

Геоинформатика. 2022. № 2. С. 4–11.  
*Geoinformatika*. 2022;(2):4–11.

Геоинформационные системы

Научная статья  
 УДК 550.9:004.65  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-4-11>

## Возможности блока анализа магнитотеллурических данных в комплексе ГИС INTEGRO

© 2022 г. — Иван Станиславович Куприянов

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»; Москва, Россия  
 kupriyanov@vnigni.ru

**Аннотация:** В статье рассмотрены возможности комплекса анализа электроразведочных данных, реализованного на платформе ГИС INTEGRO. Он осуществляет ввод в стандартных форматах данных магнитотеллурических зондирований, их визуализацию в виде частотных зависимостей и профильных распределений, а также проведение анализа и первичной интерпретации. Комплекс позволяет оперативно разобраться в материалах современных геологоразведочных работ методом магнитотеллурического зондирования и получить информацию об электрических свойствах горных пород в разрезах по сети профилей.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, электроразведочные работы на нефть и газ, магнитотеллурические зондирования, анализ и интерпретация данных магнитотеллурических зондирований

Для цитирования: Куприянов И.С. Возможности блока анализа магнитотеллурических данных в комплексе ГИС INTEGRO. // Геоинформатика. — 2022. — № 2. — С. 4–11. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-4-11>.

Geoinformation systems

Original article

## Potential of the magnetotelluric data analysis block of the GIS INTEGRO complex

© 2022 — Ivan S. Kupriyanov

All-Russian Research Geological Oil Institute; Moscow, Russia  
 kupriyanov@vnigni.ru

**Abstract:** The article considers the possibilities of the electroprospecting complex for processing and analyze of magnetotelluric sounding data, implemented on the platform GIS INTEGRO. It performs input of magnetotelluric data in standard formats, their visualization in the form of frequency dependences and profile distributions, as well as analysis and primary interpretation. The complex allows to handle quickly the materials of modern geological exploration using the method of magnetotelluric sounding and to obtain information on the electrical properties of rocks in sections along a network of profiles.

**Key words:** digital technologies, electrical exploration for oil and gas, magnetotelluric soundings, analysis and interpretation of magnetotelluric sounding data.

For citation: Kupriyanov I.S. Potential of the magnetotelluric data analysis block of the GIS INTEGRO complex. *Geoinformatika*. 2022;(2):4–11. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-4-11>. In Russ.

### Введение

В системе ГИС INTEGRO активно развивается аппарат обработки и анализа геофизических данных, получаемых в рамках комплексных геолого-геофизических поисково-разведочных работ [2]. Существенной составляющей этого аппарата стал новый блок анализа результатов магнитотеллурических зондирований (МТЗ) — метода, наряду с сейсморазведкой МОГТ, занимающего лидирующее положение в геофизическом комплексе на региональной стадии исследования территорий,

перспективных на нефть и газ. Благодаря высоким современным аппаратурно-методическим стандартам и развитым технологиям обработки полевых наблюдений, МТЗ обеспечивает высокую разрешающую способность и уникальную глубинность исследований, что дает возможность получать независимую и достоверную информацию о строении недр, важную для нефтегазового поиска [1]. Материалы МТЗ используются при тектоническом районировании и прослеживания структурно-вещественных комплексов различных этажей разреза,

создании каркаса основных глубинных границ раздела земной коры, схем нефтегазогеологического районирования (региональных литологических особенностей, карт развития коллекторов\флюидоупоров осадочного чехла), а также особенностей криолитозоны. Роль данных МТЗ велика при комплексном геолого-геофизическом моделировании изучаемых регионов в целях создания общей концепции их строения и геологической эволюции, на которой базируется стратегия «широкого поиска». При этом в комплексе наземных работ по госконтрактам электроразведка МТЗ является одним из наименее затратных методов. Доминирующей и повсеместно используемой аппаратурой при выполнении работ МТЗ является семейство измерителей канадской фирмы Phoenix Geophysics: MTU-2E, MTU-2EA, MTU-3H, MTU-5 (2E+3H), MTU-5A. Отечественные производители аппаратуры Nord (<https://nord-mt.com/>) и Vega пока представлены слабо и в связи с этим на рынке программного обеспечения довольно долго доминировали инструменты канадской фирмы поставляемой вместе с аппаратурой и поддерживаемые ей форматы данных: \*.TBL, TS3, TS4, TS5, CLB, CLC, SNC (непосредственные форматы временных рядов наблюдений аппаратуры Phoenix) и \*.edi (оценки МТ передаточных функций). Файлы формата \*.edi получают уже как в поле, в процессе экспресс-обработки (нередко их считают первичными материалами, так и во время камеральной обработки данных. На сегодняшний день \*.edi формат — это самый распространённый формат хранения анализируемой МТ информации. Большая часть программного обеспечения, которая работает с данными МТЗ, имеет возможность импорта/экспорта в формат \*.edi. Ниже приведена схема сложившегося за последние годы цикла первичной обработки МТ-данных, применяемого в производственных организациях Агентства по недропользованию и использующего указанные наиболее популярные программные продукты (рис. 1).

