

Гидрологический режим Обской губы в период ледостава по данным спутниковой микроволновой радиометрии и его связь с гидролого-климатическими изменениями региона и бассейна реки Обь

В.В.Тихонов^{1,2}, *А.Н.Романов*², *И.В.Хвостов*²,
Т.А.Алексеева^{3,1}, *А.И.Синицкий*⁴, *М.В.Тихонова*⁵,
*Е.А.Шарков*¹, *Н.Ю.Комарова*¹



¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

³ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург

⁴ ООО ГЕОИНЖСЕРВИС, Москва

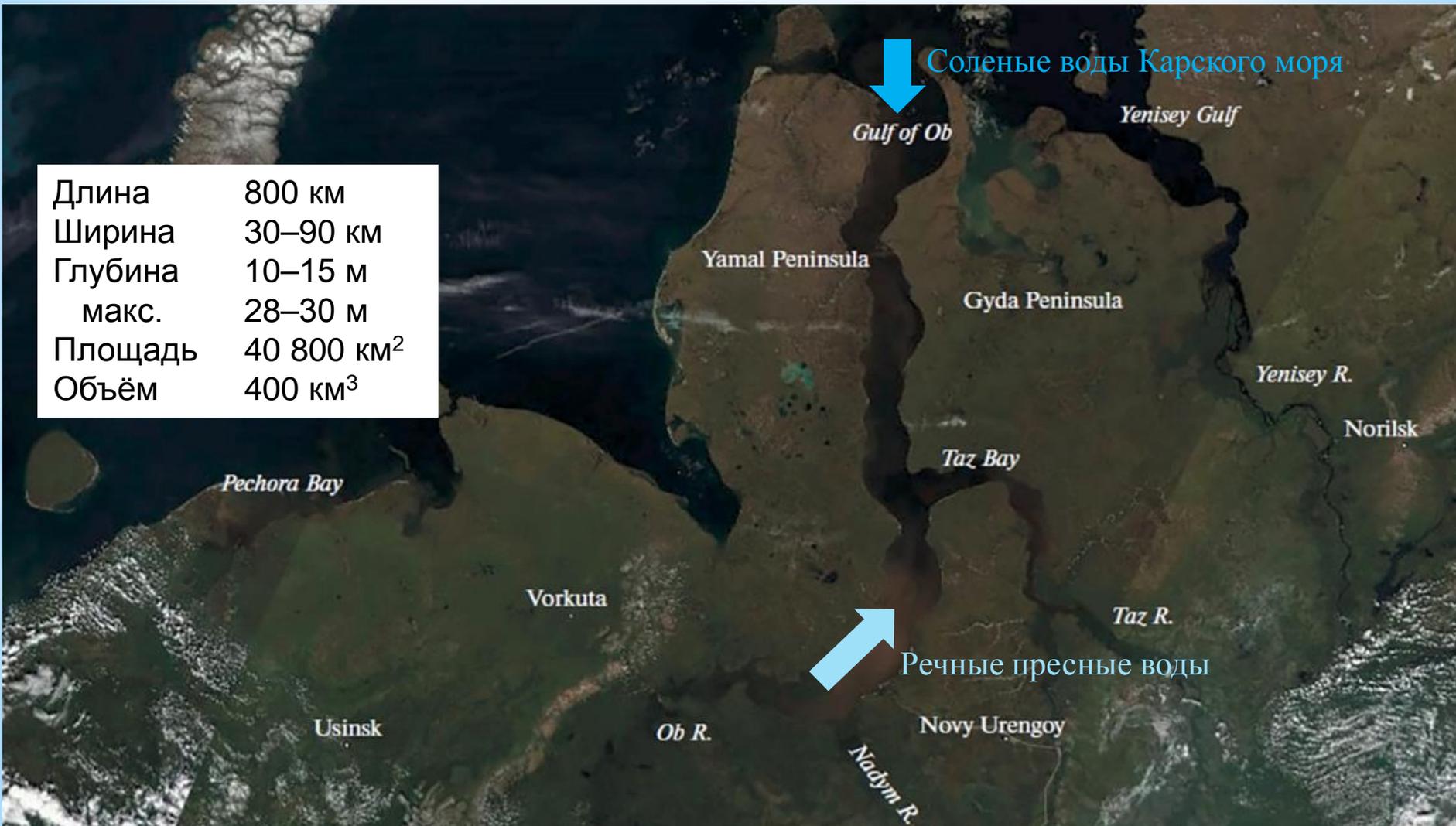
⁵ Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени
К.А.Тимирязева, Москва

Обская губа

Длина	800 км
Ширина	30–90 км
Глубина	10–15 м
макс.	28–30 м
Площадь	40 800 км ²
Объём	400 км ³

Солёные воды Карского моря
↓
Gulf of Ob

↑
Речные пресные воды



Terra MODIS, 05.07.2016

Обская губа (Gulf of Ob)



Terra MODIS, 05.07.2016

SMOS

(Soil Moisture and Ocean Salinity)



