Енисей-Хатангского прогиба; **2** — зоны линейных положительных локальных магнитных аномалий; **3** — комплексные геофизические профили 601, 602 и 624

1 — boundary of the sedimentary cover of the Yenisei-Khatanga trough; **2** — zones of linear positive local magnetic anomalies; **3** — integrated geophysical profiles 601, 602 and 624

Рис. 3. 3D-модели распределения эффективной намагниченности (А) и эффективной плотности (В) области исследования (рис. 2)
Fig. 3. 3D-models of the distribution of effective magnetization (A) and effective density (B) of the study area (Fig. 2)



Направление осей: x — восток, y — север, z — вверх.
Direction of an axis: x — east, y — north, z — vertical.

распределения соответствующего физического параметра. Процедура основана на анализе двумерных сеточных моделей гравитационного или магнитного поля, а ее результат — трёхмерная сеточная модель эквивалентного распределения избыточных плотностей или намагниченности. На рис. 4 представлен совместный анализ построенной для ЕХРП 3D модели распределения эффективной плотности и сейсмических данных, осуществленный средствами ГИС INTEGRO. Объемный монтаж сейсмических разрезов по профилям 601 и 602 Восточно-Таймырской площади (расположение профилей показано на рис. 2) и изоповерхностей положительных аномальных значений эффективной плотности позволил наглядно выявить важные корреляции в их пространственных распределениях. Линейные структуры повышенной эффективной плотности, ограниченные изоповерхностями $\sigma_{эфф.} > 0$, пересекают плоскости сейсмических разрезов в областях «прозрачности» сейсмической записи. Это позволяет связывать оба типа аномалообразующих объектов воедино и, принимая во внимание, что они также отмечены и положительными магнитными аномалиями, предположить их связь с интрузивными телами в бортах прогиба (рис. 2 В).

Анализ профильных данных

Региональная стадия нефтегазопроисловых исследований в Енисей-Хатангском прогибе и прилегающих областях увенчалась более чем 50000 км пройденных комплексных геофизических профи-

лей [3, 7] (рис. 1). Значительная часть полученных данных сейсмических (МОГТ-2D) и магнитотеллурических электроразведочных (МТЗ) зондирований, составляющих основу этого комплекса, использовалась в нашем анализе.

При разработке плотностной модели центральной части Енисей-Хатангского прогиба глубинные сейсмические разрезы (до 22 км), загруженные в проект ГИС INTEGRO в формате SEG-Y, являлись главной опорой при построении каркаса границ раздела мезо-кайнозойского осадочного чехла и, частично, палеозойских осадочных комплексов и консолидированной земной коры. Интерпретация динамических и энергетических сейсмических разрезов, включающая сейсмодкорреляцию и анализ неоднородностей (участков смены характера волновой картины), проводилась с привлечением первичной геологической информации (скважинные данные, государственные геологические карты 1:1000000 и записки к ним, материалы производственных отчетов по региону исследования и др.).

Дополнительную информацию, необходимую для верификации и уточнения параметров выделяемых по сейсмическим данным структурно-вещественных комплексов, поставляли имеющиеся по тем же профилям данные МТЗ, а также описанные в предыдущем разделе результаты анализа пространственных распределений гравитационного и магнитного полей (районирование) и их трансформаций (включая результаты решения 3D обратных задач с использованием спектрального подхода). В

Рис. 4. Пространственный монтаж изоповерхностей, ограничивающих области положительных аномалий эффективной плотности, и глубинных сейсмодинамических разрезов по линиям профилей 601 и 602 Восточно-Таймырской площади ЕХРП (положение на рис. 2).

Fig. 4. Spatial installation of surfaces bounding the areas of positive anomalies of effective density and deep seismodynamic sections along the lines of profiles 601 and 602 of the East Taimyr area of the YKRT (position in Fig. 2).



виду ограниченной глубинности сейсмических данных, материалы потенциальных полей и геоэлектрические разрезы играли особо важную роль при построении границ раздела в градиентно-слоистой плотностной модели на уровнях средней-нижней коры, а также локализации и определении параметров латеральных неоднородностей в них.

