

# АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБСКОЙ ГУБЫ ПО ДАННЫМ SMOS

*В.В.Тихонов<sup>1,2</sup>, И.В.Хвостов<sup>3</sup>,  
А.Н.Романов<sup>3</sup>, Д.А. Боярский<sup>1</sup> Е.А.Шарков<sup>1</sup>*



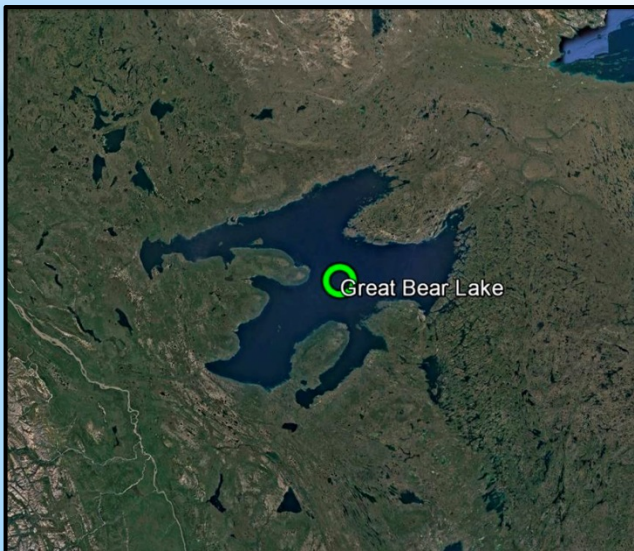
(1) Институт космических исследований РАН , Москва

(2) Московский физико-технический институт

(государственный университет), Долгопрудный

(3) Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

# ИССЛЕДУЕМЫЕ ОЗЕРА



Lake Name	Region	Latitude	Longitude
Baikal	Southern Siberia, Russia	54.17° N	108.91° E
Ladoga	Northwestern Russia	60.88° N	31.37° E
Huron	Great Lakes of North America	44.56° N	82.41° W
Great Slave	Northwest Territories of Canada	61.28° N	114.80° W
Great Bear	Northwest Territories of Canada	65.97° N	120.57° W



# SMOS

(Soil Moisture and Ocean Salinity)

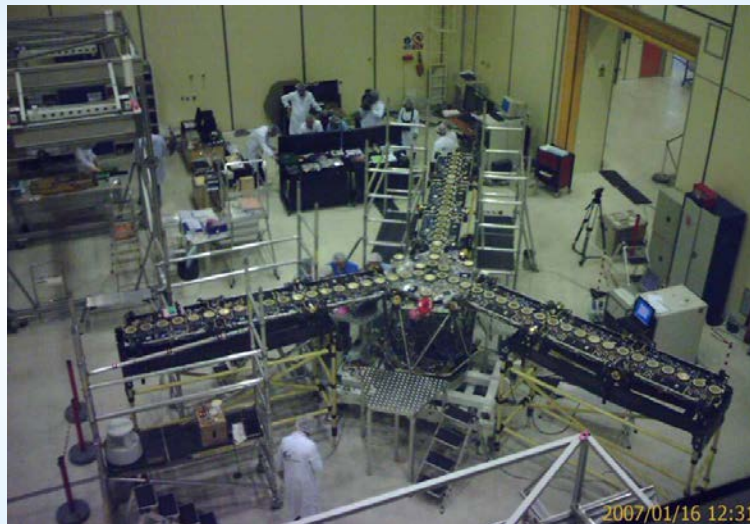


## MIRAS

(Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis)

