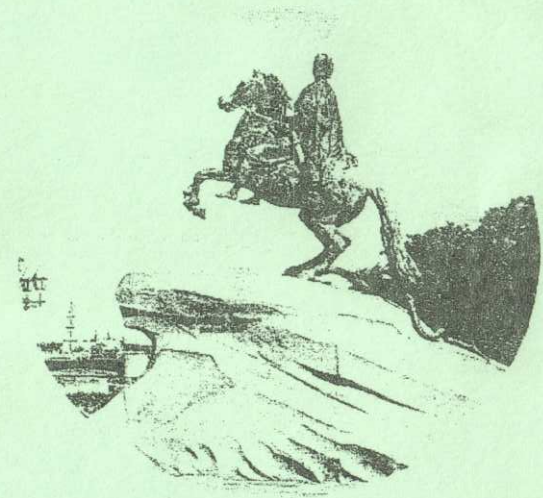


МАХ IAR

МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ,
ПРОЧНОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Материалы VIII научно-технической конференции



Санкт - Петербург
2002

характеризовать распределением параметра состояния в характерные моменты времени (рис. 4). Расчет производился в трех вариантах: при ступенчатом изменении теплопроводности $\lambda = \lambda(t)$ (рис. 2), при максимальной теплопроводности $\lambda = 4.65 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$ и при минимальной теплопроводности $\lambda = 1.74 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$.

Из сравнения с рисунком 3 видно, что во все случаях толщина замороженной зоны практически не изменяется, а изменяется параметр состояния, то есть степень замороженности грунта. Качество замороженного грунта на разных стадиях процесса различно, поскольку он содержит различное количество незамороженной воды. Следовательно, в замороженной зоне грунт обладает меньшей прочностью и большей пластичностью и ползучестью чем при ИФП.

Сравнение между собой трех вышеуказанных вариантов расчета показывает, что в первом варианте расчета все кривые $\theta = \theta(x)$ при одинаковых значениях времени лежат выше и правее соответствующих кривых второго и третьего вариантов (рис. 4). Сравнение температурных полей (рис. 5) показывает, что в первом и третьем вариантах возмущение температурного поля происходит на глубину 4 м., а во втором варианте – более чем на 6 м. Как и при ИФП, в этом случае значительная часть энергии затрачивается не на фазовый переход, а на изменение температуры грунта. Таким образом, при ступенчатом изменении теплопроводности замораживание происходит как бы "более эффективно". Это объясняется тем, что при вышеуказанных граничных условиях на всех стадиях процесса высокая теплопроводность захватывает всю зону замороженного грунта, но не касается наружного грунта. Если изменить граничные условия и принять температуру охлаждающей среды, например, -30°C , то этот эффект проявится слабее, поскольку меньшая часть замороженного слоя будет иметь высокую теплопроводность.

Список литературы

1. Теплофизические свойства горных пород. Под редакцией Э.Д. Ершова. – М.: Издательство МГУ, 1984. – 204 с.

УДК 551.340

ВОЗМОЖНОСТИ МЕЖСКВАЖИННОЙ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ЛЬДОГРУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

В.А. Истратов (ООО «Радионда LTD»), А.Д. Фролов Научный совет РАН по криологии Земли, Москва)

В мерзлом состоянии породы различного литологического состава обладают достаточно высоким электрическим сопротивлением. Процесс оттаивания сопровождается понижением их электросопротивления. Кроме того, высокая водонасыщенность в фильтрующем пласте должна отражаться повышением относительной диэлектрической проницаемости на этом интервале.

Информативность данных об электрических свойствах мерзлых пород для решения инженерно-геологических и геокриологических задач (Фролов, 1998) определяет целесообразность применения и совершенствования электромагнитных методов, позволяющих изучать эти характеристики пород в условиях естественного залегания. Хорошими возможностями для этого обладает технология радиоволновой геоинтроскопии межскважинного и околоскважинного пространства (ОРВП-РВГИ), по результатам которой возможно определение эффективных значений удельного электрического сопротивления и относительной диэлектрической проницаемости элементов геологической среды и закономерности их изменения в исследуемом массиве. Физико-геологической основой метода радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ) является зависимость интенсивности поглощения энергии радиоволны породами от электрических характеристик этих 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 электрические свойства грунтов в естественном залегании и их распределение в пространстве, выявлять и локализовывать неоднородности геологического строения. Диапазон радиочастот 0.06 – 31 МГц, реализованный в аппаратуре РВГИ-2 (рис.1), позволяет подбором рабочей частоты обеспечивать желаемые условия для измерений (среда - квазипроводник или квазидиэлектрик) для оценки эффективных значений ρ и ϵ .