Основные подходы к проведению анализа профильных геофизических данных заключались в их комплексной качественной и количественной (2D инверсии потенциальных полей методом подбора) интерпретации с помощью средств ГИС INTEGR0 (проиллюстрированы на рис. 5–7). В анализе использовались сведения о физических свойствах горных пород региона ЕХРП из производственных отчетов, а также новых скважинных и литературных данных.

Главной целью анализа профильных сейсмических изображений ставилось выделение крупных тектоно-стратиграфических комплексов, известных своими контрастными плотностными характеристиками (слоев разрабатываемой глубинной плотностной модели), рельеф границ раздела которых вносит существенный вклад в аномалии регионального гравитационного поля. Корреляция стратиграфических комплексов мезо-кайнозойского чехла была достаточно уверенно проведена с опорой на имеющиеся скважинные данные в рамках

построения скоростных моделей (ПГСМ). Однако ее возросшая неоднозначность в бортах прогиба и в его ложе, на глубинах более 5–8 км, усугубленная сложной дизъюнктивной тектоникой подстилающих палеозойских толщ, требовала поддержки данными других геофизических методов. Необходимо использовались также и ограничения, вытекающие из имеющихся геологических представлений о строении и эволюции ЕХРП (как минимум — о возможных мощностях изучаемых стратиграфических комплексов).

Большую роль в комплексном профильном анализе играли электроразведочные данные (представлены ООО «Северо-Запад» — производителем большинства ЭР работ на территории ЕХРП). Как правило, это были разрезы удельного электрического сопротивления до глубин 40–50 км [4]. Разрезы УЭС импортировались в ТОС ГИС INTEGR0 из форматов GRD или SEG-Y. Кроме того, часть МТ данных была введена из первичных материалов МТЗ [9] — частотных импедансных зависимостей (в формате EDI). Эти первичные МТ данные преобразовывались в разрезы УЭС с помощью блока EdITOC. Этот специально разрабатываемый блок ГИС INTEGR0, предназначен для ввода, структурирования, визуализации, сохранения и анализа ЭР информации (магнитотеллурических данных) в базовых форматах ГИС INTEGR0 [6]. Возможности блока в настоящее время расширены процедурой

1D МТ инверсии с нормализацией ее результатов по всем точкам профиля для построения разрезов УЭС, пригодных для дальнейшей интерпретации.

Успех верификации сейсмических результатов данными МТЗ зависит от контраста электропроводности на границах раздела структурно-вещественных комплексов. Так, на СЗ региона ЕХРП (в Гыдано-Западнотаймырской области) в МТ данных выделяется поверхность высокоомного основания, которой, по-видимому, служит граница палеозойского (венд-палеозойского?) ортоплатформенного чехла с высокоомными, в погруженных областях частично метаморфизованными, преимущественно карбонатными толщами верхнего рифея. Корреляция этих структурных поверхностей была отчетливо выявлена с помощью объемного монтажа в ГИС INTEGRО (рис. 5).

В бортах центральной и восточной частей прогиба положение AR-PR фундамента удалось верифицировать (также при сопоставлении средствами ГИС сейсмоэнергетических и геоэлектрических разрезов) по подошве рифейских осадочных грабенов, которые в этих областях являются структурами по-

вышенной проводимости (пример для профиля 624 — на рис. 6 А, D).

