

УДК 621.371

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ОНЧ-НЧ И УВЧ-СВЧ РАДИОВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР**Хаптанов В.Б., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г.***Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: vkhaptanov@mail.ru*

Рассмотрены вопросы комплексирования ОНЧ-НЧ и УВЧ-СВЧ радиотехнических методов для радиоволновой диагностики разломных структур в земной коре в широком диапазоне радиоволн (от десятков килогерц до единиц гигагерц). Радиоимпедансное профилирование и зондирование в диапазоне ОНЧ-НЧ позволяют обнаружить и локализовать разломы в земной коре по изменению импеданса и геоэлектрического разреза. Георадиолокация разломных структур на УВЧ-СВЧ частотах позволяет дифференцировать тонкую структуру разлома вплоть до отдельных сейсмодислокаций в осадочных и кристаллических породах и кинематику движений в разломной зоне.

Ключевые слова: радиоволновая диагностика, разломные структуры, радиоимпедансное зондирование, георадиолокация, сейсмодислокации

INTEGRATION OF THE VLF-LF AND UHF-VHF RADIOWAVE METHODS FOR FAULT STRUCTURES DIAGNOSIS**Khaptanov V.B., Bashkuev Y.B., Dembelov M.G.***Institute of Physical Materials Science of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, e-mail: vkhaptanov@mail.ru*

The problems of integration VLF-LF and UHF-VHF radio methods for radiowave diagnostics of faults in the earth's crust in a wide range of radio waves (from tens of kilohertz to gigahertz units). Radioimpedance profiling and sounding in the VLF-LF range can detect and locate faults in the earth's crust to change the impedance and geoelectric section. GPR fault structures in the UHF-VHF microwave frequencies allows us to differentiate the fine structure of the fault up to the individual seismic dislocations in sedimentary and crystalline rocks and the kinematics of the movements in the fault zone.

Keywords: radiowave diagnosis, fault structures, radioimpedance sensing, GPR, seismic dislocations

В докладе обобщен опыт исследования разломных структур комплексом радиотехнических методов интроскопии (радиоволновой диагностики) верхней части земной коры – ОНЧ-НЧ радиоимпедансное профилирование-зондирование, УВЧ-СВЧ георадиолокация. Разломные зоны земной коры являются свидетельствами сейсмической активности земной коры. Изучение активности разломов, характера происшедших движений земной коры и степени катастрофичности вызвавших их сейсмособытий является актуальной задачей для региона Байкальского рифта, являющегося, по сути, гигантским разломом в земной коре в условиях растяжения [1]. На суше значительные пространства покрыты чехлом осадочных пород, поверхностных отложений, густой растительности, скрывающей разломные структуры. Водоемы также не способствуют изучению разломов в их донных структурах и генезиса котловин. Для исследования активности разлома используют комплекс геолого-геоморфологических, геофизических и геодезических методов.

Цель исследований – выявление и изучение тектонических нарушений (разломов) земной коры Байкальской Сибири в ОНЧ-НЧ и УВЧ-СВЧ диапазонах радиоволн по данным инструментальных радиофи-

зических наблюдений радиоимпедансным и георадиолокационным методами.

Решаемые задачи. Радиоимпедансная диагностика разломных зон в ОНЧ-НЧ диапазонах. Восстановление геоэлектрического разреза разломных зон по измеренному поверхностному импедансу.

Георадарная диагностика разломных зон на суше и акваториях в диапазонах УВЧ-СВЧ.

Совместное применение радиоимпедансного и георадарного зондирования при исследовании разломных зон.

Техника эксперимента и методика обработки

Метод радиоимпедансного зондирования основан на изучении амплитудно-фазовой структуры электромагнитного поля на границе раздела «воздух-подстилающая среда» [2]. Он позволяет производить непосредственные измерения модуля и фазы поверхностного импеданса с использованием полей ОНЧ-НЧ радиостанций. В режиме профилирования он позволяет выявлять резкие амплитудно-фазовые изменения импеданса, связанные с наличием разломной зоны. Это может быть уменьшение удельного электрического сопротивления (УЭС) в зоне дробления разлома, смена характе-

ра слоистости разреза. Для используемого в работе измерителя поверхностного импеданса ИПИ-300 возможный частотный диапазон определения поверхностного импеданса ограничен диапазоном 10–300 кГц. Глубинность метода на этих частотах может достигать 100–150 м.

