

YM3-04

Some Technological Aspects of Start-Stop Electromagnetic Soundings in the Transition Zone of the Shelf

A.S. Bashkeev, Y.A. Davidenko, K.V. Abornev, S.V. Bukhalov, S.V. Iakovlev

Summary

The transition zone is a zone of shallow water immediately adjacent to the coastline of offshore areas, where, due to the shallow depth of the sea (less than 10-15 m.) and marine geophysics are rather complicated; at the same time, the useage of ground-based start-stop EM sounding is impossible because of the deep water (more than 2 m). In this paper, we will consider some technological aspects of start-stop measurements in the transit zone on the example of test work in the shallow waters of the Black Sea.

Некоторые технологические аспекты старт-стопных электромагнитных зондирований в транзитной зоне шельфа

А.С. Башкеев (ИРНТУ), Ю.А. Давыденко (ООО «Гелиос», ИРНТУ), К.В. Аборнев (ООО «Гелиос», ИРНТУ), С.В. Бухалов (ИРНТУ), С.В. Яковлев (ООО «Гелиос»)

Введение

Транзитная зона, переход «суша-море» или предельное мелководье – полоса мелководья, непосредственно примыкающая к береговой линии морских акваторий, где из-за малой глубины моря (менее 10-15 м.) и наличием различного рода опасностей для плавсредств (неровности подводного рельефа, рифовые образования, мели и зоны осушки и т.п), нехарактерных для открытого моря, морские геофизические работы, если не невозможны, то сильно осложнены (Verba *et al.* 2000); в то же время применение наземных старт-стопных электромагнитных зондирований в этой зоне осложнено большой для подобных работ глубиной (более 2 м) и совершенно другими требованиями к аппаратной части используемых комплексов, некоторые из которых будут рассмотрены в данной работе.

Аспекты старт-стопных электромагнитных зондирований будут рассматриваться на примере проведенных тестовых работ на побережье Черного моря в Рыбацкой бухте г. Геленджик методом электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) – методе импульсной электроразведки с заземленными источниками и приемниками (геометрия установки «линия-линия») (Davidenko *et al.* 2015).

Теория и метод

Регистрация данных в морских электроразведочных работах, по крайней мере, в дифференциально-нормированном методе электроразведки (ДНМЭ) – наиболее часто применяемой электроразведочной технологии на акваториях российских морей – производится непрерывно во время движения морского судна посредством буксируемой измерительной косы (Zhugan *et al.* 2017); в то время, как регистрация данных в наземных старт-стопных площадных, либо профильных электроразведочных работах производится при неподвижности измерительной косы, обусловленной необходимостью хорошего контакта приемных электродов со средой. Старт-стопные электромагнитные зондирования сочетают в себе аспекты как морских, так и наземных работ:

- комбинация питающих электродов в генераторной линии:
 - если точка заземления находится на суше, либо в воде с глубиной до 1 м, то заземление производится, как при наземных работах – посредством грядки железных электродов;
 - если точка заземления находится в воде с глубиной более 1 м, то заземление производится, как при морских работах – посредством графитопластовых труб, но зафиксированных вертикально на морском дне с помощью якорей, либо других грузов.
- измерительная коса должна обладать отрицательной плавучестью и герметичностью, как при морских работах;
- измерительная коса во время регистрации данных должна быть неподвижной, как при наземных работах;
- приемные электроды используются такие же, как при морских работах.

Тестирование приемных электродов

При планировании тестовых измерений встал вопрос о материале для приемных электродов, что привело к испытаниям слабополяризующихся свинцовых и неполяризующихся керамических электродов. Для данных работ была изготовлена специальная измерительная коса с двумя каналами (**Рисунок 1**). В качестве разъема был использован разъем СН-41Б-16, как и на штатных косах аппаратно-программного электроразведочного комплекса (АПЭК) «Марс», посредством которого были выполнены эти и последующие зондирования в данной работе.

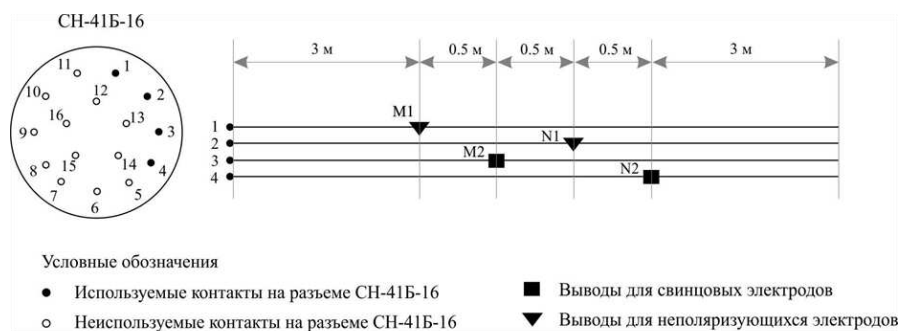


Рисунок 1. Схема измерительной косы, изготовленной для тестирования приемной электродов.

