



# Возможные следы льда ХI в атмосферных частицах и их обнаружение при радиометрических измерениях

*Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
([lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru))

# Льды в природе и компьютерные льды (образуются в соответствии с правилами Бернала-Фаулера)

1. **Природные льды:** а) низких давлений – Ih (гексагональный), Ic (кубический), Isd (с нарушением укладки: смесь Ih и Ic), лёд 0 (метатабильный, при  $T \leq -23^{\circ}\text{C}$ ), лёд XI (при  $T \leq -220^{\circ}\text{C}$ ).

б) высоких давлений.

2. **Компьютерные:**  $> 131000$ .

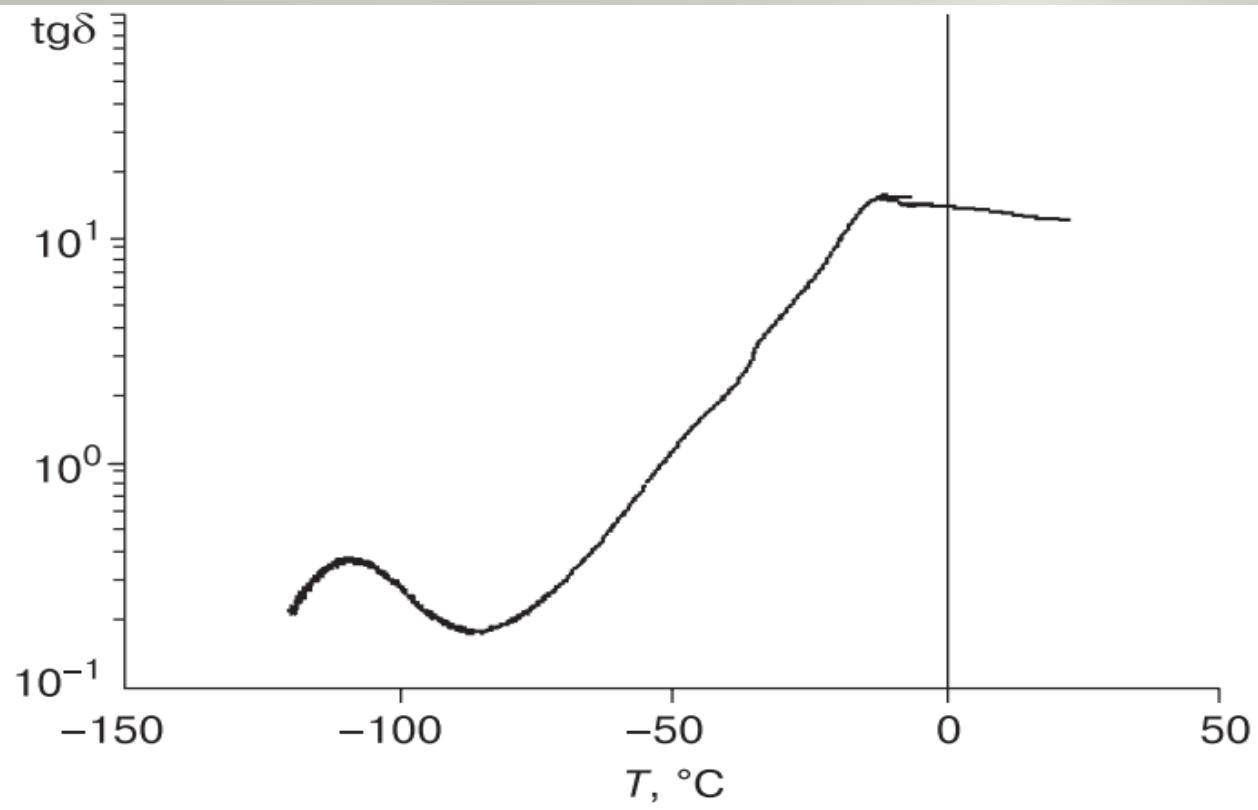
Лёд 0 и лёд XI – сегнетоэлектрики, кристаллические ячейки не имеют центра симметрии.