**Возможности комплекса EdiTOC как составной части ГИС INTEGRO**

ГИС INTEGRO (<http://www.gis-integro.ru/>) предоставляет мощную платформу для сбора, обработки и интерпретации геолого-геофизических данных. Проект ГИС INTEGRO состоит из 2D и 3D сцен. Сцена состоит из слоёв поддерживаемых форматов данных: TOC (\*.pgrid), shp, sgy, grid, jpg и др. Те данные, которые нельзя представить форматами, поддерживаемых непосредственно платформой, преобразуются в них при помощи многочисленных утилит, собранных в тематические блоки. Некоторые из них являются классическими утилитами, а некоторые можно отнести к программным комплексам.

Одной из таких «утилит» является комплекс ввода и обработки электроразведочных данных EdiTOC, который развивался из утилиты ввода дан-

Рис. 1. Блок-схема формирования входных МТ данных  
Fig. 1. Block diagram of the formation of input magnetotelluric data



ных МТЗ в систему посредством предоставленного API-интерфейса для платформы .NET (Microsoft Windows). API-интерфейс официально не анонсирован, но по факту он существует и успешно работает. Ниже приведена блок-схема структуры построения модели в ГИС INTEGRO, с использованием комплекса EdiTOC (рис. 2).

Производственный цикл обработки МТ данных от ввода частотных импедансных зависимостей (в формате \*.edi) до создания модели геоэлектрического разреза включает следующие основные этапы:

1. Структурирование данных (сортировка по профилям и пикетам);
2. Сглаживание и иногда ручная редакция частотных зависимостей импеданса;
3. Приведение к единой сетке частот (если импедансные зависимости получены на разных сетках);

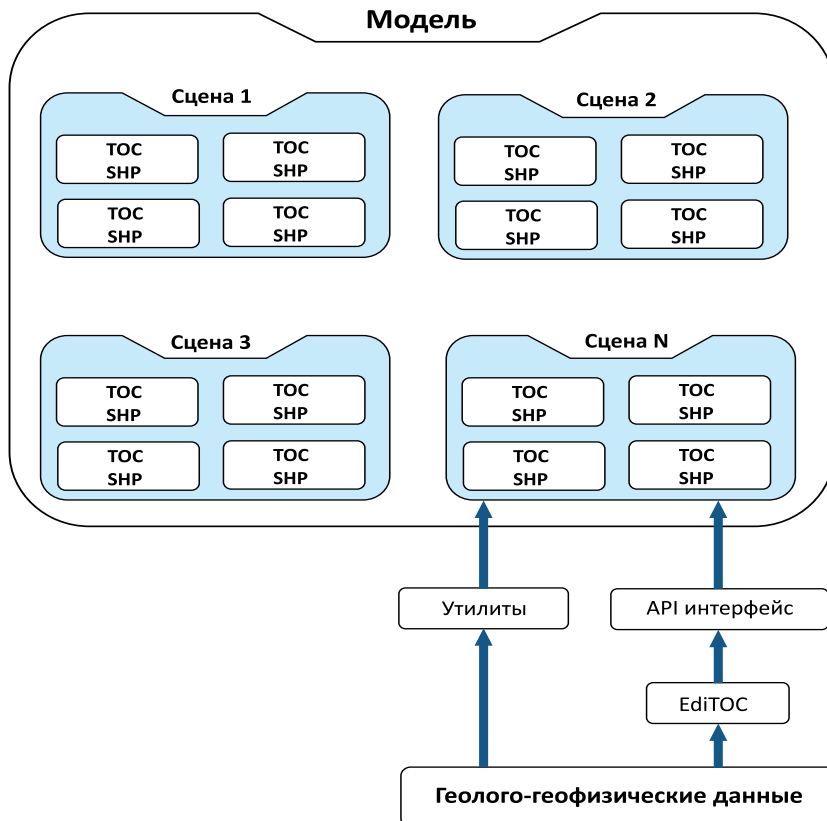
4. Построение псевдоразрезов (профильно-частотных распределений импедансных оценок);
5. Трансформация или инверсия частотных зависимостей в глубинные;
6. Построение модели геоэлектрического разреза.