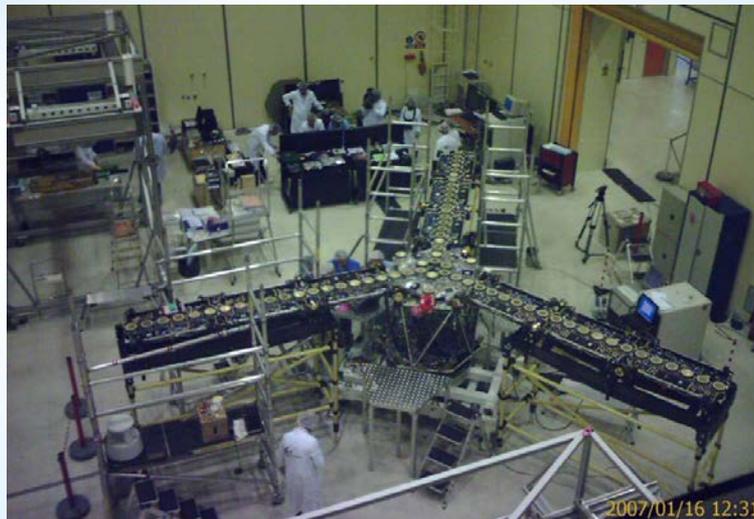
MIRAS

(Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis)