# Сегнетоэлектрические льды низких давлений

1. Лёд 0 (метатабильный), переходная форма ко льдам I<sub>h</sub> и I<sub>c</sub>; образуется при температурах  $<-23^{\circ}\text{C}$ .
2. Лёд XI, существует при  $-216\ldots-225^{\circ}\text{C}$ ; может образовываться из льда I<sub>h</sub> при упорядочении протонной подрешётки. Например, в Антарктиде это может произойти за 3000...10000 лет.

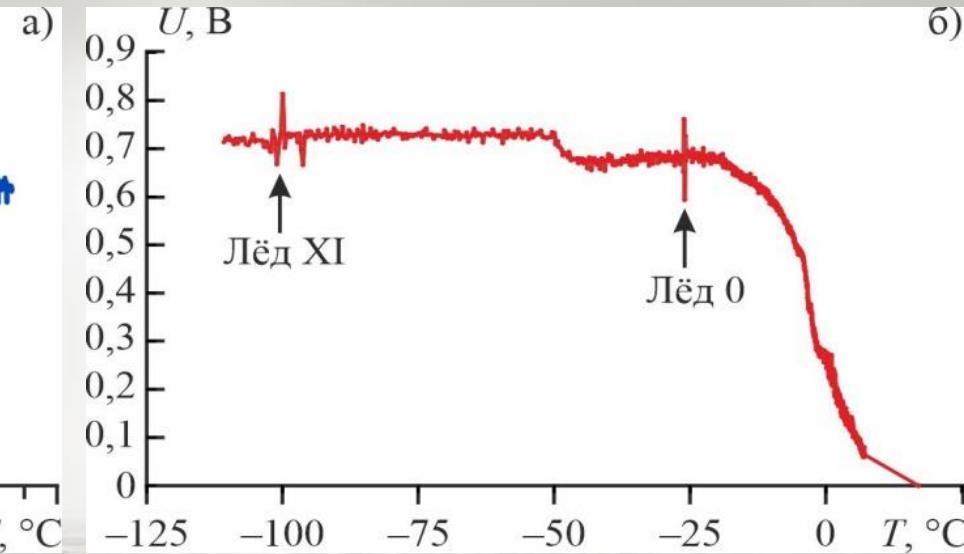
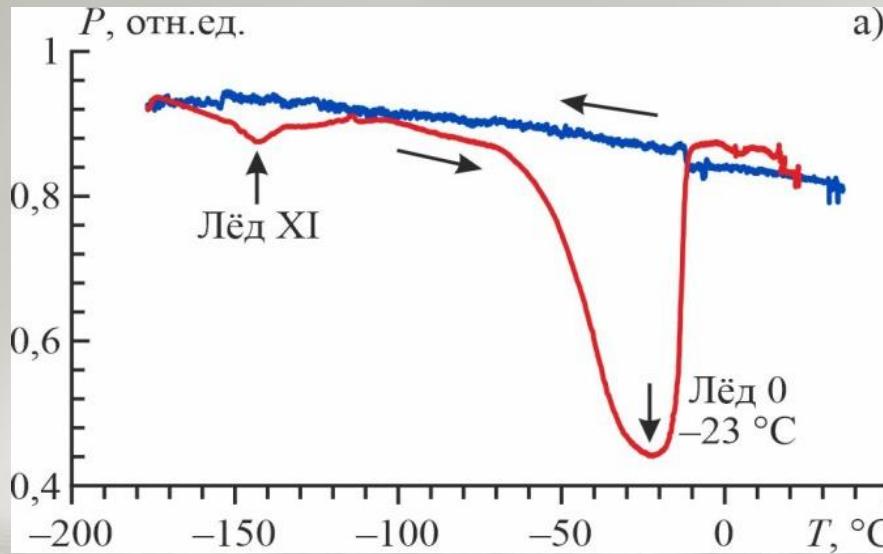
# Поиск льда XI

Диэлектрическая спектроскопия древесины. Тангенс угла потерь.