$$f = 1.4 \text{ ГГц}$$

$$\theta = 10^\circ \div 65^\circ$$



Продукт

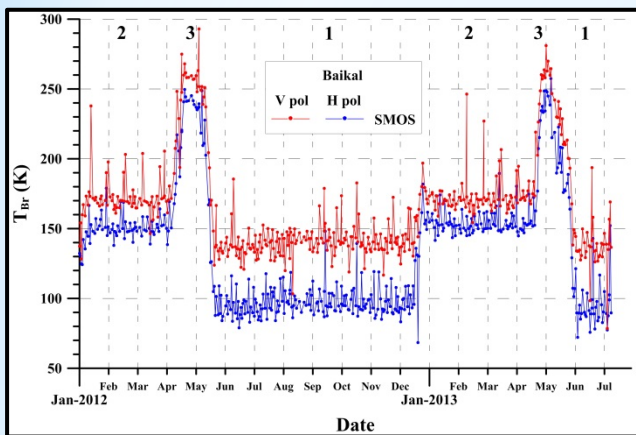
L1C SMOS v.620

$T_B^h, T_B^v, \Delta T = 5 \text{ К}$

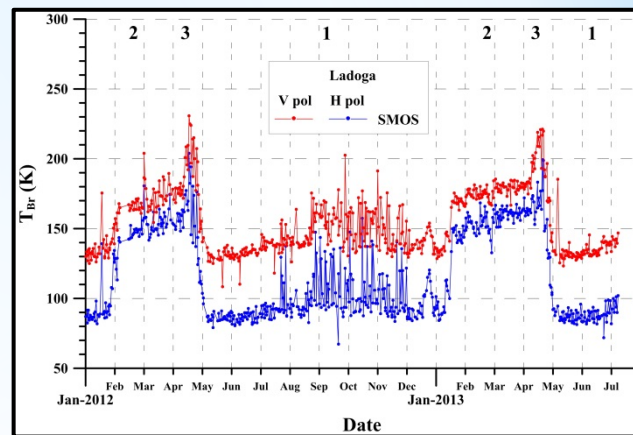
$l = 15 \text{ км}$

$\theta = 42.5^\circ$

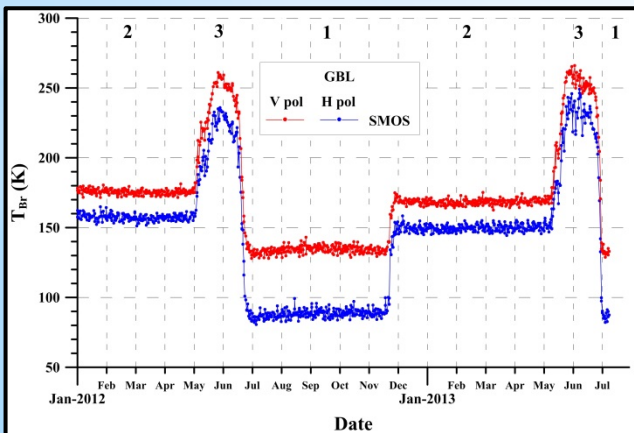
### Байкал



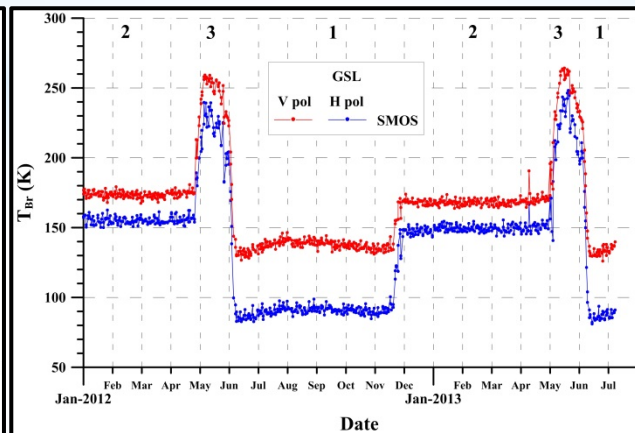
### Ладожское озеро



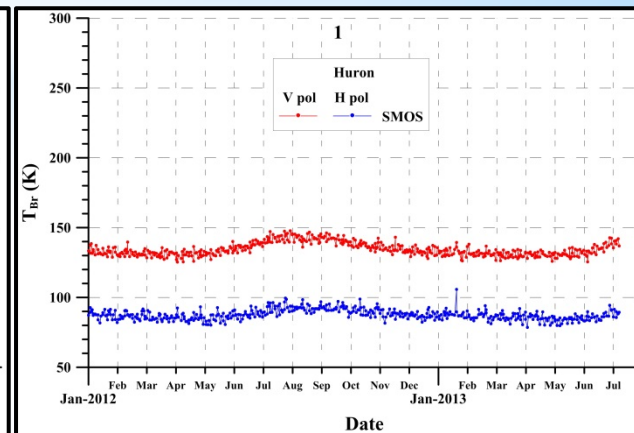
### Большое Медвежье озеро



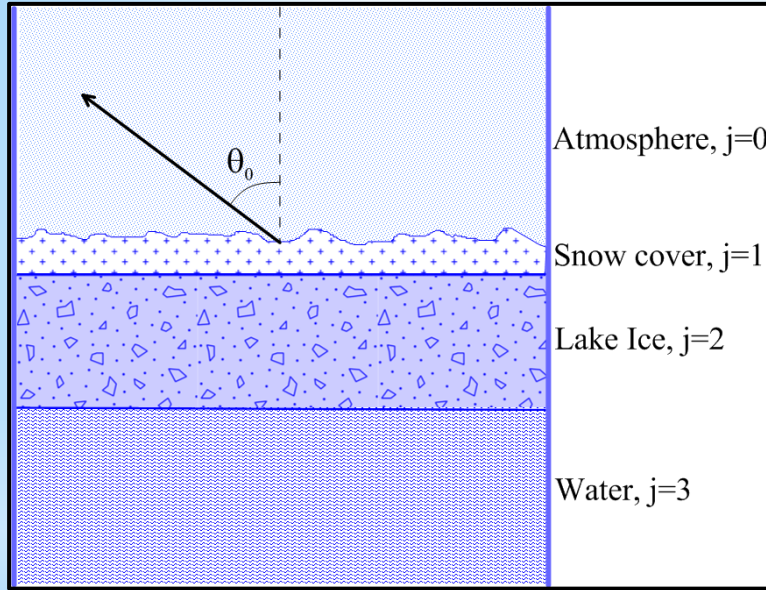
### Большое Невольничье озеро



### Озеро Гурон



# Модель микроволнового излучения пресноводного озера



$$T_{Br}^v = \sum_{j=1}^2 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

$$+ 4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j)) \times \left[ \frac{|k_{z_j}|^2 - k_x^2}{|k_j|^2} \right] \frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_3 |W_3|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_3}{\operatorname{Re} Z_0}$$

$$T_{Br}^h = \sum_{j=1}^2 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

$$+ 4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j)) \left[ \frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_3 |W_3|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_3}{\operatorname{Re} Z_0} \right]$$

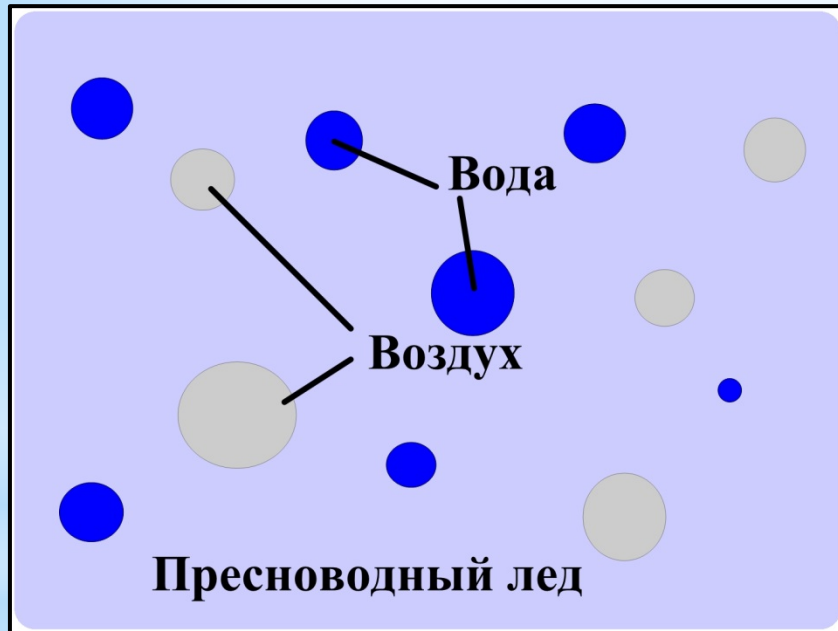
$$W_j = \prod_{m=1}^j \frac{Z_{m-1}^{in+} + Z_{m-1}}{Z_{m-1}^{in+} + Z_m} \exp(i\psi_{m-1}), \quad Z_j^{in+} = Z_j \frac{Z_{j-1}^{in+} - iZ_j \operatorname{tg} \psi_j}{Z_j - iZ_{j-1}^{in+} \operatorname{tg} \psi_j}, \quad Z_j^{in-} = Z_j \frac{Z_{j+1}^{in-} - iZ_j \operatorname{tg} \psi_j}{Z_j - iZ_{j+1}^{in-} \operatorname{tg} \psi_j}$$

$$\psi_j = k_{z_j} h_j, \quad k_{z_j} = k_j \cos \theta_j, \quad k_x = k_0 \sin \theta_0, \quad k_j = \frac{2\pi \sqrt{\varepsilon_j}}{\lambda}, \quad \cos \theta_j = \sqrt{\frac{\varepsilon_j - \varepsilon_0 \sin^2 \theta_0}{\varepsilon_j}}$$

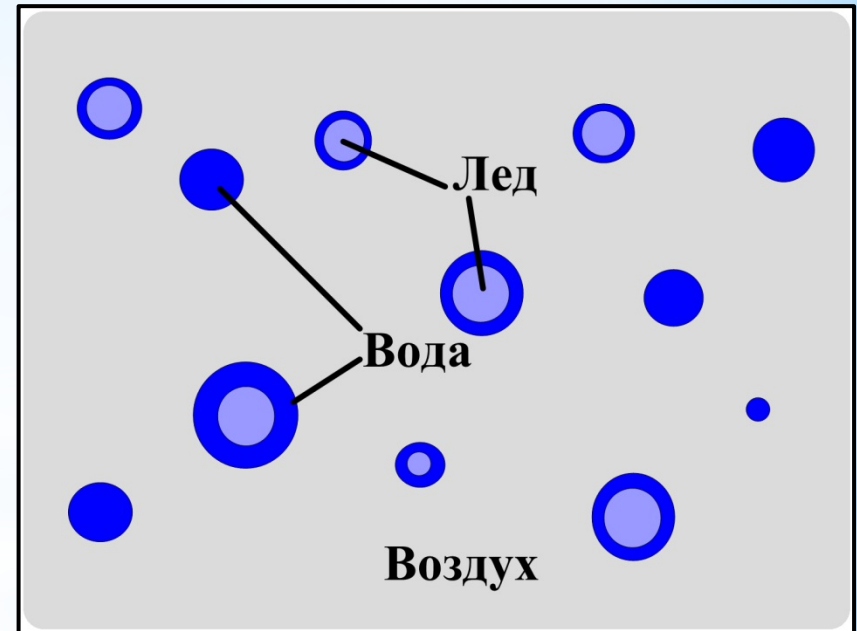
$$r_j^+ = \frac{Z_{j-1}^{in+} - Z_j}{Z_{j-1}^{in+} + Z_j}, \quad r_j^- = \frac{Z_{j+1}^{in-} - Z_j}{Z_{j+1}^{in-} + Z_j}, \quad Z_j = \begin{cases} 1 & \text{— горизонтальная поляризация} \\ \sqrt{\varepsilon_j} \cos \theta_j & \\ \cos \theta_j & \text{— вертикальная поляризация} \\ \sqrt{\varepsilon_j} & \end{cases}$$

