Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, 1984, т. 99

УДК 622.236.73:551.34

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРУПНООБЛОМОЧНЫХ МЕРЗЛЫХ ПОРОД РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н.В.СОКОЛОВА, Н.И.РЯБЕЦ

Изучение возможности использования электромагнитных полей ВЧ и СВЧ диапазона для интенсификации разработки мерзлых пород россыпных месторождений требует, в первую очередь, определения комплексной диэлектрической проницаемости, которая позволяет оценить способность мерзлых горных пород поглощать электромагнитную энергию различных частот, количественно описать процессы их нагрева электромагнитными полями, создает основу для выбора и расчета параметров электротермических устройств.

В статье предпринята попытка оценить зависимость комплексной диэлектрической проницаемости от влажности, температуры и частоты с помощью моделей искусственно приготовленных смесей, которые могли бы имитировать мерзлые крупнообломочные породы россыпных месторождений. Охватить единой методикой весь частотный диапазон измерений диэлектрической проницаемости ε' и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ невозможно, поэтому – исследования велись с применением различных методов. В высокочастотном диапазоне измерения проводились измерителем добротности Е4-11 с использованием методики трех настроек измерительного контура в резонанс при постоянном расстоянии между обкладками конденсатора [4]. В диапазоне СВЧ измерения осуществляли волноводным методом короткого замыкания [2]. В этих измерениях измерительная линия с сечением волноводного канала 90 х 45 мм^2, частично заполненная исследуемой породой, возбуждалась от генератора Г3-10А.

На первом этапе исследовались электрические свойства делювиальных отложений, представляющих собой несортированный дресвяно-щебенистый материал, целиком состоящий из глинистого сланца.

Измерения производились на образцах грунтовых смесей, изготовленных из рассеянных и просушенных фракций проб. Для пород естественного сложения характерно следующее соотношение крупнообломочных фракций [1]: размеры 2-5 мм – 23 %; 5-10 мм – 27 %; 10-20 мм – 35 %; 20-40 мм – 15 %, содержание заполнителя (фракции менее 2 мм) может изменяться в широких пределах от нуля до 48 % относительно общей массы скелета породы. Однако выдержать указанное соотношение размера крупнообломочной фракции в образцах до конца не удалось. В частности, из-за ограничений, налагаемых на размеры образца принятыми методиками измерений, не удалось включить в образцы фракции с размерами $>$ 20 мм и выдержать полностью среднестатическое по россыпным месторождениям процентное содержание крупных фракций в образце. Были изго-

товлены три смеси, отличающиеся друг от друга процентным содержанием отдельных фракций:

Фракция, мм	20-15	15-10	10-5	5-2	2-0,5	0,5
Смесь I, %	5	16	28	26	5	20
Смесь II, %	11	16	19	28	5	21
Смесь III, %	8	13	16	28	7	33

Смеси I и II исследовались на частоте 32 МГц, а смесь III – на частоте 2375 МГц.

Диалектрическая проницаемость минерального скелета исследуемых поро смесей глинистого сланца равна примерно 5 и не зависит от температуры. О ним из основных факторов, определяющим диалектрические свойства дисперси горных пород, является влажность [3].

При исследовании зависимости диалектрических свойств данных смесей от влажности подготовка образцов осуществлялась следующим образом. Порода высушивалась в сушильном шкафу при температуре +105 °С до постоянного вес и развешивалась на весах ВЛА0-200-I, затем расчетным путем задавалась необходимая влажность породы.

Полученные графики зависимостей ε' и $tg\delta$ исследуемых смесей от влажности на частотах 32 МГц и 2375 МГц при положительной температуре T = = I8 °С представлены соответственно на рис.I,а,б.

