ISSN 2072-0831

# В мире научных открытий

№ 6(54), 2014

**Естественные и технические науки**

Научный журнал

**Электронная версия журнала размещена на сайте www.nkras.ru/vmno/**

**Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов**

**Журнал основан в 2008 г. ISSN 2072-0831 Импакт-фактор РИНЦ 2012 = 0,153**

Главный редактор – **Я.А. Максимов**
Ответственный секретарь редакции – **К.А. Коробцева**
Технический редактор, администратор сайта – **Ю.В. Бяков**
Компьютерная верстка – **Р.В. Орлов, Л.И. Иосипенко**

# In the World of Scientific Discoveries

No. 6(54), 2014

**Natural & Technical Sciences**

Scientific Journal

**The electronic version takes place on a site www.nkras.ru/vmno/**

**The journal is in the list of leading peer-reviewed scientific journals and editions, approved by Higher Attestation Commission**

**Founded 2008 ISSN 2072-0831 RSCI IF (2012) = 0,153**

Editor-in-Chief – **Ya.A. Maksimov**
Executive Secretary – **K.A. Korobtseva**
Support Contact – **Yu.V. Byakov**
Imposers – **R.V. Orlov, L.I. Iosipenko**

Красноярск, 2014
Научно-Инновационный Центр
---
Krasnoyarsk, 2014
Publishing House Science and Innovation Center

**12+**

**Издательство «Научно-инновационный центр»**

**ISSN 2072-0831**

*Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР)*

**ПИ № ФС 77-39604 от 26 апреля 2010 г.**

**В мире научных открытий.** Красноярск: Научно-инновационный центр, 2014. №6(54) (Естественные и технические науки). 304 с.

*Периодичность – 12 выпусков в год по сериям.*

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН: http://catalog.viniti.ru/

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «В мире научных открытий» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны, в Научной Электронной Библиотеке (НЭБ) – головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного цитирования (ИФ РИНЦ).

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Правила для авторов доступны на сайте журнала: http://www.nkras.ru/vmno/guidelines.html

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:
660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: open@nkras.ru
http://www.nkras.ru/vmno/

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 41278

Учредитель и издатель: Издательство ООО «Научно-инновационный центр»

Свободная цена

**© Научно-инновационный центр, 2014**

13. Хунджуа Г.Г., Андреев Е.Г. Экспериментальные исследования теплообмена между морем и атмосферой при мелкомасштабном взаимодействии // Известия АН СССР: Физика атмосферы и океана. 1974. №10. С. 15.
14. Шулейкин В.В. Физика моря. – М., 1968.

# СРАВНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С СОВРЕМЕННОЙ АППАРАТУРОЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (OHMMAPPER И SYSCAL PRO)

**Груздев А.И., Науменко Д.А., Богданов П.С., Бобачев А.А., Шевнин В.А.**
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,*
*ООО «Питер Газ»,*
*Россия*

# COMPARISON OF CONTACT AND NON-CONTACT MEASUREMENTS WITH MODERN EQUIPMENT IN THE FAR NORTH IN SOLVING GEOLOGICAL PROBLEMS (OHMMAPPER AND SYSCAL PRO)

**Gruzdev A.I., Naumenko D.A., Bogdanov P.S., Bobachev A.A., Shevnin V.A.**
*Moscow State University,*
*LTD «Piter Gaz»,*
*Russia*

*В практике геофизических изысканий методами постоянного тока нередко возникают ситуации, при которых организация гальванических заземлений затруднена или невозможна (скальные породы, мерзлые грунты, дорожное покрытие и т.д.). Для таких территорий разработаны бесконтактные методы измерений. В настоящей работе рассматривается сравнение и возможности совместного использования результатов измерений современными контактными (Syscal Pro) и бесконтактными (OhmMapper) аппаратурными комплексами при проведении инженерно-геофизических изысканий в условиях Крайнего Севера.*

**Ключевые слова:** *бесконтактные измерения, емкостное заземление, OhmMapper, электротомография, Syskal Pro, крайний север, электропрофилирование.*

*Complexity or impossibility of organizing galvanic contact between electrodes and earth is a common situation in DC method practice (hard-rock formations, frozen ground, road pavement, etc.). For such conditions the capacitive resistivity (CR) technology was developed. In our article we discuss the comparison of results obtained modern CR equipment (OhmMapper) and conventional modern DC equipment (Syscal Pro) and the potential of investigations using both technologies for engineering investigation in Russian Far North conditions.*

