

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ им. А.А. ТРОФИМУКА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**Недропользование. Горное дело.
Направления и технологии поиска,
разведки и разработки месторождений
полезных ископаемых. Экономика.
Геоэкология.**

Материалы XVI международной научной конференции



Новосибирск

20-24 апреля, 2020

Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: Материалы XVI международной конференции (20-24 апреля 2020, Новосибирск) / Сетевое электронное издание. – Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. –Новосибирск. 2020. xxx с.

ISBN 978-5-4262-0102-6

doi: 10.18303/B978-5-4262-0102-6-2020

Программный комитет:

Координаторы:

Ельцов Игорь Николаевич, д.т.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Кондратенко Андрей Сергеевич, ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Конторович Алексей Эмильевич, академик РАН, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Неволько Александр Иванович, начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», г. Новосибирск

Эпов Михаил Иванович, академик РАН, ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, г. Новосибирск

Сопредседатели:

Ельцов Игорь Николаевич, д.т.н. ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Каширцев Владимир Аркадьевич, чл.-корр. РАН, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Филимонова Ирина Викторовна, д.э.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Секретари:

Комарова Анна Владимировна, к.э.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: KomarovaAV@ipgg.sbras.ru

Левичева Александра Викторовна, к.г.-м.н., СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: LevichevaAV@ipgg.sbras.ru

Сурикова Екатерина Сергеевна, к.г.-м.н., СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: SurikovaES@ipgg.sbras.ru

Чеботарева Анастасия Владимировна, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: ChebotarevaAV@ipgg.sbras.ru

Шумскайте Мария Йоновна, к.т.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: ShumskajteMI@ipgg.sbras.ru

Адрес оргкомитета: Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект ак. Коптюга, 3, ИНГГ СО РАН.

При поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук

Самостоятельное неперiodическое локальное статичное научное сетевое электронное издание. Системные требования: наличие на устройстве ПО для просмотра PDF-файлов.

Статьи публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-4262-0102-6

© ИНГГ СО РАН, 2020

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА ПРОФИЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДРЕЙФУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Полина Сергеевна Осипова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: OsipovaPS@ipgg.sbras.ru

Аркадий Владимирович Злобинский

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ZlobinskiyAV@ipgg.sbras.ru

Владимир Владимирович Потанов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

В рамках проекта РНФ для изучения среды в Арктическом регионе предлагается использование дрейфующей поверхности, на которой будут размещены геофизические установки. Предлагаемый метод электроразведки – зондирование с круговым электрическим диполем в качестве источника. Изучение применимости методики требует трёхмерного моделирования получаемого сигнала. В работе показаны некоторые результаты моделирования с использованием предложенного ранее алгоритма, основанного на приближении Борна.

Ключевые слова: морские электромагнитные зондирования, круговой электрический диполь, борновское приближение

SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC SIGNAL OF PROFILE OBSERVATIONS FROM A DRIFTING SURFACE

Polina S. Osipova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Junior Researcher, e-mail: OsipovaPS@ipgg.sbras.ru

Arkadiy V. Zlobinskiy

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph.D., Senior Researcher, e-mail: ZlobinskiyAV@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Potapov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph.D., Senior Researcher, e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

As part of the RSF project, the use of a drifting surface on which geophysical installations will be placed is proposed to study the environment in the Arctic region. The proposed method of electrical exploration is sounding with a circular electric dipole as a source. Studying the applicability of the

technique requires three-dimensional simulation of the received signal. The paper shows some simulation results using the previously proposed algorithm based on the Born approximation.

Key words: marine electromagnetic sounding, circular electrical dipole, Born approximation.

Морские геоэлектроманнитные зондирования с искусственными источниками в Арктическом регионе затруднены влиянием проводящего слоя морской воды, к тому же покрытого льдом. Перспективным методом электроразведки для изучения разреза морских отложений с поверхности воды является метод зондирования вертикальными токами. Предлагается методика зондирований, чувствительных к контрастно высоко- и низкоомным аномалиям, а также независящих радикально от глубины моря, с использованием поля ТМ-поляризации. В таком случае оптимальным контролируемым источником является круговой электрический диполь (КЭД) [1, 2]. Для реализации трехмерного моделирования поля КЭД предложено программное обеспечение 3D_CED, алгоритм которого основан на приближении Борна, что приводит к линеаризации прямой задачи по отношению к небольшому трехмерному возмущению в однородной среде. В результате получаем более гибкий математический аппарат по сравнению с алгоритмами программы GeoPrep, основанными на методе конечных элементов [5]. Ранее в работах [3, 4] были показаны теоретические обоснования и первые вполне успешные результаты моделирования поля КЭД при зондировании с ледовой поверхности.

