

Том II, с. 223–226

УДК: 550.372 + 621.371

ГЕОРАДАРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА БАРГУЗИНСКОГО ЗАЛИВА

Ю. Б. Башкуев, В. Б. Хаптанов, М. Г. Дембелов

*Институт физического материаловедения, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: buddich@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты определения геоэлектрического разреза Баргузинского залива на оз. Байкал по данным георадарных и радиоимпедансных зондирований. Предложена методика донного электрического картирования прибрежной зоны акватории по удельному сопротивлению в рамках многослойной модели среды с плохо и хорошо проводящим основанием. Комплексная интерпретация георадарного и радиоимпедансного зондирований позволила получить подробную информацию о геоэлектрическом строении водной среды Баргузинского залива на оз. Байкал.

Ключевые слова: георадиолокация; радиоимпедансное зондирование; геоэлектрический разрез; озеро Байкал; Баргузинский залив; распространение радиоволн

GEORADAR STUDY OF THE ICE COVER OF THE BARGUZIN GULF

Yu. B. Bashkuev, V. B. Khaptanov, M. G. Dembelov

Abstract. The results of the study of the Barguzin Bay geoelectric profile on the lake Baikal according to GPR and radioimpedance soundings are presented. The technique of the bottom electric mapping of the coastal zone of the Barguzin Bay water area on the lake Baikal by resistivity within the framework of a multilayer medium model with a poorly and well conducting base is proposed. A comprehensive interpretation of radioimpedance and georadar soundings made it possible to obtain detailed information on the geoelectric structure of the aquatic environment of the Barguzin Bay on the lake Baikal.

Keywords: GPR; radioimpedance sounding; geoelectrical section; Lake Baikal; Barguzin Bay; radio wave propagation

Введение

Целью работы является определение параметров геоэлектрического разреза Баргузинского залива оз. Байкал по данным георадарных и СДВ-ДВ радиоимпедансных зондирований. Материалы статьи продолжают наши исследования электромагнитных характеристик оз. Байкал [1–3]. До этого исследования авторы работы имели опыт обширного исследования ледяного покрова оз. Байкал георадаром «Око-2» [4–6] с борта катера на воздушной подушке «Хивус» в районе дельты Селенги. Измерения проведены комплексом радиоволновых методов георадарного и радиоимпедансного зондирований. В районе исследований пройден георадарный профиль общей протяженностью 30 км. По результатам сверхдлинноволнового – длинноволнового (СДВ-ДВ) радиоимпедансного зондирования в 17 пунктах наблюдений определены поверхностный импеданс и геоэлектрический разрез прибрежной зоны акватории по удельному сопротивлению и диэлектрической проницаемости в рамках многослойной модели среды с плохо и хорошо проводящим основанием.

Георадарное исследование ледяного покрова Баргузинского залива

16-18 марта 2018 г. проведено исследование ледяного покрова Баргузинского залива по 30-км маршруту от пос. Максимиха до мыса Нижнее Изголовье полуострова Святой Нос по внешнему периметру Баргузинского залива. На рисунке 1 представлен маршрут измерений на фрагменте