**Ключевые слова:** *tomographic imaging, capacitive resistivity, OhmMapper, non-contact methods, Syskal Pro, Far North, electric profiling.*

**Введение**

Одним из основных геофизических методов решения инженерно-геологических задач является электроразведка на постоянном токе [Ляховицкий, 1989; Огильви, 1990]. Это определяется как техническим

удобством выполнения изысканий на постоянном токе, так и физическими особенностями исследований на постоянном токе. В частности, преимущества электроразведки на постоянном токе широко используются при производстве инженерных изысканий под линейные объекты – дороги, трубопроводы [Зыков и др., 2009, Модин и др., 2010]. Здесь определяющую роль играет гибкость модификаций при исследованиях методом постоянного тока – профилирование (высокая производительность, картирование аномальных зон в плане), вертикальное электрическое зондирование (изучение зон в плане и в разрезе), электротомография (детальные исследования, изучение сложно построенных сред).

Существенным практическим ограничением для производства работ в традиционных вариантах исследований является необходимость организации гальванических заземлений. Это требование выполнимо в большинстве случаев. Однако существует ряд практически важных задач и распространенных ситуаций, при которых организовать гальванические заземление невозможно или очень сложно технически. К задачам относятся исследования участков и объектов с «непроводящим» верхним слоем – заасфальтированные площадки, каменные (например, железнодорожные) насыпи и т.п. К условиям – широкий диапазон условий от областей распространения многолетнемерзлых пород до, вообще говоря, зимнего периода на большей части территории страны.

Выходом из этой ситуации является переход от гальванического контакта к негальваническому – индукционному или емкостному. Переходя к индукционному способу приема и возбуждения, мы неизбежно уходим от модели постоянного тока, теряя при этом все ее преимущества. Альтернативой является переход к емкостному контакту – метод бесконтактного измерения электрического поля (БИЭП) и метод высокочастотного электропрофилирования (ВЧЭП). Избавившись от необходимости заземления, получаем преимущества в скорости измерений, в количестве задействованных людей, в возможность использовать установку с несколькими измерителями.

Но у данных методов есть и недостатки. При бесконтактных измерениях используется емкостное заземление, то есть передача и прием сигнала из грунта происходят с помощью физического принципа, отличного от принципа, используемого в методах с гальваническим заземлением. Возникает необходимость четких описаний и выдерживания граничных условий для использования этих методик, что не всегда легки выполнимо [Kuras et al, 2006]. Кроме того, важную роль играют помехи, связанные с неизвестным положением приемного диполя относительно поверхности земли, расстоянием от приемного диполя до земли, взаимным расположением приемного и питающего диполей, влиянием проводящих объектов, в том числе и самого тела оператора, искажающее электрическое поле в воздухе [Бобачев, 2002].

Указанные фундаментальные методические трудности организации измерений приводят к ограниченному применению емкостных методов в практике инженерно-геофизических изысканий, что не позволяет в должной мере использовать их преимущества. Эту ситуацию можно преодолеть только накапливая и анализируя практический опыт применения бесконтактных методик при решении конкретных инженерно-геофизических задач. Итогом этой работы должно быть понимание того, насколько в реальных условиях при существующих аппаратурных и методических параметрах результаты бесконтактных исследований соответствуют гальваническим измерениям на постоянном токе и какова эффективность их использования при проведении различных инженерно-геофизических исследований.

Для решения поставленной задачи в декабре 2011 года в Мурманской области, в условиях крайнего севера, были выполнены работы методом БИЭП. Работы выполнялись с помощью прибора OhmMapper TR3 (Geometrics, Inc) [OhmMapper manual], в формате трехразносного профилирования. Для сравнения и дополнительного контроля качества измерений на небольшой территории, были проведены совместные измерения электропрофилирования (Ohmmapper) и электротомографии (Syscal Pro) [Syscal pro user manual]. Настоящая статья показывает ре-

зультаты сравнения данных полученных с помощью обоих методов на качественном и количественном уровне, при геофизическом обследовании трассы магистрального трубопровода в условиях крайнего севера.