Качественный характер кривых объясняется тем, что при увеличении влажности происходит послойное заполнение пор, роль связанной воды уменьшается и при определенной степени увлажнения становится преобладающей, т.е. система приближается к двухкомпонентной. Так участок кривой с медленным изменением ε' и возрастанием $tg\delta$ обусловлен влиянием связанной воды, электри

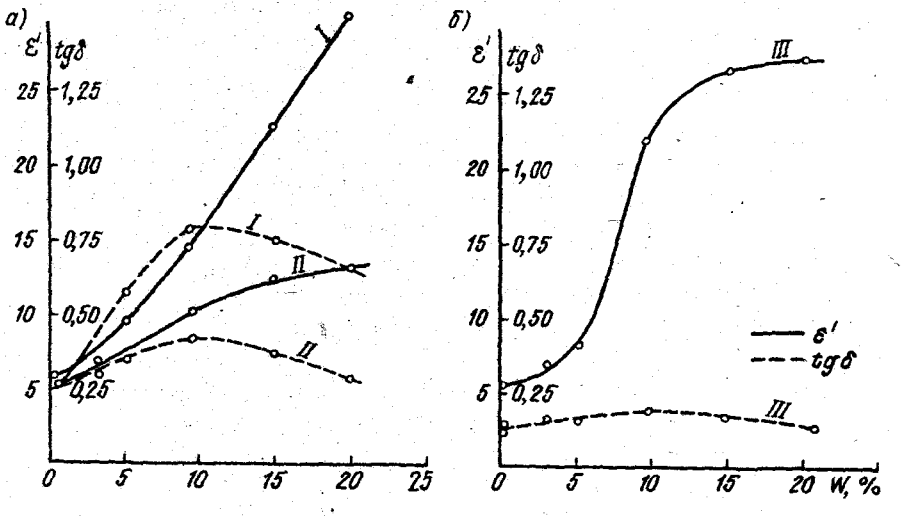


Рис.1. Зависимость ε' и $tg\delta$ от влажности смесей I, II, III

ческие свойства которой отличны от свойств свободной воды. Дальнейшее увеличение влажности приводит к более резкому возрастанию ε' и уменьшению $tg\delta$, этот участок уже определяется свойствами свободной воды. Величина ε' при увеличении влажности до 20 % меняется у смеси I от 5 до 30, а у смеси II от 5 до 13, т.е. скорость нарастания ε' у смеси I, имеющей меньшую удельную поверхность минеральных частиц, вдвое больше чем у смеси II. На частоте 2375 МГц ε' возрастает в 5 раз.

Диэлектрические параметры минерального скелета дисперсных пород не зависят от температуры. Дисперсные влажные породы претерпевают скачкообразное изменение диэлектрической проницаемости при переходе из мерзлого состояния в талое (рис.2) в области температур от -6 до 0 °С, сопровождающееся аномальным возрастанием тангенса угла диэлектрических потерь. Подобный ход температурных зависимостей ε' и $tg\delta$ вызван особенностями кристаллизации воды в дисперсных породах. При данной отрицательной температуре в дисперсной влажной породе всегда имеется некоторое количество незамерзшей воды, которое тем больше, чем больше удельная активная поверхность частиц. Вследствие этого условия кристаллизация воды сильно изменяется и фазовый переход оказывается растянутым в значительном интервале температур. Для смесей I и II влажностью 20,8 % при ρ = = 1,8 г/см^3 фазовый переход на частоте 32 МГц происходит в диапазоне от -6 до 0 °С (рис.2). На частоте 2375 МГц переход осуществляется в диапазоне температур от -2 до 0 °С для смеси III при w = 20,5 % и ρ = 2,0 г/см^3 (рис.3). При переходе грунта из мерзлого состояния в талое ε' смеси I и II возрастает в 3,6 раза, смеси III – в 2,6 раза.

