



К 250-летию МГУ  
им. М.В. Ломоносова

**МАТЕРИАЛЫ  
ТРЕТЬЕЙ  
конференции геокриологов России**

**МГУ им. М.В. Ломоносова  
1 – 3 июня 2005 г.**

**ТОМ 3**

*Часть 6. Региональная и историческая геокриология  
Часть 7. Геофизические методы исследования криолитозоны*

Издательство Московского университета  
2005

более точных данных о положении этой границы необходимы специальные методические приемы проведения работ и интерпретации получаемых результатов с оценкой коэффициента анизотропии УЭС.

Исследования показали, что ВЭЗ в комплексе с ландшафтными и мерзлотно-геологическими методами может быть использован как для однократного обследования мерзлотно-грунтовых условий, так и в качестве элемента инженерно-геокриологического мониторинга для многолетнего контроля за развитием процессов протаивания и промерзания грунтов вокруг эксплуатируемых газопроводов с различной температурой транспортируемого газа в сложных мерзлотно-грунтовых условиях севера Западной Сибири.

#### Литература

1. Баулин Ю.И., Зыков Ю.Д. Режимные геофизические наблюдения как элемент геокриологического мониторинга – Геофизические исследования криолитозоны. Научные труды, вып. 1. М.: 1995. – Стр. 186-190.
2. Рекомендации по комплексированию геофизических методов при мерзлотной съемке ПНИИС – М.: Стройиздат, 1987. – 88с.

## СКВАЖИННАЯ РАДИОВОЛНОВАЯ ГЕОИНТРОСКОПИЯ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ МЕРЗЛЫХ МАССИВОВ

В.А. Истратов, А.О. Кучмин, А.Д. Фролов\*

ООО «Радионда LTD», \*Институт информационных наук РГГУ

### BOREHOLE RADIO WAVE GEOINTROSCOPY IN ECOLOGICALLY – GEOPHYSICAL MONITORING OF FROZEN MASSIFS

V.A. Istratov, A.O. Kuchmin, A.D. Frolov\*

ООО "Radionda LTD", \*Institute of information sciences, RSUH

We discuss the examples of effective use the radio wave borehole technology in monitoring of two hydrotechnical objects constructed in Western Yakutia (Republic Sakha). This technology offers to localize in crosshole underground space the thawing and filtrating layers under influence of reservoirs.

Во многих районах криолитозоны России состояние криогеосистем находится либо быстро приближается к критическому состоянию ввиду интенсивного криогенного воздействия связанного с освоением и эксплуатацией месторождений нефти и газа, алмазов и др., а также строительством и эксплуатацией крупных гидротехнических объектов, трубопроводов, дорог и т.п. Возможные последствия ухода криогеосистем от состояния квазиравновесия порой трудно прогнозируемы, в особенности в реальном масштабе времени. Поэтому для своевременной разработки и осуществления технических мероприятий по предотвращению катастрофических последствий необходим комплексный, долговременный мониторинг соответствующих техногенных воздействий на криогеосистемы. Однако до настоящего времени, к сожалению, основное внимание уделяется лишь температурному мониторингу. Другие геофизические методы привлекаются в этих целях достаточно редко, хотя

хорошо известно, что в криогенных средах изменения во времени (периодические и апериодические) связаны, с фазовыми переходами поровый раствор - лед, что наиболее сильно сказывается на их электрических и механических свойствах [3]. Поэтому создание и внедрение систем комплексного эколого-геофизического мониторинга, включающего электромагнитные и акустические методы исследования, в том числе межскважинного пространства является актуальной проблемой [2].

Мерзлые породы, независимо от их литологического состава, характеризуются повышенными значениями удельного электрического сопротивления - и пониженными значениями относительной диэлектрической проницаемости -  $\epsilon$ . Процесс их оттаивания всегда сопровождается понижением их  $\rho$ , а высокая водонасыщенность фильтрующего пласта должна приводить к заметному повышению его  $\epsilon$ . Достаточная контрастность талых и мерзлых пород [2] определяет целесообразность применения электромагнитных методов для решения инженерных, геокриологических и геокриологических задач.

Однако мониторинг изменения свойств мерзлых и талых пород геофизическими методами в пределах гидротехнических сооружений осложнен высоким уровнем промышленных помех, наличием линий электропередач, скоплений металла и т.п. Площадная наземная геофизическая съемка на этих объектах часто невозможна из-за обилия технических строений.