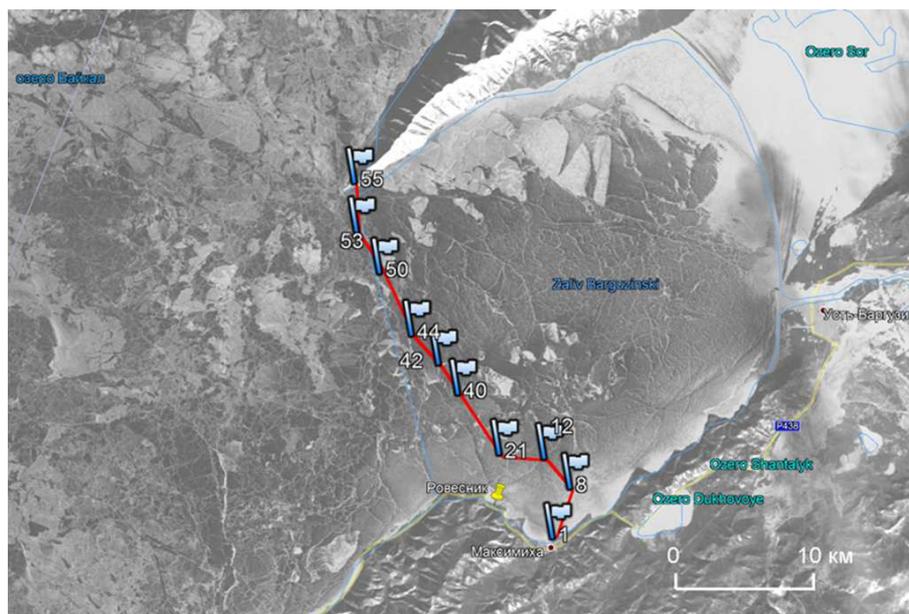


Рис. 1. Схема георадарного маршрута «Максимиха – мыс Н. Изголовье» через Баргузинский залив на фрагменте спутникового снимка ледовой обстановки 06.03.2018 г.

спутникового снимка ледовой обстановки в районе Баргузинского залива от 06.03.2018 г. Антенный блок АБ-1700 для георадара «Око-2» был закреплен на выносной деревянной балке впереди автомобиля УАЗ-452 на высоте 0,35 м от снежно-ледовой поверхности.

Толщина льда на маршруте профиля в основном составляла около 0,9 м, увеличиваясь до 0,95-1,0 м на мелководных участках вблизи южного и северного берегов залива (рисунок 2). В местах интенсивного торошения толщина льда увеличивалась до 1,2-1,4 м, есть небольшие участки уменьшения толщины льда до 0,5-0,6 м. Калибровочное зондирование льда с бурением скважины дало диэлектрическую проницаемость льда $\epsilon = (c \cdot \Delta T / 2h)^2 = 3,4$, где $c = 3$ м/нс – скорость света, $h = 0,9$ м – толщина льда, $\Delta T = 11,06$ нс – время прохождения зондирующего импульса от верхней до нижней кромки льда и обратно. Удельное электрическое сопротивление (УЭС) льда составляет 100-200 и более тысяч Ом·м. Точное его значение прямыми измерениями пока не определено. Разработка метода измерений УЭС пресноводного льда представляет новую актуальную задачу. Концентрация солей в ледяном покрове озера изменяется от 18 до 2,5 мг/л (при минерализации воды 120 мг/л). В конце зимы при толщине льда около 1м распределение концентрации солей по высоте имеет минимум 2,5 мг/л в центральной и нижней части керна. Верхний слой 0-4 см имеет концентрацию 18 мг/л (для сравнения дистиллированная вода имеет концентрацию 10 мг/л и УЭС 2540 Ом·м). УЭС воды из керна льда при температуре 2°С изменяется от 1600 до 8700 Ом·м в слое 40-50 см. Верхний предел значительно выше УЭС бидистиллированной воды (4380 Ом·м). Следовательно, вода из байкальского льда почти не имеет примесей и близка по свойствам к бидистиллированной воде. УЭС байкальской воды при температуре 2°С составляет примерно 130-150 Ом·м.

На рисунке 3 приведены радарограммы льда в районе «становой» трещины и через калибровочную скважину. В обоих случаях фиксируется отсутствие отражения от нижней кромки льда.