Существенными особенностями радиоволнового метода являются:

- возможность выбора оптимальных рабочих частот и измеряемых компонент электромагнитного поля, обеспечивающая наилучшую разрешающую способность при требуемой эффективной дальности;
- измерение гармонических сигналов, определяющее высокую помехозащищенность;

- использование относительно коротких приемных и излучающих диполей, позволяющее проводить измерения в ограниченных по длине интервалах скважин;
- проведение измерений непосредственно в рабочем горизонте, снижающее влияние перекрывающих и подстилающих пород.

В дополнение к межскважинному радиоволновому просвечиванию (РВГИ) проводятся измерения вариантом односкважинного радиопрофилирования на двух частотах (ОРВП). Выполнив 2-х частотные измерения вдоль профиля скважин, по данным на низкой частоте можно получить картину изменения электросопротивления пород в пространстве и во времени, которая будет отражать развитие процесса оттайки мерзлого массива. Обработка данных измерений на высокой частоте позволит вычислить эффективные значения относительной диэлектрической проницаемости и по интервалам высоких значений выделить и локализовать участки наибольшей водонасыщенности (фильтрации).

В качестве примера применения технологии ОРВП-РВГИ приведены результаты исследований берегового массива вдоль профиля скважин, ориентированного перпендикулярно береговой линии водохранилища Сытыканского гидроузла (Республика Якутия-Саха).

Результаты измерений ОРВП представлены на рис.2 и 3 в виде совмещенных графиков эффективных значений электросопротивления и относительной диэлектрической проницаемости по стволам скважин № 4-6-7-10 соответственно в марте и августе 2001 г. Как видно на рисунках, в разрезе достаточно четко выделяются несколько интервалов как повышенного (индекс Н), так и пониженного сопротивления (индекс Р), которые уверенно коррелируются между собой по всему разрезу, отражая литологическое строение массива карбонатных пород. Сравнение с данными гамма-каротажа показывает, что большинство пластов пониженного сопротивления совпадают с высокоглинистыми интервалами.

Вместе с тем, на фоне сильной электроконтрастности, связанной с литологией пород, на геоэлектрическом разрезе по данным ОРВП (рис.4) наблюдается ясно выраженная закономерность общего повышения значений электросопротивления по мере удаления от береговой линии, а область пониженных сопротивлений последовательно сужается к скв. №10. В августе у пласта Н(309-310) наблюдается достаточно резкое понижение сопротивления в скв. №10. Важно, что именно на этом интервале глубин в августе отмечены первые положительные значения температуры в скв. №10. В целом, выявленная закономерность изменения электросопротивления является прямым отражением процесса оттаивания мерзлых пород.

На геоэлектрическом разрезе эффективных значений диэлектрической проницаемости пласты Р(311-314) и Р(317-319) с наиболее высокими значениями $\epsilon_{эф}$ являются горизонтами наиболее интенсивной фильтрации. Локальный участок повышенных значений $\epsilon_{эф}$ вблизи скважины №6 на глубине 306-309 м совпадает с локальной аномалией положительных температур.

Корреляция изменения электрических свойств с температурой наглядно представлена на рис.5, где по данным межскважинного просвечивания в июле четко картируется граница мерзлых и талых пород.