В этих условиях повышается роль скважинных и межскважинных исследований. Весьма перспективным для включения в комплекс методов, позволяющих контролировать изменение состояния мерзлых пород во времени и пространстве, является технология радиоволновой геоинтроскопии межскважинного и околоскважинного пространства (ОРВП-РВГИ). По результатам которой, возможно определение  $\rho_{\text{эфф}}$  и  $\epsilon_{\text{эфф}}$  элементов геологической среды, а также закономерностей их изменения в исследуемом массиве [1,3,4].

Физико-геологической основой метода РВГИ межскважинного пространства является зависимость интенсивности поглощения энергии радиоволн от электрических характеристик горных пород, расположенных на трассе распространения волны. Анализ волновой картины, получаемой путем многократного просвечивания горных пород высокочастотным электромагнитным полем дипольного источника, позволяет исследовать межскважинное пространство под разными углами, определять распределение в пространстве электрических свойств мерзлых пород в их естественном залегании и выявлять и локализовывать неоднородности геологического строения.

Особенностями технологии РВГИ являются [1,4,5]:

- возможность выбора оптимальных рабочих частот в диапазоне 0.06 –31 МГц и измеряемых компонент электромагнитного поля, обеспечивает наилучшую разрешающую способность при требуемой эффективной дальности;
- применение гармонических сигналов, определяющее высокую помехозащищенность;
- использование относительно коротких приемных и излучающих диполей, позволяющее проводить измерения в ограниченных по длине интервалах скважин;

- возможность проведения измерений непосредственно в интересующем (рабочем) горизонте, что снижает влияние перекрывающих и подстилающих пород.

Ниже мы обсуждаем результаты применения РВГИ на двух гидротехнических объектах в Западной Якутии с целью выявления в межскважинном пространстве прибрежных участков зон оттаивания и фильтрации и оценим их развитие во времени.

Рассмотрим сначала результаты исследований между скважинами 76-78 на Вилуйской ГЭС (Саха-Якутия) в 2002 и 2004 годах. Они представлены в виде разрезов распределения эффективных значений электрического сопротивления в межскважинном пространстве между 76 и 78 скважинами, расположенными на правом берегу Вилуйского водохранилища параллельно телу плотины ГЭС (Рис.1). На этих разрезах хорошо видна динамика развития процесса фильтрации в правобережном примыкании плотины Вилуйской ГЭС. Следует отметить, что если в 2002 году горизонты талых пород -243 и -232 м. локализованы между 76 и 77 скважинами, а интервал -242 – -235 м между 77 и 78 скважинами скорее всего является областью «вязкой мерзлоты», то в 2004 году горизонт талых пород распространен вдоль всего профиля.

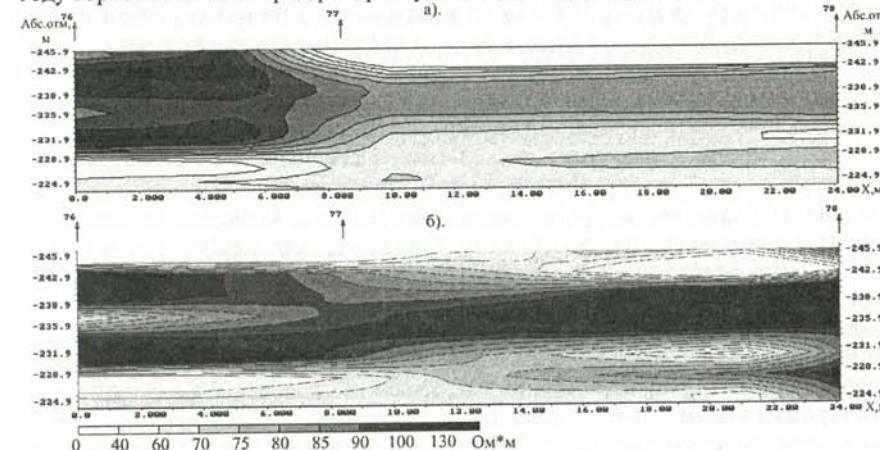


Рис.1. Геоэлектрический разрез, построенный по данным межскважинного радиопросвечивания в а) в начале марта 2002 года б) в конце апреля 2004 года.