В комплексе EdiTOC реализованы все вышеперечисленные этапы, а также возможности импортирования моделей в формате популярной программы профильной одномерной инверсии МТ данных ZondMT1D (компания «Геодевайс») и построения карт векторов геоиндукционных токов.

**Структурирование данных.** Разбиение и сортировка данных по профилям и пикетам обычно происходит ещё в поле и файлам записи, или файлам первичной обработки даются названия по принципу профиль-пикет с каким-нибудь общепринятым разделителем. Иногда, когда площадь обрабатывается разными бригадами и операторы вместо проектной схемы профилей и координат имеют на руках только навигатор с залитыми в них точками, названиями файлов становятся номера станций и номер измерения. В этом случае структурирование происходит во время камеральной обработки. Традици-

онно это делается вручную: каждое измерение станцией Phoenix имеет в этикетке координаты WGS84, вынося пикеты с названиями файлов на план и сопоставляя его с проектной сетью профилей, обработчик начинает вручную переименовывать файлы в папке. Процесс трудоёмкий, кропотливый, требует внимательности, а при совмещении измерений рядом находящихся площадей, возможна путаница и дополнительный объём малопродуктивного ручного труда. В комплексе EdiTOC есть поддержка и возможность работы с профилями, разделёнными по такому вот принципу, но для того, чтобы не тратить время и силы на малопродуктивные движения был создан «Конструктор профилей». Конструктор считывает указанную пользователем папку на предмет наличия в ней и во вложенных папках файлов в формате \*.edi, выносит их на выбранный пользователем план: WikiMapiaMap, BingMap, YandexSatelliteMap, YandexHybridMap, BingSatelliteMap, BingHybridMap, GoogleSatelliteMap, GoogleHybridMap. Вынос точек на вышеперечисленные планы позволяет обработчику получить информацию о районе работ: лес, болото, инфраструктурные помехи и т.д. Далее в интерактивном режиме создаются профили и автоматически нумеруются пикеты (рис. 3). Результат раз-

Рис. 2. Блок-схема структуры построения модели в ГИС INTEGRO, с использованием комплекса EdiTOC  
 Fig. 2. Block diagram of the structure of model construction in the GIS INTEGRO, using the EdiTOC complex



биения можно экспортировать в отдельную папку, где файлы будут лежать названные традиционным способом с разделителем “\_”.

**Сглаживание.** Процедуры обработки в EdiTOC реализованы в блоке просмотра кривых. Доступны процедуры осреднения в скользящем окне (3–5–7 отсчётов): оценка среднеарифметического и медианного значения. Это позволяет убрать отдельные отскоки, связанные с шумами в наблюдениях или погрешностями обработки (рис. 4).

Также предусмотрена подсветка полосы частот 48–52 Гц для визуализации 50 Гц помехи и кратных ей гармоник. Определив положение пикета на спутниковых снимках, в конструкторе профилей, можно сопоставить положение пикета с инфраструктурными объектами и определить источник помех (рис. 5).

**Приведение к единой сетке частот.** В техническом задании и проектах обычно не указывается перечень частот для передаточных функций, оценки которых получают в процессе обработки временных рядов. В случае несовпадения сеток частот, выбранных различными бригадами или при переобработке данных, разнородные данные нередко приходится приводить к единой сетке частот сводной коллекции файлов \*.edi. Единая сетка частот необходима для проведения статистической нормализации кривых зондирований по уровню и для построения итоговых профильных псевдоразрезов программами, не использующими интерполяцию. В EdiTOC алгоритм приведения данных в единую сеть частот реализован как для всей площади, так и для отдельных профилей. Загруженные в систему файлы автоматически проверяются на наличие нескольких

сеток частот, и в случае обнаружения отличий система сообщает об этом. Самый распространённый случай — различия в ширине частотного диапазона успешного оценивания МТ-импедансов (рис. 6).