$$f = 1,4 \text{ GHz}$$

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

$$35 \times 50 \text{ km}$$



Продукт

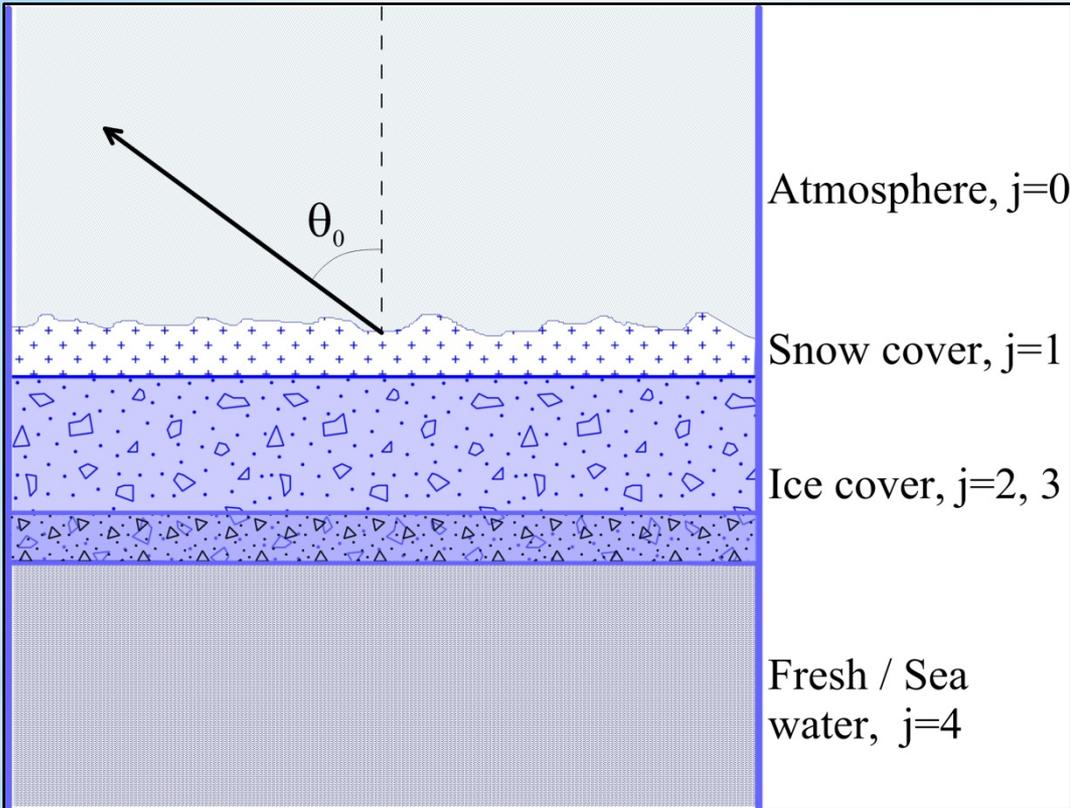
L1C SMOS v.620

$$T_B^H, T_B^V, \Delta T = 5 \text{ K}$$

$$l = 15 \text{ км}$$

$$\theta = 42.5^\circ$$

MODEL

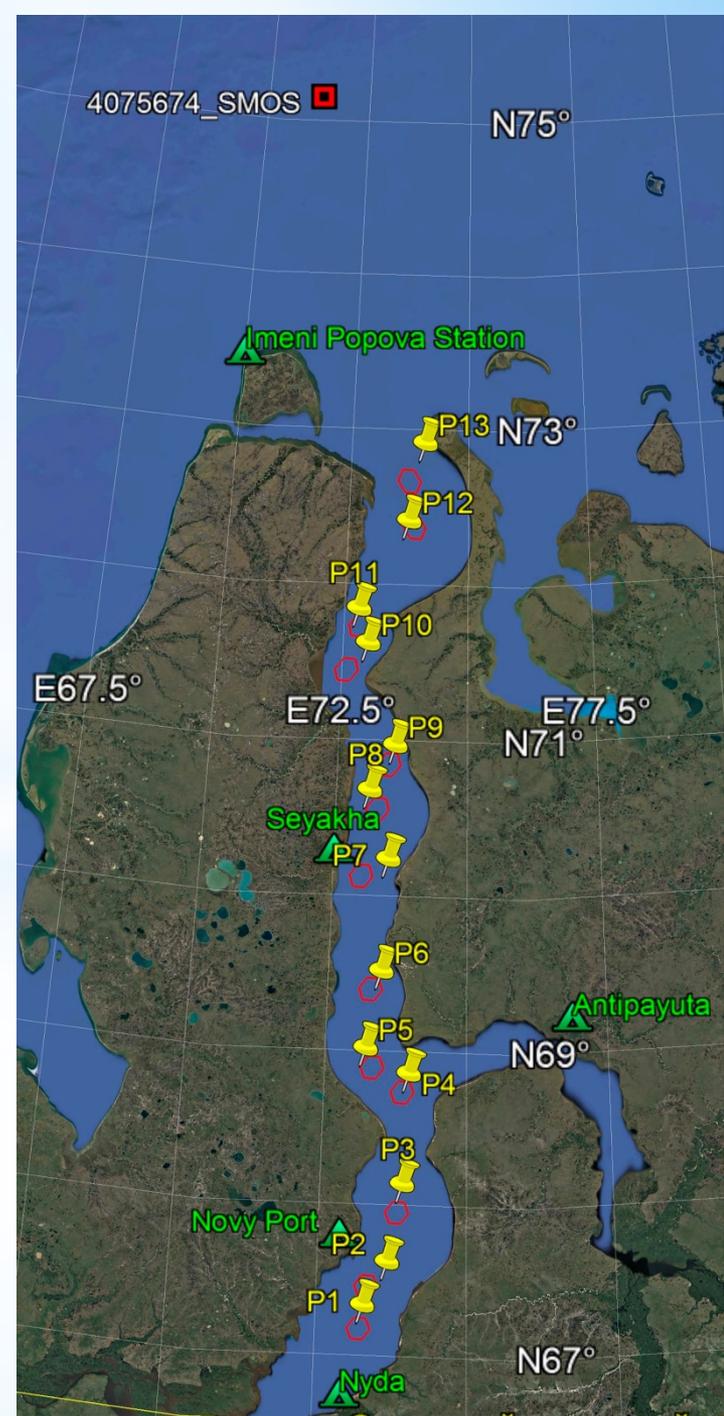


$$T_{Br}^v = \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2\text{Im}\psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

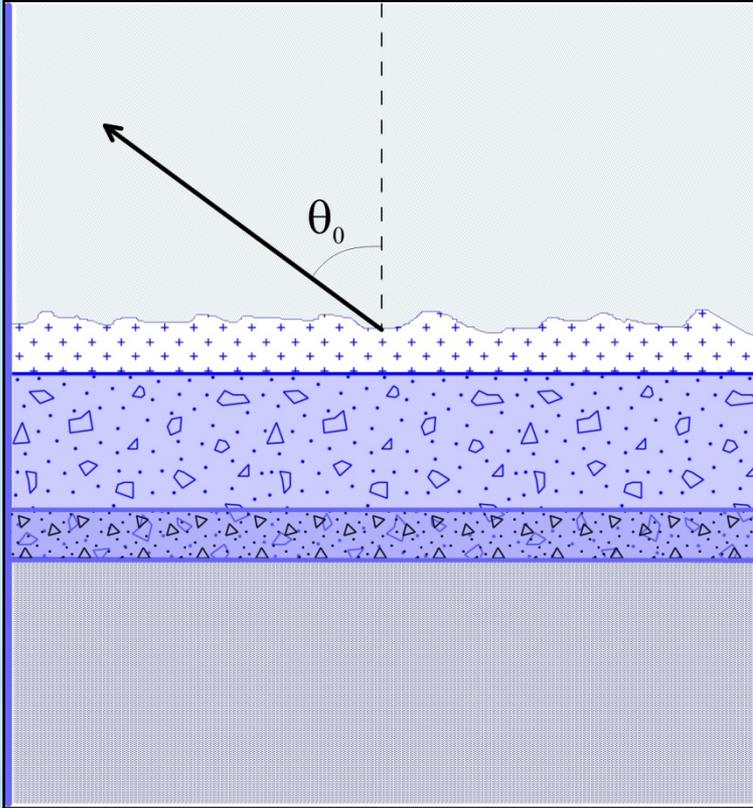
$$+ 4 \frac{\text{Im}\psi_j}{\text{Re}\psi_j} \text{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \text{Im}(\exp(i\psi_j)) \times \left[\frac{|k_{z_j}|^2 - k_x^2}{|k_j|^2} \right] \frac{\text{Re}Z_j}{\text{Re}Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\text{Re}Z_4}{\text{Re}Z_0}$$

$$T_{Br}^h = \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2\text{Im}\psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

$$+ 4 \frac{\text{Im}\psi_j}{\text{Re}\psi_j} \text{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \text{Im}(\exp(i\psi_j)) \frac{\text{Re}Z_j}{\text{Re}Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\text{Re}Z_4}{\text{Re}Z_0}$$



MODEL



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

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

$$r_j^+ = \frac{Z_{j-1}^{in+} - Z_j}{Z_{j-1}^{in+} + Z_j}, \quad r_j^- = \frac{Z_{j+1}^{in-} - Z_j}{Z_{j+1}^{in-} + Z_j}, \quad Z_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_j} \cos \theta_j} & \text{-- horizontal polarization} \\ \frac{\cos \theta_j}{\sqrt{\varepsilon_j}} & \text{-- vertical polarization} \end{cases}$$