Как видно (Рис.1б) основным пластом круглогодичной фильтрации является четко выделяемый горизонт 232 м вблизи 76 скважины – -240 м в 78 скважине, а талые породы на глубине -241 – -243 м, как и в 2002 году, локализуются между 76 – 77 скважинами. Ниже по разрезу также выделяется интервал с пониженным значением электросопротивлений. Как видно на Рис.1а, вблизи 78 скважины в 2002 году на отметках -227 - -225 м четко выделяется пласт с низкими значениями электросопротивлений. В 2004 (Рис.1б) году сопротивления пород этого пласта уменьшаются по сравнению с 2002 годом, что свидетельствует о развитии процесса оттаивания мерзлых пород. Причем оттаивание происходит между 77 и 78 скважинами, вдали от тела

плотины, что свидетельствует о развитии обходной фильтрации. Дальнейшие наблюдения позволят уточнять и контролировать динамику этого процесса.

Второй пример относится к применению технологии односекважинного радиоволнового профилирования (ОРВП) [4,5]. Результаты исследований позволили установить особенности частично подтаявшего берегового мерзлого массива вдоль профиля скважин, ориентированного перпендикулярно береговой линии водохранилища Сытыканского гидроузла.

На рис.2 приведены геоэлектрические разрезы, полученные по данным ОРВП, в марте, августе 2001 года и июне 2002 года. Как видно, даже на фоне сильной электрической контрастности, связанной с переменной литологией, характерной для пород в данном разрезе, наблюдается общая закономерность изменения значений удельного электрического сопротивления, как во времени, так и в пространстве.

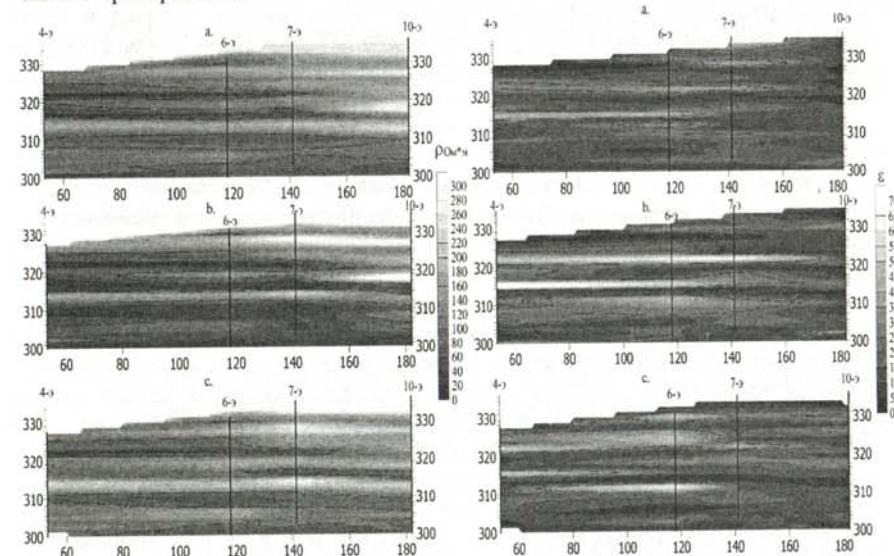


Рис.2. Разрезы эффективных значений электросопротивления ( $\rho$ ) и относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) вдоль профиля скважин построенные по данным односекважинного радиоволнового профилирования в марте 2001 (а.), августе 2001 (б.) и июне 2002 (с.) Сытыканского гидроузла

По мере удаления от береговой линии эффективное электрическое сопротивление пород всех литологических разностей постепенно повышается в направлении скважины 10. Сравнивая результаты, полученные в марте и августе, можно увидеть не только общее продвижение «фрона пониженных удельных электрических сопротивлений» в этом направлении, но и выделить горизонты 309-311 м и 314-317 м и 321 – 324 м, по которым эти изменения происходят наиболее интенсивно. В августе в пределах этих пластов наблюдается достаточно резкое понижение сопротивления в скв. 10. Именно на тех глубинах в данной скважине в августе отмечены первые положительные

значения температуры. Выявленная закономерность изменения удельного электрического сопротивления является прямым отражением процесса оттаивания мерзлых пород.

Однако, в июне 2002 года, как видно на рисунке, электрическое сопротивление пород в разрезе повышенное, что связано с максимальной проморозкой пород, и минимальной температурой воды в Сытыканском водохранилище. Наглядно это прослеживается в пласте 314 – 317 м, в котором наблюдается относительное повышение сопротивления между 4-й и 6-й скважинами.