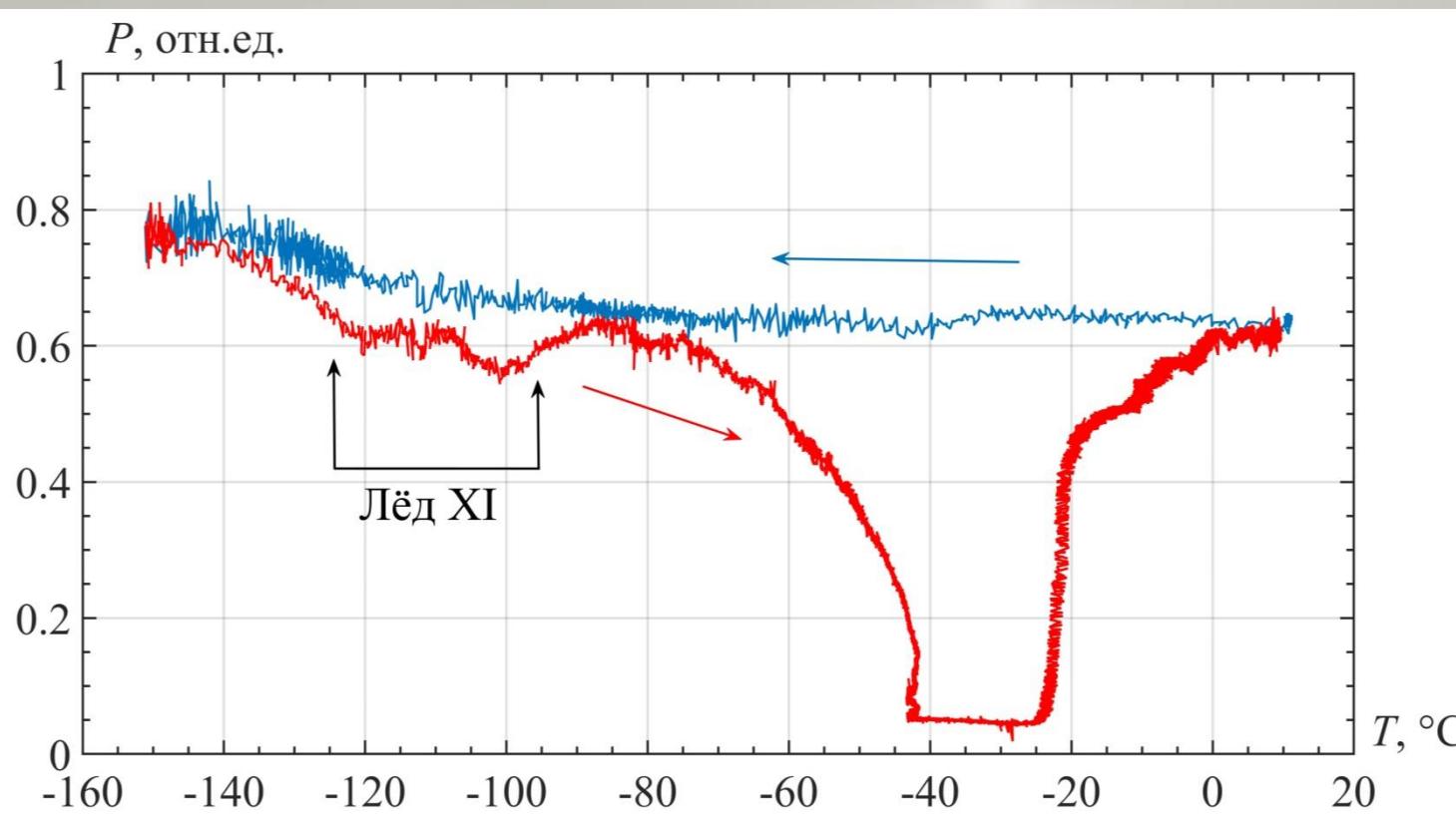
Бордонский Г.С., Орлов А.О.,  
Филиппова Т.Г. Измерения  
низкочастотной  
диэлектрической  
проницаемости увлажненных  
дисперсных сред при  
отрицательных температурах  
// Криосфера Земли. 2008. Т.  
XII. № 1. С. 66–71.