Если сеток частот несколько, то обработчик вручную выбирает список рабочих частот, после чего производится либо линейная интерполяция, либо аппроксимация кубическим сплайном. Результаты приведения можно экспортировать в отдельную папку в формате \*.edi.

**Построение псевдоразрезов.** Отредактированные кривые перед инверсией просматривают

и анализируют в виде псевдоразрезов. В комплексе реализовано построение следующих передаточных функций:  $RhoT_{xy}$ ,  $RhoT_{yx}$ ,  $RhoT_{eff}$ ,  $Phi_{xy}$ ,  $Phi_{yx}$ ,  $Phi_{eff}$  (рис. 7).

Также в этом блоке реализована опция сохранения геометрии расположения профильных пикетов в точечный и линейный \*.shp-файлы.

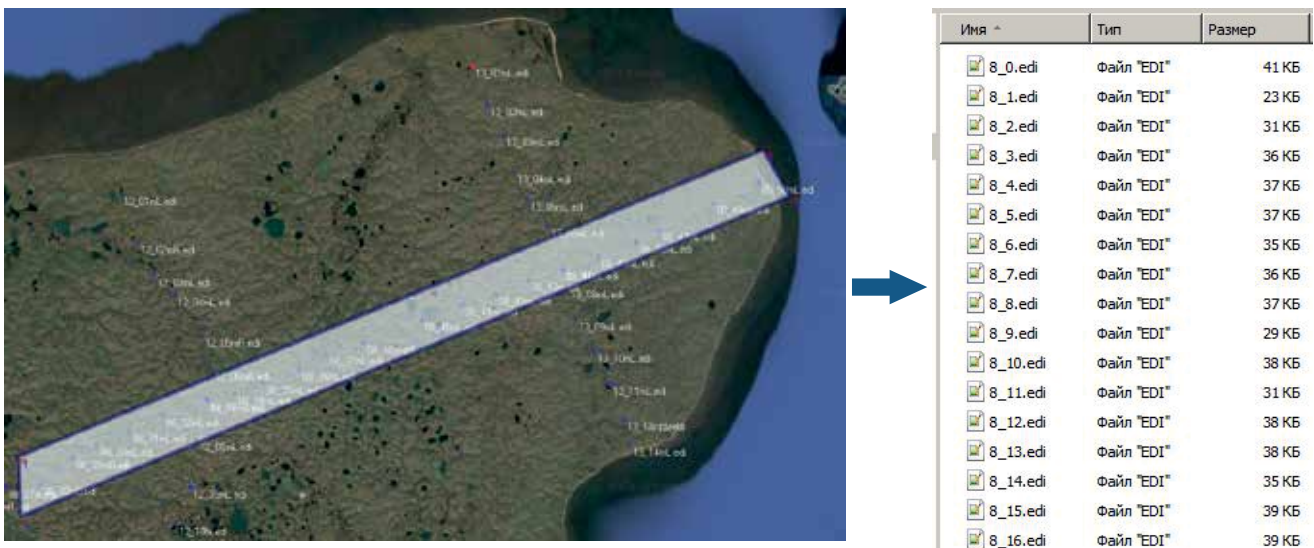
**Трансформация, инверсия, построение модели.** Согласно [3] (раздел 5.5, Интерпретация данных) в процессе количественной интерпретации данных МТЗ можно выделить несколько основных этапов:

- 1) экспресс-интерпретация;
- 2) трансформация кривых МТЗ;
- 3) инверсия;
- 4) геологическая интерпретация.