**Краткий обзор направлений исследования бесконтактных измерений**

Первое успешное применение методики бесконтактных измерений было осуществлено в США в рамках исследований [Cook, 1956]. Пионерские работы, охватывающие все основные аспекты метода – его теория, методика и практическое применение, принадлежат В.М. Тимофееву. Основные результаты работы отражены в диссертации [Тимофеев, 1979], отечественных [Тимофеев, 1974; Тимофеев, 1983] и зарубежных публикациях [Timofeev, 1973; 1978]. В результате проведенных В.М. Тимофеевым исследований были сделаны следующие выводы: электропрофилирование со стелющимися емкостными антеннами являются эфективным методом инженерно-геокриологического картирования; при работе с емкостными антеннами для решений инженерно-геокриологического картирования оптимальными являются частоты порядка первых десятков килогерц.

Высокая частота поля позволяет называть методики, использующие сходную технологию, методом высокочастотного электропрофилирования (ВЧЭР). На этом принципе были реализованы некоторые современные аппаратурно-программные комплексы [Ohmmapper manual].

В отношении используемых частот альтернативный подход был разработан в работах Б.Г. Сапожникова и др. [Сапожников, 1978; 1989; Нахабцев и др., 1985]. В предложенной технологии работа происходит на более низкой частоте – до 2.5 кГц. На предложенных принципах реализована, в частности. Отечественная аппаратура для бесконтактных измерений электрического поля Era-max [Апарратура электроразведочная для методов сопротивления и естественного поля «ERA-MAX» техническое описание и инструкция по эксплатации].

Большое внимание исследователей привлекал вид самих бесконтактных «электродов». Вопросы их расчета и сравнения подробно рассмотрены, например, в работе [Kuras et al, 2006]. В зависимости от условий и аппаратурных возможностей используются металлические пластины [Kuras et al, 2006], прямолинейные участки кабеля [Тимофеев, 1979], металлические антенны [Нахабцев и др., 1985]. Возможно также использование комбинаций видов электродов или смешенные контактно-бесконтактные конфигурации, при которых, например, один или несколько электродов имеют гальванические заземления, а остальные – емкостное. Это, в частности, обеспечивает сокращение числа рабочих в бригаде и времени для организации заземлений [Мясникова и Исаенков, 2013].

Известны также работы, посвященные методическим аспектам проведения бесконтактных измерений, соответствующим специфическим ошибкам и их принципиальным ограничениям [Бобачев, 2002].

Недостаточно подробно рассмотрен в литературе вопрос о результатах и возможностях практического применения современных аппаратурно-методических комплексов при инженерно-геологических исследованиях. Среди известных работ необходимо упомянуть [Burton and Cannia 2011; Calvert, 2002; Cook, 1956; Yoshihiro et al.; Bastani et al., 2006; Pellerin et al., 2003; Pellerin, 2002; Doll and Gamey, et al., 2000; Koroney 2012] и др.

Указанные публикации не в полном объеме охватывают возникающие задачи. Одной из целей настоящей публикации является заполнение этого пробела в отношении методических аспектов инженерно-геофизических изысканий линейных объектов в условиях крайнего севера.

**Участок работ**

Мурманская область, поселок Териберка. Исследования для линейного объекта (газапровода) . Работы проводились в условиях практически полного отсутствия естественного освещения. Описываемый

участок работ располагался в долине реки. Профиля проходили поперек долины, пересекали русло (рис. 1). По априорным геологическим данным, в основании разреза лежат валунно-глыбовая толща, на ней залегает торф и песчаник.