Тестирование электродов заключалось в оценке уровня собственных шумов. Оценка собственных шумов электродов проводилась как в пресной воде в бассейне реки Ангары (г. Иркутск), так и на Черном море (г. Геленджик). Разносы MN для обоих типов электродов составляют по 1 м. Места выводов для свинцовых и неполяризующихся электродов выполнены со смещением в 0,5 м. Трехметровые «хвосты» на измерительной косе оставлены для уменьшения помех, вызванными при колебаниях косы (Bashkeev *et al.* 2014). Измерительная коса была погружена в воду (**Рисунок 2**), после чего без какого-либо искусственного источника, с помощью измерительного модуля «Марс» производилась запись.

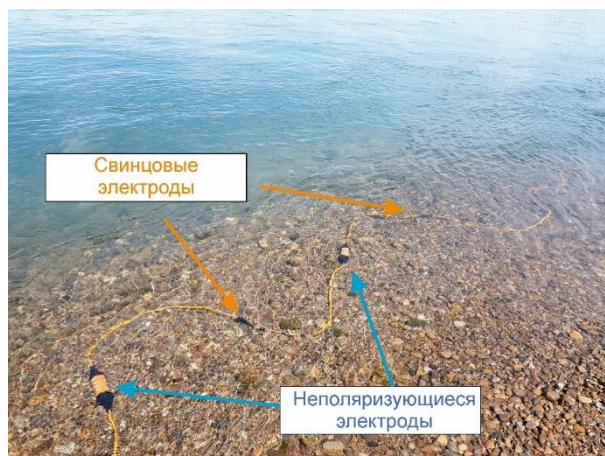


Рисунок 2. Общий вид измерительной косы для исследования собственных шумов свинцовых и неполяризующихся электродов.

Полученные данные обрабатывались штатными программными средствами АПЭК «Марс» (Davidenko *et al.* 2015), затем были посчитаны медианы напряжений для всех записанных треков. При записи данных в пресной воде длина трека составила 460 мс, а в морской — 300 мс. Количество накоплений для обоих случаев составило 300 итераций. По построенным графикам (**Рисунок 3**) видно, что свинцовые электроды имеют больший разброс медианы, чем неполяризующиеся, поэтому очевидно преимущество неполяризующихся электродов перед свинцовыми. Более низкий разброс значений обусловлен, скорее всего, исключением непосредственного контакта металлического проводника с донными отложениями. И если

максимальная амплитуда разброса значений в пресной воде для свинцовых электродов составляет 25-30 мВ, то в морской воде это значение едва достигает 1 мВ, хотя в обоих случаях измерения проводились в городской черте с сильными промышленными помехами.

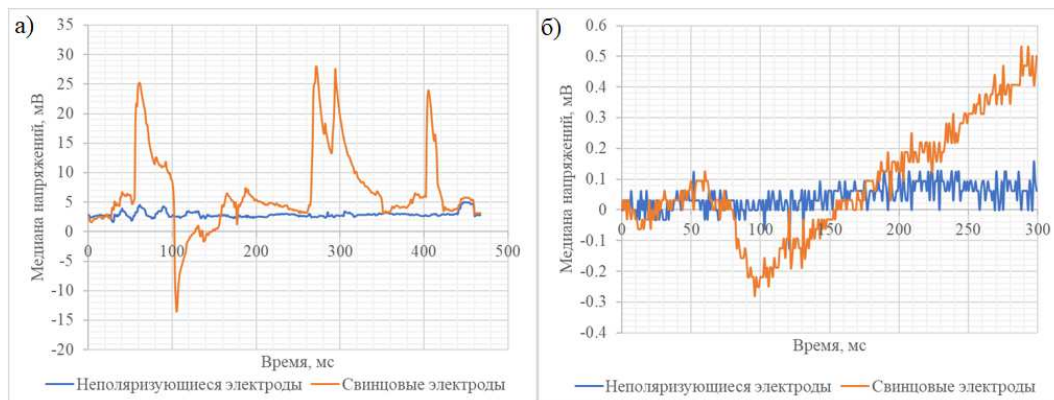


Рисунок 3. Графики медиан напряжений: а) для пресной воды (р. Ангара); б) для морской воды (Черное море).

