



**МАТЕРИАЛЫ
Второй
конференции геокриологов России**

МГУ им. М.В. Ломоносова

6 - 8 июня 2001 г.

ТОМ 4
Инженерная геокриология

**Издательство Московского университета
2001**

РАДИОВОЛНЛВАЯ ГЕОИНТРОСКОПИЯ МЕРЗЛЫХ МАССИВОВ

Межскважинное радиопросвечивание как метод рудной геофизики известно давно. Однако для его успешного применения при инженерно-геологических исследованиях было необходимо разработать специальную методику, аппаратуру и систему обработки получаемых данных, т.е. новую технологию – радиоволновую геоинтроскопию межскважинного пространства – РВГИ [1,3]. Поскольку электрические свойства мерзлых пород являются наиболее информативными при решении многих задач геокриологии [4], то эта технология была недавно опробована и в условиях криолитозоны (в Западной Якутии). Полученные результаты свидетельствуют о несомненных перспективах РВГИ мерзлых толщ, что и обсуждается в настоящем докладе.

Физико-геологической основой метода РВГИ является зависимость интенсивности поглощения энергии радиоволн от электрических характеристик пород, расположенных на трассе распространения волны. Анализ данных получаемых путем многократного и под разными углами радиопросвечивания массива позволяет определять электрические свойства в естественном залегании и по их распределению в пространстве выявлять и локализовывать различные геологические неоднородности.

Существенными особенностями РВГИ и новой аппаратуры являются:

- возможность выбора оптимальных рабочих частот и измеряемых компонент электромагнитного поля, обеспечивающая наилучшую разрешающую способность для решения конкретной задачи и требуемой дальности радиопросвечивания;
- измерение гармонических сигналов, что обеспечивает достаточно высокую помехозащищенность;
- использование относительно коротких приемных и излучающих диполей, позволяющее проводить измерения в ограниченных интервалах скважин;
- проведение измерений непосредственно в интересующем интервале глубин, в целях существенного ослабления влияния перекрывающих и подстилающих пород;

- возможность получения объемного распределения эффективных значений двух электрических параметров среды: удельного сопротивления ρ , и диэлектрической проницаемости ϵ , и закономерностей их изменения.

При измерениях в неоднородных средах коэффициент поглощения радиоволн k'' является интегральной величиной, суммирующей все локальные изменения поглощающих свойств среды вдоль луча просвечивания, а точнее в области, существенной для распространения радиоволн. Диаметр этой зоны зависит от длины волны в среде и расстояния между пунктами излучения и приема. Вычисленные по данным измерений значения коэффициента поглощения называют кажущимися - k_k'' . Так как в слоистых толщах электрические свойства вдоль и вкrest простираения могут значительно отличаться, значения k_k'' будут зависеть от угла между плоскостью напластования и направлением распространения радиоволны. По диаграммам угловой зависимости коэффициентов поглощения определяют коэффициент анизотропии и вносят, при необходимости, соответствующие поправки.

Аппаратура и методика измерений. Скважинная цифровая радиоволновая аппаратура серии "РВГИ-2", разработана ООО «Радионда LTD» и предназначена для излучения высокочастотного электромагнитного поля и измерения его напряженности с помощью электрических (или магнитных) диполей. Аппаратура включает приемник и передатчик, опускаемые в скважины на одножильном каротажном кабеле. Чтобы исключить антенный эффект кабеля передатчик и приемник имеют автономные источники питания и подсоединяются к кабелю через диэлектрические вставки с оптическим световодом и блоками оптико-электрического преобразования приемник, как и передатчик, имеют процессор и АЦП, что позволяет вести двусторонний обмен информацией с поверхностью: передавать измеряемые данные в цифровом виде и получать команды управления. Такая идеология построения аппаратуры позволяет, кроме измерения напряженности поля в точке приема и тока в передающей антенне, осуществлять дистанционное согласование скважинной антенны с передатчиком и управление мощностью и режимами его излучения, а в приемнике – коэффициентом усиления. Это обеспечивает максимальную дальность радиопросвечивания даже при коротких антеннах. Регистрация данных и формирование команд скважинным приборам производится на поверхности с помощью компьютера (Notebook), подключенного к коллекто-