Другим радиоволновым методом исследования разломных зон является георадиолокация. Современная георадарная технология волновой диагностики в более высокочастотном диапазоне УВЧ-СВЧ позволяет получить информацию о верхней части разреза [3]. Метод дает возможность визуально контролировать изменения подповерхностной структуры на профиле, пересекающем разломную зону. Георадарное зондирование выполнено георадаром «Око-2» с антенными блоками АБДЛ «Тритон», АБ-400, АБ-700, АБ-1700 имеющими центральные частоты спектра зондирующего радиоимпульса 50, 400, 700 и 1700 МГц соответственно. Глубина зондирования зависит от электрических свойств среды и может составлять от единиц метров на осадочных отложениях до 100 и более метров на кристаллических породах с высоким УЭС. Обработка и визуализация данных георадиолокации производилась программой «GeoScan32» [4].

Сейсмодислокации на дне оз. Котокель

Георадарные исследования на оз. Котокель Прибайкальского района Республики Бурятия (рис. 1а) выявили разломные зоны (1, 2, рис. 1б), по которым произошло опускание 6 км участка дна озера. Амплитуда

опускания может превышать 2 м. На врезке (рис. 1в) крупным планом показано строение разломной зоны 1. На ней отмечены водная толща, донные отложения и линия сейсмодислокации. Кроме того, гиперболические отражения показывают наличие погребенных объектов в толще донных отложений. Ими могут быть, например, стволы деревьев, оказавшихся на дне во время формирования котловины озера во времена палеозоя.

Палеосейсмодислокации Тункинской долины

В Тункинской долине проведена количественная интерпретация слоисто-неоднородной среды в ОНЧ-НЧ и УВЧ-СВЧ диапазонах на глубину до 100 метров. Радиоимпедансные зондирования на частотах 22,2, 50 и 279 кГц на профиле длиной 180 метров в крест простирания Торской палеосейсмодислокации (рис. 2а, б, в) показали резкую смену типа геоэлектрического разреза, проявившуюся в слабо-индуктивном характере поверхностного импеданса (фаза импеданса достигает -16 градусов) на частоте 279 кГц. В результате решения обратной задачи установлено наличие слоя многолетней мерзлоты в предгорной части профиля. Определены УЭС и толщины различных комплексов горных пород. Радиорадиограмма зоны разлома на частоте 50 МГц (рис. 2г), подтверждает наличие слоя многолетней мерзлоты и сеть сейсмодислокаций, имеющих «пальмовую» структуру, в осадочных отложениях.

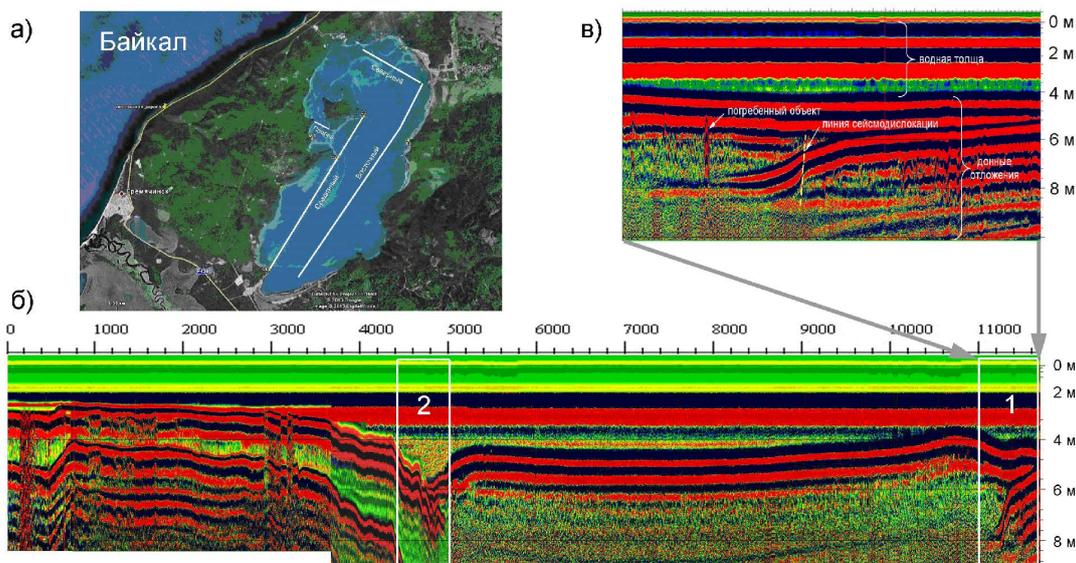


Рис. 1. Профиль «Восточный» на оз. Котокель. Георадар «Око-2». АБДЛ «Тритон» ($f_c = 50$ МГц)