Сравнение геоэлектрических разрезов марта и августа 2001г., с имеющимися температурным измерениям по тем же скважинам, полученным Вилюйской НИМС СО РАН, свидетельствует о том, что нулевая изотерма проходит по подошве пласта высокого сопротивления 324-326 м, а высокий градиент изменения сопротивления отмечает здесь границу мерзлых и талых пород. Если в марте в скв.7 на интервале 290-317 м впервые были отмечены положительные температуры в доли градуса, то на геоэлектрическом разрезе достаточно резкое понижение сопротивления в горизонтах 309-312 м и 317-319 м уже явно прослеживалось в направлении к скв.10, что свидетельствует о высокой чувствительности электрических свойств мерзлых пород к изменениям их состояния. На геоэлектрическом разрезе эффективных значений диэлектрической проницаемости пласти с наиболее высокими значениями  $\epsilon$  (интервалы 311-314м и 317-319м) соответствуют участкам высокого градиента положительных температур в августе 2001г. Локальный участок повышенных значений  $\epsilon$  вблизи скважины 6 в интервале 306-309 м также совпадает с локальной аномалией положительных температур. Совокупность полученных данных позволяет заключить, что выделенные пласти с высокими значениями  $\epsilon$  являются горизонтами наиболее интенсивной фильтрации. В летний период положительных температур воды Сытыканского водохранилища по этим проницаемым пластам проникают вглубь берегового массива и в последующем являются как бы «вторичными источниками тепла», распространяя и ускоряя процесс оттаивания мерзлых пород всего массива. Весной 2002 года и в июне при минимальной температурой всего массива пород и при минимальной температуре воды водохранилища (до «вскрытия») на разрезе диэлектрической проницаемости области с аномально повышенными значениями сужаются и локализуются вблизи скважины 6 на горизонтах 310 – 312 м и 322 – 325 м, что связано с сезонным промерзанием геологической среды. Однако присутствие локальных зон с повышенными значениями диэлектрической проницаемости позволяет предполагать существование зон «круглогодичной» обходной фильтрации воды из водохранилища через первоначально мерзлый массив.

При мониторинге процессов оттаивания мерзлых пород и выделении фильтрующих горизонтов, проведение исследований только вдоль профиля скважин в принципе недостаточно т.к., важно следить за изменениями электрических свойств пород в объеме, что позволит решать как 2-х, так и 3-х мерные задачи. Однако на этом участке других скважин пригодных для исследования не было. Тем не менее, технология объемного (3D) геоэлектрического картирования методом РВГИ была разработана ООО «Радионда LTD» и успешно применяется[4,5]. Объемное геоэлектрическое

картирование позволяет повысить точность локализации неоднородностей, оконтуривать их не только в разрезе, но и в плане, повышает надежность интерпретации данных радиопросвечивания. Использование комплекса скважинных геофизических методов: межскважинного и околоскважинного радиопросвечивания, гамма каротажа и термометрии может стать эффективным средством решения геокриологических задач по выявлению и оконтуриванию различного рода неоднородностей в массивах мерзлых пород, участков развития фильтрации, участков повышенной льдистости и т.п., а также для эколого-геофизического мониторинга изменения во времени их физических свойств в реальном масштабе времени.

#### Литература

1. Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания. Патент России №2084930 от 22.07.93.
2. С.А. Великин, А.М. Снегирев, А.Д. Фролов. Эколо-геофизический мониторинг в криолитозоне. Международная геофизическая конференция. 300 лет горно-геологической службы России. Санкт-Петербург, 2000, с 620 – 621.
3. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. Пущино, изд. ПНЦ РАН, 1998, 515с.
4. Фролов А.Д., Истратов В.А., Лысов М.Г., Остапчук С.И. Радиоволновая геоинтроскопия мерзлых массивов. Материалы второй конференции геокриологов России, том 4, М., изд-во МГУ, 2001, с 290 - 299.
5. Istratov V.A., Frolov A.D. radio wave borehole measurements to determine the in situ electric property distribution in a massif. J. Geophys. Res.-Planets, Vol. 108, No. E4, 10.1029/2002JE001880, April 2003.

## СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Д.Ю. Малеев

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

## SEISMIC-AcouSTIC INVESTIGATIONS OF OPERATED RAILWAY SUBGRADE IN PERMAFROST AREA

D.Yu. Maleyev

Far Eastern State Transport University

The results of seismic-acoustic investigations of a railway embankment located in permafrost area are given. The solution of the problem includes the new methodology of seismic data interpretation along with the optimal use of the refraction method to reflect real geocryologic media by elastic waves propagation.

#### Введение

К числу задач, решаемых инженерной геофизикой при геокриологических исследованиях является картирование мерзлых пород и изучение их условий залегания, строения и мощности. Выявление немерзлых и мерзлых пород сейсмическими методами проводится, как правило, с использованием кинематических признаков. При переходе от мерзлых пород к талым