Радиоимпедансные зондирования и их анализ

Радиофизическая задача определения геоэлектрического разреза прибрежной зоны Баргузинского залива решалась на основе анализа амплитудно-фазовой структуры электромагнитного поля в 17 пунктах наблюдения по данным метода радиоимпедансного зондирования [7]. Для измерений использованы электромагнитные поля СДВ-ДВ радиостанций. Селективный микровольтметр-фазометр ИПИ-300 измеряет частотную зависимость модуля δ и фазы φ поверхностного импеданса, по которым при решении обратной задачи для модели слоистой

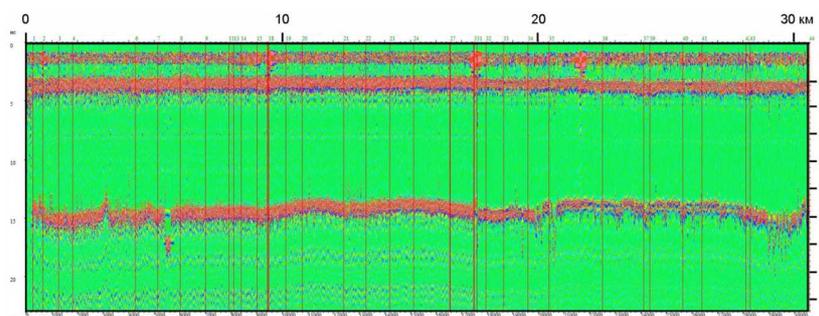


Рис. 2. Радарограмма толщины ледяного покрова на 30-км профиле через Баргузинский залив.

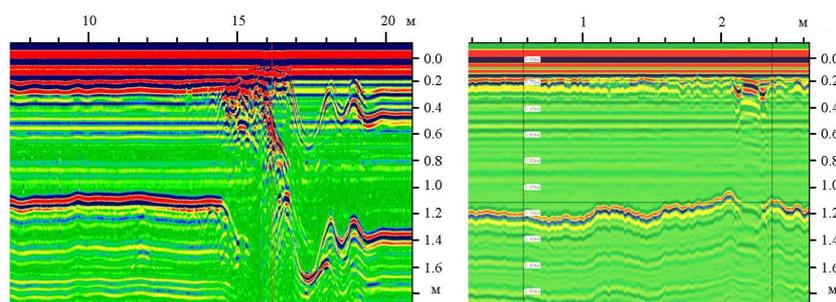


Рис. 3. а) Радарограмма «становой» щели; б) Радарограмма через калибровочную скважину.

среды находятся параметры геоэлектрического разреза (ρ_i , ϵ_i , h_i). Погрешности измерения модуля и фазы импеданса составляли $\pm 5\%$ и $2 \div 3\%$, соответственно. Для решения обратной задачи электромагнитного зондирования для слоистой полупроводящей среды, удовлетворяющей импедансным граничным условиям, был выбран метод регуляризации на основе гипотетического разреза [8]. Метод решения обратной задачи основан на минимизации сглаживающего функционала А.Н. Тихонова. По результатам измерений поверхностного импеданса и интерпретации радиоимпедансных зондирований построен геоэлектрический разрез (ГЭР) прибрежной части Баргузинского залива на глубину до 100 м (рис. 4). Поверхностный импеданс акватории в зимнее время зависит от глубины и электрических параметров льда и снега, воды, донных отложений, поэтому в диапазоне СДВ-ДВ акваторию следует рассматривать как многослойную среду «снег-лед-пресная вода-донные отложения». Слой льда оказывает существенное влияние на величину поверхностного импеданса акватории в диапазонах ДВ-СВ-КВ и УКВ. ГЭР «пресная вода - донный грунт» прибрежной зоны в летнее время определен как двухслойный типа $\rho_1 < \rho_2$ до расстояний не более 1 км от берега. Донные отложения ρ_2 представлены глыбово – валунно – галечниковыми отложениями с УЭС от 530 до 980 Ом·м. УЭС ρ_1 воды изменяется от 127 до 146 Ом·м.

Заключение

Определены геоэлектрический разрез прибрежной зоны акватории Баргузинского залива и диэлектрическая проницаемость пресноводного льда $\epsilon = 3,4$. Обосновано применение метода радиоимпедансного зондирования для донного электрического картирования прибрежной зоны акватории по удельному сопротивлению в рамках многослойной модели среды с плохо и хорошо проводящим основанием.