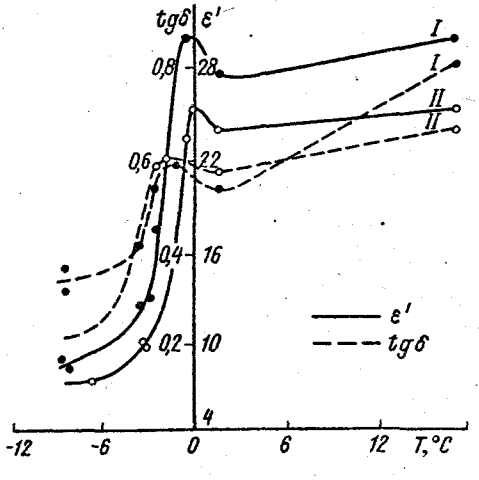


Рис.2. Температурные зависимости ε' и $tg\delta$ смесей I и II

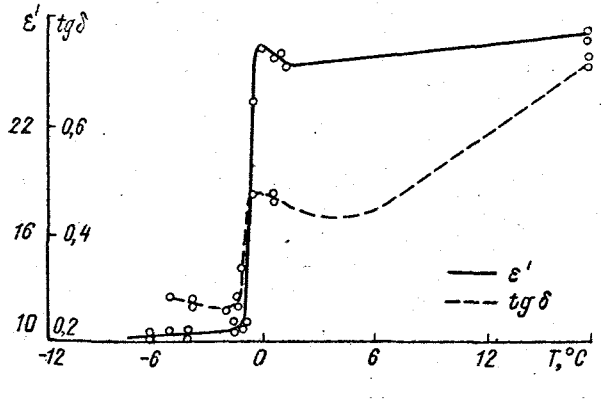


Рис.3. Температурные зависимости ε' и $tg\delta$ смеси III

Аналогичные исследования диэлектрической про-

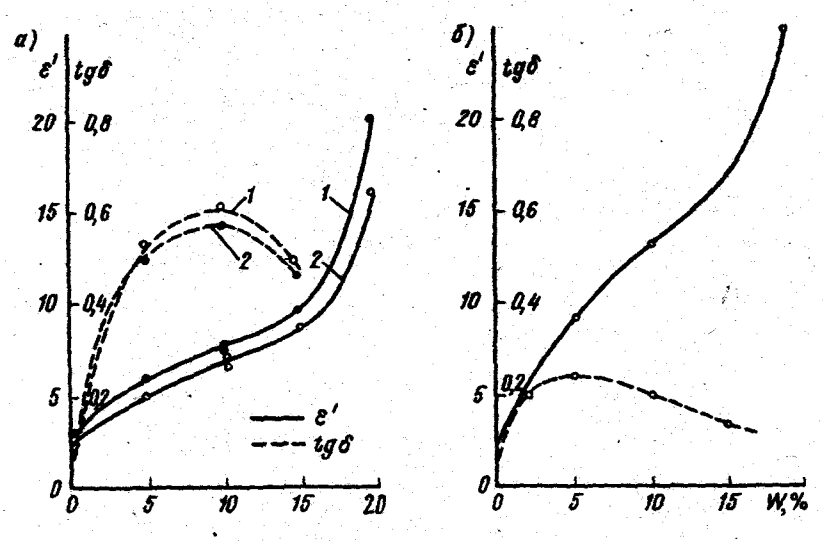


Рис.4. Зависимость ε' и $tg\delta$ от влажности

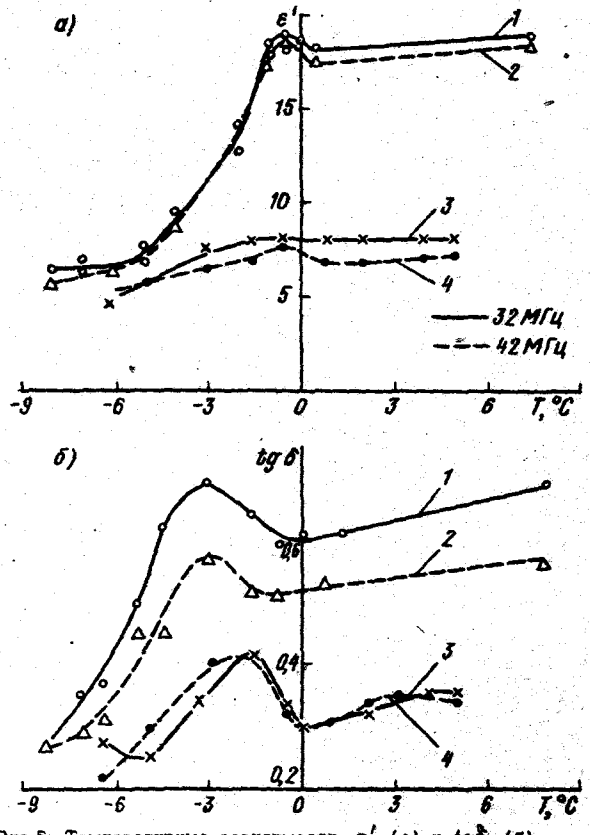


Рис.5. Температурные зависимости ε' (а) и $tg\delta$ (б) на частотах 32 МГц и 42 МГц
1, 2 – при w = 20 %, ρ = 2,0 г/см^3; 3, 4 – при w = 10 %, ρ = 1,36 г/см^3

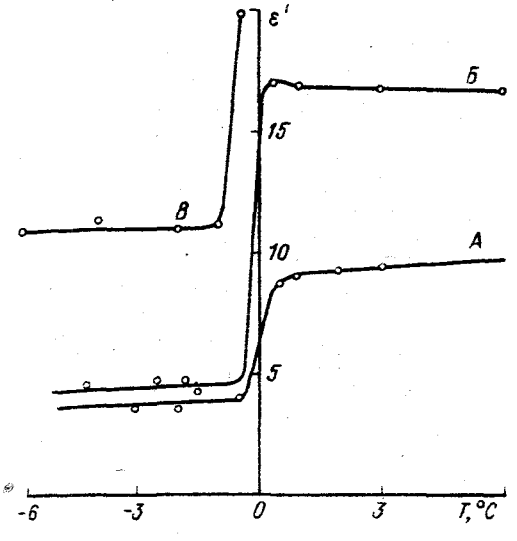


Рис.6. Температурные зависимости ε' при различной влажности на частоте 2375 МГц при $\rho = 1{,}45$ г/см³

ницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от влажности и температуры были проведены с делювиально-аллювиальными отложениями, представляющими собой породу, состоящую из обломков глинистого сланца, сцементированного глинистым материалом. В результате обработки полученных экспериментальных данных построены зависимости ε' и $tg\delta$ от влажности при положительной температуре (+18 °С) на частотах 32 МГц (кривые 1) и 42 МГц (кривые 2) (рис.4,а) и 2375 МГц (рис.4,б). Так как эти породы имеют высокую степень дисперсности, критическое значение влажности, при которой преобладающее влияние на диэлектрические свойства оказывает свободная вода, смещается в область более высоких значений. При увеличении влажности до 20 % на высоких частотах ε' возрастает в 5-6 раз, однако скорость нарастания на СВЧ выше, чем на ВЧ.