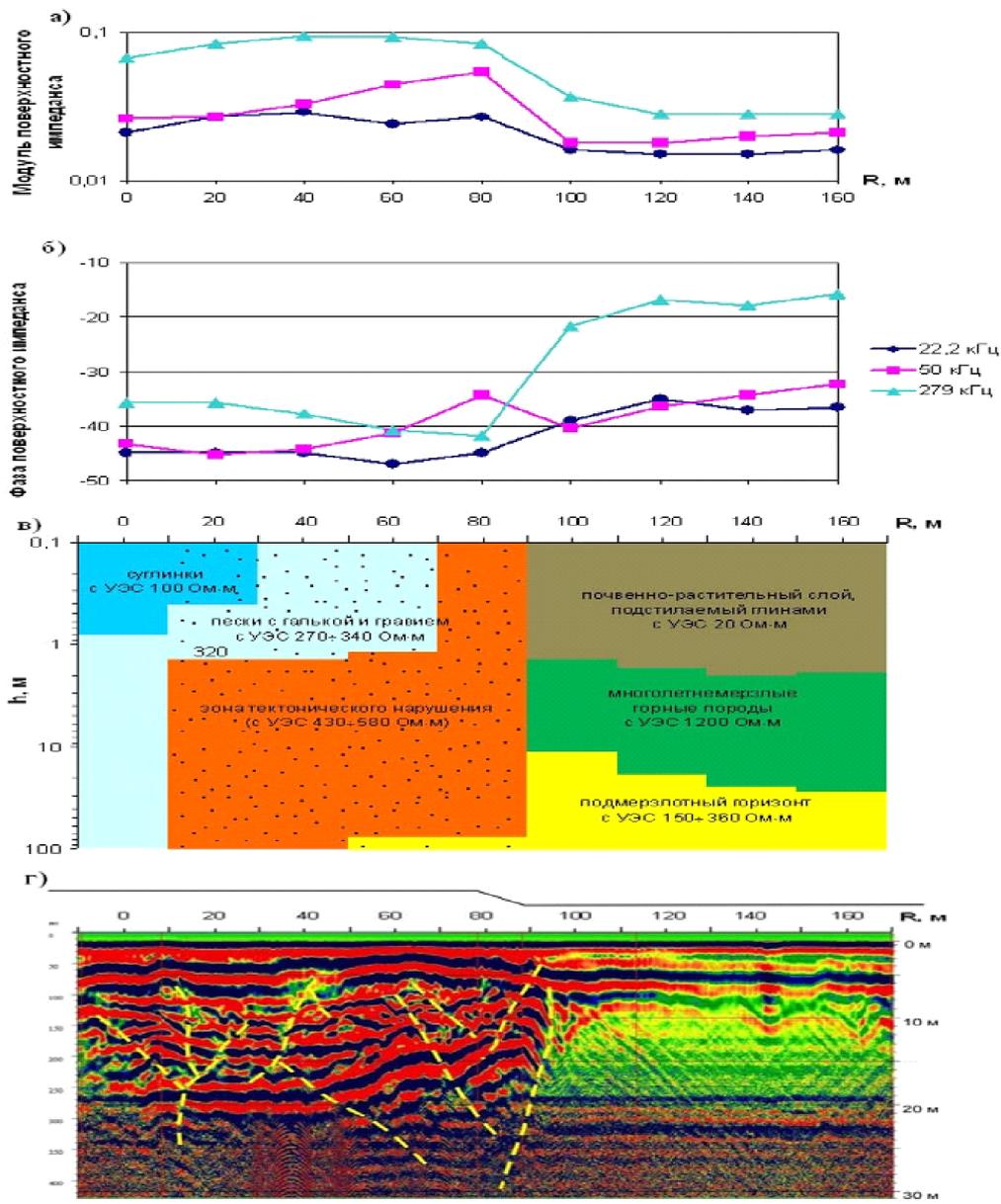


Рис. 2. Результаты радиоимпедансного зондирования на профиле вкрест простирания Торской палеосейсмодислокации:
 а, б – модуль и фаза импеданса на частотах 22,2, 50 и 279 кГц; в – геоэлектрический разрез, зона тектонического нарушения выделена крапом; г – радарограмма зоны разлома, георадар «ОКО-2», антенный блок «Тритон-50 МГц»; вверху – положение уступа, выраженное в рельефе; желтые линии – дислокации в осадочных отложениях

Черемшанское месторождение кварцитов

Совместная интерпретация данных радиоимпедансного и георадарного профилирования выявила строение разломной зоны в кристаллических породах Черемшанского

месторождения кварцитов (рис. 3). Разлом имеет ширину 2 м со смещением крыльев по вертикали 2 м. УЭС кварцита в естественном залегании достигает 4000 Ом·м, доломитов 400 Ом·м. В зонах дробления УЭС пород снижается до 15–50 Ом·м.