Итак, источник – круговой электрический диполь с током I , радиуса a с центром в точке $S(x_0, y_0)$ на дневной поверхности (для определенности). Рассмотрим гармонический режим. Нормальное (одномерное) решение известно:

$$E_{x,y,z}^0(x, y, z, S, \omega) = I \cdot e_{x,y,z}^0(x, y, z, S, \omega),$$

где S – конфигурация источника. Пусть имеется некоторое возмущение проводимости $\Delta\sigma$ в области $V(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$. В этой области первое уравнение Максвелла есть:

$$\text{rot}\mathbf{H} = \sigma_0 \cdot \mathbf{E} + \Delta\sigma \cdot \mathbf{E},$$

где σ_0 – представляет одномерную среду. Будем рассматривать $\Delta\sigma E$ как дополнительный источник в 1D среде. Область возмущения можно представить совокупностью электрических диполей с моментами $dI_{x,y,z} = \Delta\sigma \cdot E_{x,y,z}^0 \cdot d\bar{x}d\bar{y}d\bar{z}$, где $E_{x,y,z}^0$ – электрические компоненты нормального (не возмущённого) поля, которым мы заменяем полное поле. Замена полного поля нормальным как раз и даёт приближённое линеаризованное решение. Подробнее алгоритм описан в работе [3].

Представленное выше решение использовано в программе 3D_CED, в которой в условиях трехмерной геологической среды было выполнено моделирование для стационарной установки КЭД и приёмников. Модель среды представляет собой три слоя (вода, первый слой отложений, второй слой отложений) с аномалией в первом слое. Анализ результатов показал следующее. Предложенное математическое обеспечение дает результаты, не сильно отличающиеся от данных точного подхода, но имеет свои особенности. Эффективность приемно–питающей установки КЭД не теряется при расположении на поверхности моря (на льду), а не на дне. Однако толщина слоя воды в дальнейших экспериментах уменьшена в два раза и составляет 1000 м.

Для следующего шага тестирования программы определена новая модель среды (рис.1а). Здесь приёмно–питающая установка дрейфует над выступом в морском дне, то есть выполняется профилирование. На рис. 1b показан план установки КЭД, точек измерения (1 и 2) и выступ с параметрами 2000×800×200 м. Ток в источнике 1000 А, радиус КЭД 2000 м. Измеряем индуктивными датчиками (компонента dBz/dt) с моментом приёмных катушек 10^6 м^2 и приемными линиями (e_x, e_y) длиной 1 м, но с усилительным коэффициентом 3000. Расчеты выполнены с шагом 200 м на 70–ти точках.

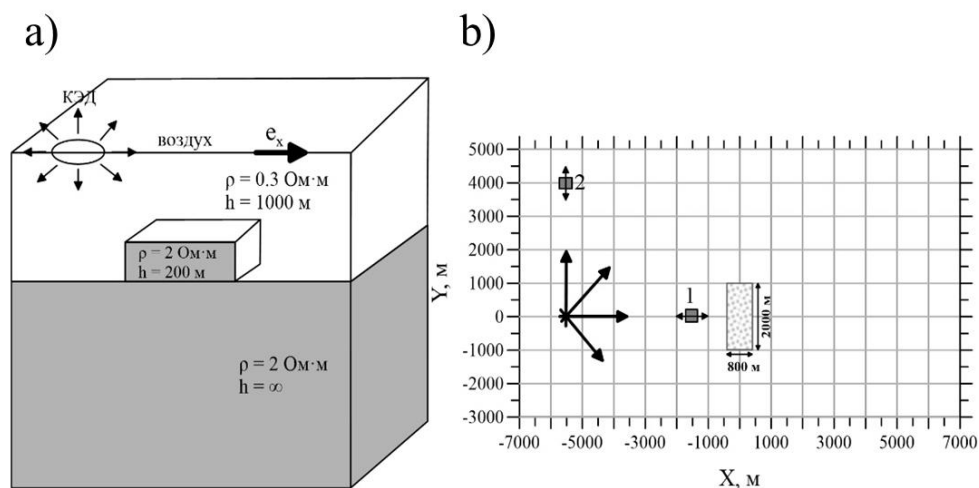


Рис. 1. Разрез среды (a) и план расположения КЭД и точек наблюдения (b)
Fig. 1. The section of the environment (a) and the schematic of the CED and observation points (b)

Также, как и на предыдущем этапе моделирования [3, 4], для подтверждения расчётов сигналы моделировались и в программе GeoPrep. На рис. 2 показаны кривые становления сигнала для магнитных и электрических компонент в обеих программах.