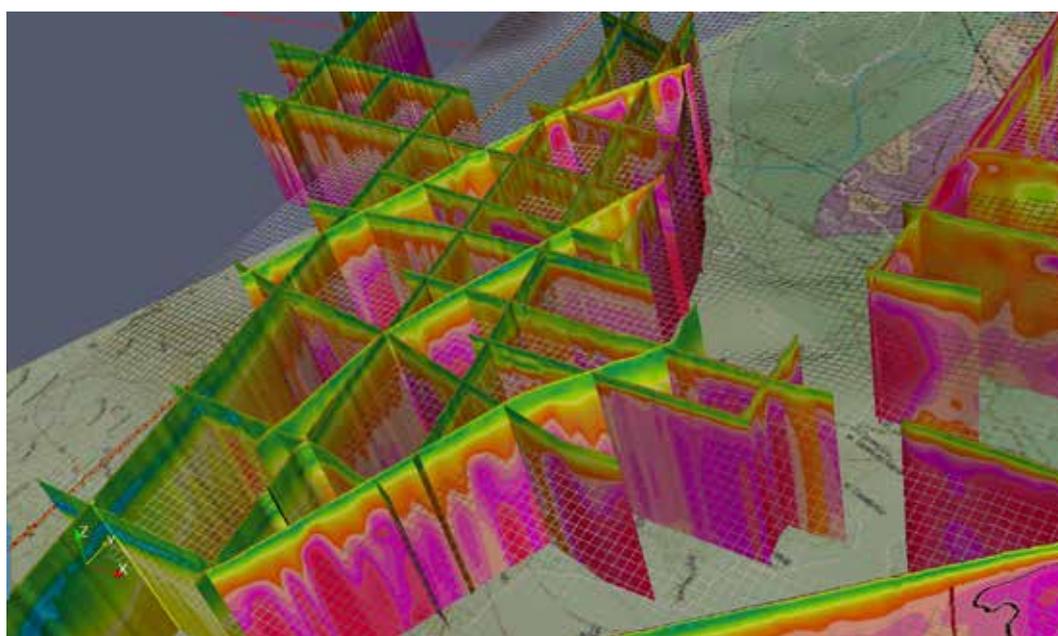
Наиболее значимым для адекватного плотностного моделирования области ЕХРП являлся учет крупных неоднородностей, обусловленных магматическими внедрениями, погребенными покровами эффузивов, а также ослабленными тектоническими зонами и разломами. Локализация этих аномальных объектов и оконтуривание их сечений в разрезах по линиям профилей осуществлялось в ходе совместной визуализации и комплексного качественного анализа всех профильных геофизических данных, включая сечения 3D моделей избыточной плотности и намагниченности. В дальнейшем эти построения служили первым приближением для проведения 2D и полноценного 3D плотностного моделирования/инверсии.

Рис. 6 демонстрирует результаты совместной качественной интерпретации геофизических данных по профилю 624 Центрально-Таймырской площади (положение профиля показано на рис. 2).

Базовыми критериями выделения глубинных интрузивных образований служили совпадение аномалий эффективной плотности/намагниченно-

Рис. 5. Монтаж разрезов УЭС до глубин 40 км по линиями комплексных региональных профилей Левобережной и Усть-Енисейской площадей ЕХРП и построенной по результатам корреляции сейсмических отражающих горизонтов поверхности рифейского структурного этажа региональной градиентно-слоистой плотностной модели изучаемого региона (на фоне геологической карты).

Fig. 5. Installation of sections of the resistivity to depths of 40 km along the lines of the Integrated profiles of the Left-Bank and Ust-Yenisei areas of the YKRT and the regional gradient-layered density model of the studied region based on the results of correlation of seismic reflecting horizons of the surface of the Riphean structural floor (against the background of a geological map).