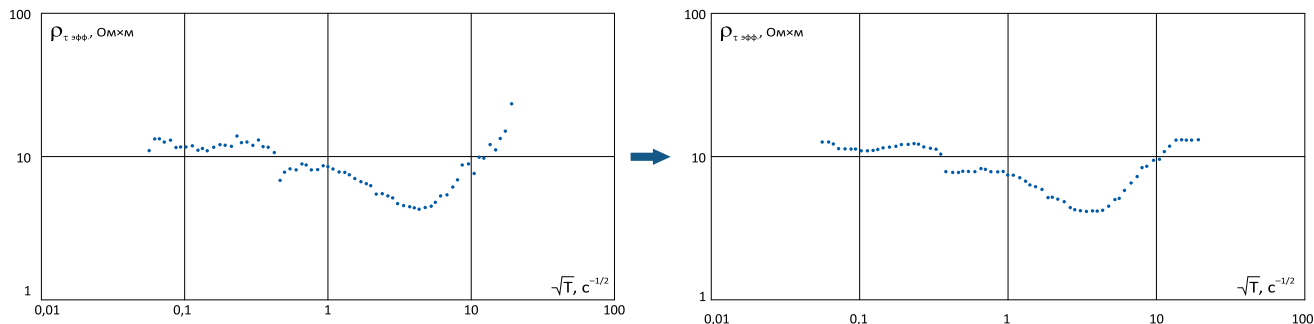
Первый пункт на практике уже редко используется и пришёл ещё с прошлого века, когда обработка и интерпретация производилась на бумажных

Рис. 3. Структурирование данных в EdiTOC

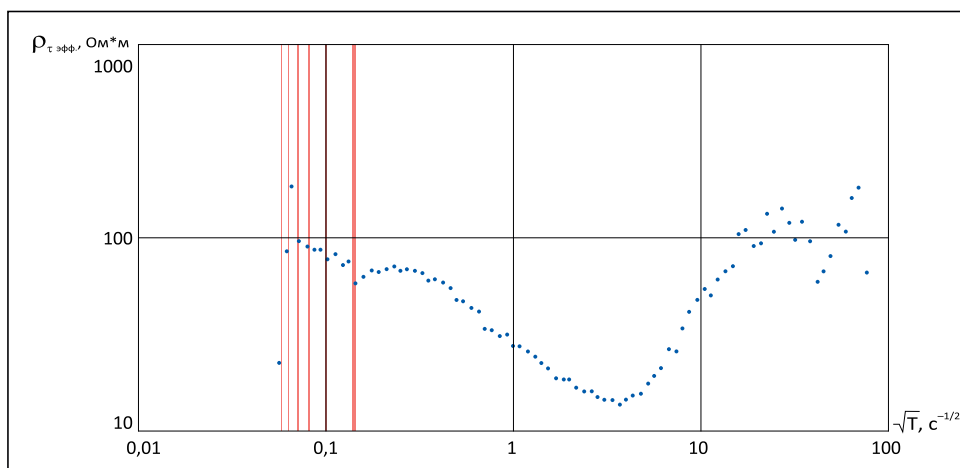
Fig. 3. Data structuring in EdiTOC



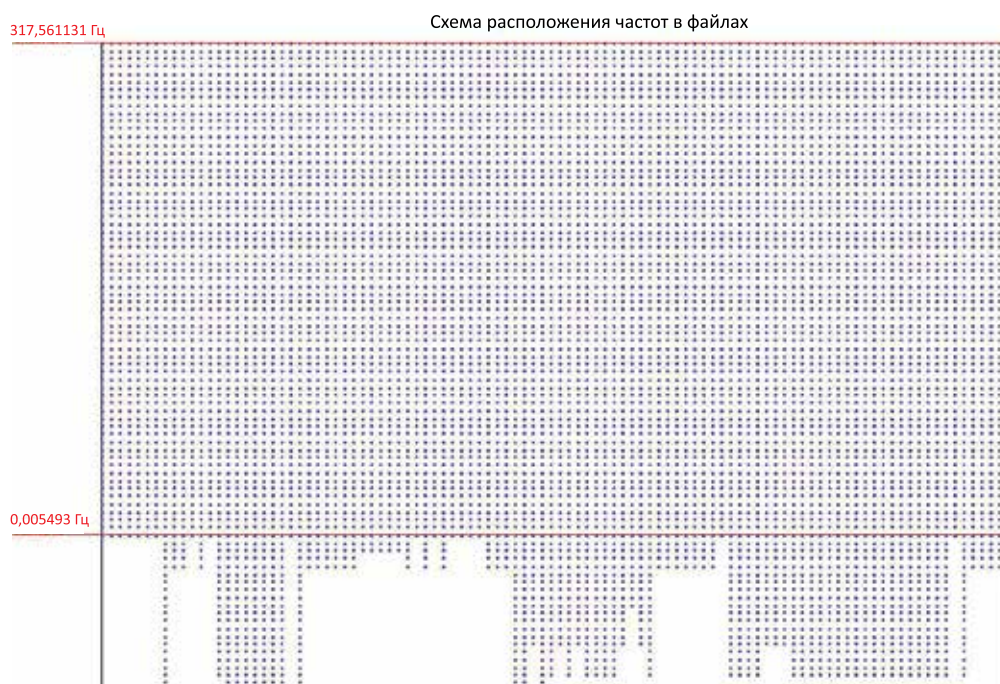
**Рис. 4.** Сглаживание кривых МТ зондирований  
*Fig. 4. Smoothing of the curves of magnetotelluric soundings*