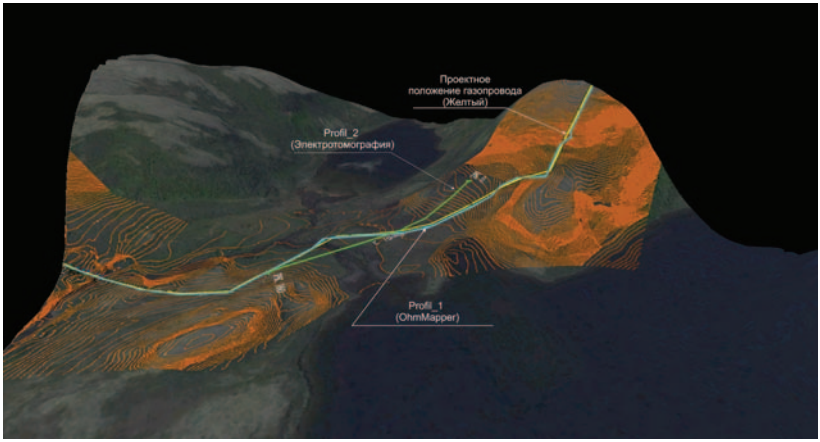


**Рис. 1.** *Карта фактического материала участка совместных работ*

**Методика и аппаратура**

Определяющим фактором при выборе методики работ являлись природные условия – работы было необходимо провести в зимнее время (декабрь) при толщине снежного покрова до 80 см. В связи с этим решение поставленной задачи было разбито на два этапа. На первом этапе предполагалось на тестовом участке провести измерения контактными и бесконтактными методами и сравнить полученные результаты. Если результаты оказывались схожими, дальнейшие исследования планировалось проводить бесконтактными методами, оказывающимися в данных условиях на порядки более производительными.

Для решения поставленной задачи были выбраны два известных аппаратурных комплекса. Для бесконтактных измерений использовался высокочастотный трехканальный прибор для бесконтактных измерений

OhmMapper в модификации TR3 [OhmMapper manual]. Контактные измерения проводились в варианте электротомографии с помощью электротомографической станции Syscal Pro [Syscal pro user manual].

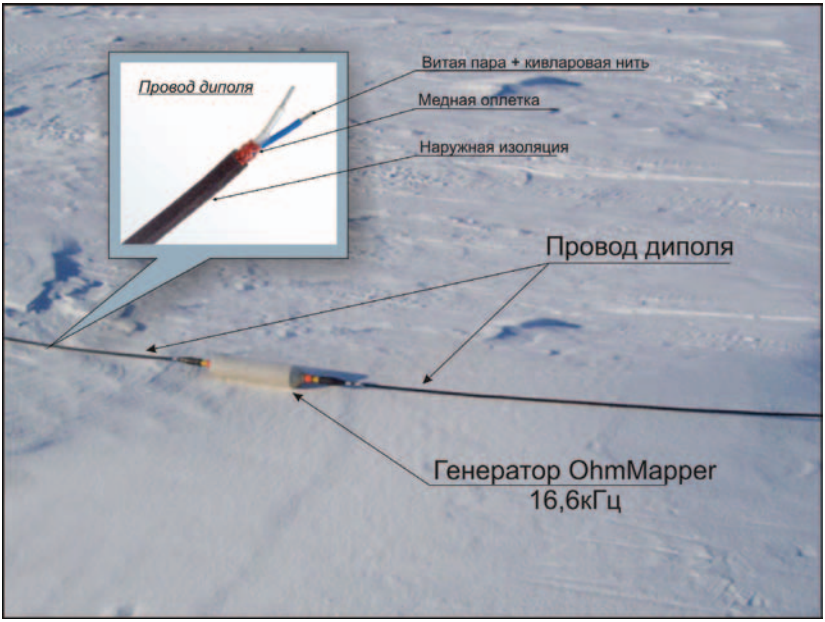


**Рис. 2.** *Схема строения прибора OhmMapper*

Рассмотрим в общих частях работу автоматического комплекса Ohmmapper. На рисунке 2 схематически показана часть прибора (это может быть как измеритель, так и генератор) и подключенный к ней кабель. Внутри кабеля находится витая пара (служит для передачи цифровой информации), которая «упакована» в непроводящий материал, оплетенной сверху медной проволокой, которая в свою очередь покрыта наружной изоляцией. Медная оплетка – первая из пластин конденсатора, поверхность земли – вторая обкладка конденсатора, наружная изоляция – изолятор между пластинками. Таким образом, если это генератор,

то к нему подключено два провода, т.е. два емкостных электрода через которые ток распространяется в землю, если измеритель, то сигнал – разница потенциалов между двумя емкостными электродами. Глубина исследования зависит от размеров диполей и расстояния между генератором и измерителем. Максимальный разнос не более одной величины скин-слоя, которая в метрах приблизительна равна $503*\sqrt{(\rho/f)}$, где ρ – кажущееся сопротивление (в Ом·м), а f – частота сигнала генератора (в Гц) (для OhmMapper приблизительно 16.6 кГц [OhmMapper manual]).

Основные характеристики прибора показаны в таблице 1 [Yoshihiro et al.].