ру лебедки через ретранслятор. Функциональная схема аппаратуры изображена на рис. 1а. Ниже приводятся ее основные технические характеристики:

- рабочие частоты: **0,061; 0,156; 0,312; 0,625; 1,250; 2,25; 31,00 МГц;**
- чувствительность приемника: **не хуже 0,5 мкВ;**
- динамический диапазон: **110 дБ;**
- мощность передатчика **1-10 Вт;**
- скорость регистрации: **600 м/час;**
- диаметр скважинных приборов: **38 мм.**

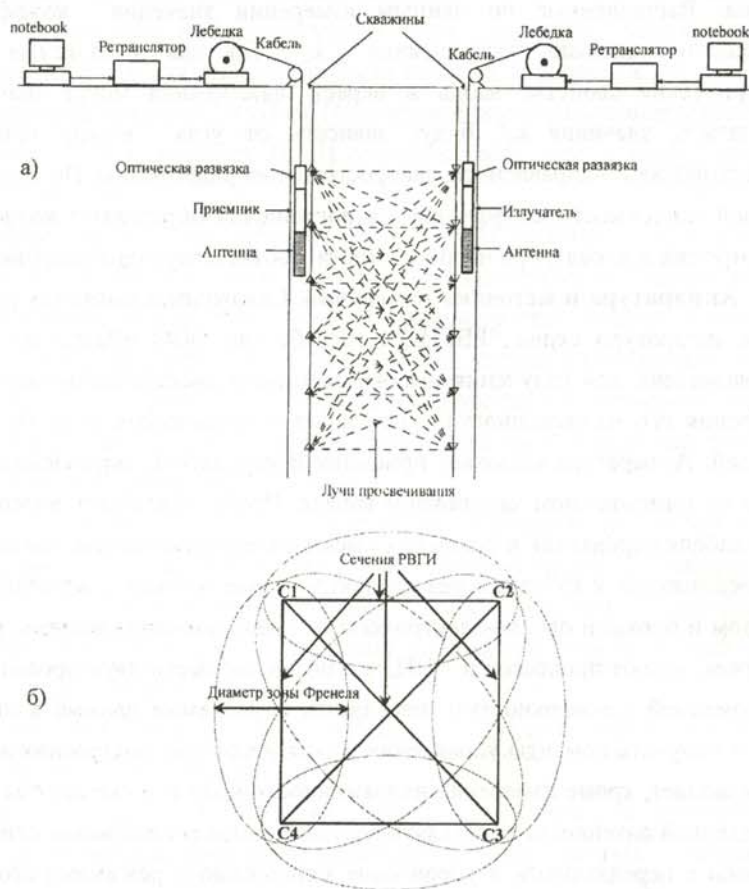


Рис.1 Схема измерительной установки и система наблюдений методом РВГИ.

а – система наблюдений методом РВГИ в вертикальной плоскости.

б – сечения РВГИ и зоны Френеля на плане (для квадратной сети скважин).

Измерения напряженности поля выполняются обычно веерным способом, при котором с каждой стоянки передатчика в одной скважине проводятся измерения поля по всему рабочему интервалу в другой (или других) скважине (рис.1а). Шаг измерений при точечной записи составляет ~1м, а при непрерывной записи ~0.1м. Когда рабочий интервал измерений в скважинах много меньше расстояния между ними, измерения целесообразней проводить по параллельным лучам, когда излучатель и приемник синхронно перемещаются по своим скважинам.

При площадной съемке по квадратной сети скважин измерения выполняются во всех сечениях, включая диагональные (рис.1б). При этом выбор рабочей частоты должен обеспечивать надежность изучения всего объема. Геотехнические параметры, характеризующие возможности РВГИ в мерзлых карбонатных породах в диапазоне частот 0.06 – 0.3 МГц, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Удельное электро-сопротивление пород (Ом)	500			1000			1500		
	61	156	312	61	156	312	61	156	312
Рабочая частота (кГц)	0.022	0.034	0.048	0.015	0.024	0.032	0.013	0.019	0.026
Кoeffициент поглощения радиоволн (Нп/м)	396	350	260	540	494	370	638	598	447
Эффективная дальность (м)									

При измерениях вблизи границы «земля-воздух» возникает боковая волна, распространяющаяся вдоль земной поверхности, которая практически не несет информации об электрических свойствах межскважинного пространства, что накладывает ограничения на минимально допустимую глубину исследований. Наличие низкоомных перекрывающих отложений и сильная анизотропия горизонтально слоистого разреза резко снижают влияние боковой волны.