Удельное электрическое сопротивление, Ом·м

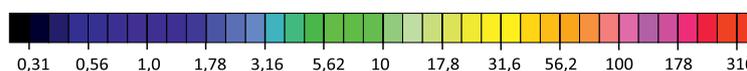
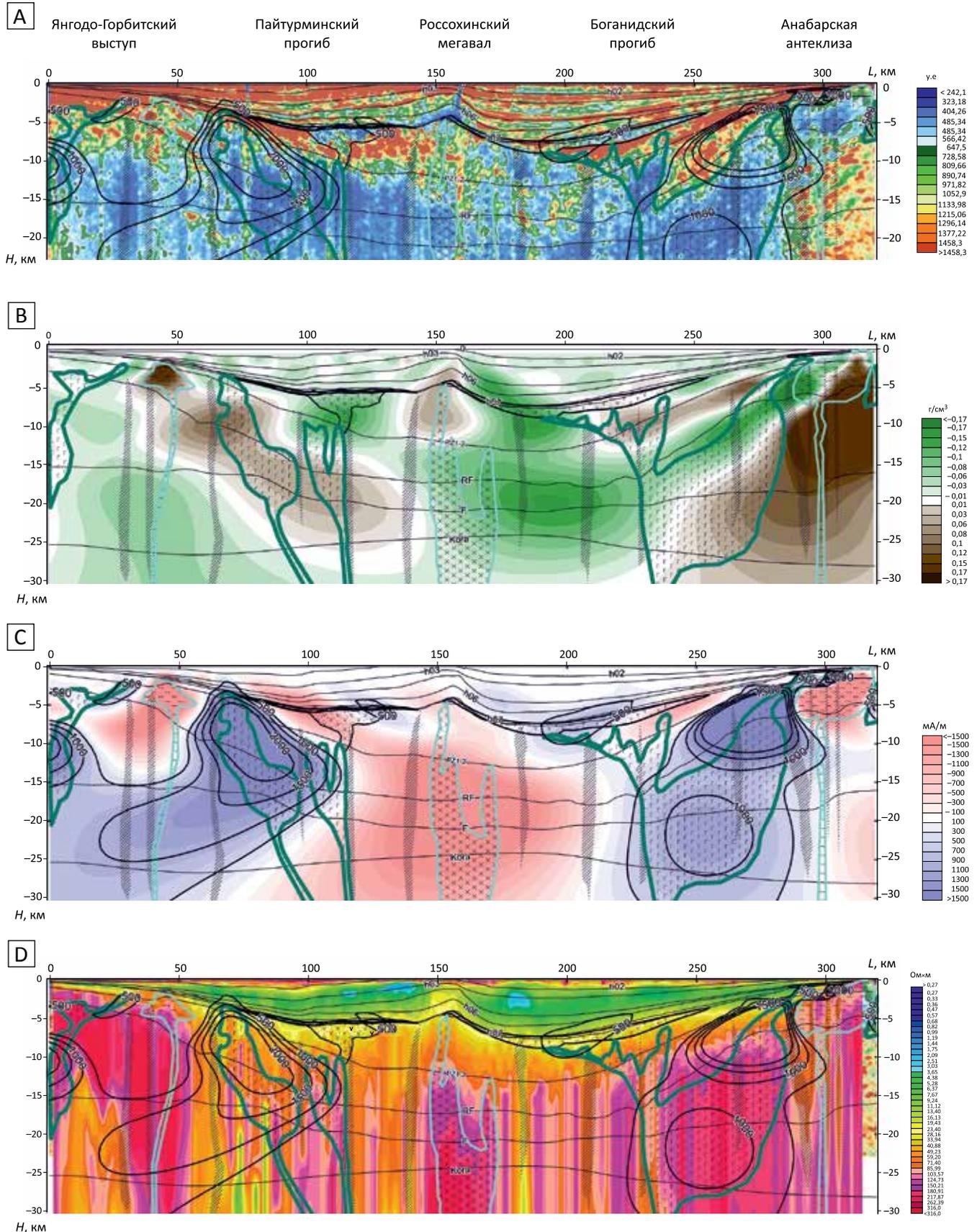


Рис. 6. Выделение образов крупных латеральных неоднородностей разреза по результатам качественной интерпретации комплекса профильных геофизических данных (на примере профиля 624 Центрально-Таймырской площади ЕХРП)

Fig. 6. Identification of images of large lateral inhomogeneities in the cross-section based on the results of qualitative interpretation of the integrated profile geophysical data (on the example of profile 624 of the Central Taimyr Area of the YKRT)





A — сейсмоэнергетический разрез (у.ед.), B — разрез 3D модели избыточной плотности (г/см^3), C — разрез 3D модели избыточной намагниченности (мА/м), D — разрез УЭС (1D инверсия) ($\text{Ом}\times\text{м}$).

A — seismic energy section (unit units), B — section of the 3D model of excess density (g/cm^3), C — section of the 3D model of excess magnetization (mA/m), D — resistivity section (1D inversion) ($\text{Ohm}\times\text{m}$).

Схематические контуры сечений глубинных интрузий (1–3): 1 — положительно намагниченные, 2 — отрицательно намагниченные, 3 — трапповых образований; 4 — разломные зоны; **предполагаемый состав магматических объектов (5–8):** 5 — габброиды, 6 — ультрамафиты, 7 — вулканиты, 8 — средний состав; 9 — изолинии значений избыточной намагниченности (подписанные в мА/м), 10 — границы слоев градиентно-слоистой плотностной модели с соответствующими подписями.

Schematic contours of sections of deep intrusions (1–3): 1 — positively magnetized, 2 — negatively magnetized, 3 — trap formations; 4 — fault zones; *assumed composition of magmatic objects (5–8):* 5 — gabbroids, 6 — ultramafic, 7 — volcanites, 8 — average composition; 9 — isolines of the excess magnetization values (signed in mA/m); 10 — boundaries of the layers of the gradient-layered density model with the corresponding signatures.