**Рис. 5.** Визуализация 50 Гц помехи и кратных ей гармоник  
*Fig. 5. Visualization of 50Hz interference and its multiple harmonics*



**Рис. 6.** Формирование набора данных в едином диапазоне частот  
*Fig. 6. Formation of a data set in a single frequency range*



носителях. Развитие вычислительной техники и тенденция к увеличению объёмов регистрации привели к увеличению спроса на автоматизированные и автоматические алгоритмы в обработке и интерпретации. Второй пункт в EdiТОС реализован в блоке построения профилей псевдоразрезов в варианте трансформации Ниблетта [3].

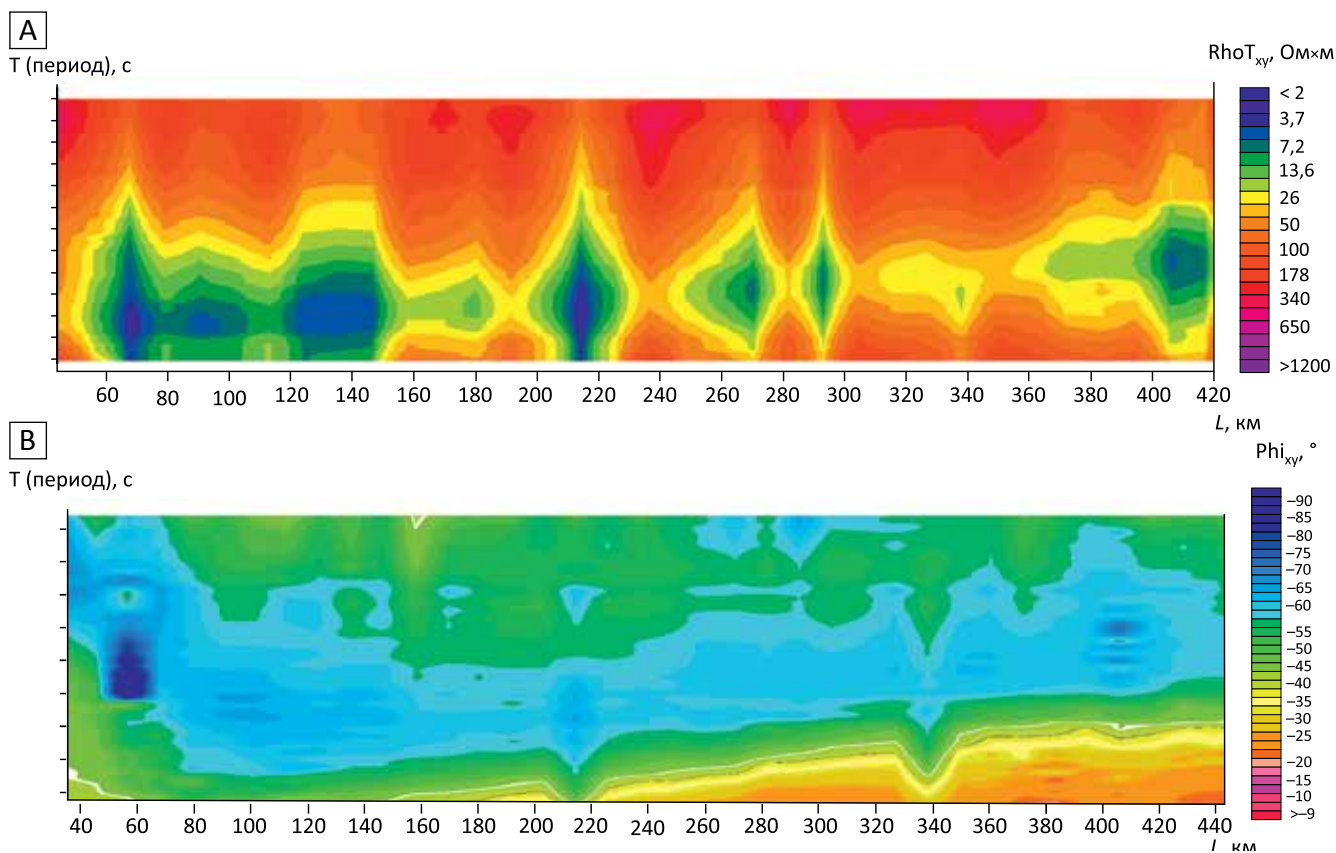
Алгоритм инверсии системы EdiТОС находится в стадии разработки. В настоящее время реали-