Обработка данных проводится с помощью разработанного в «Радионда LTD» пакета программ «ПО ОРВП-РВГИ», который содержит оригинальные итерационные алгоритмы расчетов электрических характеристик среды по полным формулам измеряемых компонент электромагнитного поля. Система

компьютерной обработки данных предусматривает жесткий "входной" контроль измеренных значений, выявление и устранение ошибок записи. Для расчета k''_k необходимо количественное определение значения коэффициента установки, которое зависит от величины тока в излучающей антенне и эффективных высот излучающей и приемной антенн. Измерение и запись величины тока позволяет контролировать устойчивость этого параметра и, если необходимо, вносить соответствующую поправку, что особенно важно при обработке большого числа сечений РВГИ и построении объемной карты.

При поиске распределения поглощающих свойств в межскважинном пространстве, применяются как 2-х, так и 3-х мерные методы решения обратной задачи. Если измерения выполнены только в одном сечении (между двумя скважинами), расчет значений ρ_v в узлах сетки, на которую разбивается исследованное пространство между скважинами, выполняется с применением итерационных томографических методов восстановления. Если же измерения были проведены в нескольких, близко расположенных сечениях (площадная съемка), применяется волновой метод восстановления - ВМВ, позволяющий рассчитать значения ρ_v в узлах 3-х мерной сетки. Обработка данных, измеренных в различных сечениях, с учетом пространственных характеристик поля ВМВ позволяет построить объемную геоэлектрическую карту участка, которая может быть представлена горизонтальными сечениями и произвольно ориентированными вертикальными разрезами, а также в виде изоповерхностей соответствующих электрических параметров.

Достоверность решения обратной задачи методом ВМВ зависит от соблюдения определенных соотношений между геометрическими параметрами системы измерений (расстояние между скважинами и взаимное расположение скважин) и оптимальными рабочими частотами для геоэлектрических условий в области исследования. При планировании площадных работ это позволяет задать оптимальную сеть скважин.

Примеры применения РВГИ в криолитозоне. Рассмотрим результаты поисковых работ на кимберлит, выполненные в районе Ботубинской ГРЭ в мерзлом массиве карбонатных пород по сети скважин 400х400м на площади более 50 кв.км. Обобщенный схематический разрез поисковой площади представляет собой горизонтально слоистую среду, состоящую из двух основных областей. Верхняя - перекрывающая толща терригенных пород мощностью

80-100 и более метров может включать в себя как низкоомные маркирующие горизонты глинистых пород, так и высокоомные породы трапповой формации. В отсутствие вторичных изменений в кровле подстилающих пород эта толща имеет достаточно контрастную и устойчивую по характеристикам границу. При определенных условиях поверхность контакта этой толщи с карбонатными породами рабочего горизонта может оказывать искажающее влияние на результаты измерений. Нижняя область - собственно "рабочий горизонт", который в первом приближении можно представить в виде слабоанизотропной толщи высокоомных известняков с поперечным сопротивлением 800-1500 Ом и более. Особенностью этой толщи является ее возможная литологическая неоднородность, связанная с контактом карбонатных пород разных свит, сопротивление которых отличается в 2-3 раза; наличие глинистых пропластков и зон трещиноватости различной мощности. Кимберлитовое тело представляет собой субвертикальный штокверк сложной формы, прорывающий породы рабочего горизонта. В целом, кимберлит характеризуется пониженным сопротивлением 40 — 120 Ом. Однако, сопротивление плотного кимберлита может достигать 300-560 Ом и их электрическая контрастность относительно вмещающих пород обеспечивает избыточное поглощение радиоволн и соответствующую интенсивность аномалий порядка 30-80%. Приведенные здесь значения ρ_v получены по данным радиоволновых исследований на частотах 0.156 — 0.625 МГц и характеризуют свойства пород в естественном залегании при температуре $-3 - -5^\circ\text{C}$. Отметим, что эти данные хорошо согласуются с результатами петрофизических исследований образцов, отобранных на указанной площади [2].