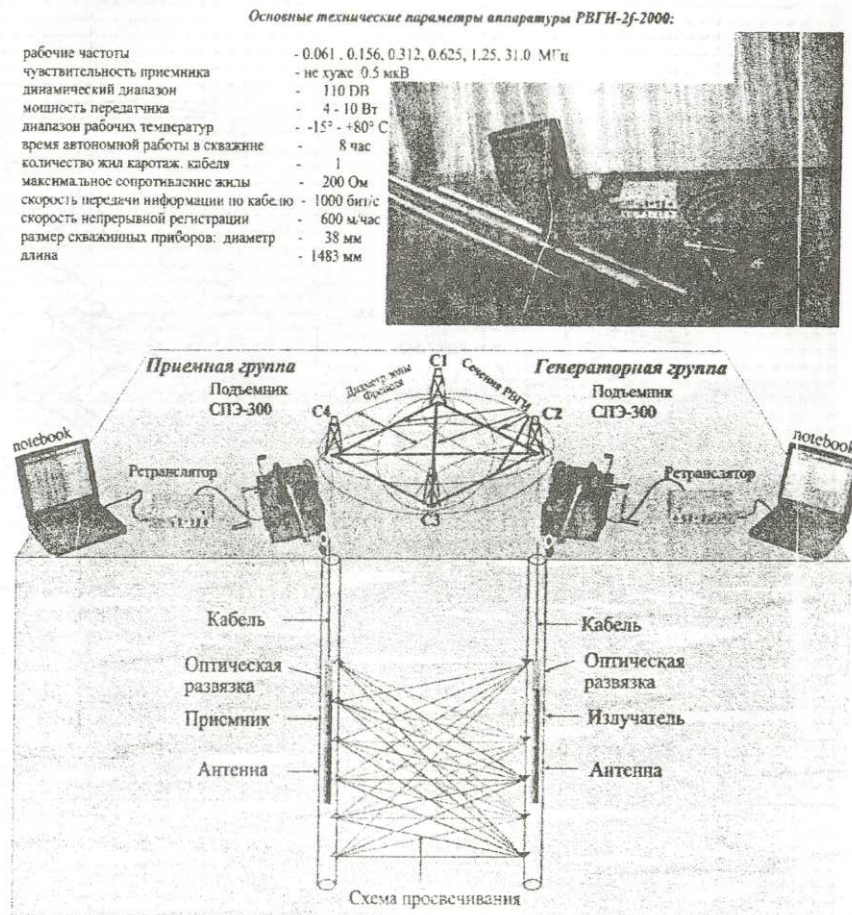


Рис.1 РАДИОВОЛНОВАЯ ГЕОИНТРОСПЕКЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В МЕЖСКВАЖИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ РВГИ

Корректировка значений электрического сопротивления по данным ОРВП, представленная на рис. 2, это по данным измерениями электрического сопротивления в скважинах и в этих скважинах производится проверка правильности и точности данных.

Август $\rho_{эф}$, $z_0 = 2.25$ м.

Март $\rho_{эф}$, $z_0 = 2.25$ м.