# Квазиволновая модель эффективной диэлектрической проницаемости (Quasi-wave model - QWM)

Озерный лед



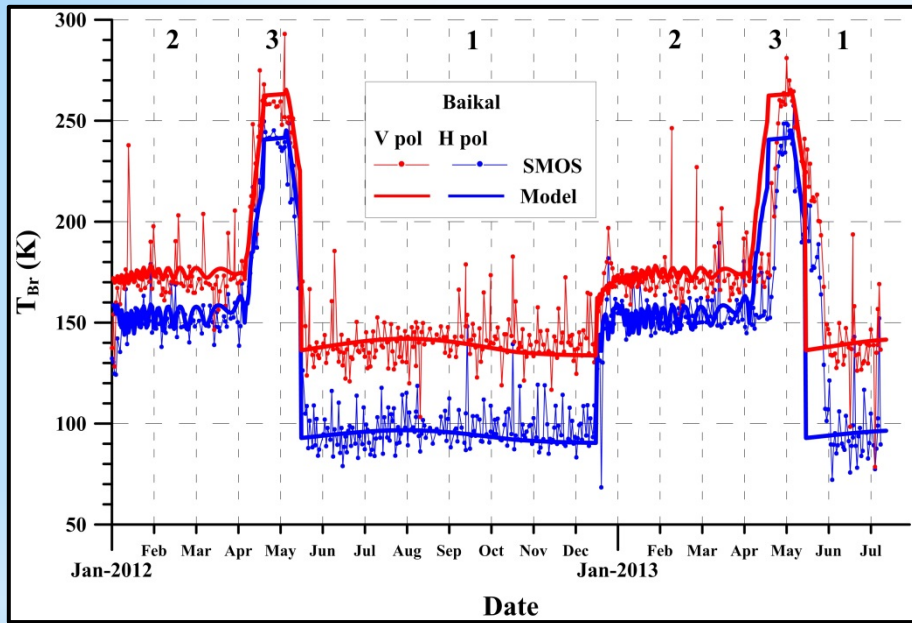
Снежный покров



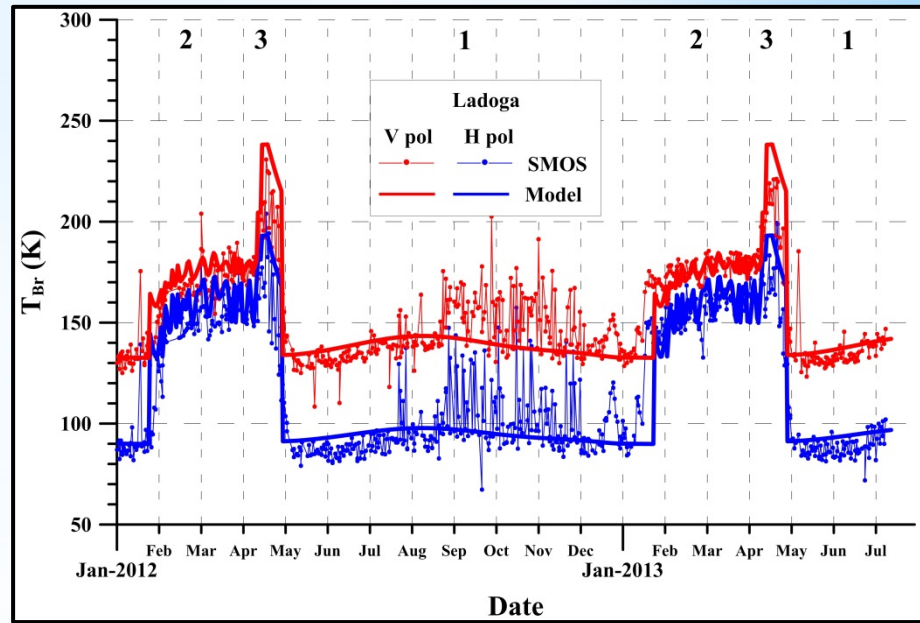
$$\varepsilon_{eff}^{lake\ ice} = \varepsilon_i \left[ 1 - \frac{4\pi n_a (\varepsilon_a + 2\varepsilon_i) \frac{\langle f_\omega \rangle_a}{k^2}}{2\varepsilon_{eff} + \varepsilon_a} - \frac{4\pi n_w (\varepsilon_w + 2\varepsilon_i) \frac{\langle f_\omega \rangle_w}{k^2}}{2\varepsilon_{eff} + \varepsilon_w} \right]^{-1}$$

$$\varepsilon_{eff}^{snow} = \varepsilon_a \left[ 1 - \frac{4\pi n_i (\varepsilon_i^w + 2\varepsilon_a) \frac{\langle f_\omega \rangle_i}{k^2}}{2\varepsilon_{eff} + \varepsilon_i^w} - \frac{4\pi n_w (\varepsilon_w + 2\varepsilon_a) \frac{\langle f_\omega \rangle_w}{k^2}}{2\varepsilon_{eff} + \varepsilon_w} \right]^{-1}$$

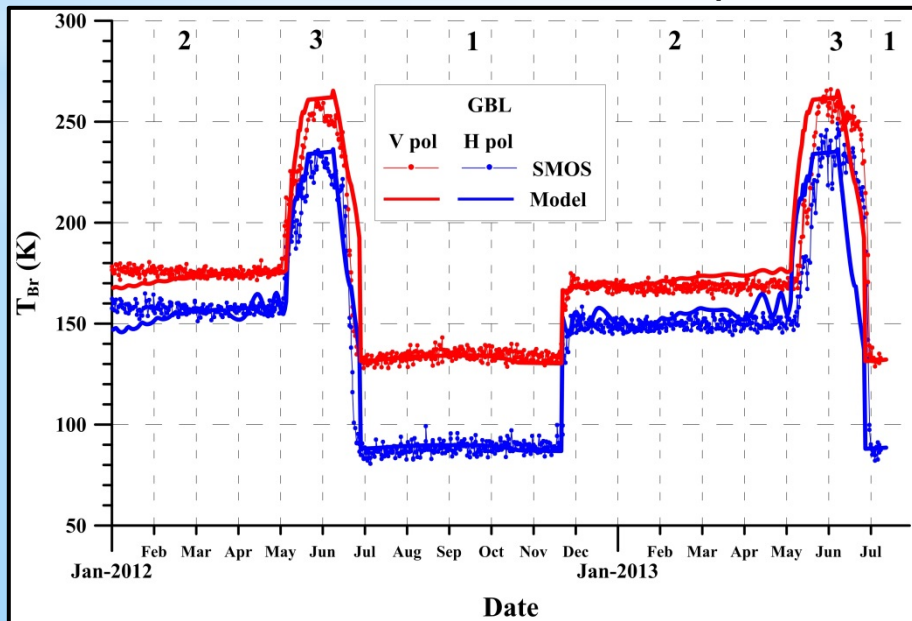
## Байкал



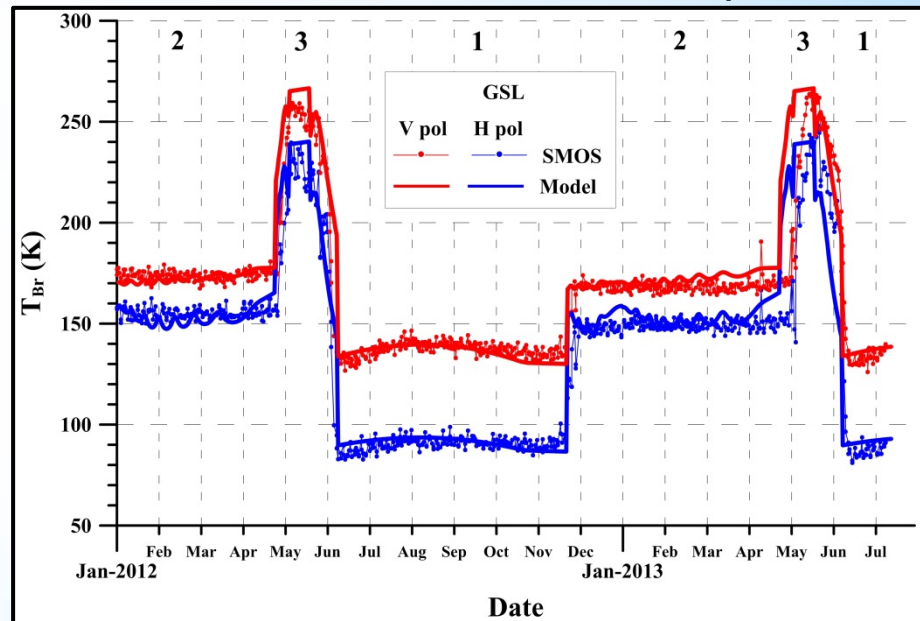
## Ладожское озеро



## Большое Медвежье озеро



## Большое Невольничье озеро



## ПУБЛИКАЦИИ:

1. *Хвостов И.В., Романов А.Н., Тихонов В.В., Шарков Е.А.* Некоторые особенности микроволнового радиотеплового излучения пресноводных водоемов с ледовым покровом. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т.14. № 4. С. 149-154.
2. *Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Шарков Е.А.* Анализ изменений ледяного покрова пресноводных водоемов по данным SMOS. // Исследование Земли из космоса. 2017. № 6. С. 46-53.
3. *Tikhonov V., Khvostov I., Romanov A., and Sharkov E.* Theoretical study of ice cover phenology at large freshwater lakes based on SMOS MIRAS data. // The Cryosphere. 2018. V. 12. № 8. P. 2727-2740.  
<https://doi.org/10.5194/tc-12-2727-2018>.