На рис.2а, б представлены фрагменты 3D геоэлектрической карты в виде горизонтального сечения на глубине 145м и вертикального разреза по линии А1-А2 соответственно. На плане золиниями ρ_v выделяются и прослеживаются четыре линейно вытянутые в северо-восточном направлении области пониженных сопротивлений. Это области разломов I, II, III, IV, подтвержденные в последующем буровыми работами. Понижение сопротивления известняков в этих зонах связано с повышенной трещиноватостью, глинистостью и, возможно, засоленностью. Строение этих зон на глубине можно проследить по вертикальным разрезам. На разрезе также можно видеть, что изолиниями низких сопротивлений четко выделяется подошва перекрывающих терриген-

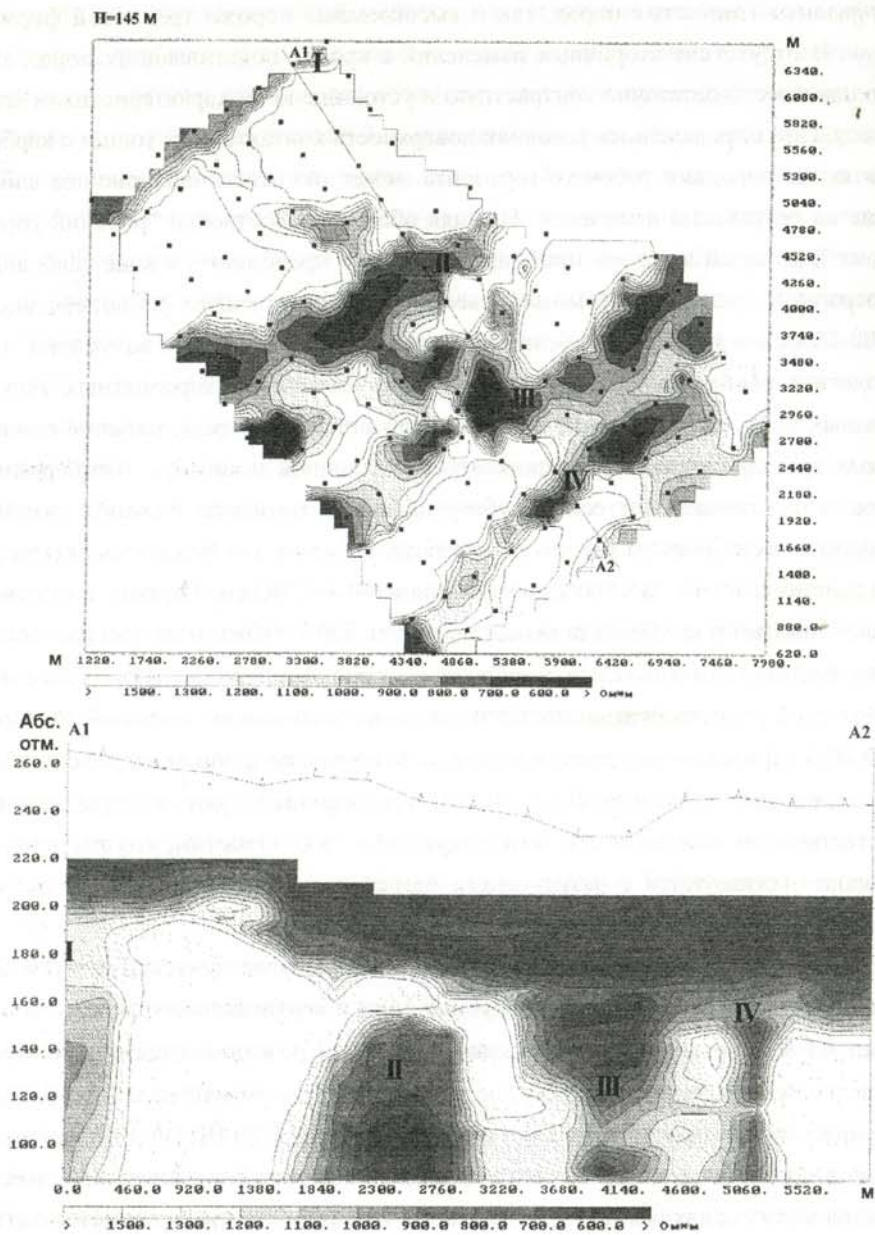


Рис.2 Фрагменты 3D геоэлектрической карты массива мерзлых пород. РВГИ на частоте 156 кГц по сети скважин 400x400 м.
 а - горизонтальное сечение на глубине 145 м.
 б - разрез по линии А1 - А2.