*Таблица 1*

***Характеристики аппаратуры OhtMapper***

| | **Заявленные значения** | **Фактические значения** |
|---|---|---|
| Диапазон измеряемого сопротивления | От 3 до 100000 Ом*м | От 200 до 20000 (по данным электотомографии) |
| Частота записи | Настраиваемая,<br>до 2 записей в секунду | 0.2 Гц для пологих участков, 0.1 Гц для крутых участков |
| Характеристики генератора | Частота: приблизительно 16.6 кГц<br>Мощность: до 2 Ватт<br>Ток: от 0.125 мА до 16 мА | |
| Характеристики измерителя | Длина диполей: 5 или 10 м<br>Входное сопротивление: более 5 Мом<br>Точность измеряемого напряжения: не хуже 3%<br>Диапазон измеряемого сигнала: 0-2 Вольта | Длина диполей: 5 м<br>Диапазон измеряемого сигнала: 0.001-1.7 Вольта |

Работы производились дипольной осевой установкой. Размеры диполей по 5 метров, расстояния между центрами приемных и питающего диполя 10 м, 12.5 м и 15 м соответственно. К каждому из блоков под-

ключены 2 провода по 2.5 метра, как показано на рисунке 2. Измерительные диполи связаны с генераторным диполем 5 метровой веревкой. Вся установка подключается к консоли, которая находится на поясе у оператора, через оптический преобразователь (преобразовывает сигнал из электрического в оптический, а затем обратно), это сделано для того, чтобы исключить дополнительные наводки.

Съемка производилась в «непрерывном» режиме. Измерения проводились в автоматическом режиме через выбранные промежутки времени. Временные промежутки выбирались таким образом, чтобы количество измерений составляло не менее 4-5 измерений на 10 метров. Для пологих мест это время составляло 2 секунды между измерениями, для крутых мест, где быстро передвигаться невозможно – 7 секунд. Координаты точек измерений снимались с помощью GPS.

Обработка данных заключалась в выполнении следующих действий:

1) Обработка результатов съемки в программе MAGMAP, поставляемой в комплекте с аппаратурой [DataMap User Guide]. В этой программе осуществлялась фильтрация, автоматический пересчет значений измеренного поля в значения кажущегося сопротивления, выгрузка результатов.
2) Ввод рельефа и дополнительный контроль качества данных производился в программе x2ipi [Бобачев, 2004].
3) Для инверсии данных БИЭП использовалась программа «Res2dinv» [RES2DINV ver. 3.59 ].

Электротомография проводились с аппаратурой «Syscal-Pro Switch 48» производства фирмы Iris Instruments (Франция) [Syscal pro user manual]. Аппаратура «Syscal-Pro Switch 48» позволяет использовать для работы электроразведочные косы с общим количеством электродов 48 штук. Длина измеряемой расстановки составляет 235 м (расстояние между электродами 5 м). Для измерения профилей большей длины применялась методика работ с перекрытиями.

Станция Syscal-Pro – один из известных мировых образцов электротомографической аппаратуры. Также хорошо она себя зарекомендовала и в северных условиях, в районе распространения многолетнемерзлых пород [Ерохин, Бобачев, 2009].

Обработка электротомографических данных, за исключением передачи данных с прибора, осуществлялась по той же схеме, что и обработка данных OhmMapper.

Для возможности более надежной последующей оценки литологического состава [Рыжов и др., 1990] во время полевых работ были измерены проводимости и температуры воды с помощью прибора COM 100. Измерения проводимости воды были проведены на одном участке (в долине рекиБыли получены значения температуры и солености воды, после чего были посчитаны значения концентрации соли в воде.

Все работы бесконтактными методами (более 8 км профилирования, по снегу и сложному рельефу) были выполнены в течении 3-х рабочих дней. Для сравнения, каждый из профилей электротомографии снимался в течение целого рабочего дня (для осуществления заземления каждого электрода в грунт рылась отдельная лунка). Бригада, обслуживающая БИЭП, состояла из двух человек. Для сравнения, выполнение электротомографии за одни сутки потребовалось 6 человек.

**Результаты исследований**

Методически первой задачей являлось сравнение результатов контактных и бесконтактных измерений по сопротивлению. На рисунке 3 представлены графики кажущегося сопротивления. Красная кривая построена по данным наименьшего разноса диполь-дипольной установки электротомографии (OO’=10 м). Синяя кривая построена по данным наименьшего разноса электропрофилирования с OhmMapper (OO’=10 м). Различие в левой части графиков скорее всего связано с тем, что профили располагались на некотором удалении друг от друга. В основном графики обладают схожим характером. Значения сопротивления электротомографии зачастую количественно больше, чем значения сопро-

тивления профилирования, возможно, это связано с тем, что снежный покров влиял на бесконтактные измерения и не учитывался при измерениях электротомографии. Однако, в целом, с учетом условий измерений можно утверждать, что результаты измерений обоими методами практически идентичны. Это результат позволил для всего объема работ перейти к бесконтактным методам измерений.