# Обская губа

- 1 -  $67.687^\circ$  с.ш.,  $73.751^\circ$  в.д.  
2 -  $68.807^\circ$  с.ш.,  $73.883^\circ$  в.д.  
3 -  $72.499^\circ$  с.ш.,  $73.927^\circ$  в.д.

E  $57^\circ 30'$

E  $62^\circ 30'$

E  $67^\circ 30'$

E  $72^\circ 30'$

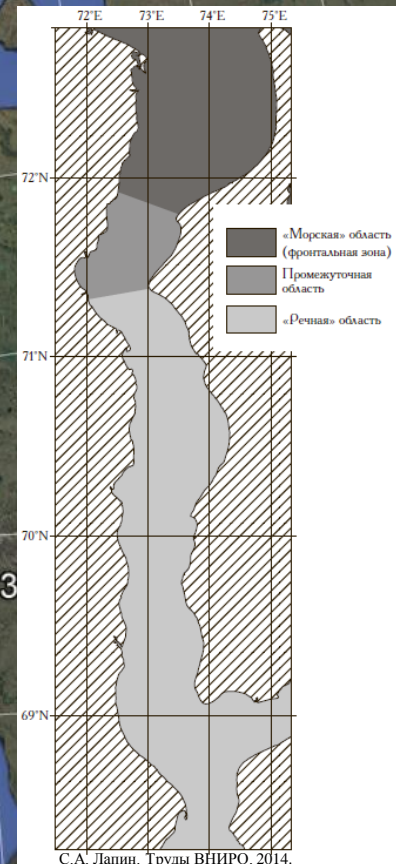
E  $77^\circ 30'$

N  $73^\circ$

N  $71^\circ$

N  $69^\circ$

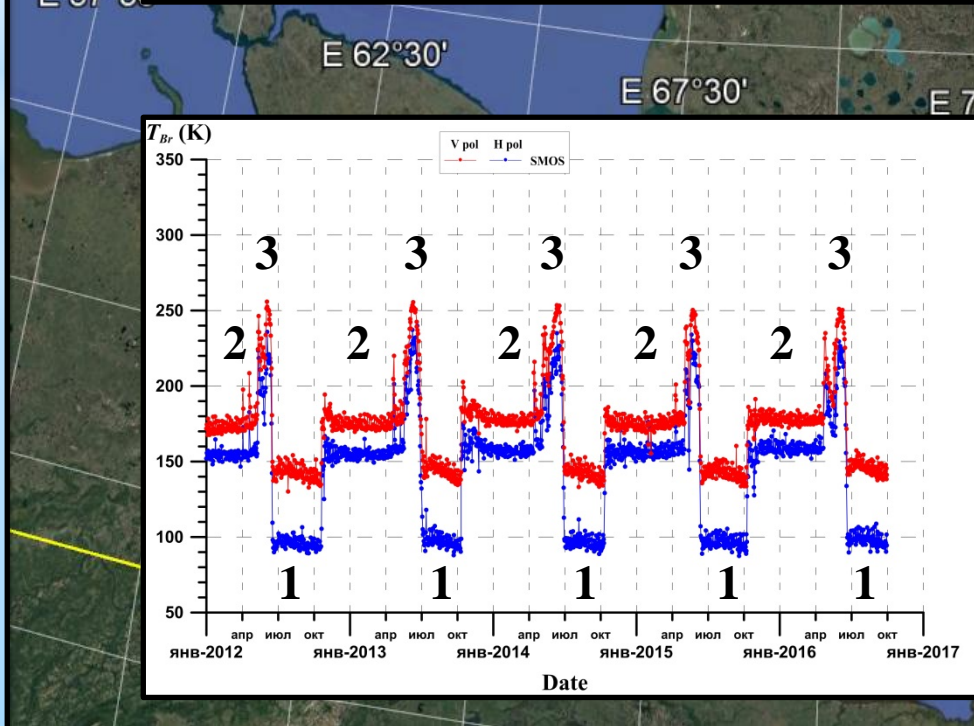
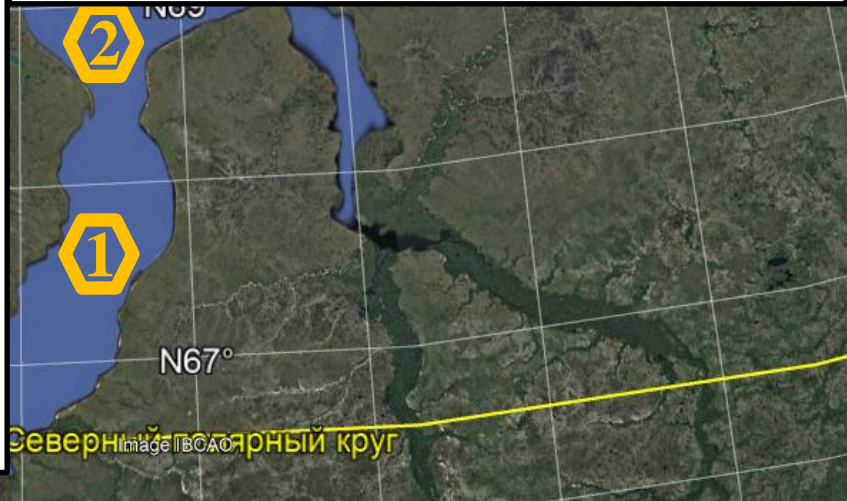
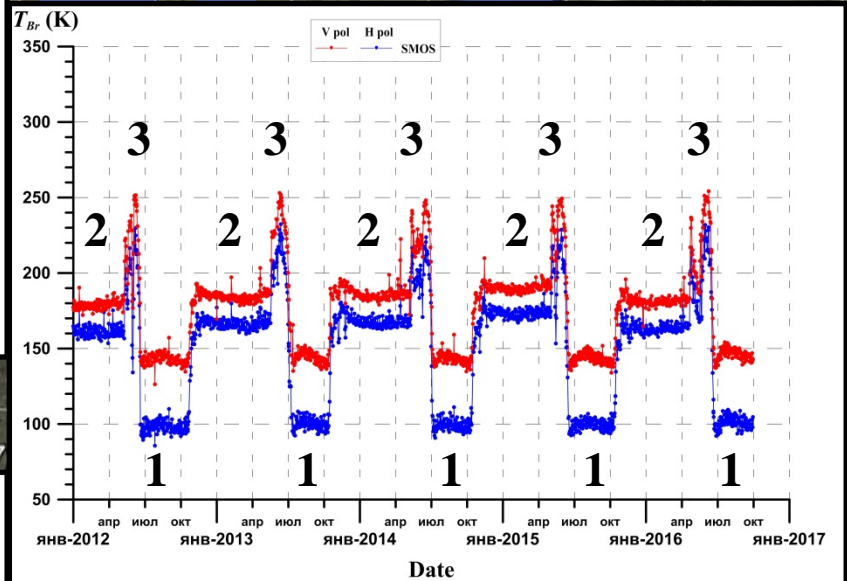
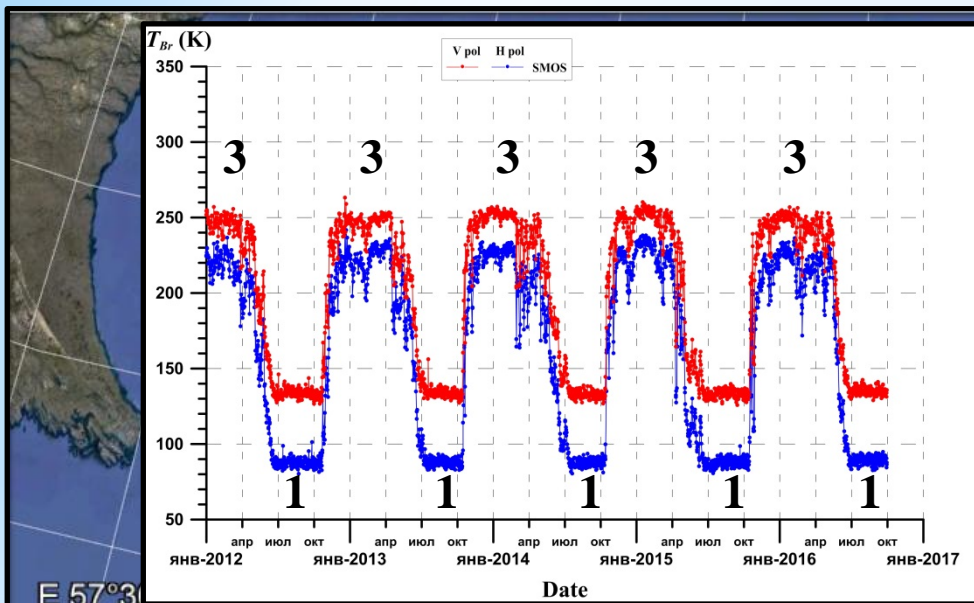
N  $67^\circ$