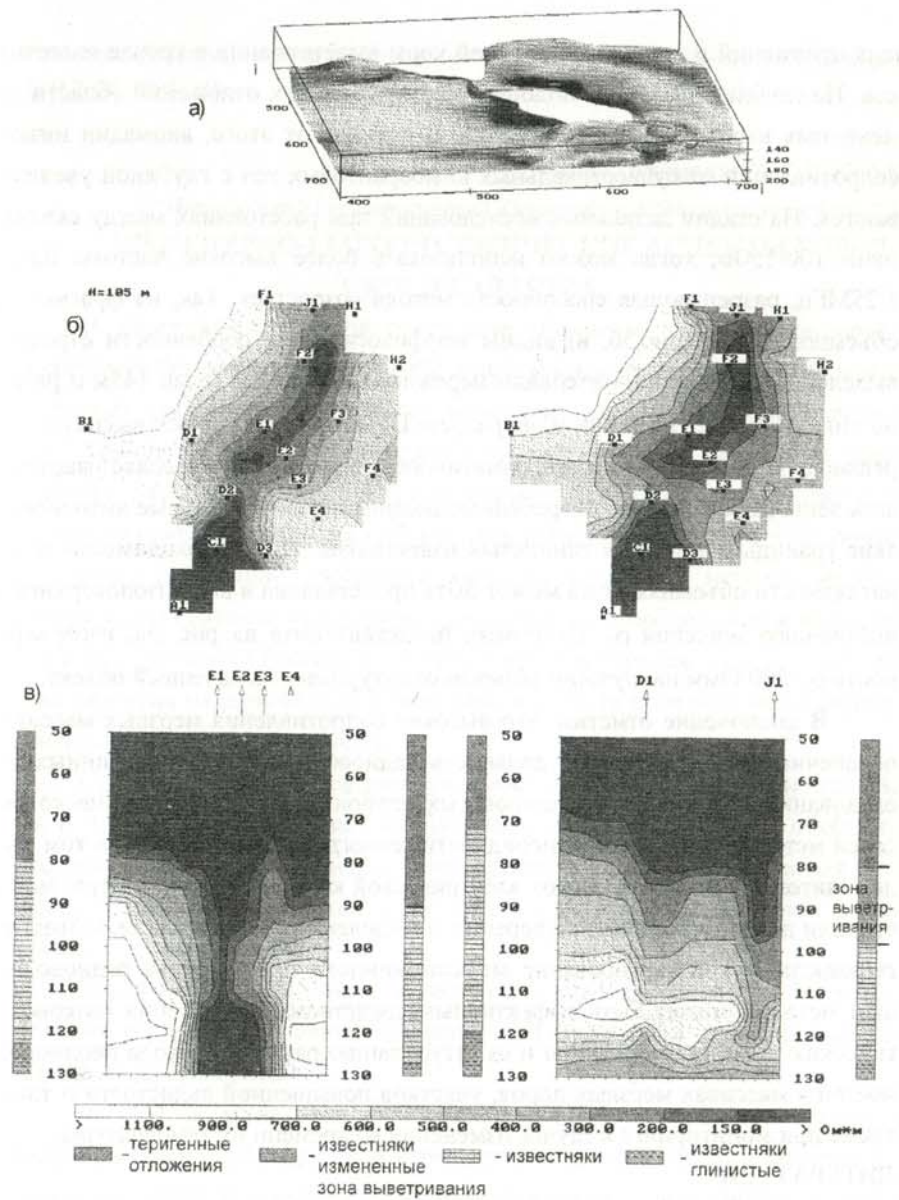


Рис.3 Фрагменты 3D геоэлектрической карты участка детализации. РВГИ на частоте 625 кГц по сети скважин ~ 100x100 м.
 а - изоповерхность по эффективному сопротивлению 200 Ом.
 б - горизонтальные сечения на глубинах 105 м и 95 м.
 в - вертикальные разрезы по линиям скважин E1-E4 и D1-J1.