Исходя из полученных данных, было принято решение использовать неполяризующиеся электроды из керамики.

Тестовые работы

Работы старт-стопными электромагнитными зондированиями проводились в сентябре 2018 г. на берегу Черного моря в Рыбацкой бухте г. Геленджик (Рисунок 4) для тестирования системы перед выходом в море. Питаящая линия была заземлена и заякорена в море. С помощью поплавков графитопластовые электроды были расположены вертикально, а подвязанный снизу груз не позволял течению снести электроды. В качестве источника тока выступал 20 кВт-ный дизельный генератор Yamaha EDL20000TE. Для возбуждения разнополярных импульсов использовался генератор КЭР-200 с блоком стабилизации ИПС3000. Вся силовая аппаратура располагалась на берегу.

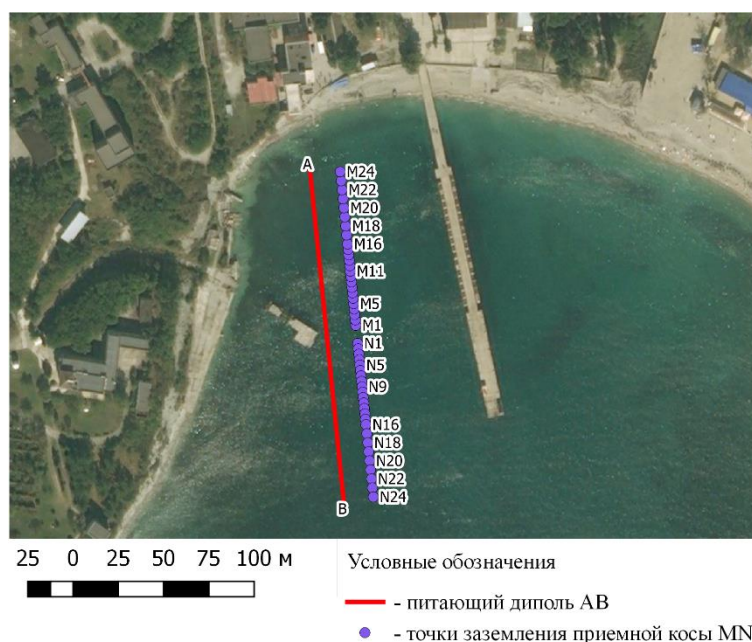


Рисунок 4. Схема старт-стопных электромагнитных зондирований.

Приемная 24-х канальная коса была растянута с берега параллельно питающей линии на расстоянии 20 м. Оператор-геофизик с измерительным модулем располагался, как и силовая аппаратура, на берегу. Ниже перечислены основные характеристики использованной установки:

- Генераторная часть:
 - длина питающей линии – 200 м.;
 - питающие электроды из графитопласти.
 - генератор разнополярных импульсов – КЭР-200 с блоком стабилизации ИПС3000;
 - источник тока – Yamaha EDL20000TE;
 - время импульса и паузы – 500 мс;
 - номинальный ток в линии – 50 А;
- Приемная часть:
 - приемный модуль – ИРПГ-24 с 32-х разрядными сигма-дельта АЦП с частотой дискретизации 16 кГц;
 - длина приемной косы – 180 м.;
 - неполяризуемые электроды из керамики.

Самый большой разнос MN составил 180 м, а самый маленький – 10 м. Схема установки со всеми размерами приемных и генераторных линий представлена ниже (**Рисунок 5**).