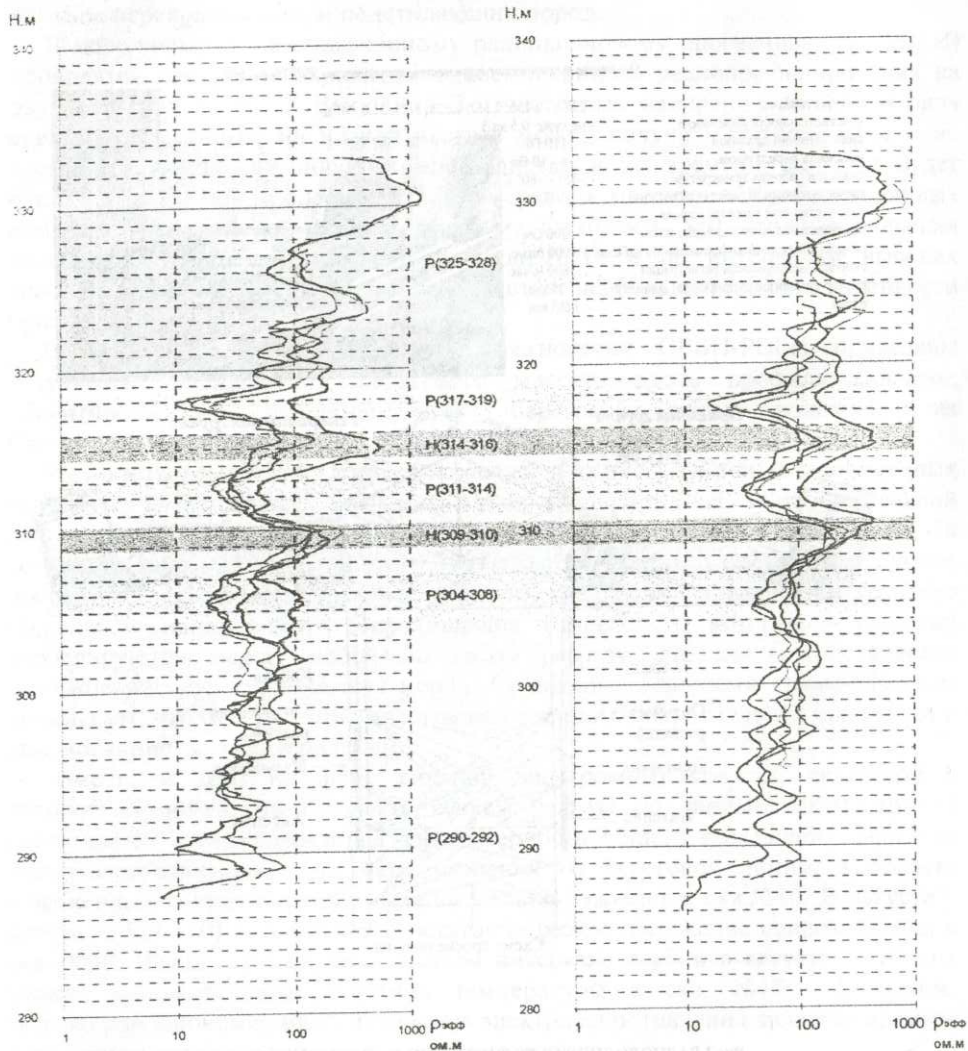


Рис.2 Графики эффективных значений электрического сопротивления по данным ОРВП, $f = 1.25$ МГц.

Условные обозначения

- скв. 10а
- скв. 7а
- · - · скв. 6а
- — — скв. 4а

Август $\epsilon_{эф}$, $z_0 = 2.25$ м.

Март $\epsilon_{эф}$, $z_0 = 2.25$ м.