Проведен ряд температурных исследований ε' и $tg\delta$ данных пород на двух частотах 32 МГц и 42 МГц при влажности 10 % и 20 % (рис.5). Фазовый переход более явно выявлен у образца с влажностью $w = 20$ %, ε' возрастает в 2,6 раза и переход осуществляется в области температур от -6 до 0 °С. Максимум $tg\delta$ при этом сдвинут в область более низких температур $T = -3$ °С. У пород с влажностью 10 % максимум $tg\delta$ наблюдаем при $T = -2$ °С.

Исследованы зависимости диэлектрической проницаемости данной породы от температуры на частоте 2375 МГц при влажностях w, равных 10 (А), 14 (Б) и 25 % (В) (рис.6).

Проведенные экспериментальные исследования позволяют в первом приближении судить о наиболее вероятных значениях диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь мерзлых крупнообломочных пород россыпных месторождений при различной влажности и температуре на частотах, представляющих интерес в электротермии. Выполненные исследования являются лишь начальным этапом, создающим основу для осуществления дальнейших исследований в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тайбашев В.Н. Физико-механические свойства мерзлых крупнообломочных пород. - Труды ВНИИ-1, Магадан, 1973, т.33.

2. Тишер Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах. М., Физматгиз, 1963.

3. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства крупнообломочных пород. М., Недра, 1976.

4. Хиппель А.Р. Диэлектрики и их применение. М., Госэнергоиздат, 1959.