зована возможность импортирования результатов инверсии программы ZondMT1D (широко используемый формат \*.mod1d) в отдельные профильные сцены (рис. 8).

Из профильных сцен можно уже собирать объёмные модели и в 3D отображении проверять качество обработки по линиям пересечений разрезов. На рис. 9 приведено пересечение профилей 11 и 14 по Намской площади.

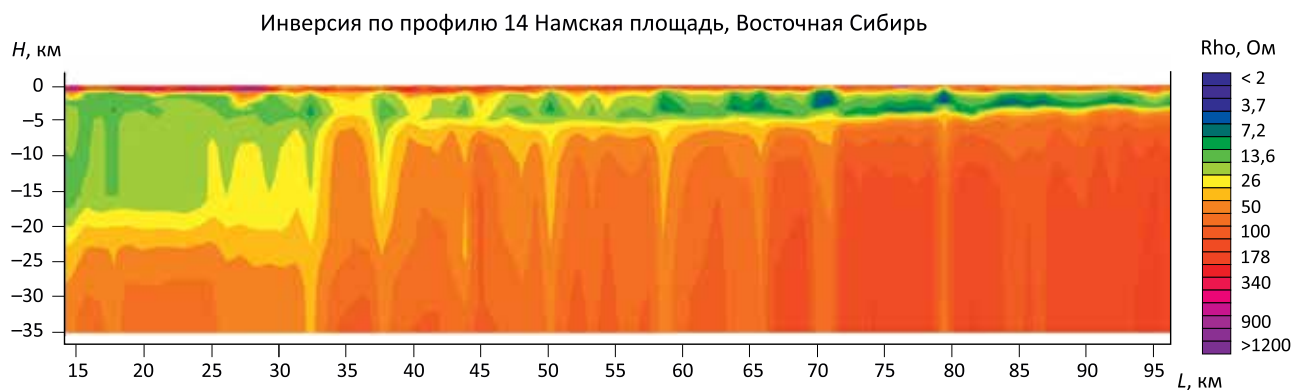
**Рис. 7.** Псевдоразрезы амплитудных (А) и фазовых (В) импедансных данных по профилю 17 Кубалахской площади Енисей-Хатангского регионального прогиба

*Fig. 7. Pseudosections of amplitude (A) and phase (B) impedance data (profile 17 of the Kubalakh area of the Yenisei-Khatanga regional trough).*