сти с областями пониженной энергетики сейсмических отражений и повышенных УЭС, а разломных зон — минимумы УЭС и эффективной плотности, потеря корреляции сейсмических отражений. Анализ данных целого ряда профилей показал, что яркие аномалообразующие объекты, намеченные по итогам пространственного анализа потенциальных полей (предшествующий раздел), как правило, отвечают областями отсутствия отражений на сейсмических разрезах и высокоомным блокам (примеры на рис. 4, 6). Таким образом, результаты рассмотрения полного комплекса профильных геофизических данных позволили однозначно идентифицировать источники аномалии потенциальных полей бортов наиболее погруженной части Енисей-Хатангского прогиба (рис. 2) как пояс мощных интрузивов основного/ультраосновного состава.

Представления о слагающих ЕХРП структурно-вещественных комплексах, полученные в результате качественного анализа всей совокупности профильных данных, заложили фундамент понимания глубинной архитектуры прогиба и послужили первым приближением для дальнейших 2D (в квазидвумерной обстановке) и 3D (в общем случае) инверсий потенциальных полей, существенно стабилизирующим их процедуры.

Построение двумерных моделей разрезов плотности и намагниченности

Специальная утилита ГИС INTEGR0, разработанная для расчета геопотенциальных полей двумерных распределений плотности и намагниченности, позволяет проверять априорные гипотезы о разрезе и проводить в квазидвумерном приближении оптимизацию распределений искоемых физических параметров по критерию соответствия их модельных откликов наблюдаемым данным.

Создание плотностных и магнитных 2D моделей ведется в рамках слоисто-блоковой аппрок-

симации разреза при интерактивном изменении его плотностных/магнитных параметров в режиме реального времени до достижения требуемой близости расчетных и наблюдаемых полей. Процедура позволяет визуализировать результаты подбора и проводить их сопоставление со скважинными и другими геолого-геофизическими данными (сейсмические, геоэлектрические разрезы и др).

Рис. 7 демонстрирует результаты двумерного подбора плотностной и магнитной модели по данным профиля 624 ЦТ, идущего в крест ЕХРП (рис. 2).