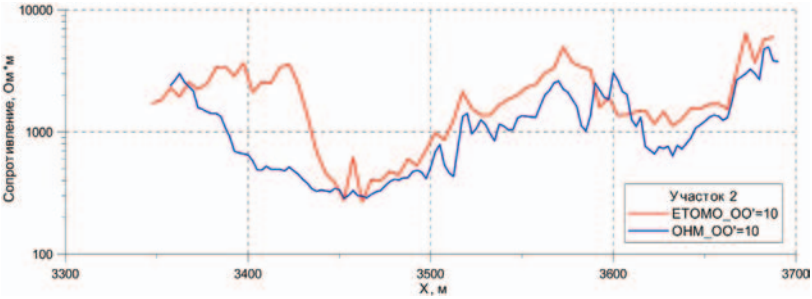


**Рис. 3.** *Графики кажущегося сопротивления*

На рисунке 4 показаны результаты автоматической инверсии данных электротомографии и электропрофилирования. Полученные геоэлектрические разрезы, в целом, схожи между собой. Несовпадение связано, скорее всего, с тем, что профиль электротомографии расположен перпендикулярно простиранию долины, а профиль электропрофилирования имеет изгиб.

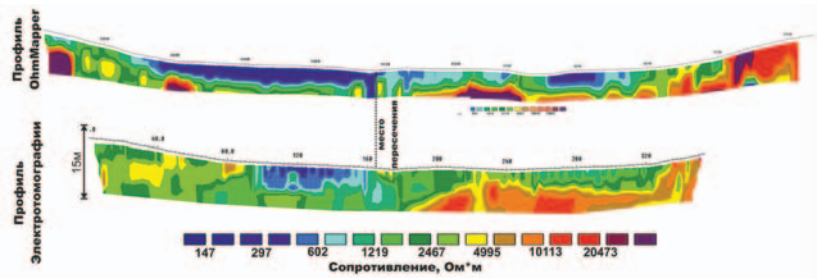


**Рис. 4.** *Геоэлектрические разрезы*

На рисунке 5 представлены гистограммы истинных сопротивлений по данным обоих методов, полученные в результате автоматической инверсии. Интервал разбит на 25 равных отрезков (в логарифмическом масштабе). Левая гистограмма показывает распределение значений истинного сопротивления, полученных после инверсии данных OhmMapper, правая гистограмма – после инверсии данных электротомографии. В выборку данных по электротомографии вошли только сопротивления верхней части разреза (до той же глубины, что и данные по профилированию).

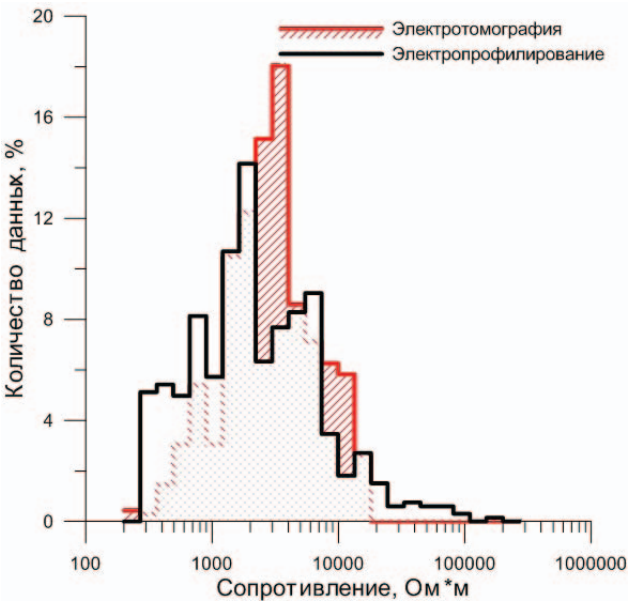


**Рис. 5.** *Гистограммы истинного сопротивления*

Гистограммы сравнительно сильно различаются. Возможно, это тоже связано с расстоянием между профилями наблюдений. На гистограмме по электротомографии отчетливо видны два максимума: один на интервале сопротивлений 2900-3700 Ом·м, другой на 700-900 Ом·м. На

гистограмме по бесконтактным измерениям несколько максимумов: на интервале 1700-2000 Ом·м, на интервале 6000-7000 Ом·м и на интервале 700-900 Ом·м.