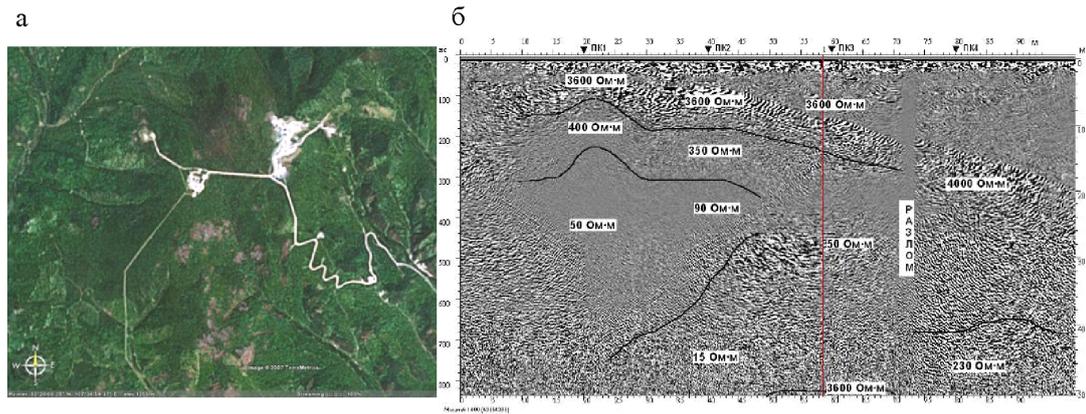


Рис. 3. Черемшанское месторождение кварцитов в Прибайкальском районе Республики Бурятия (а) и радарограмма зоны тектонического разлома вкост его простираения (б) с нанесенными результатами радиоимпедансного зондирования

Байкальские дюны

Георадарным методом выявлено тектоническое нарушение типа сброс под Байкальскими дюнами в п. Горячинск (рис. 4). Желтой прерывистой линией обозначена

линия сброса. Она определяется на радарограмме сменой характера слоистости разреза. Сброс проходит под острым углом к берегу на расстоянии от 190 (профиль 3) до 250 м (профиль 1).

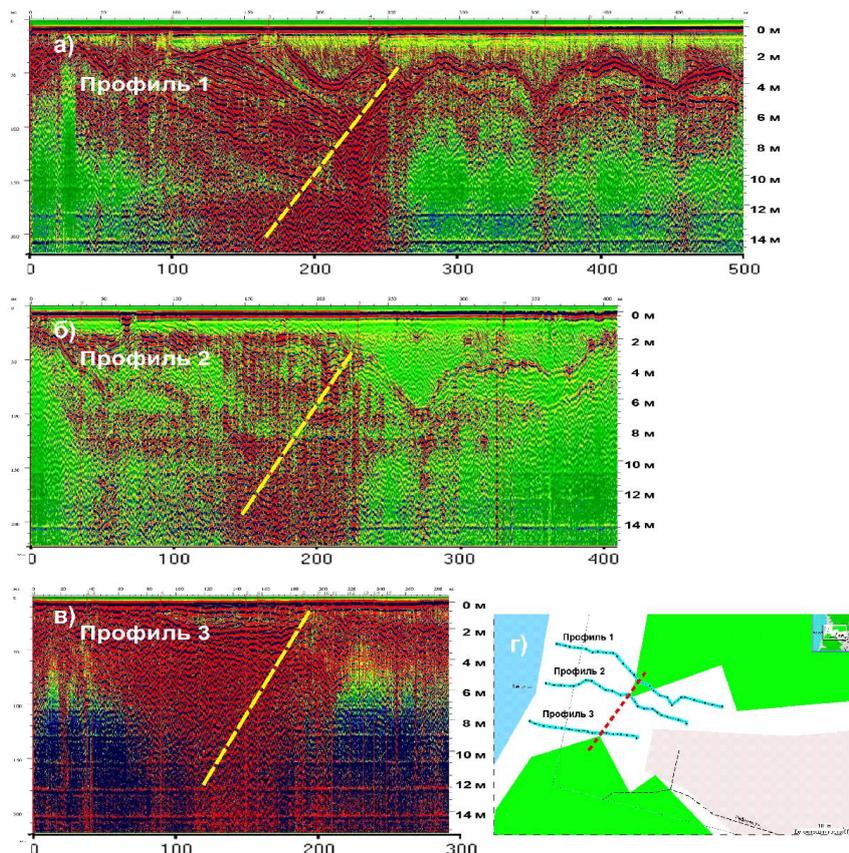


Рис. 4. Радарограммы 3 смежных профилей от берега Байкала (а,б,в) и схема расположения профилей (г). Красным пунктиром показано положение выявленного тектонического нарушения. Георадар «Око-2». Антенный блок АБ-250

