

Микроволновые особенности солёного льда вблизи температуры эвтектики

Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Крылов С.Д.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
E-mail: lgc255@mail.ru

Особенности электромагнитных характеристик льда минерализованных водоёмов заключается в существенном влиянии химического состава солей, захваченных в ледяной покров. Различие температурных характеристик определяется значением температуры эвтектики солей. Однако не только эти значения определяют электрофизические характеристики льда, например, его электропроводность и микроволновые коэффициенты отражения. Важными параметрами являются размеры кристаллов льда и кристаллогидратов, а также форма жидких включений, их распределение в пространстве, занимаемом солёным льдом и криохимические превращения.

Цель настоящей работы заключалась в изучении изменений коэффициента отражения электромагнитного излучения на частотах 18 и 34 ГГц при замораживании растворов хлорида натрия и йодистого калия. Исследовали также изменение отражательной способности при циклическом изменении температуры от её значений ниже и выше температур эвтектики данных солей и причины таких изменений.

Эксперименты проводили в лабораторных условиях с использованием климатической камеры, позволяющей охладить образец до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

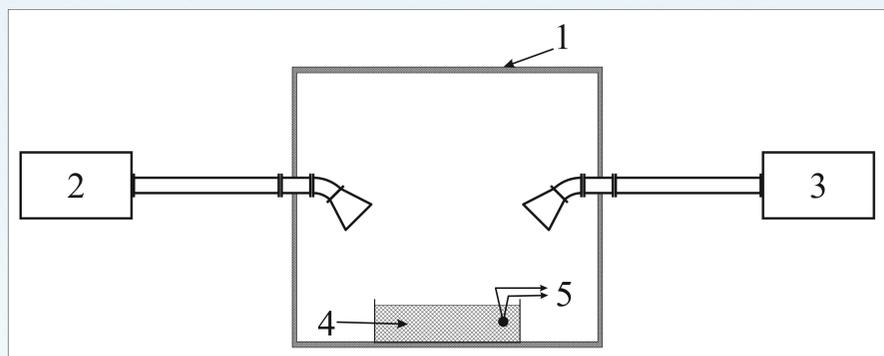


Рис. 1 Схема экспериментальной установки. 1 – климатическая камера, 2 – генератор, 3 – приемник, 4 – образец льда, 5 – термопара.

Раствор соли помещали в небольшую плоскую металлическую кювету. Антенны передатчика и приёмника направляли на водную поверхность под углом наблюдения $\sim 45^{\circ}$, излучение и приём осуществляли на вертикальной поляризации. Точность измерения температуры составляла $\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате измерений обнаружены два небольших выброса на кривых отражённой мощности в зависимости от температуры при вторичном замерзании образца с хлоридом натрия (рис. 2), по-видимому, связанных с фазовыми превращениями в точках эвтектики и возрастанием рассеяния излучения. В выполненном эксперименте две соответствующих выбросам температуры имели значения вблизи -23 и $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако в первом цикле охлаждения от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдали возрастание поглощения вблизи $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данную особенность можно связать с точками эвтектики $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NaCl}\cdot \text{H}_2\text{O}$. Для этих кристаллогидратов в (Drebushchak et al., 2017) были обнаружены температуры эвтектики вблизи $-21 \dots -23$ и $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При нагревании льда до таяния с последующим замораживанием смеси льда и воды наблюдали уменьшение коэффициентов отражения при вторичном охлаждении ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\sim 25\%$ (4 на рис. 2). Эту особенность можно связать с изменением структуры льда, например, изменением размеров кристаллов и распределения плёнок незамёрзшей воды в пространстве между кристаллами.

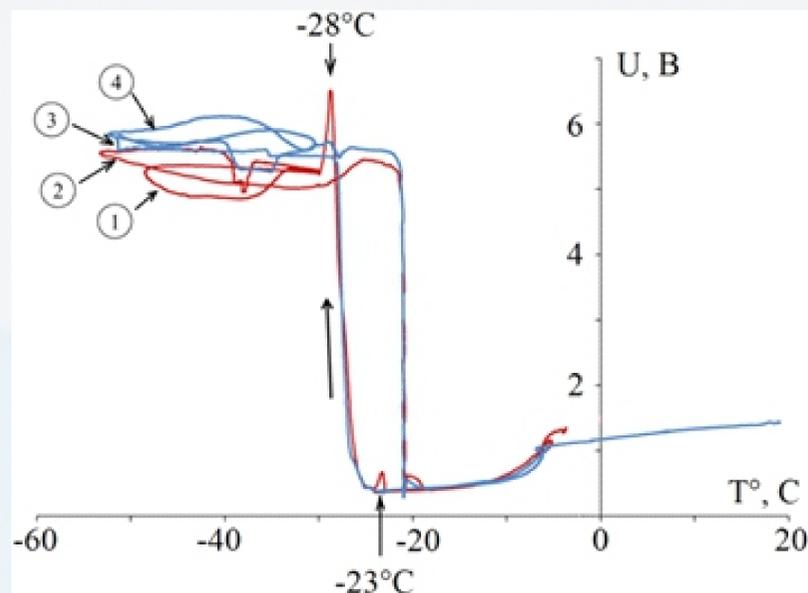


Рис. 2 Изменение мощности излучения, отраженного от металлической кюветы с раствором хлористого натрия и льдом с концентрацией соли 100 г/л, при циклическом замораживании - нагревании образца в зависимости от температуры (номера циклов указаны цифрами). Выходное напряжение приемника излучения (U) в вольтах, пропорционального уровню регистрируемой мощности сигнала.

Эффект миграции солевых включений при периодическом суточном изменении температуры был обнаружен (Бордонский, Крылов, 2000) для льда содового озера. В его ледяном покрове кристаллы соли в холодные малоснежные годы выступали на поверхность, а в общем концентрация соли возрастала в верхних слоях от значения 1 г/кг в начале зимы до 5 г/кг перед деструкцией льда. График концентрации, определяемой миграцией солей в ледяном покрове оз. Доронинское показан на рис. 3. Движение жидкости по капиллярам при суточных вариациях температуры воздуха (из-за термических напряжений) может также влиять на рассеивающие свойства среды, особенно в низкочастотном участке микроволнового диапазона.

Медленное и быстрое изменение микроволновых параметров солёного льда могут дать определённую информацию об атмосферных процессах, динамике температуры воздуха и криохимических превращениях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-05-00085).



Рис. 3. Фото оз. Доронинское. Вставка: Изменение концентрации из-за миграции солей в ледяном покрове оз. Доронинское. Датy измерения: ■ – 30 ноября; ● – 21 декабря; ● – 25 января; × – 27 февраля.

Литература

- Drebushchak V.A., Ogienko A.G., Yunoshev A.S. Metastable eutectic melting in the $\text{NaCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ system // *Thermochimica Acta*. 2017. V. 647. P. 1-110.
- Бордонский Г.С., Крылов С.Д. Миграция солевых включений в ледяных покровах озёр Забайкалья // *Изв. РАН. Серия географическая*. 2000. № 4. С. 98-102.