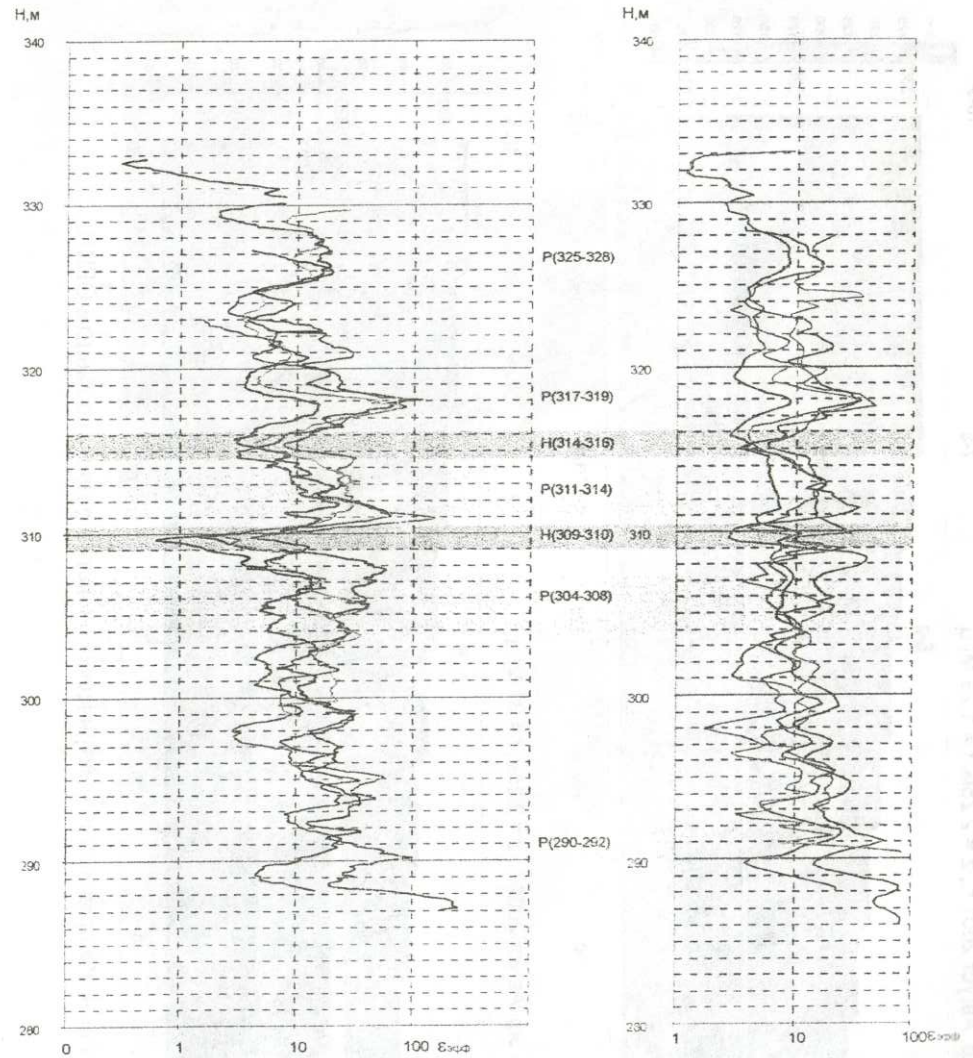


Рис.3 Графики эффективных значений относительной диэлектрической проницаемости по данным ОРВП, $f = 31$ МГц.