Длина около 800 км,  
ширина - 30-90 км,  
глубина - 10-15 м,  
макс. глубина - 28-30 м,  
площадь -  $40800 \text{ км}^2$ ,  
объем -  $400 \text{ км}^3$

Северный полярный круг

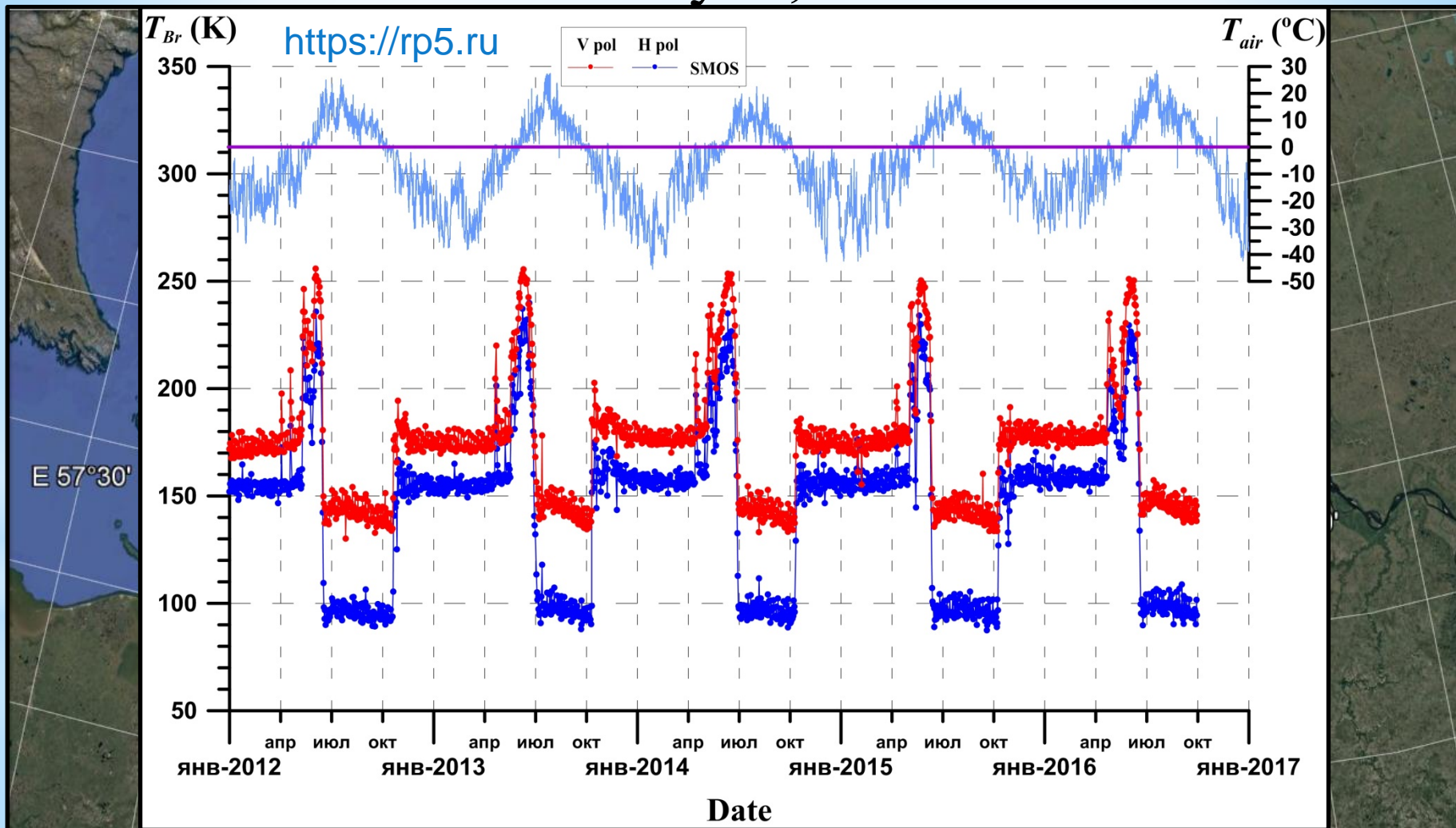
# Обская губа



E 57°30' E 62°30' E 67°30' E 72°30'

Северный полярный круг

# Обская губа, точка 1



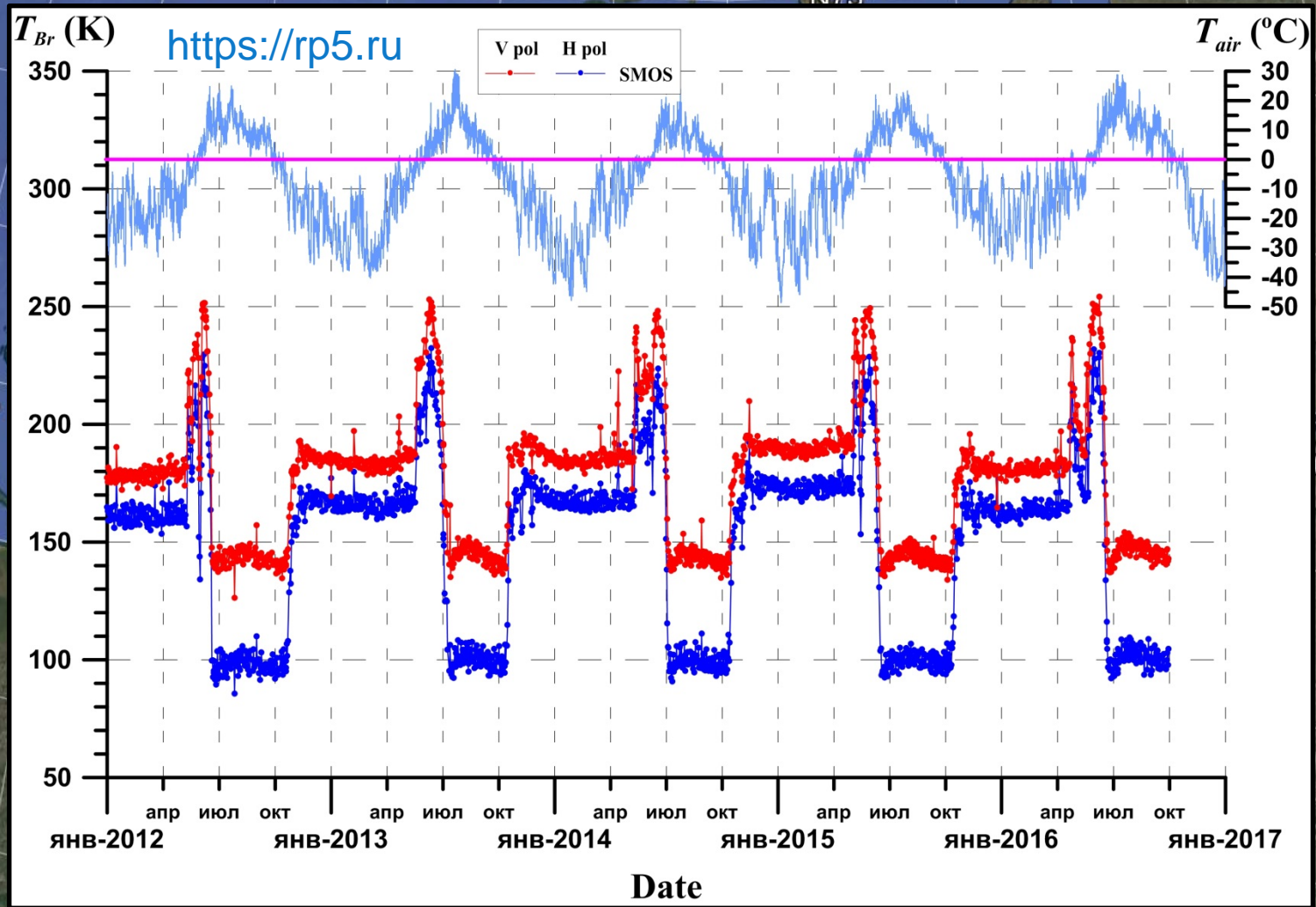
E 57°30'