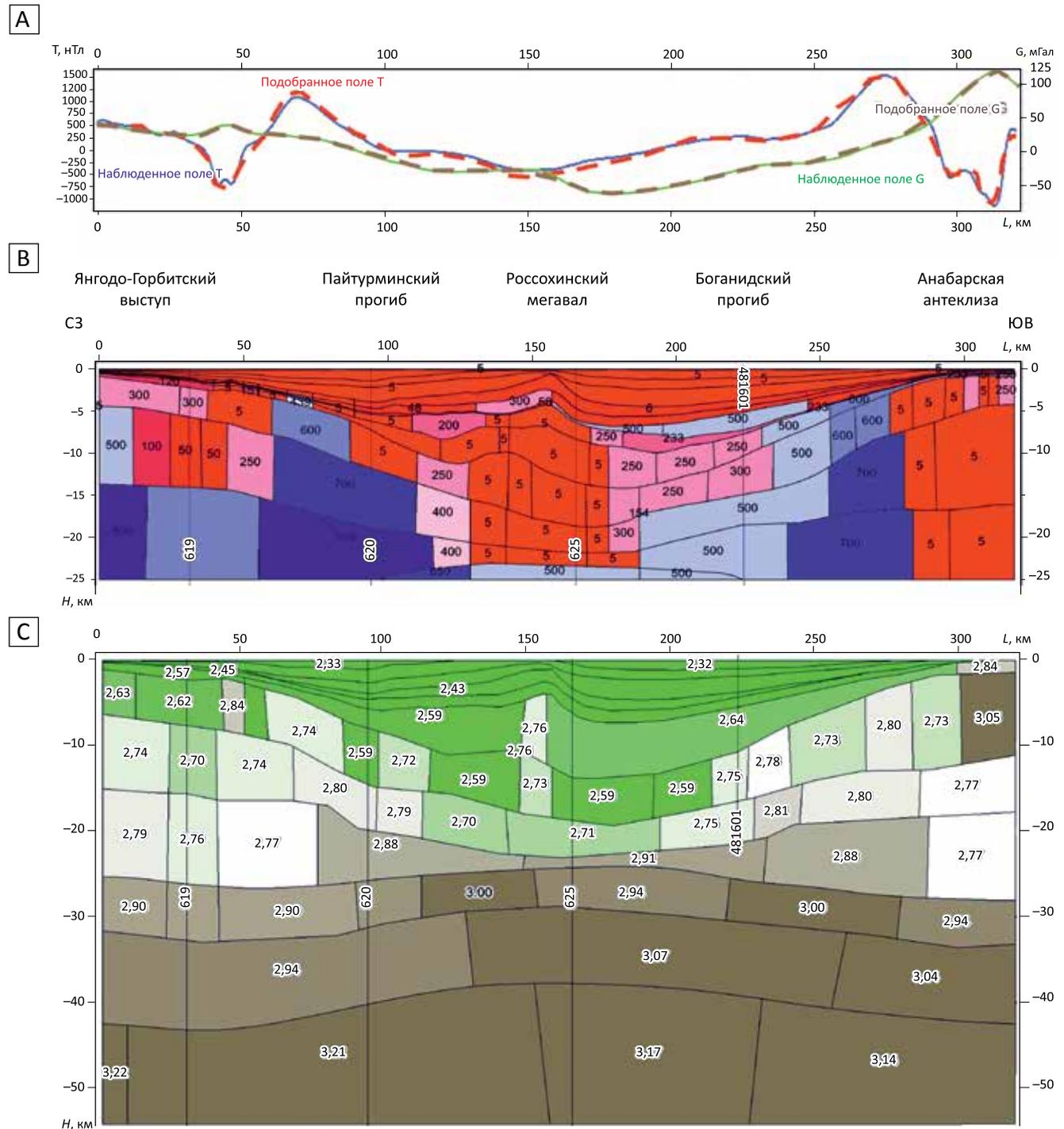
Стартовые модели основывались на результатах качественной комплексной интерпретации профильных данных с учетом априорной геологической и петрофизической информации. Построение 2D блоковой модели проводилось в два этапа: построение геометрического каркаса модели и его заполнение априорными физическими характеристиками. Слоисто-блоковая геометрия модели была согласована с границами глубинных сейсмических разрезов ГСЗ/МОГТ-2D и была фиксирована при подборе физических параметров (плотности, намагниченности) всех ее блоков в процессе минимизации невязки между модельными и наблюдаемыми полями. Оптимизация значений плотностей и намагниченности в блоках велась с учетом априорных представлений о диапазонах изменения этих параметров на соответствующих глубинах, в том числе для плотностей — в соответствии с данными о сейсмических скоростях.

Результаты 2D подбора наблюдаемых гравитационного и магнитного полей для профиля 624 позволили выявить следующие наиболее существенные черты распределений плотности и намагниченности в разрезе:

- характерное для процесса базификации «утяжеление» в низах коры центральной части рифтовой зоны ЕХРП;

Рис. 7. Результаты 2D-подбора магнитного и гравитационного полей по профилю 624 ЦТ

Fig. 7. Results of 2D inversions of magnetic and gravitational fields along to the 624 CT profile



А — графики наблюдаемых и подобранных потенциальных полей; В — подобранные разрезы намагниченности (мА/м);
 С — подобранные разрезы плотности (г/см³).

A — graphs of observed and selected potential fields; B — selected sections of magnetization (mA/m);
 C — selected sections of density (g/cm³).

- присутствие крупных аномалообразующих тел (интрузий) в бортах прогиба (не противоречащих сейсмическим данным, рис. 4, 6);

- наличие линз намагниченных эффузивных образований, как в глубине осадочного бассейна, так и на центральном валу;

- слабая (отрицательная?) намагниченность магматического внедрения осевой части прогиба.

Результаты качественного анализа комплекса профильных данных, дополненные в квази-двумер-

ных случаях подбором 2D плотностных, магнитных и геоэлектрических моделей, позволили провести первичную систематизацию характеристик аномалообразующих объектов. Разделение их на группы по физическим свойствам и генезису обеспечило непосредственный переход к построению ФГМ изучаемого региона.

Продолжение статьи в № 1 2023.