Условные обозначения

- скв. 10а
- скв. 7а
- · - · скв. 6а
- — — скв. 4а

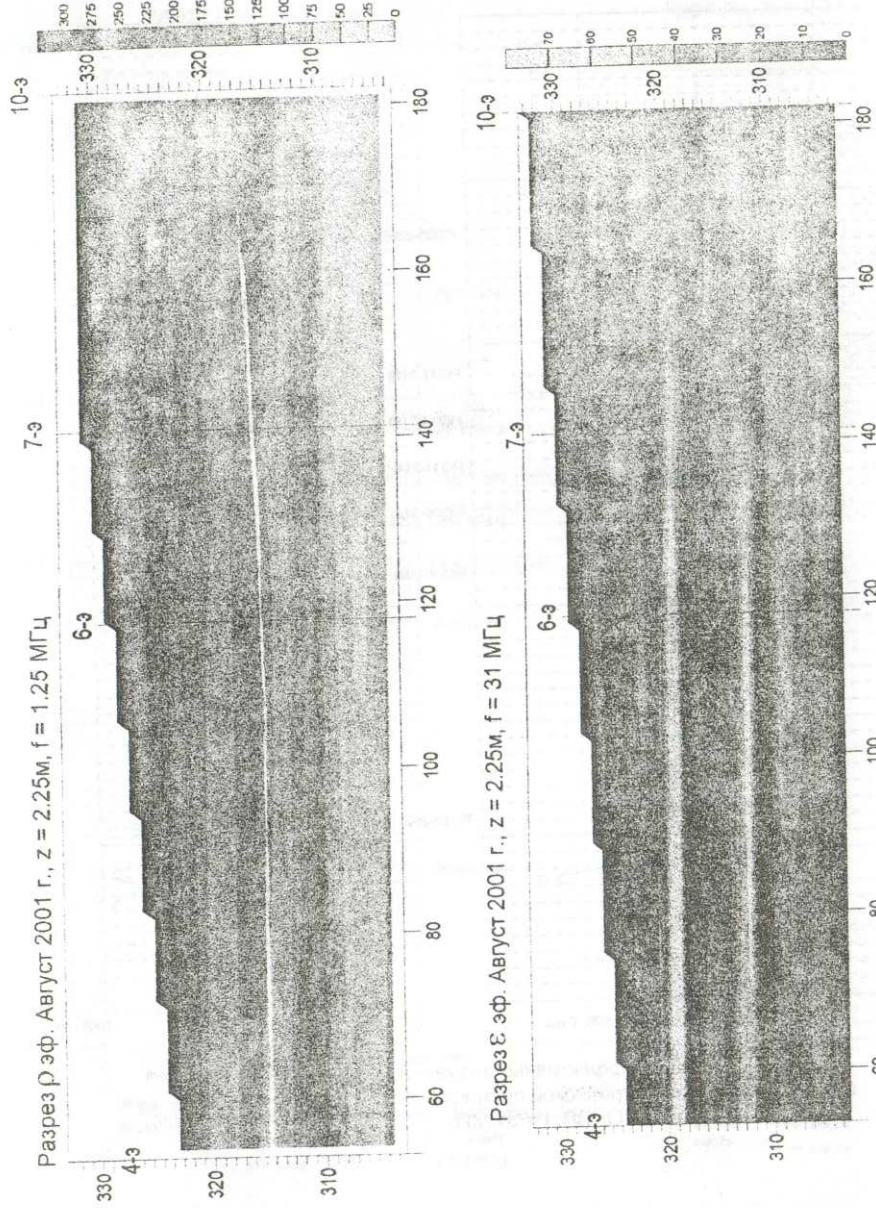
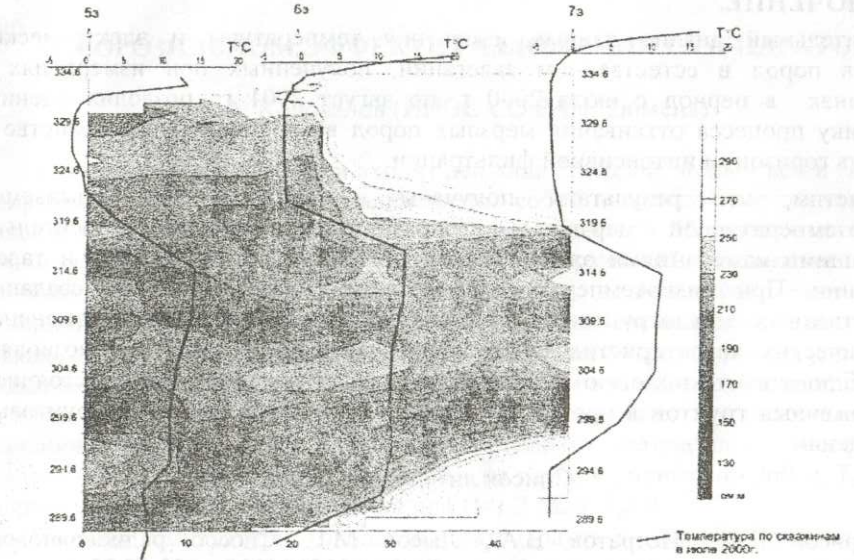
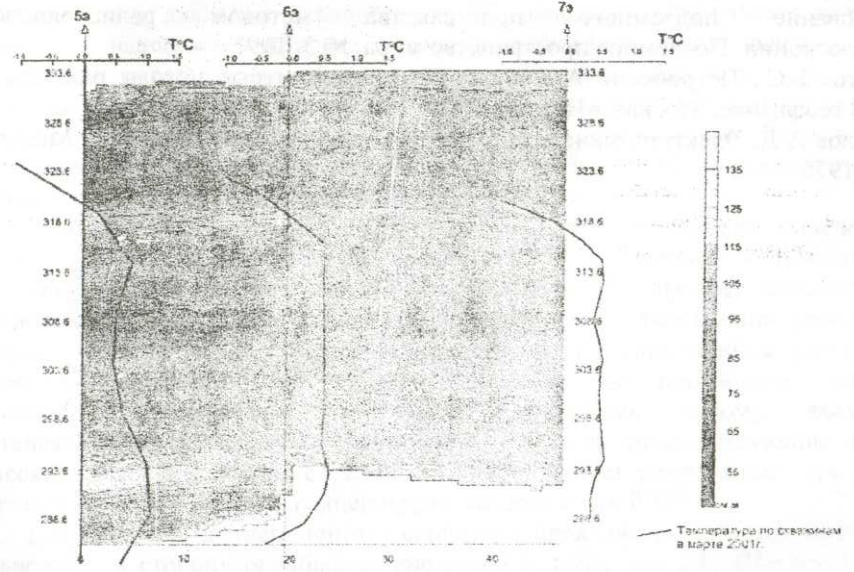


Рис.4. Распределение электрических свойств в разрезе по данным ОРВИ.



Результаты РВГИ на частоте 1.25 МГц по скв.5а-6а-7а (июль 2000г).



Результаты РВГИ на частоте 1.25 МГц по скв.5а-6а-7а (март 2001г).