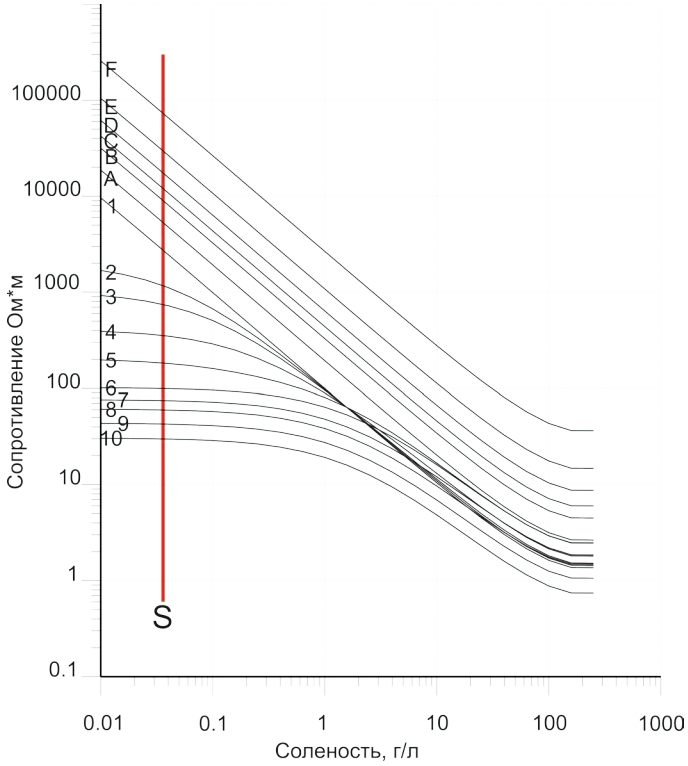


**Рис. 6.** *Палетка Рыжова*

A – пористость 15%, B – пористость 10%, C – пористость 8%, D – пористость 6%, F – пористость 4%, E – пористость 2%, 1 – глинистостью 0%, 2 – глинистость 2%, 3 – глинистость 4%, 4 – глинистость 10%, 5 – глинистость 20%, 6 – глинистость 30%, 7 – глинистость 40%, 8 – глинистость 50%, 9 – глинистость 70%, 9 – глинистость 100%, S – соленость 0.035 г/л. Для A-E глинистость 0%, для 1-10 пористость песка 25%, пористость глины 55%.

На рисунке 6 представлена палетка Рыжова, построенная в программе PetroWin [Рыжов и др., 1990]. Красная линия S – прямая солености воды измеренной на участке 2. С помощью палетки можно определить, что небольшой экстремум на гистограммах электротомографии и электропрофилирования на интервале сопротивлений 700-900 Ом·м соответствует породе с глинистостью 4% и пористостью 25%. Такая порода, вероятно, является песчаником с малым содержанием глинистого материала. Остальные максимумы на гистограммах сопротивлений не совпадают, но как отмечалось выше, скорее всего это связанно с наличием крупного снежного покрова. Поскольку покров не влиял на измерения электротомографии, мы использовали эти данные для анализа. Максимум 2900-3700 Ом·м соответствует породе с глинистостью 0% и пористостью 4%. Такая маленькая пористость характерна для гранитов с первичной пористостью.

**Выводы**

Результаты проведенных исследований позволили сделать ряд важных методических выводов, относящихся к возможностям применения современных бесконтакных комплексов (на примере Ohmmapper) при производстве инженерно-геофизических изысканий в условиях крайнего севера.

1. Проведенные исследования показывают, что при соблюдении методических рекомендаций в рассматриваемых условиях бесконтактные измерения оказываются практически идентичными измерениям с гальваническими заземлениями. Это позволяет на порядки сократить время работ при геофизических изысканиях под линейные сооружения в условиях снежной зимы и крайнего севера.
2. При правильном выборе разносов бесконтактных измерений с Ohmmapper и электротомографии полученные данные можно использовать совместно при проведении инверсии.