Список источников

1. Андреев В.С., Бисеркин И.А., Большаков Е.М., Довыденко Г.М., Пиманова Н.Н., Соколова Е.Ю., Спиридонов В.А., Шпектров А.Л. Морфоструктурные и вещественные характеристики магматических образований Енисей-Хатангского прогиба: результаты анализа геофизических данных // Геология нефти и газа. – 2021. – № 6. – С. 83–105. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-83-105.
2. Афанасенков А.П. Оценка ресурсного потенциала слабоизученных территорий северного обрамления Сибирской платформы на основе проведения современных геолого-геофизических исследований, регионального объемного и бассейнового моделирования с выделением объектов для параметрического бурения (Государственный контракт от 28.02.2014 № 8Ф-14), ФГБУ «ВНИГНИ», Москва, 2016.
3. Афанасенков А.П. и др. Методология комплексного геолого-геофизического изучения малоизученных нефтегазоперспективных территорий Российской Федерации на примере северного обрамления Сибирской платформы // ВНИГНИ – 65. Люди, результаты и перспективы / Под ред. А.И. Варламова, В.И. Петерсилье. – М.: ФГБУ «ВНИГНИ». – 2018. – С. 150–209.
4. Афанасенков А.П., Яковлев Д.В. Применение электроразведки при изучении нефтегазоносности северного обрамления Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. – № 7. – С. 1032–1052. DOI: 10.15372/GiG20180708.
5. Бисеркин И.А., Е.М. Большаков, И.А. Любарев. 3D-моделирование структурных карт на базе опорных поверхностей по профильным данным // Геоинформатика. – 2020. – № 1. – С. 38–41.
6. Куприянов И.С. Возможности блока анализа магнитотеллурических данных в комплексе ГИС INTEGR0 // Геоинформатика. – 2022. – № 2. – С. 4–11. DOI: 10.47148//1609-364x-2022-2-4-11.
7. Кушнир Д.Г. Геодинамика полуострова Таймыр по геофизическим данным // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9. – № 1. – С. 81–92. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338.
8. Мицын С.В., Большаков Е.М. Монтажный метод в ГИС INTEGR0 и его использование для решения обратной гравитационной задачи // Геоинформатика. – 2021. – № 3. – С. 36–47. DOI: 10.47148/1609-364x-2021-3-36-47.
9. Слинчук Г.Е., Яковлев Д.В., Яковлев А.Г., Андреев М.А., Широкова Е.П. Геоэлектрическая модель глубинного строения Енисей-Хатангского регионального прогиба // Физика Земли. – 2022. – Т. 68. – № 5. – С. 60–75. DOI: 10.31857/S000233372205026X.
10. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Деев К.В., Большаков Е.М. ГИС INTEGR0. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 31–40. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.

References

1. Andreev V.S., Biserkin I.A., Bol'shakov E.M., Dovydenko G.M., Pimanova N.N., Sokolova E.Yu., Spiridonov V.A., Shpektorov A.L. Morphostructural and physical characteristics of magmatic formations within Yenisei-Khatanga trough: new results of geophysical data analysis. *Russian Oil And Gas Geology*. 2021;(6): 83–105. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-6-83-105.
2. Afanasenkov A.P. Otsenka resursnogo potentsiala slaboizuchennykh territorii severnogo obramleniya Sibirskoi platformy na osnove provedeniya sovremennykh geologo-geofizicheskikh issledovaniy, regional'nogo ob'emnogo i basseinovogo modelirovaniya s vydeleniem ob'ektov dlya parametricheskogo bureniya [Assessment of the resource potential of underexplored areas of the northern margin of the Siberian Platform based on modern geological and geophysical studies, regional volumetric and basin modeling with the selection of objects for parametric drilling]. (Contract No. 8F-14 report, 28.02.2014) Moscow: FGBU VNIGNI; 2016.
3. Afanasenkov A.P. et al. Metodologiya kompleksnogo geologo-geofizicheskogo izucheniya maloizuchennykh neftegazoperspektivnykh territorii Rossiiskoi Federatsii na primere severnogo obramleniya Sibirskoi platformy [Methodology of complex geological and geophysical study of poorly studied oil and gas prospective territories of the Russian Federation on the example of the northern framing of the Siberian platform]. In: VNIGNI – 65. Lyudi, rezul'taty i perspektivy. Varlamov A.I., Petersil'e V.I., eds. Moscow: FGBU "VNIGNI"; 2018. pp. 150-209.
4. Afanasenkov A.P., Yakovlev D.V. Application of electrical prospecting methods to petroleum exploration on the northern margin of the Siberian platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(7):827-845. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.07.008.
5. Biserkin I.A., Bolshakov E.M., Lyubarev I.A. 3D modeling of structural maps based on supporting surfaces according to profile data. *Geoinformatika*. 2020;(1):38-41.
6. Kupriyanov I.S. Potential of the magnetotelluric data analysis block of the GIS INTEGR0 complex. *Geoinformatika*. 2022;(2):4–11. DOI: 10.47148//1609-364x-2022-2-4-11.
7. Kushnir D.G. Geodynamics of the Taimyr Peninsula from geophysical data. *Geodynamics & tectonophysics*. 2018;9(1):81-92. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338.
8. Mitsyn S.V., Bolshakov E.M. Assembly method in GIS INTEGR0 and its usage for solving of gravitational inverse problem. *Geoinformatika*. 2021;(3):36-46. DOI: 10.47148/1609-364x-2021-3-36-47.
9. Slinchuk G.E., Yakovlev D.V., Yakovlev A.G., Andreev M.A., Shirokova E.P. Geoelectrical model of the deep structure of the Yenisei-Khatanga regional trough. *Fizika Zemli*. 2022;68(5): 60-75. DOI: 10.31857/S000233372205026X.
10. Cheremisina E.N., Finkel'shtein M.Ya., Deev K.V., Bol'shakov E.M. GIS INTEGR0. Status and prospects for development in the context of import substitution. *Russian Oil And Gas Geology*. 2021;(3):31-40. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.