N67°

Северный полярный круг

# Обская губа, точка 2



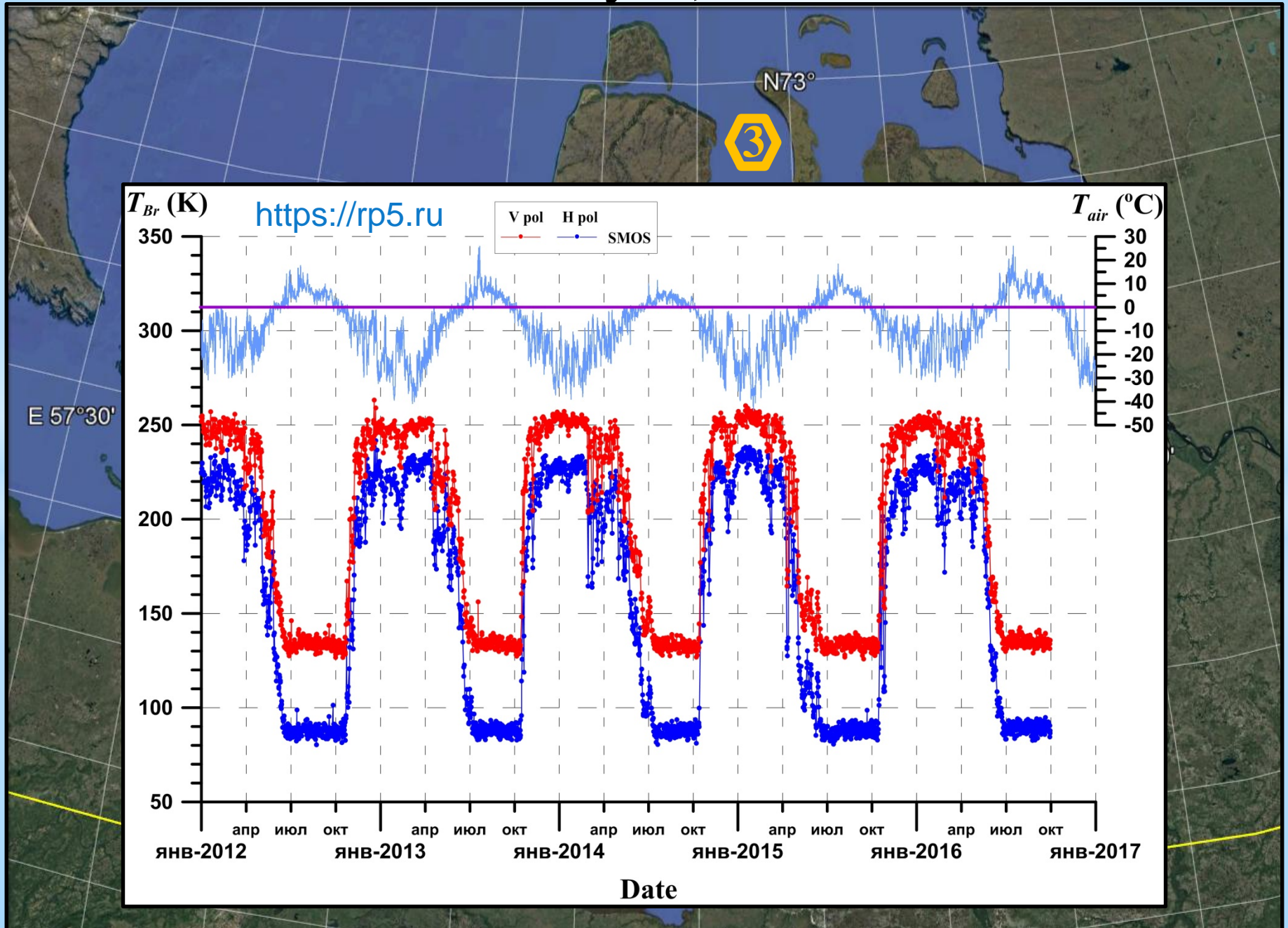
E 57°30'