Ice cover, $j=2, 3$

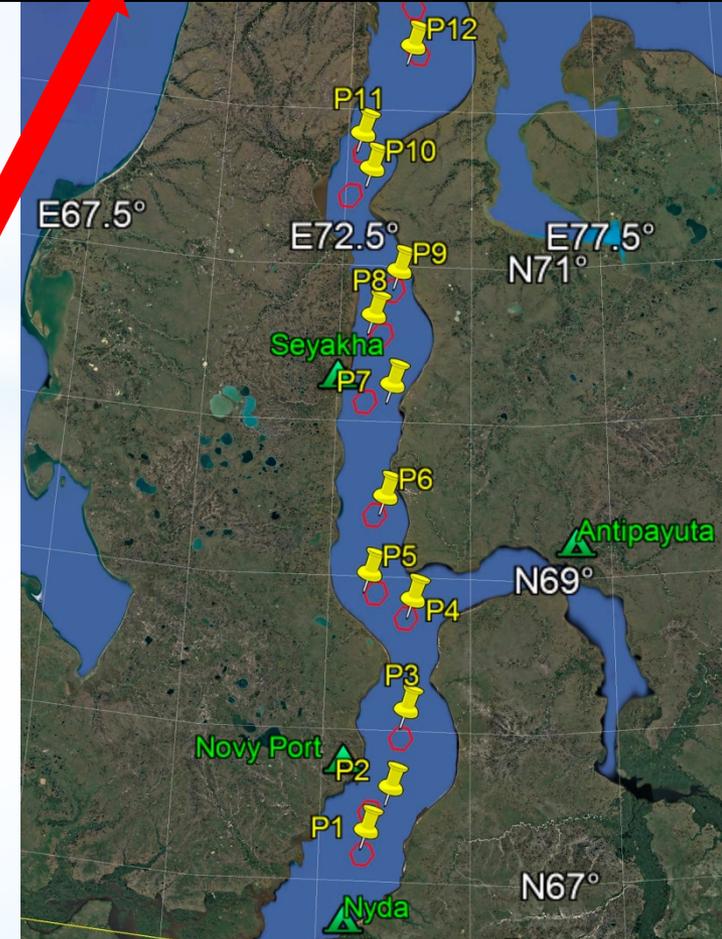
Fresh / Sea water, $j=4$

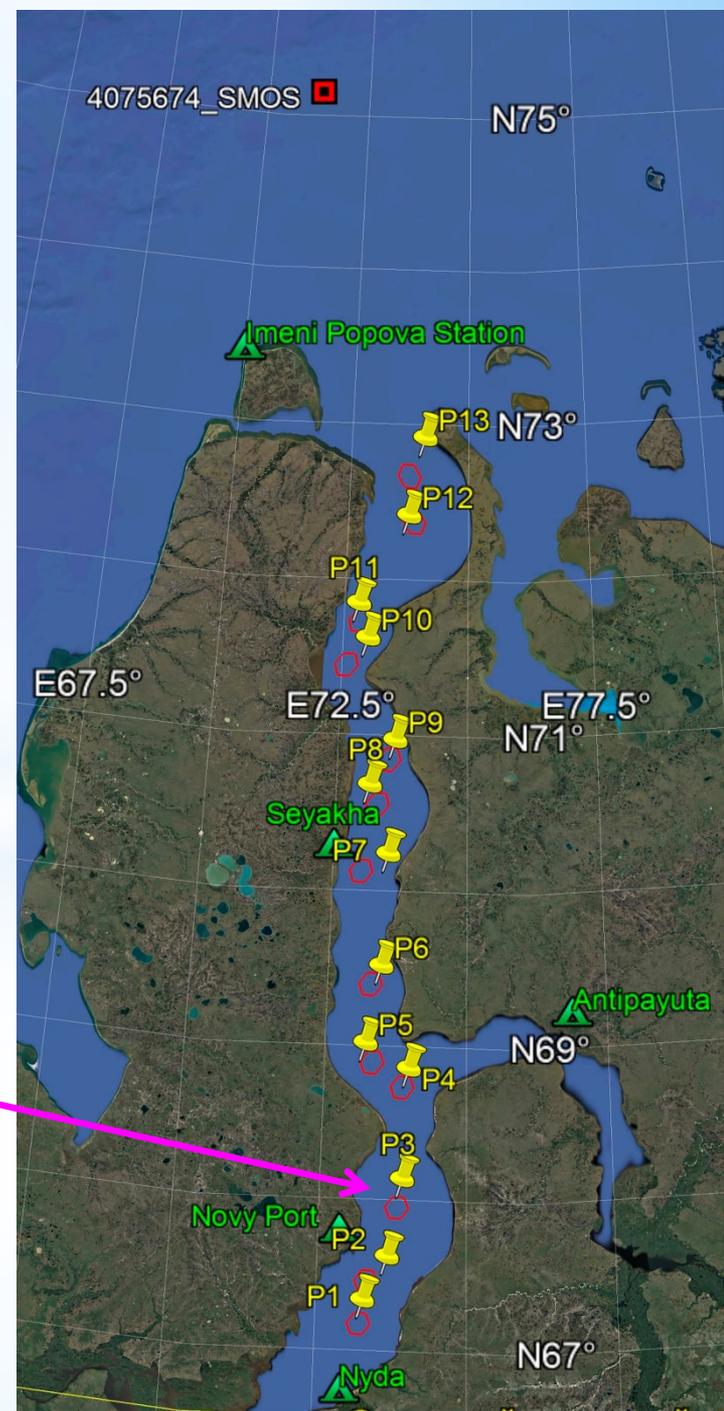