Рис.5. Изменение электрических свойств пород во времени по данным РВГИ и результаты температурных измерений в это же время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Сравнительный анализ данных изменения температуры и электрических свойств пород в естественном залегании, полученных при измерениях в скважинах в период с июля 2000 г. по август 2001 г., позволил оценить динамику процесса оттаивания мерзлых пород во времени и пространстве и выявить горизонты интенсивной фильтрации.

Отметим, что результаты получены в условиях так называемой высокотемпературной мерзлоты, которая характеризуется относительно небольшими изменениями электрических свойств пород в мерзлом и талом состоянии. При низкотемпературной мерзлоте, характерной при создании искусственных льдогрунтовых ограждений, контрастность изменения электрических характеристик будет значительно возрастать. Это позволяет рекомендовать технологию ОРВП-РВГИ для контроля за состоянием замороженных грунтов в процессе создания и эксплуатации льдогрунтовых ограждений.

Список литературы.

1. Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания. Патент России №2084930 от 22.07.93.
2. Истратов В.А., Лысов М.Г., Чибрикин И.В. Объемное геоэлектрическое картирование подземного пространства методом радиоволновой геоинтроскопии. Подземное пространство мира. № 3, 1997
3. Светов Б.С., Петровский А.Д. и др. Электромагнитные методы разведки в рудной геофизике. Москва, «Недра», 1966
4. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства криогенных пород. Москва, Недра, 1976

О МОРОЗИЛЬНОМ ЭФФЕКТЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ГАЗГИДРАТОВ

А.А. Коновалов (ИПОС СО РАН, Тюмень)

В состав криосферы Земли входит два вида "твердой" воды - лед и гидраты природных газов. Последние представляют собой льдоподобные образования, сплошные или в составе других пород, залегающие в областях охлаждения Земли - в ложе Мирового океана и под "вечной мерзлотой" (в ее нижнем ярусе). По внешнему виду и ряду свойств твердые фазы воды близки между собой. Принципиальным их отличием является обратная зависимость температуры фазового равновесия T_p от давления P : с увеличением P (с глубиной) у льда она повышается, а у газгидратов понижается, при падении давления наоборот. Причем при низких давлениях возможен ее переход от положительных значений к отрицательным (например у гидрата метана при атмосферном давлении $T_{p,0} = -70$ °С, а при $P = 2,6$ МПа - на глубине, примерно 260 м, $T_p = 0$ °С; у гидрата углекислого газа $T_{p,0} = -36$ °С, а при $P = 1,2$ Мпа $T_p = 0$ °С).

Переход температуры разложения газгидратов в область отрицательных значений должен вызвать замерзание выделяющейся при разложении газгидрата воды. Это означает, что понижение давления над гидратными залежами ниже давления, равновесного 0°С, например, в результате регрессии моря или ледникового покрова, создания котлованов или большого объема пустот при выработке полезных ископаемых, спуска водоемов и т.п., может быть причиной промерзания горных пород и сохранения мерзлого состояния в течение определенного времени даже при положительных температурах окружающей среды, причем, если последние близки к 0°С, мерзлое состояние может сохраняться сотни и тысячи лет.

При анализе интересного феномена и для достоверного определения параметров фазового перехода (равновесия) необходимо учитывать его кинетику. Инерционные свойства среды (вязкость, трение, сжимаемость, теплоемкость и другие) вызывают запаздывание установления равновесия среды с изменившимися внешними условиями и существенное растяжение фазовых превращений во времени. Поэтому при понижении давления температура разложения газгидрата, равновесная новому давлению, устанавливается не сразу, а постепенно, проходя предшествующие (более высокие) значения. Таким образом, газгидрат может разложиться при более высоких, чем равновесная, температурах, не достигнув 0°С.

Как известно, в инерционных свойствах проявляется принцип смещения равновесия в сторону ослабления внешнего воздействия (Ле Шателье). Если внешнее давление понижается, то наблюдаемая температура разложения газгидрата T_f - функция времени, по сравнению с равновесной T_p повышается (а температура таяния льда понижается) и наоборот, т.е. при падении P у газгидратов понижается T_p , но растет $(T_p - T_f)$. Аналогично, при понижении температуры наблюдаемое давление разложения по сравнению с равновесным