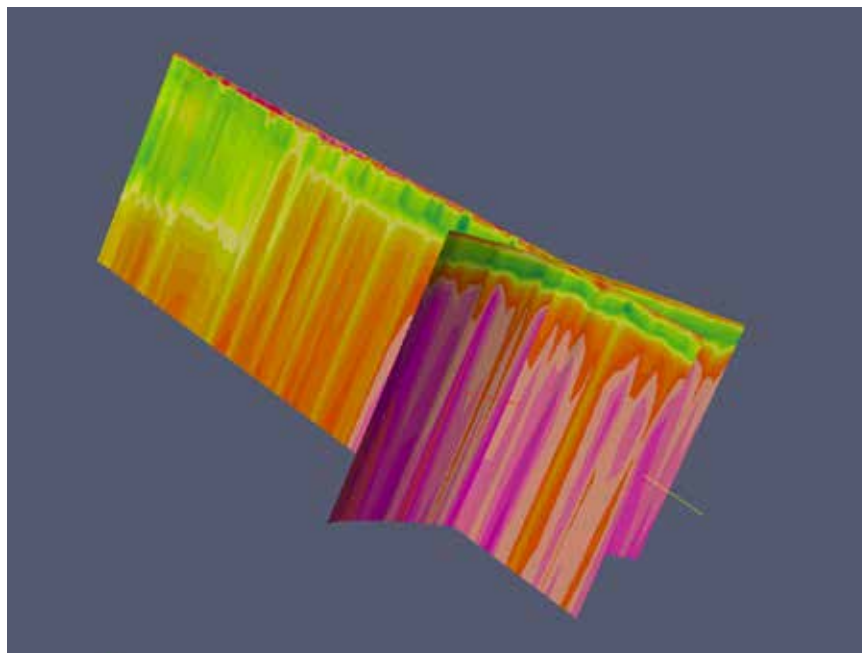
**Рис. 8.** Модель разреза удельного электрического сопротивления, инкорпорированного в систему ГИС INTEGRO из формата \*.mod1d

*Fig. 8. Model of the specific electrical resistivity (SER) section incorporated into the GIS INTEGRO system from the \*.mod1d format*



**Рис. 9.** Объемное представление пересечения разрезов УЭС по профилям 11 и 14 Намской площади

*Fig. 9. Volumetric representation of the intersection of the resistivity sections along the profiles 11 and 14 of the Namskaya area*



## Выводы

На сегодняшний день EdiTOS позволяет осуществлять ввод в стандартных форматах магнитотеллурических данных и их визуализацию в виде частотных зависимостей и профильных распределений. Этот набор возможностей достаточен для того, чтобы оперативно разобраться в электроразведочных материалах, поставляемых в рамках госконтрактов, производственными организациями, и получить информацию о распределении электри-

ческих свойств горных пород в разрезах пройденных профилей.

Возможности анализа и интерпретации введенных МТ данных на сегодня заключаются в возможности их редакции и трансформации частотных зависимостей в глубинные. Для дальнейшего развития комплекса планируется разработка инструментария инвариантного анализа тензоров импеданса, статистической нормализации данных зондирования вдоль профиля, а также проведение 1D инверсии данных зондирования в профильном варианте.

## Список источников

1. Афанасенков А.П., Яковлев Д.В. Применение электроразведки при изучении нефтегазоносности северного обрамления Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2018. – № 7. – С. 1032–1052. DOI: 10.15372/GiG20180708.
2. 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.
3. *Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей* / Под ред. И.Н. Модина, А.Г. Яковлева. – Т. 1. – Тверь : ПолиПРЕСС, 2018. – 274 с.

## References

1. 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.
2. Cheremisina E.N., Finkel'shtein M.Ya., Deev K.V., Bol'shakov E.M. GIS Integro. Status and prospects for development in the context of import substitution. *Oil and gas geology*. 2021;3:31–40. DOI 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40.
3. Modin I.N., Yakovlev A.G. (eds.) *Ehlektrozrazvedka: posobie po ehlektrozrazvedochnoi praktike dlya studentov geofizicheskikh spetsial'nostei* [Electrical prospecting: a manual on electrical exploration practice for students of geophysical specialties]. Vol. 1. Tver': PolIPRESS; 2018. 274 p.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022, одобрена после рецензирования 09.06.2022, принята к публикации 21.06.2022.  
The article was submitted 30.05.2022; approved after reviewing 09.06.2022; accepted for publication 21.06.2022.

### Информация об авторах

#### **Куприянов Иван Станиславович**

Ведущий специалист отдела 3D-моделирования нефтегазовых объектов отделения Геоинформатики  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии нефти и газа»

117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8

e-mail: kupriyanov@vnigni.ru

### Information about authors

#### **Ivan S. Kupriyanov**

Leading Specialist of Division for 3D modelling of oil-and-gas bearing features of Geoinformatics Department of All-Russian Research Geological Oil Institute

8, Varshavskoe shosse, 117105, Moscow, Russia

e-mail: kupriyanov@vnigni.ru