N73°

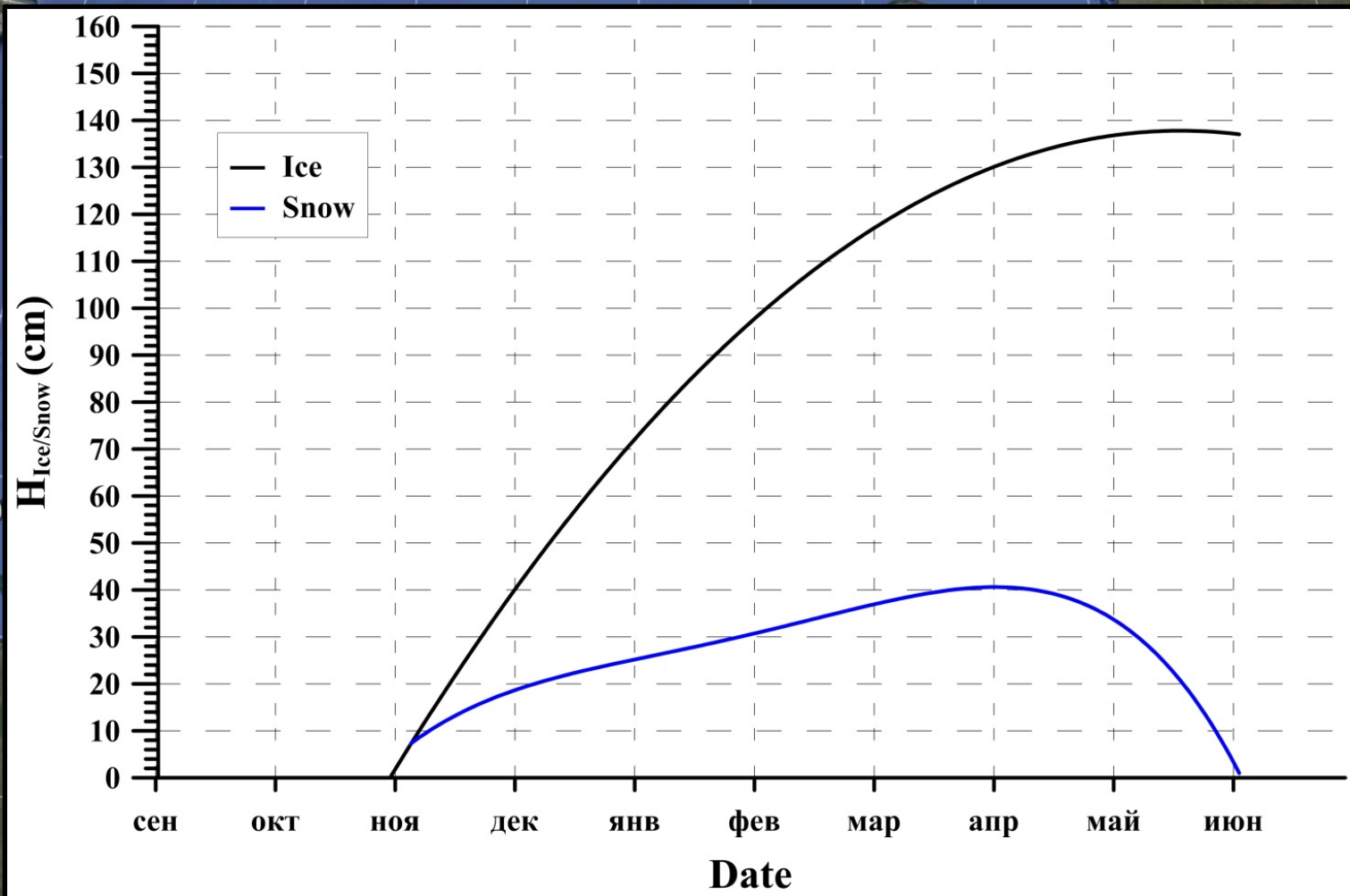
N67°

Северный полярный круг

# Обская губа, точка 3



# Обская губа, толщина льда и снежного покрова

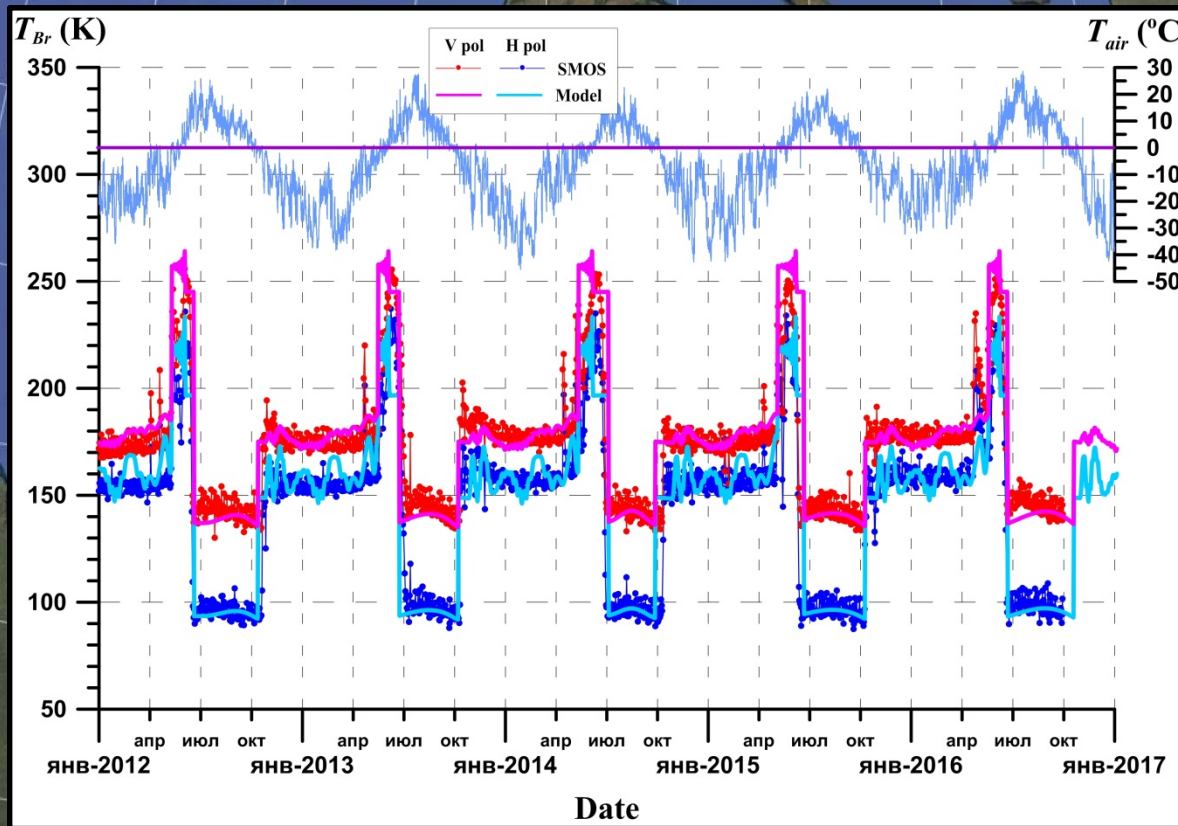


E 57°30'

N67°

Северный полярный круг

# Обская губа, точка 1



E 57°30'

N73°

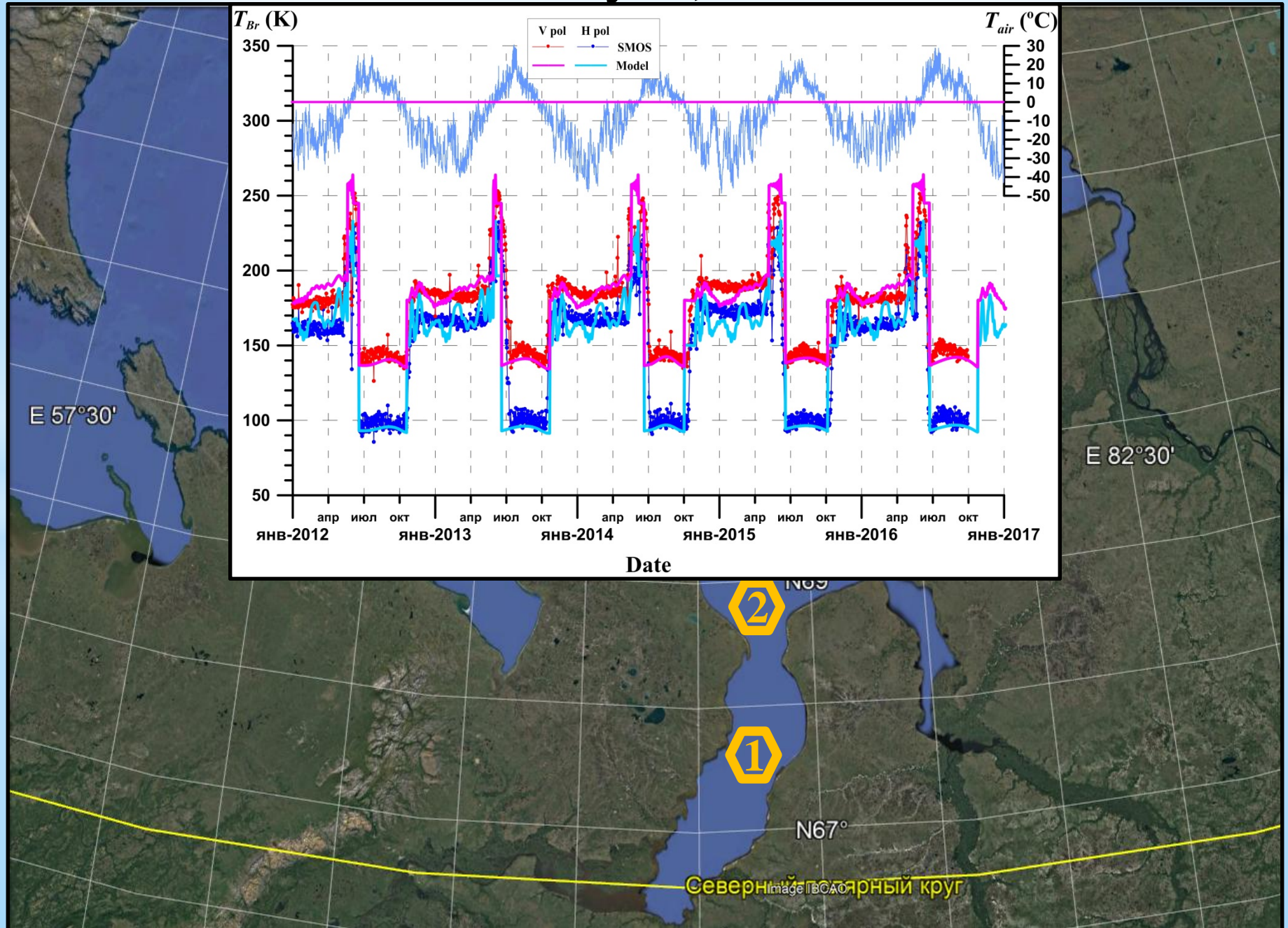
E 82°30'