# Обнаружение сегнетоэлектрического льда XI



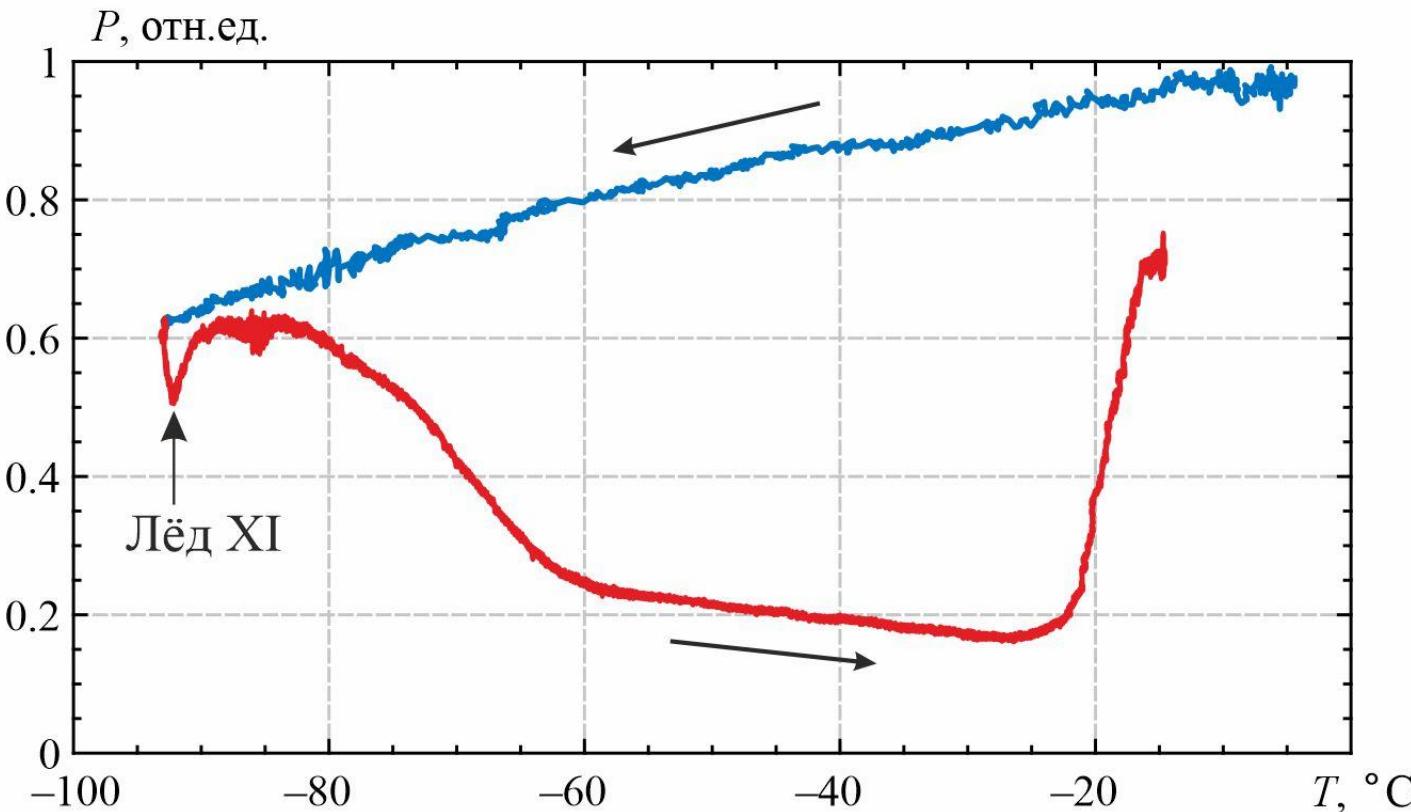
Изменение мощности лазерного излучения на волне 0,52 мкм, прошедшего через подложку из слюды с плёнкой льда, в зависимости от температуры – (а); Изменение амплитуды электрических флюктуаций увлажнённого сорбента SBA-15 от температуры в интервале частот 1...70 Гц (относительная влажность среды 15%) – (б)

# Обнаружение сегнетоэлектрического льда XI



Мощность инфракрасного излучения, прошедшего через пластинку слюды при циклическом охлаждении-нагревании образца.

# Обнаружение сегнетоэлектрического льда XI



Зависимость пропускания мощности видимого излучения пластиной из льда  $\text{I}_{\text{h}}$ , покрытой островковыми пленками из льда  $0_{\text{h}}$ ; Мощность, проходящая через образец, представлена в относительных единицах.

# Серебристые облака (объекты со льдом )



Светящиеся облака в Бурятии, Россия

Автор: Олег Бор. Дата снимка: 03 июня 2021 г.