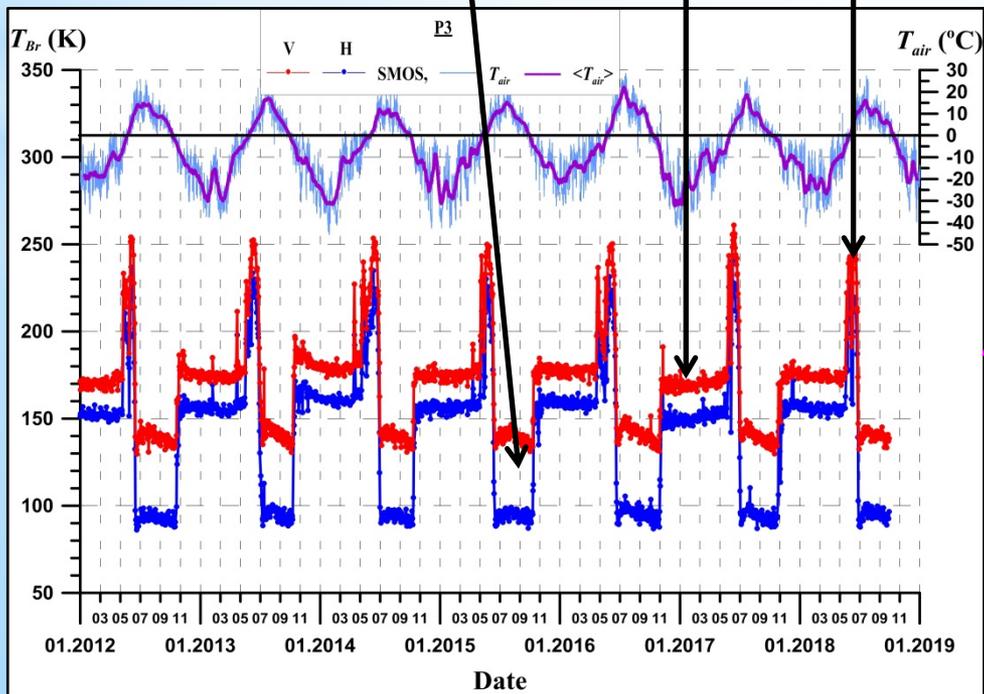
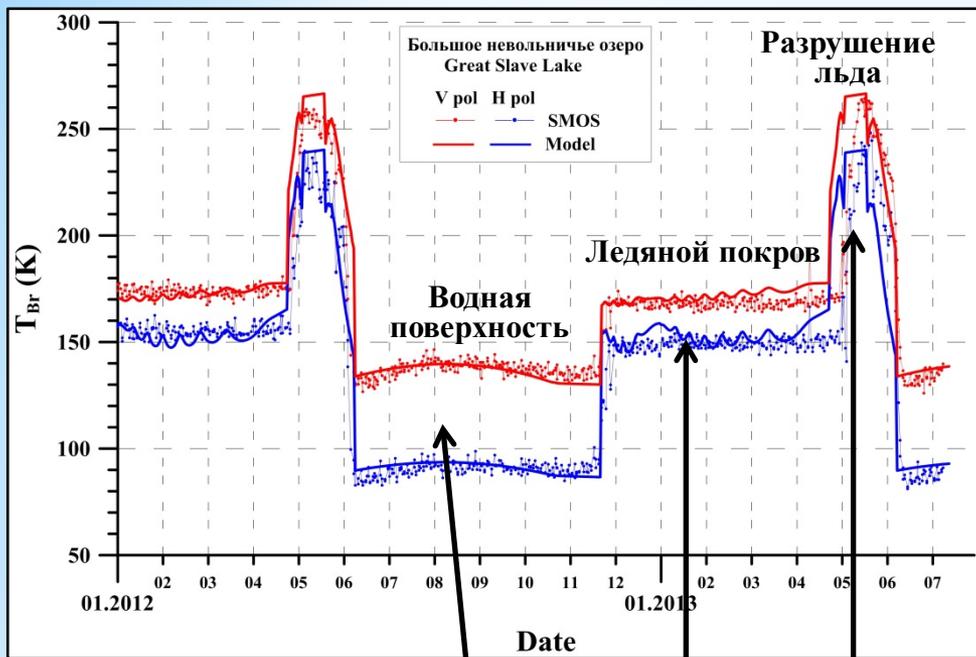
$$T_{Br}^v = \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