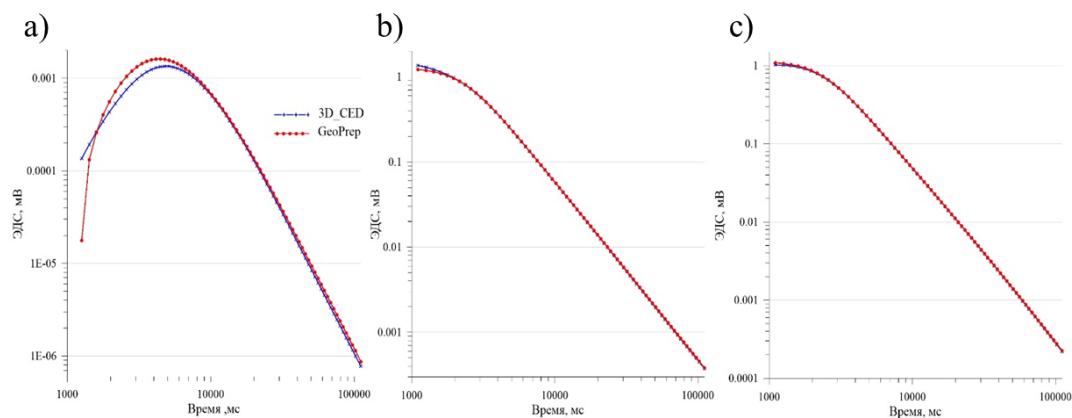


Рис. 2. Сравнение кривых становления при нахождении центра КЭД в точке $X = -2400$: а) – dB_z/dt в точке 2, б) – e_x в точке 1, в) – e_y в точке 2
Fig. 2. Comparison of the formation curves when finding the center of CED at the point $X = -2400$: а) – dB_z/dt at point 2, б) – e_x at point 1, в) – e_y at point 2

Сравнение показывает работоспособность борновского приближения в режиме становления при расчете аномального поля КЭД. Анализ графиков

позволяет сказать, что согласно принципам борновского приближения (низкочастотного), кривые лучше совпадают на поздних временах. Поэтому рассматриваемые далее сигналы взяты на времени 10.2 секунды.

Результаты моделирования в программе 3D_CED сигнала профилирования над выступом показаны на рис. 3. Значения сигнала получены в измеряемом диапазоне, и аномалия выделяется на фоновом значении как при прохождении через центр выступа, так и по его краям. Отметим, что на рисунке приведено только поле от трехмерных объектов, так называемое аномальное поле, т.е. это разница между полем только от вмещающей одномерной среды и полем от вмещающей среды и трехмерного объекта.

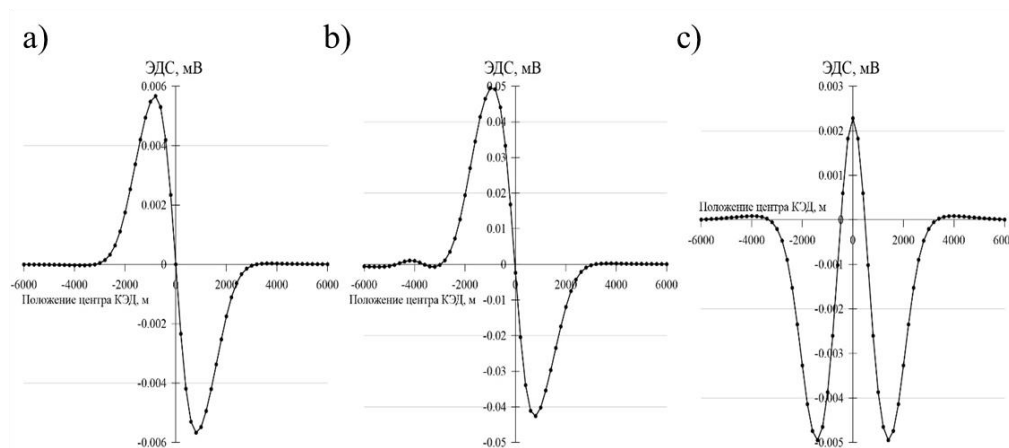


Рис. 3. Кривые профилирования для аномального поля: а) – dB_z/dt в точке 2, б) – e_x в точке 1, в) – e_y в точке 2