3. Методика бесконтактного измерения электрического поля оказывается более эффективной по сравнению с гальваническими методами при решении задач, связанных с исследованием верхней части разреза (до 5 м) в областях распространения многолетнемерзлых пород в зимних условиях.

## Список литературы

1. Бобачев А.А. Особенности электрического поля в воздухе при низкочастотных бесконтактных электрических зондированиях. Разведка и охрана недр. 2002. № 10. С. 36-40.
2. Бобачев А.А. «X2ipi» tool box for DC and IP 2D measurements with SYSCAL and ELREC // «Iris Show-2004», Орлеан, Франция.
3. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 2. С. 14-17.
4. Ерохин С.А., Бобачев А.А. Практика применения станции Syscal Pro в северной Якутии. Тезисы Петербургского геофизического научно-практического семинара, г. Санкт-Петербург, 14-16 октября 2009 г.
5. Зыков Ю.Д., Кошурников А.В., Турчков А.М., Погорелов А.А., Фриденберг А.И., Науменко Д.А., Сизых Е.М., Петрухина Е.С. Комплексирование геофизических технологий для решения инженерно-геологических задач при проектировании газопроводов (на примере газопровода Сахалин – Хабаровск – Владивосток) // Инженерные изыскания. №6, 2009.
6. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М., 1989.
7. Модин И.Н., Семейкин Н.П., Комаров О.И., Марченко М.Н. Электротомография – инновационный геофизический метод для эффективного решения инженерно-геологических задач // Трубопроводный транспорт, №1(17), 2010.

8. Нахабцев А.С., Сапожников Б.Г., Яблучанский А.И., Электропрофилирование с незаземленными рабочими линиями 1985. – Л., Недра, 96 с.
9. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М., 1990.
10. Рыжов А.А., Судоплатов А.Д. Расчет удельной электропроводности песчано-глинистых пород и использование функциональных зависимостей при решении гидрогеологических задач // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр. – М., 1990. С. 27-41.
11. Б.Г. Сапожников. Опыт наблюдений составляющих электрического поля в воздухе при электропрофилировании на переменном токе. Мингео СССР. НПО «Геофизика». – Ленинград. 1978. УДК 550.837.3.
12. Б.Г. Сапожников. Рекомендации по методике полевых наблюдений и методике расчёта кажущегося удельного электрического сопротивления при электропрофилировании с установками серединного градиента и незаземлёнными рабочими линиями. Мингео СССР. ВИРГ НПО «Рудгеофизика». – Ленинград. 1982.
13. Тимофеев В.М. Применение электропрофилирования с линейными емкостными антеннами для целей инженерно-геокрилогической съемки, дисертация, ВСЕГИНГЕО, 1979.
14. Тимофеев В.М. Состояние и перспективы инженерно-геологического картирования и съемок, тезисы Всесоюзного научно-технического семинара, ВСЕГИНГЕО. 1983. С. 108-109.
15. Burton B.L. and Cannia J.C. Capacitively Coupled Resistivity Survey of the Levee Surrounding the Omaha Public Power District Nebraska City Power Plant, June 2011,Open-File Report 2011–1211,U.S. Geological Survey, Reston, Virginia 2011.
16. Calvert H.T. Capacitive-coupled resistivity survey of ice-bearing sediments, Mackenzie Delta, Canada, 72nd annual meeting, Salt Lake City, SEG 2002.

17. Cook J.C. An electrical crevasse detector, Geophysics 21. P. 1055-1070, 1956.
18. Kuras O., Beamish D., Meldrum P.I., and Ogilvy R.D., Fundamentals of the capacitive resistivity technique GEOPHYSICS. Vol. 71. N3. 2006. P. G135-G152.
19. OhmMapper TR1 Operation Manual, GEOMETRICS, INC.
20. Timofeev, V.M., Experience in the use of high frequency electrical geophysical methods in geotechnical and geocryological field studies: 3rd International Conference on Permafrost, NAUKA, Proceedings. 1973. P. 238-247.
21. Timofeev, V.M. Some peculiarities of surface capacitive antennas used in electrical geophysical techniques: Gosstroi USSR, Reference Information. Issue 8/73. 1978.
22. Yamashita Y., Groom D., Inazaki T., Hayashi K., Rapid near surface resistivity survey using the capacitively-coupled resistivity system. OhmMapper не смог найти год и издание http://www.geometrics.com/assets/images/segj-oyo-om-levee.pdf