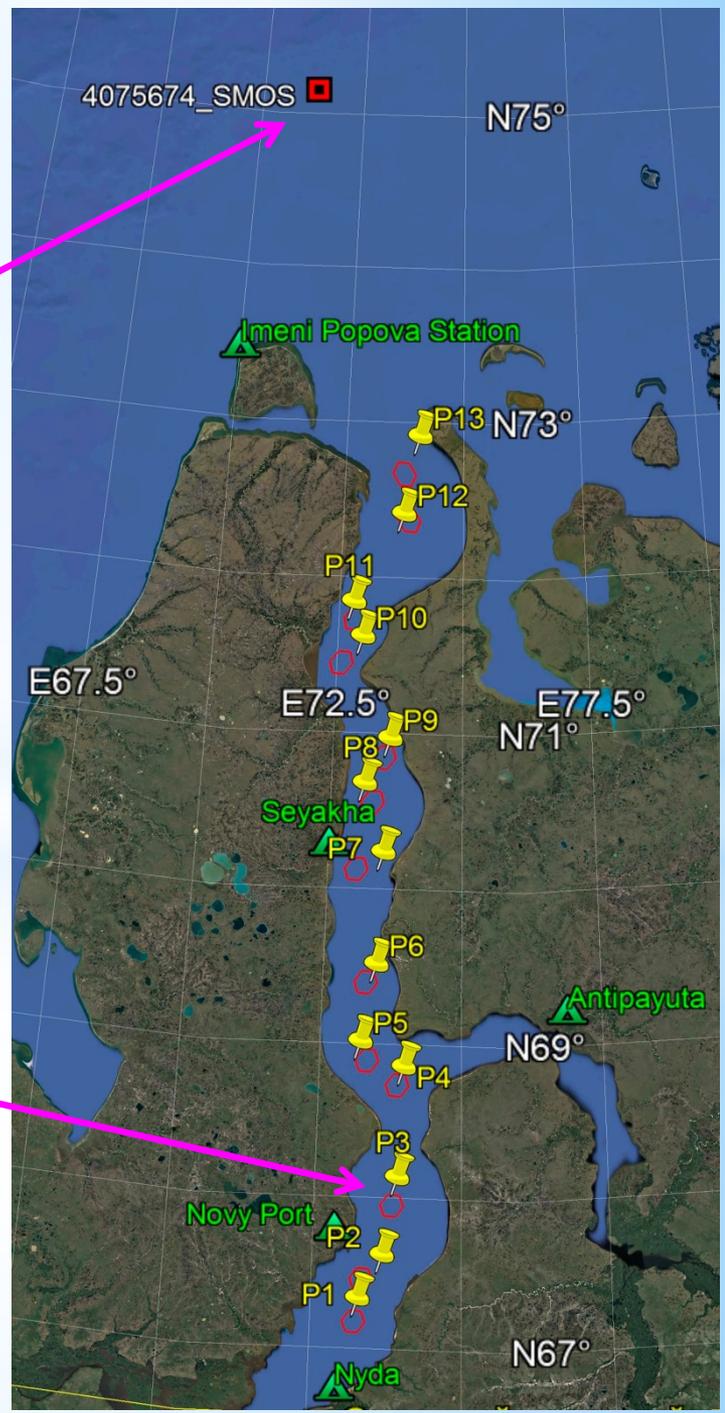
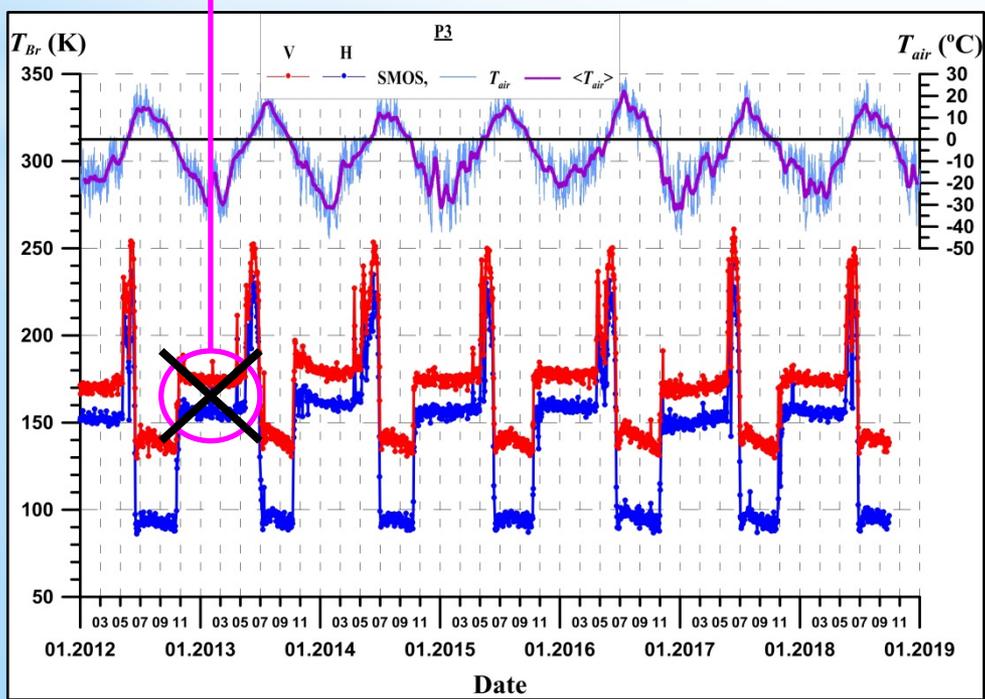
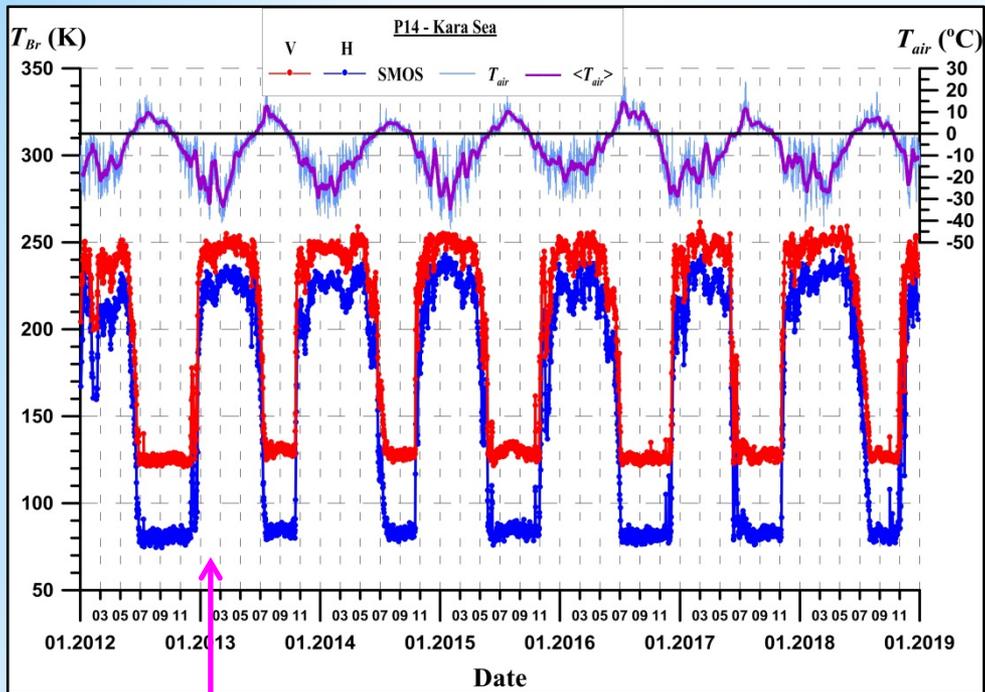
$$+ 4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j)) \times \left[\frac{|k_{z_j}|^2 - k_x^2}{|k_j|^2} \right] \frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_4}{\operatorname{Re} Z_0}$$