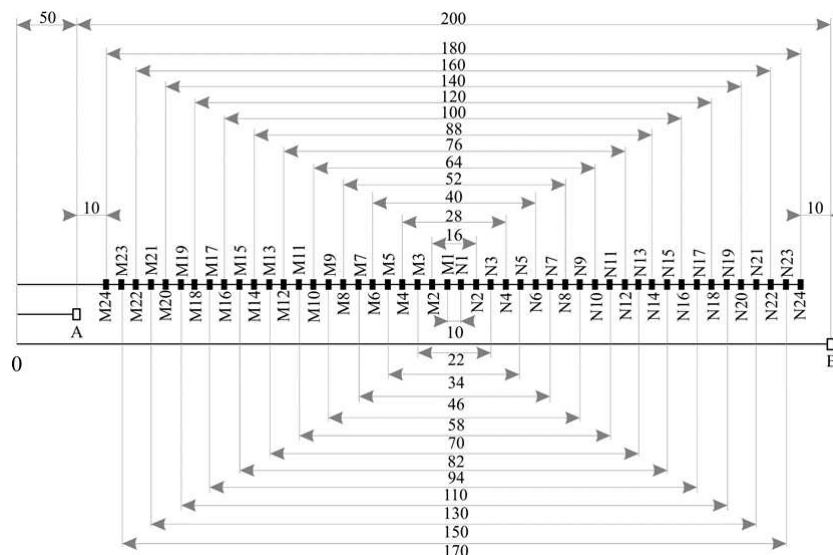


Рисунок 5. Схема использованной установки. Разносы приемных линий MN, взаимное расположение питающих электродов A и B.

Из-за относительной близости приемных электродов группы $M_{24}N_{24}$ - $M_{23}N_{23}$ к питающим электродам A и B, на каналы 24 и 23 сильнее всего влияют искажения геометрии установки, поэтому полученные кривые зондирования с данных каналов не будут учитываться при инверсии.

Обратная задача

Обработка данных электромагнитных зондирований производилась на базе технологии метода электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗ-ВП) и программного обеспечения АПЭК «Марс», хорошо зарекомендовавшей себя при поисках рудных полезных ископаемых на Горном Алтае (Davidenko *et al.* 2018). Обратная задача решалась в рамках широко применяемой феноменологической одномерной горизонтально-слоистой поляризуемой модели Cole-Cole, описывающей процессы вызванной поляризации с точки зрения частотной дисперсии электрического сопротивления среды (Cole *et al.* 1941).

Ни для не секрет, что решение обратной задачи электроразведки сопровождается большой степенью эквивалентности, с которой можно справиться благодаря априорной информации, которой к сожалению для данного участка не нашлось. Единственными вводными известными параметрами стали: параметры верхнего слоя, а именно воды, и параметры нижнего слоя, которые были взяты из морских работ. Соответственно, за недостатком априорной информации, обратная задача решалась в два этапа. На первом этапе решение производилось без учета поляризации и становления поля, что приблизило используемый метод к методам ВЭЗ. На втором этапе поляризационные параметры были раскреплены и был произведен расчет обратной задачи с учетом становления поля.

Первый этап – подбор на постоянном токе без учета вызванной поляризации. Значения наблюдаемых кажущихся УЭС не превышало 6 Ом*м. АВ/2 для всех разносов составляло 100 м., изменялись только разносы MN. УЭС и мощность слоя 1, ассоциирующегося со слоем морской воды, были закреплены на 0.7 Ом*м и 5.9 м. соответственно. На первом этапе решения обратной задачи удалось снизить невязку для кажущегося УЭС до 0.54 % и получить модель УЭС (**Рисунок 6**).

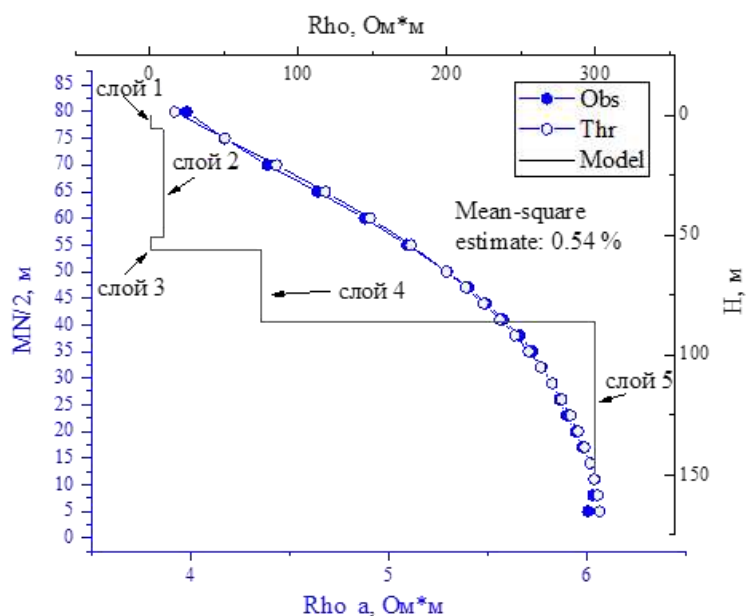


Рисунок 6. Графики кажущихся УЭС: наблюдаемой и теоретической, с наложенным графиком модели УЭС