Url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Noctilucent\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Noctilucent_cloud)

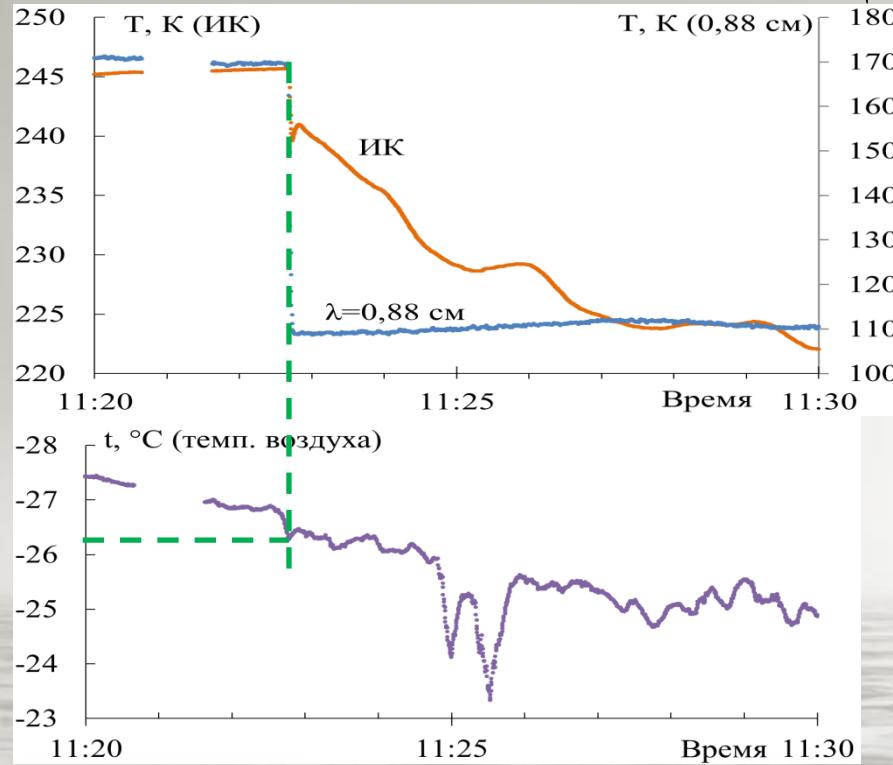


Фото серебристых облаков в г. Чита.

Дата съемки: 3 июня 2021 года.