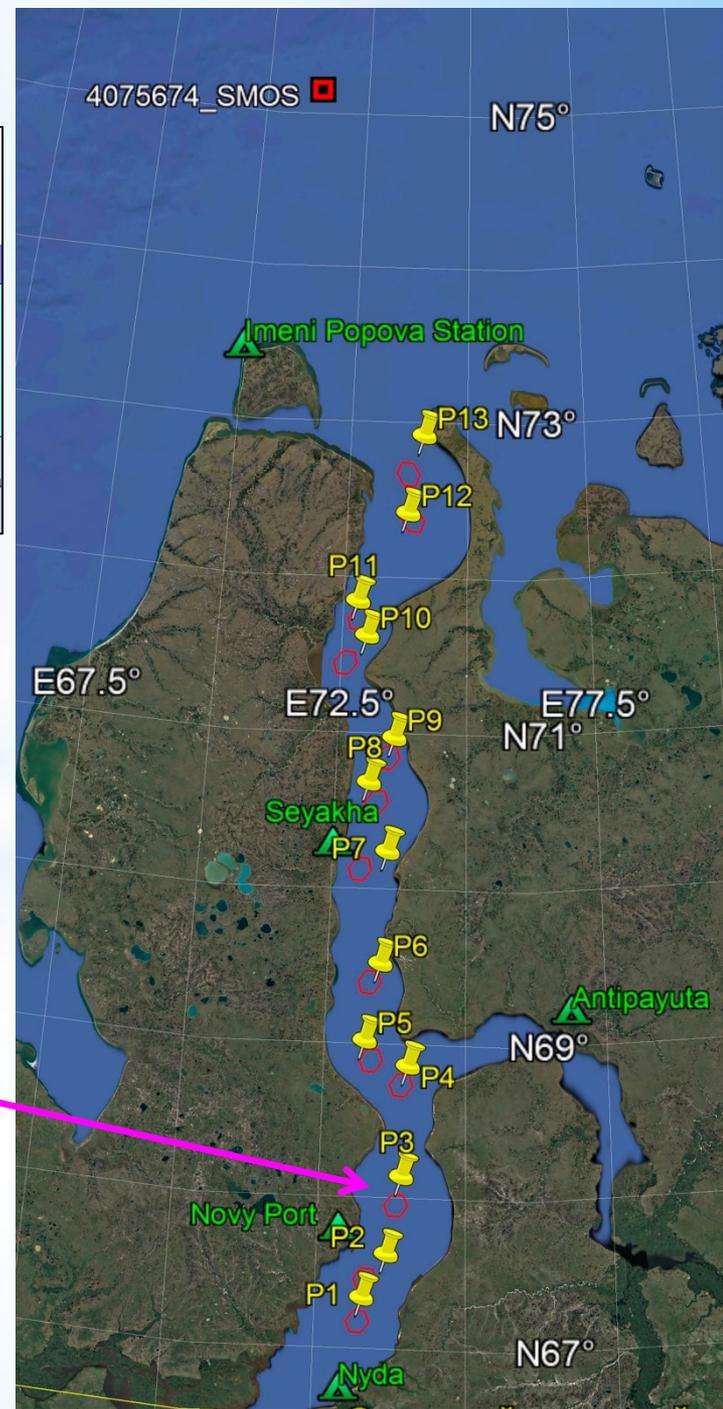
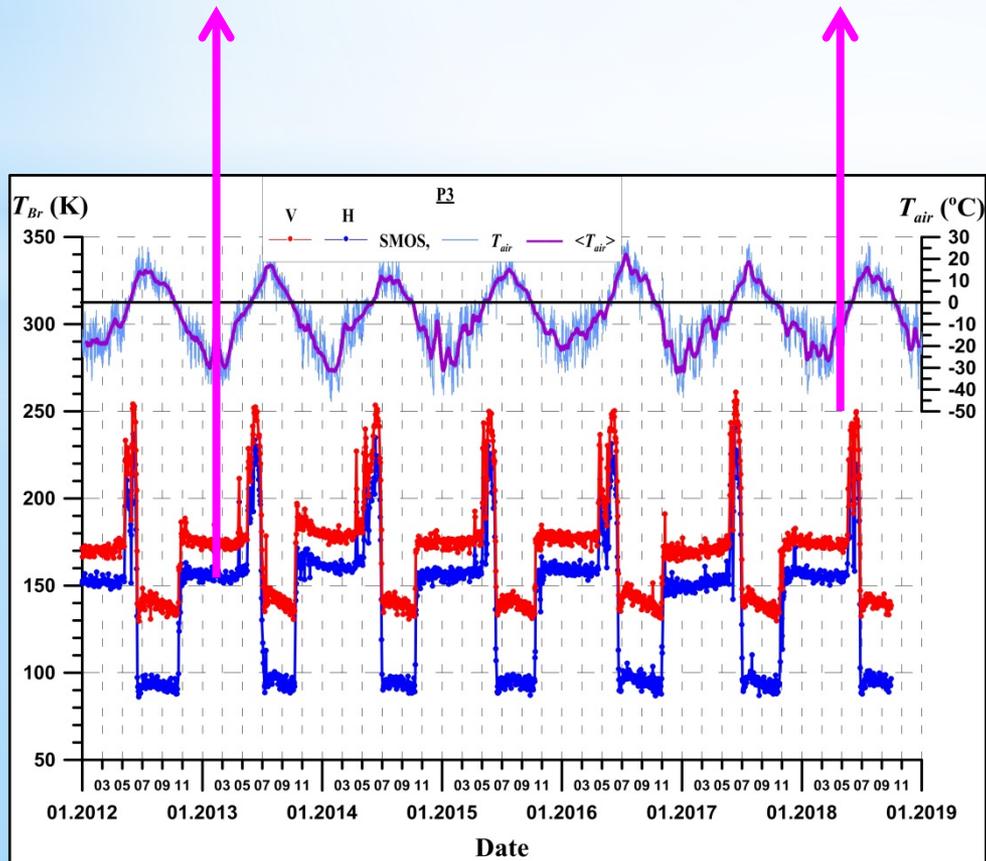
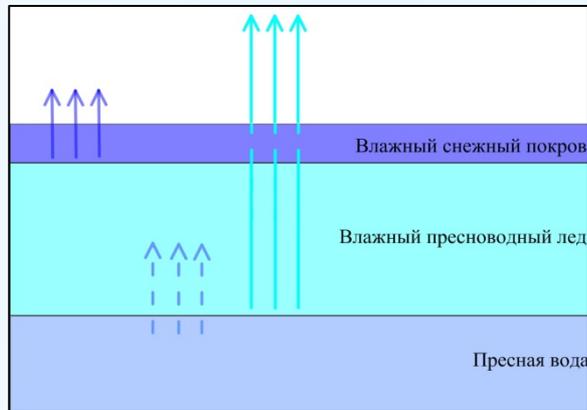
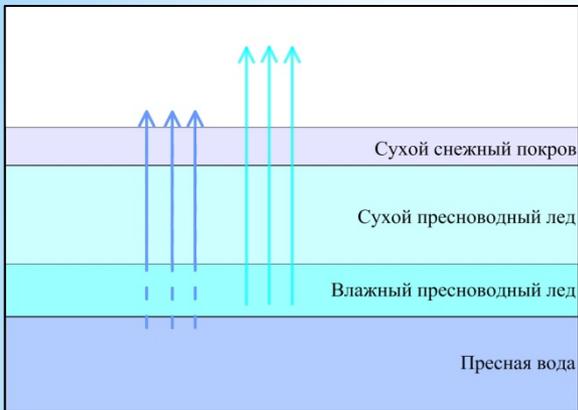
$$T_{Br}^h = \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \times [(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)] +$$