Второй этап – подбор поля становления с учетом постоянного тока и вызванной поляризации. В качестве стартовой модели использовалась модель, полученная на предыдущем этапе. Среднеквадратическая невязка увеличилась и составила в среднем 10.6 %. В результате подбора стартовая модель практически не изменилась (**Рисунок 7**), за исключением четвертого слоя: УЭС четвертого слоя увеличилось с ~ 75 Ом*м до 160 Ом*м, а мощность уменьшилась на 4 м. Появившаяся в модели поляризуемость во втором и третьем слоях на уровне 4-6 % может свидетельствовать о индустриальной загрязненности (в виде металлических объекты) полосы мелководья вдоль побережья Рыбацкой бухты.

Самые меньшие значения невязок получились на средних разносах 7-15 (средняя невязка 4.14 %), самые большие значения – на разносах 18-22 – в среднем 21.02 %. На график (**Рисунок 8**) выведены некоторые нормированные кривые зондирования с различных разносов, на котором видно, что на разносе 20 модельная кривая отличается кратно, что нельзя сказать о других кривых зондирования. В целом, все кривые на разносах 18-22 имеют подобную разность, и если посмотреть на графики кажущихся УЭС (**Рисунок 6**), то можно увидеть примерно то же самое.

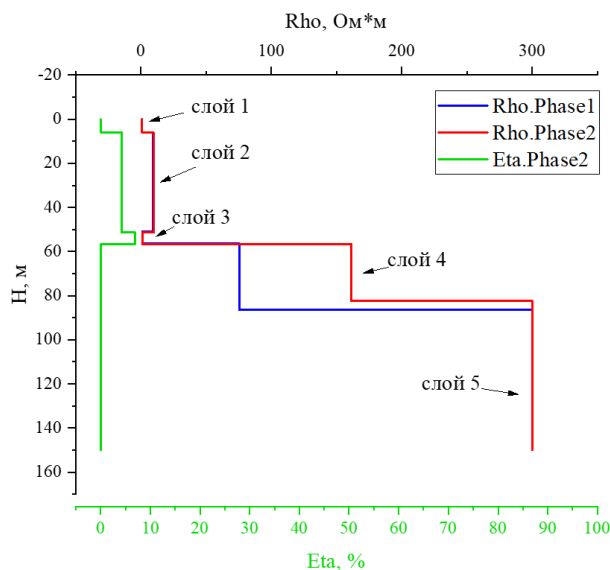


Рисунок 7. Результирующие модели на этапе 1 и 2

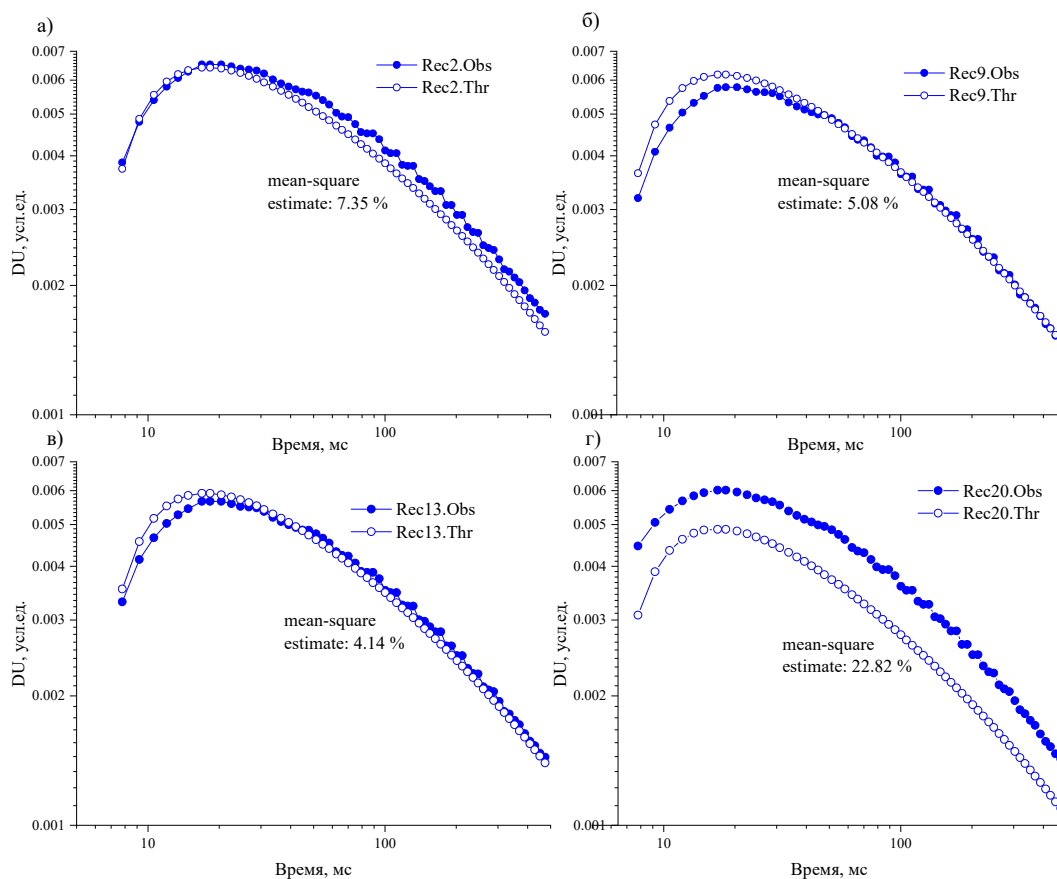


Рисунок 8. Графики кривых зондирования, нормированных на прямое поле: а) разнос 2 ($MN/2 = 8$ м.); б) разнос 9 ($MN/2 = 29$ м.); в) разнос 13 ($MN/2 = 41$ м.); г) разнос 20 ($MN/2 = 70$ м.)

Высокая невязка на больших и самых малых разносах, скорее всего, связана с изменчивостью глубины воды – если начало установки находилось на глубине ~ 2 м., то конец на $\sim 6-7$ м. Данную проблему можно избежать, используя многоразносную приемную косу с фиксированной длиной MN , которые используются для наземных работ. Очевидно, что существенная изменчивость водного слоя и геологической среды в пределах приемной установки не позволяет

получить единую одномерную геологическую модель, добившись при этом низкой невязки для всех разностей.

Выводы