ных отложений и «карманы» древней коры выветривания в кровле известняков. На глубине 30-45м от подошвы перекрывающих отложений области измененных известняков выражаются. В отличие от этого, аномалии низких сопротивлений от субвертикальных кимберлитовых тел с глубиной увеличиваются. На стадии детальных исследований при расстояниях между скважинами 100-150м, когда можно использовать более высокие частоты 0,625-1.25МГц, разрешающая способность метода возрастает. Так, на фрагментах объемной карты (рис.3б, в) видны морфологические особенности строения выделенного объекта и интервалы пережимов мощности (план 145м и разрез по линии E1-E4). Изолинии ρ , на разрезе D1-J1 демонстрируют высокую разрешающую способность и информативность метода, что позволяет картировать зоны выветривания, погребенные долины и горизонтальные литологические границы плотных и глинистых известняков. При необходимости и для наглядности объемная карта может быть представлена в виде изоповерхности выбранного значения ρ . Например, представленная на рис. 3а, изоповерхность $\rho_3=200$ Ом наилучшим образом оконтуривает выявленный объект.

В заключение отметим, что высокие сопротивления мерзлых массивов обеспечивают значительную дальность радиоволновых межскважинных исследований, например в трещиноватых карбонатных породах до несколько сотен метров. При этом неоднородности геологического строения, в том числе и литологические, обладают электрической контрастностью в мерзлом состоянии достаточной для их уверенного выделения и локализации. Объемное геоэлектрическое картирование межскважинного пространства радиоволновым методом может быть эффективным средством при решении геокриологических задач по выявлению и оконтуриванию различного рода неоднородностей в массивах мерзлых пород, участков повышенной льдистости и т.п., а также при мониторинге в случае изменения во времени их температуры.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания. Патент России №2084930 от 22.07.93.
- 2.Зинчук Н.Н, Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизические особенности кимберлитов и вмещающих пород Накынского поля Якутии. Руды и металлы, №5,2000, с.93 – 97.
- 3.Истратов В.А., Лысов М.Г., Чибрикин И.В. Объемное геоэлектрическое картирование подземного пространства методом радиоволновой геоинтроскопии. Подземное пространство мира. № 3, 1997, с.31 – 34.

4.Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. Пушкино, Изд. ПНЦ РАН, 1998, 515с.

В.З. Хилимонюк*, Г.Л. Кофф**

(*Новгородский Государственный Университет, **Институт литосферы РАН)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРОДСКОГО КАДАСТРА

В федеральной целевой программе «Развитие земельной реформы в Российской Федерации на 1999-2002 годы» указывается, что одной из важных составных частей государственного земельного кадастра является оценка земель. Основным прием определения стоимости земли – раздельная оценка участка и расположенных на нем или под ним иных объектов недвижимости. Одним из основных направлений государственной политики в этой области на I этапе реализации программы является разработка методик массовой оценки земель различных категорий для целей налогообложения и их апробация в ряде регионов России, в первую очередь в городах и поселениях, районах развития минерально-сырьевой базы и добычи полезных ископаемых (в том числе в северных регионах).

Опыт разработки и ведения земельных кадастров (как положительный, так и негативный) доказывает необходимость систематизации и обобщения различных подходов, выявления более приоритетных и доступных для понимания пользователей принципов организации земельных отношений, выявления кадастровых оценок.

Земля может дать новые возможности для социально-экономического развития городов, улучшения экологической обстановки и повышения комфортности среды обитания.

В США, например, вся земля включена в Национальный Земельный кадастр с указанием её оценочной стоимости, в высокой степени зависящей от складывающейся конъюнктуры. 30-40% стоимости недвижимости приходится на землю.

Земля пространственный ресурс, основная подсистема, без которой не может функционировать сложная геосистема «город». Городские земли представляют динамическую подсистему, включающую множество взаимосвязанных элементов (горные породы, почвы, подземные воды и др.), изменение свойств которых вызывает изменение состояния взаимодействующих с зем-