N67°

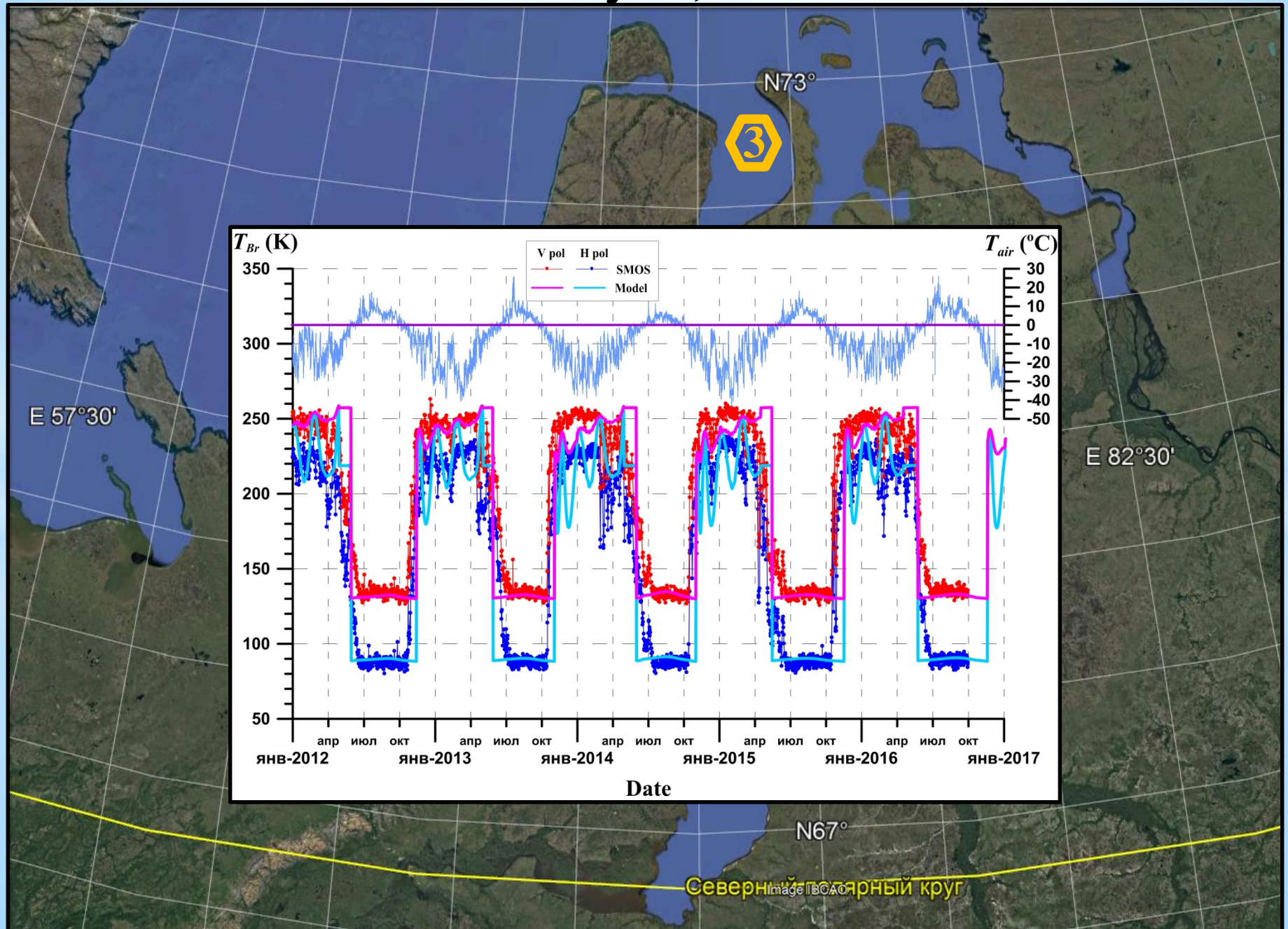
Северный полярный круг

# Обская губа, точка 2

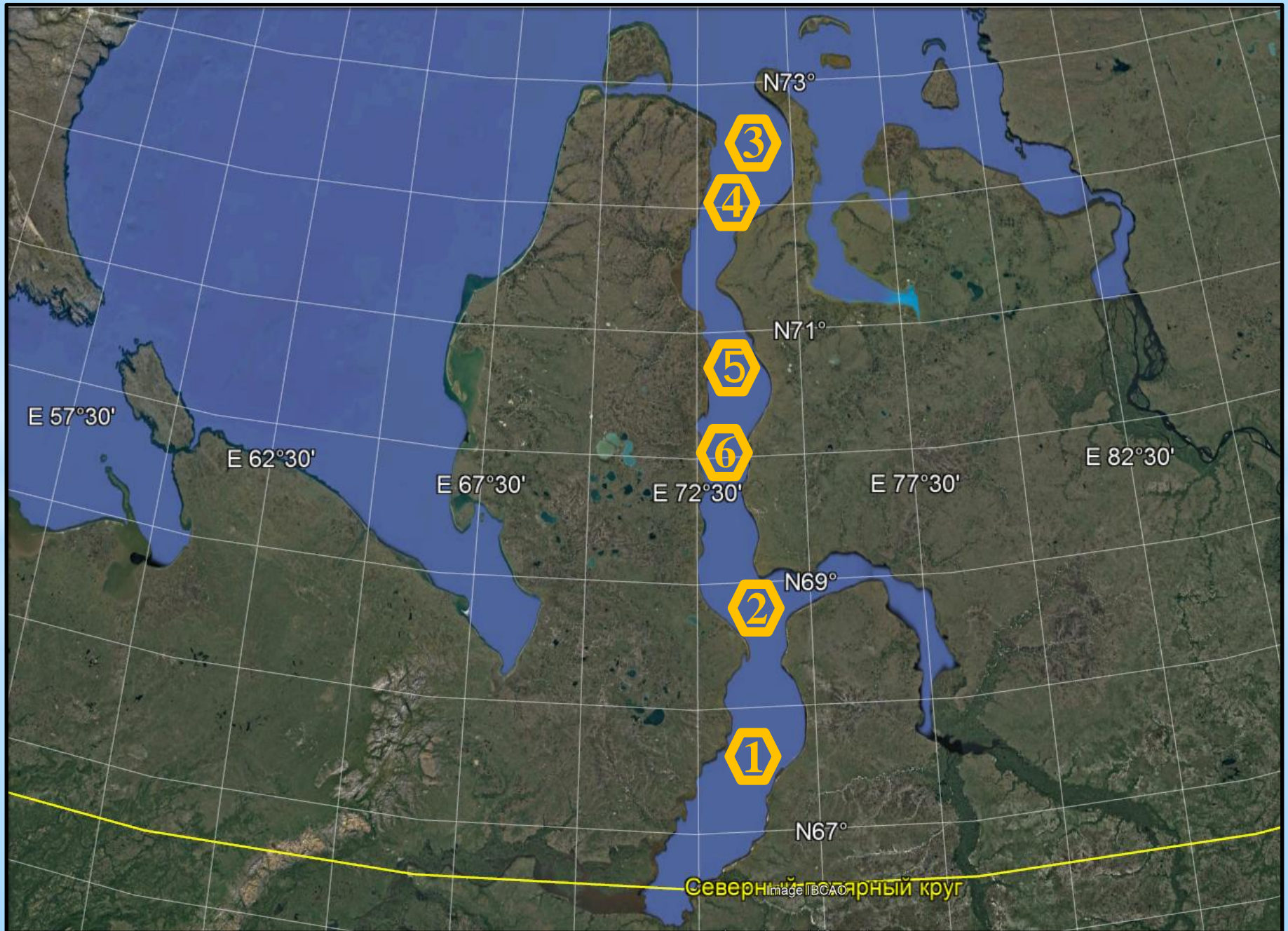




# Обская губа, точка 3



# Выводы



Спасибо!