Статья поступила в редакцию 25.10.2022, одобрена после рецензирования 12.11.2022, принята к публикации 15.12.2022.
The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 12.11.2022; accepted for publication 15.12.2022.

Информация об авторах

Большаков Егор Максимович

Научный сотрудник отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: bolshakov.e.m@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1837-0918

Бисеркин Игорь Алексеевич

Кандидат технических наук
Ведущий научный сотрудник отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: igor_workbox@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7388-161X

Куприянов Иван Станиславович

Ведущий инженер отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: kupriyanov@vnigni.ru

Пиманова Надежда Николаевна

Кандидат технических наук
Ведущий научный сотрудник отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: nadja@geosys.ru

Соколова Елена Юрьевна

Ведущий научный сотрудник отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
Ведущий научный сотрудник
ФГБУН Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта
123242 Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр. 1
e-mail: sokol_l@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5788-6944

Спиридонов Виктор Альбертович

Кандидат технических наук
Заведующий сектором отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: victor@geosys.ru
ORCID: 0000-0002-9421-555X

Финкельштейн Михаил Янкелевич

Доктор технических наук
Заведующий отделом Моделирования 3D геолого-
геофизических объектов отделения Геоинформатики
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»
117105, Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: m.finkeistein@mail.ru

Information about authors

Egor M. Bolshakov

Researcher at the Geoinformatics Department
All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: bolshakov.e.m@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1837-0918

Igor A. Biserkin

Candidate of Technical Sciences
Leading Researcher at the All-Russian Research
Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: igor_workbox@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7388-161X

Ivan S. Kupriyanov

Leading Engineer of the Geoinformatics Department
All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: kupriyanov@vnigni.ru

Nadezhda N. Pimanova

Candidate of Technical Sciences
Leading Researcher of the Geoinformatics Department
All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: nadja@geosys.ru

Elena Yu. Sokolova

Leading Researcher of the Geoinformatics Department
All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
Leading Researcher
Institute of the Earth Physics of the Russian Academy of Sciences
10 buil. 1, Bolshaya Gruzinskaya Str., Moscow, 123242, Russia
e-mail: sokol_l@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5788-6944

Viktor A. Spiridonov

Candidate of Technical Sciences
Head of the Sector of the Geoinformatics Department
All-Russian Research Geological Oil Institute
117105, Moscow, Varshavskoe sh., 8
e-mail: victor@geosys.ru
ORCID ID: 0000-0002-9421-555X

Mikhail Ya. Finkelstein

Doctor of Technical Sciences
Head of the 3D Modeling Department of Geological and Geo-
physical Objects
All-Russian Research Geological Oil Institute
8, Varshavskoe sh., Moscow, 117105, Russia
e-mail: m.finkelstein@geosys.ru