Тугнуйский угольный разрез

На угольном разрезе «Тугнуйский» методами георадарного и радиоимпедансного зондирования установлено наличие 4 зон тектонических нарушений и хорошо проводящего обводненного слоя угленосных отложений на глубине более 20 м (рис. 5). По данным радиоимпедансных зондирований определены электрические параметры угленосных отложений, состоящих из тонких слоев алевролитов и угля.

структуру разлома вплоть до отдельных сейсмодислокаций в осадочных и кристаллических породах и определить кинематику движений в разломной зоне. Используемые методы дополняют друг друга и позволяют объективно и количественно описать объект исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетного проекта «Распространение радиоволн в неоднородных импедансных каналах».

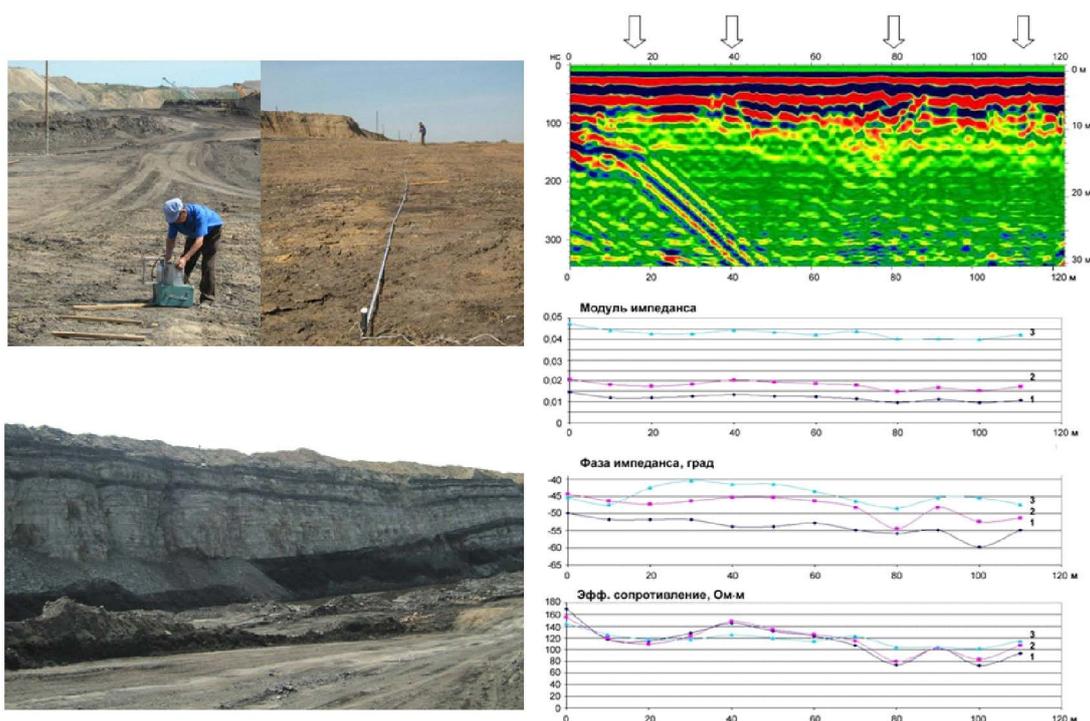


Рис. 5. Фото угольного разреза и результаты георадарных и радиоимпедансных зондирований. Стрелками показаны разломные зоны разреза

Выводы

Доказана перспективность комплексирования ОНЧ-НЧ и УВЧ-ОВЧ радиотехнических методов для радиоволновой диагностики разломных структур в земной коре в широком диапазоне радиоволн (от десятков килогерц до единиц гигагерц). Радиоимпедансное профилирование и зондирование в диапазоне ОНЧ-НЧ позволило обнаружить и локализовать разломы в земной коре по изменению импеданса и геоэлектрического разреза. Георадиолокация разломных структур на УВЧ-СВЧ частотах сделало возможным дифференцировать тонкую

Список литературы

1. Афраймович Э.Л. и др. Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 304 с.
2. Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. – 207 с.
3. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) ОКО-2: Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Версия 2.6, 2009. – URL: <http://www.logsys.ru/>.
4. Программа управления георадаром «Око» и визуализации получаемых данных. Руководство пользователя, 2009. – URL: <http://www.logsys.ru/>.