Благодарности

Доклад подготовлен по госбюджетному проекту «Распространение радиоволн в неоднородных импедансных каналах» и частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-47-030006).

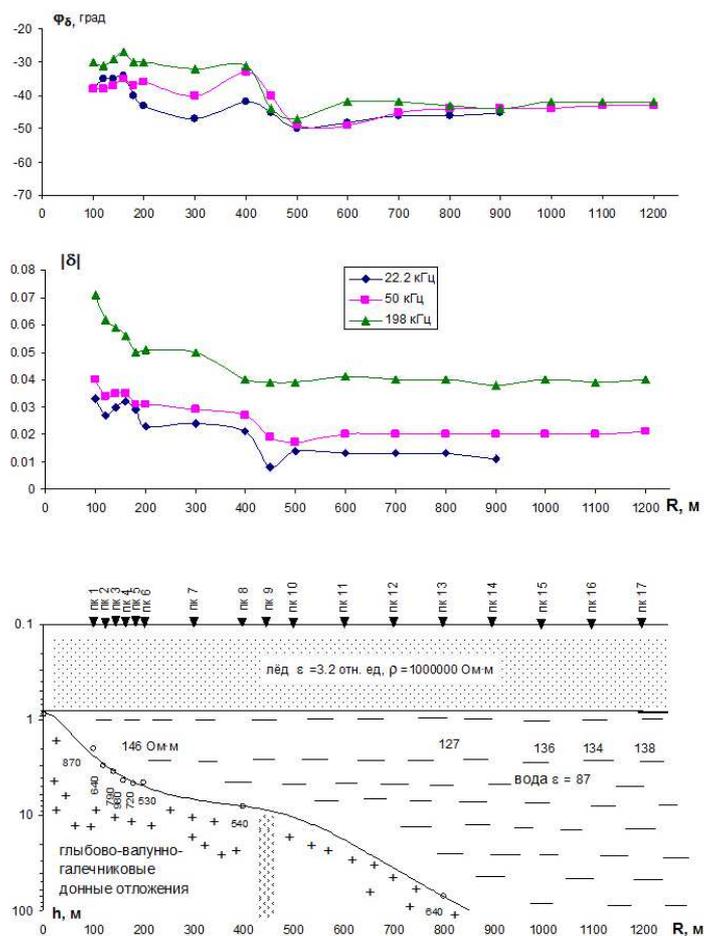


Рис. 4. Результаты измерений модуля δ и фазы φ поверхностного импеданса и их интерпретация на профиле «мыс Н. Изголовье – полуостров Святой Нос».

Список литературы

1. Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р., Хаптанов В.Б., Буянова Д.Г., Ангархаева Л.Х. Электромагнитные характеристики акватории оз. Байкал // Геология и геофизика. 1993. № 9. С. 118–126.
2. Тулохонов А.К., Гармаев Е.Ж., Башкуев Ю.Б., Ломухин Ю.Л., Хаптанов В.Б., Дембелов М.Г., Слипечук М.В., Доржиев Б.Ч., Очиров О.Н. Радиофизический мониторинг ледяного покрова озера Байкал // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С.73-80.
3. Bashkuev Yu.B., Khaptanov V.B., Dembelov M.G., Angarkhaeva L.Kh, Boloev V.P. and Hayakawa M. Radioprobing of underground structure of the Failure Gulf, formed as a result of the M7.5 Tsagan earthquake // Physics and Chemistry of the Earth. 2006. V. 31. Issues 4-9. P. 210–214.
4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. - М.: Издательство МГУ, 2004. 153 с.
5. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «Око-2». Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. ООО «Логические Системы». Москва, 2006. 101 с.
6. GeoScan32. Иллюстрированное руководство пользователя - Раменское, Московский регион: ЛОГИС, 2013. 132 с.
7. Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред / Ю.Б. Башкуев. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1996. 207 с.
8. Ангархаева Л.Х. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610893. Пакет программ «Импеданс» для решения задач радиоимпедансного зондирования. М.: РОСПАТЕНТ, 06.06.2002.