Fig. 3. Profiling curves for anomalous field: а) – dB_z/dt at point 2, б) – e_x at point 1, в) – e_y at point 2

Таким образом, математическое обеспечение, основанное на приближении Борна, для трёхмерной среды дает результаты не только при зондировании среды в неподвижном состоянии, но и при профилировании. Несмотря на то, что рельеф дна отслеживается более точно другими методами, значение таких электромагнитных наблюдений состоит в том, что контролируется и проверяется чувствительность измерений и могут делаться поправки для более глубоких зондирований.

Работа выполнена под руководством доктора технических наук В.С. Могилатова. Исследования выполняются при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18–17–00095.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Могилатов В.С. Морские геоэлектроманнитные исследования с контролируемыми источниками [Электронный ресурс] // Геомодель 2018: 20-я юбилейная конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа (г. Геленджик, 10–14 сентября 2018 г.): Тезисы докладов. – Геленджик: EAGE, 2018. – С. 1–4.
2. Могилатов В.С., Злобинский А.В. Геоэлектрический эксперимент в Арктике (проект) // Геофизика. – 2016. – № 1. – С. 75–80.
3. Могилатов В.С., Осипова П.С., Злобинский А.В. Теоретико–методическое обоснование зондирований становлением электромагнитного поля с дрейфующего льда в Арктике // Геология и геофизика. – 2020. DOI: 10.15372/GiG2019130 (В печати).
4. Осипова П.С., Могилатов В.С., Злобинский А.В. Моделирование сигнала электромагнитных зондирований с ледовой поверхности в Арктике // Интерэкспо ГЕО–Сибирь: XV Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 9 т. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 116–123.
5. Персова М.Г., Соловейчик Ю.Г., Тригубович Г.М. Компьютерное моделирование геоэлектроманнитных полей в трехмерных средах методом конечных элементов // Физика Земли. – 2011. – № 2. – С. 3–14.

REFERENCES

1. Mogilatov V.S. Morskie geoelektromagnitnye issledovaniya s kontroliruemyimi istochnikami [Elektronnyj resurs] // Geomodel' 2018: 20-ya yubilejnaya konferenciya po voprosam geologorazvedki i razrabotki mestorozhdenij нефти i gaza (g. Gelendzhik, 10–14 sentyabrya 2018 g.): Tezisy dokladov. – Gelendzhik: EAGE, 2018. – S. 1–4.
2. Mogilatov V.S., Zlobinskij A.V. Geoelektricheskiy eksperiment v Arktike (proekt) // Geofizika. – 2016. – № 1. – S. 75–80.
3. Mogilatov V.S., Osipova P.S., Zlobinskij A.V. Teoretiko–metodicheskoe obosnovanie zondirovanij stanovleniem elektromagnitnogo polya s drejfuyushchego l'da v Arktike // Geologiya i geofizika. – 2020. DOI: 10.15372/GiG2019130 (V pechati).
4. Osipova P.S., Mogilatov V.S., Zlobinskij A.V. Modelirovanie signala elektromagnitnyh zondirovanij s ledovoj poverhnosti v Arktike // Interekspo GEO–Sibir': XV Mezhdunar. nauch. kongr. (g. Novosibirsk, 24–26 aprelya 2019 g.): Mezhdunar. nauch. konf. "Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Ekonomika. Geoekologiya": Sbornik materialov v 9 t. – Novosibirsk: SGUGiT, 2019. – T. 2. – № 2. – S. 116–123.
5. Persova M.G., Solovejchik YU.G., Trigubovich G.M. Komp'yuternoe modelirovanie geoelektromagnitnyh polej v trekhmernykh sredah metodom konechnykh elementov // Fizika Zemli. – 2011. – № 2. – S. 3–14.

© П.С. Осипова, А.В. Злобинский, В.В. Потанов, 2020