Исследования электромагнитными зондированиями в области шельфа накладывают на системы электроразведки определенные требования, некоторые из которых были рассмотрены в данной работе. Для измерений в транзитной зоне для минимизации собственных шумов необходимо использовать неполяризующиеся электроды. Тестовые работы в транзитной зоне показали, что для старт-стопных измерений необходимо использовать приемную косу с фиксированной длиной MN.

Работа выполнена при поддержке базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ №13.7232.2017/8.9.

References

Bashkeev, A.S., Bukhalov S.V. [2014]. Examples of the use of robust statistics methods for the processing of pulsed electroprospecting survey data, *15th Ural'skaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike*, 38-40, Yekaterinburg, Abstracts. (in Russian).

Cole, K.S., Cole, R.H. [1941] Dispersion and absorption in dielectrics. Alternating current characteristics. *Chemical Physics*, **9**(4), 341-351.

Davidenko, Yu.A., Aikasheva, N.A., Bashkeev, A.S., Faustova, A.Yu., Bogdanovich, D.V. [2018] The results of application of pulsed electrical prospecting in search for deposits of ore minerals in the mountain Altai, *EAGE, 14th Conference & Exhibition on Engineering and Mining Geophysics 2018*. Extended Abstract. DOI: 10.3997/2214-4609.201800535. (in Russian).

Davidenko, Yu.A., Davidenko, A.Yu., Pesterev, I.Yu., Yakovlev, S.V., Davidenko, M.A., Komyagin, A.V. and Shimyansky, D.M. [2012] Method of measurement and processing of transient processes with grounded line under pulsed excitation of field by electric dipole in order to construct geoelectric sections and device for carrying out the method using hardware software electroprospecting complex (HSEPC "MARS"). *Patent for invention*, RU, no. 2574861. (in Russian).

Verba, M.L., Budagov, A.G., Keller, M.B., Griaznov, N.N., Grigorenko, Yu.N. [2000]. Problems of oil and gas potential investigation of transit zones of Russia's Arctic shelf, *Oil and gas geology*, **6**, 2-7. (in Russian).

Zhugan, P.P., Sitnikov, A.A., Ageenkov, E.V., Ivanov, S.A., Maltcev C.Kh. [2017]. Equipment, devices and surveying systems to solve the problems of oil and gas exploration and engineering geology in water areas with application of DNME and NDEMS electrical prospecting methods, *Devices and systems of exploration geophysics*, **2**, 42-49. (in Russian).