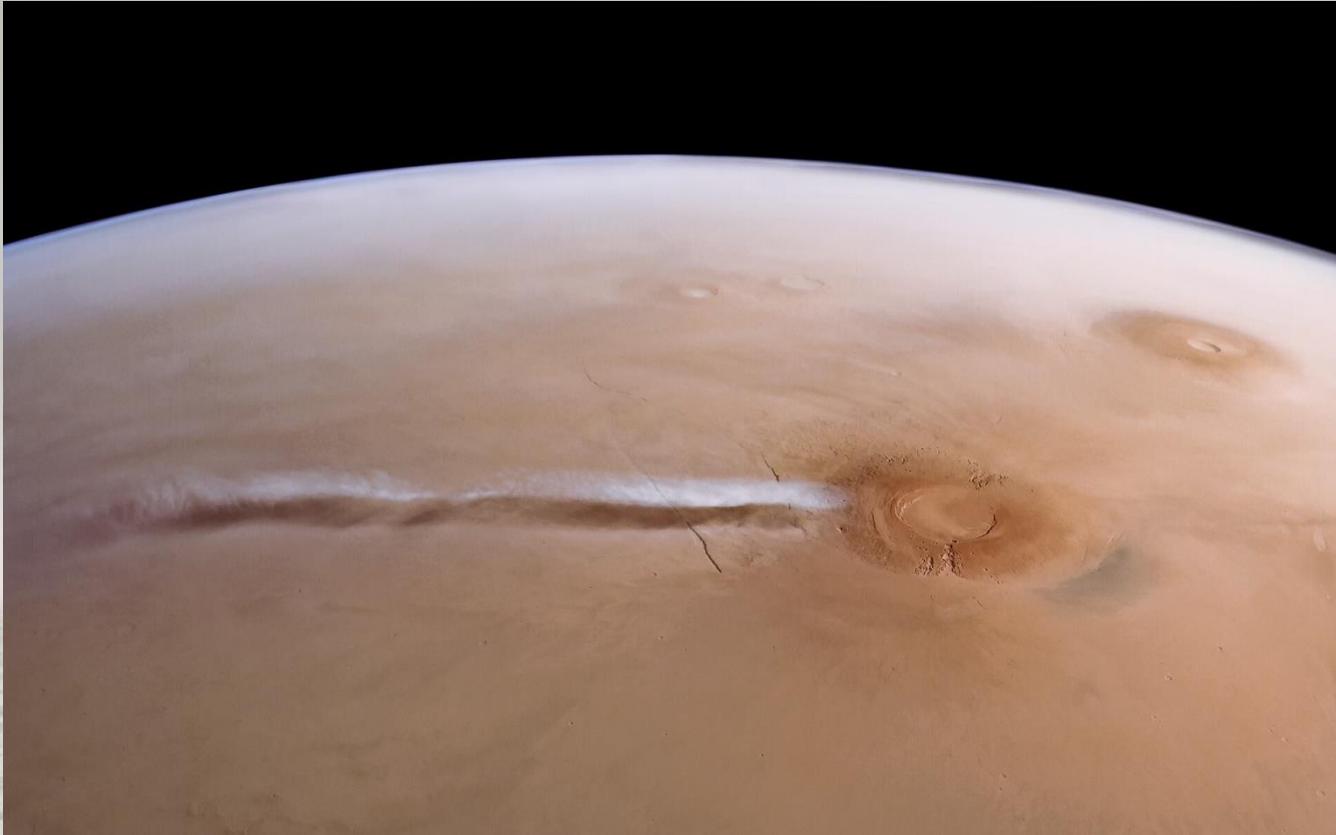
Фото авторов.

# Радиояркостная температура тумана над полынью ёй вблизи ТЭЦ (г. Чита), 2024 г.



Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Козлов А.К., Казанцев В.А. Аномалии теплового излучения переохлаждённого водного аэрозоля над открытым участком водной поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, № 4. – С. 364-371. DOI:10.21046/2070-7401-2025-22-4-364-371

# Загадочное облако над вулканом Арсия Монс на Марсе длиной до 1800 км (Hernandez-Bernal et al., 2020)



Возможный аналог земных  
серебристых облаков на  
Марсе, где проявляются  
сегнетоэлектрические льды.

Температура на Марсе:  
на экваторе  
мин. от  $-80$  до  $-125^{\circ}\text{C}$ ,  
макс. до  $+30^{\circ}\text{C}$ .  
На полюсах  
ночные до  $-153^{\circ}\text{C}$ .  
Давление у поверхности  
 $\sim$ 6мбар, что соответствует  
давлению на Земле на высоте  
35 км.

Т(вокруг собств. оси)  $\sim$ 24 ч 37  
мин  
Угол оси у плоскости орбиты  
 $24^{\circ}59'$   
Марсианский год  $\sim$  в 2раза  
больше земного.

# Заключение

1. Высказана гипотеза и получены экспериментальные данные о появлении сегнетоэлектрического льда XI при температуре вблизи  $-100^{\circ}\text{C}$  и конденсации водяного пара на холодные диэлектрические подложки. В эксперименте при прохождении лазерного излучения обнаружено повышение экстинкции в интервале от  $-120^{\circ}\text{C}$  до  $-80^{\circ}\text{C}$ , уменьшение интенсивности проходящего излучения достигало 20%. Данные результаты показывают возможность проявления различных сегнетоэлектрических льдов и сегнетоподобных структур в земных условиях, в том числе льда XI в широком интервале температур.
2. В работе (Wen X., Ma Q., Mannino A. *et al.* Flexoelectricity and surface ferroelectricity of water ice // *Nat. Phys.* 2025. V. 21. P. 1587–1593) при исследовании флексоэлектрического эффекта был сделан вывод о появлении сегнетоэлектрического состояния льда вблизи  $-100^{\circ}\text{C}$ , что подтверждает высказанную нами гипотезу о проявлениях льда XI.

Благодарю за внимание!