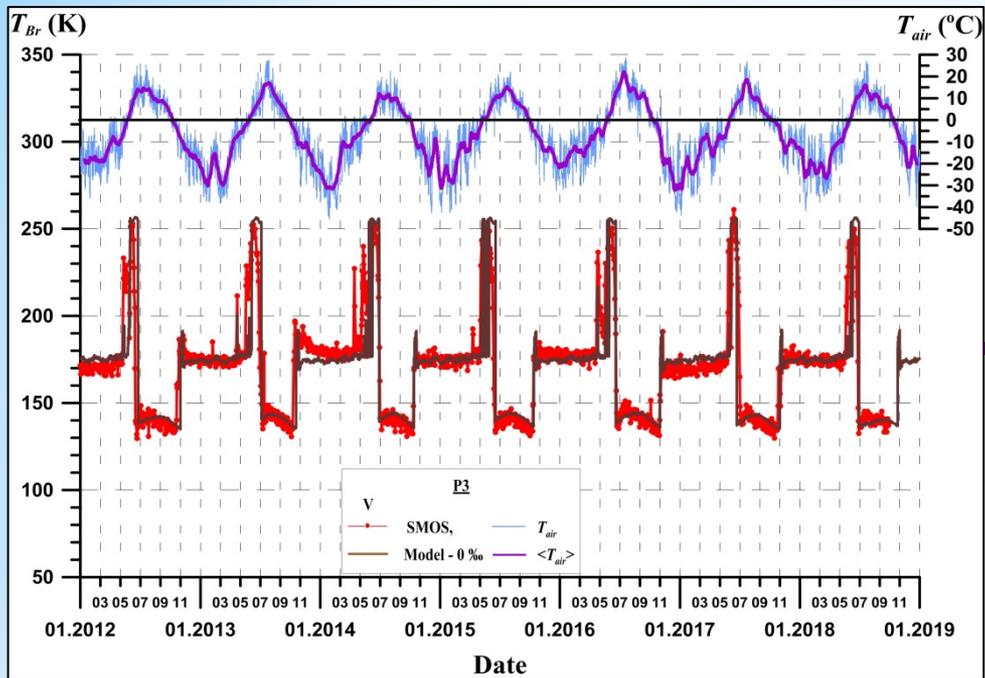
$$+ 4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j)) \left[\frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_4}{\operatorname{Re} Z_0} \right]$$





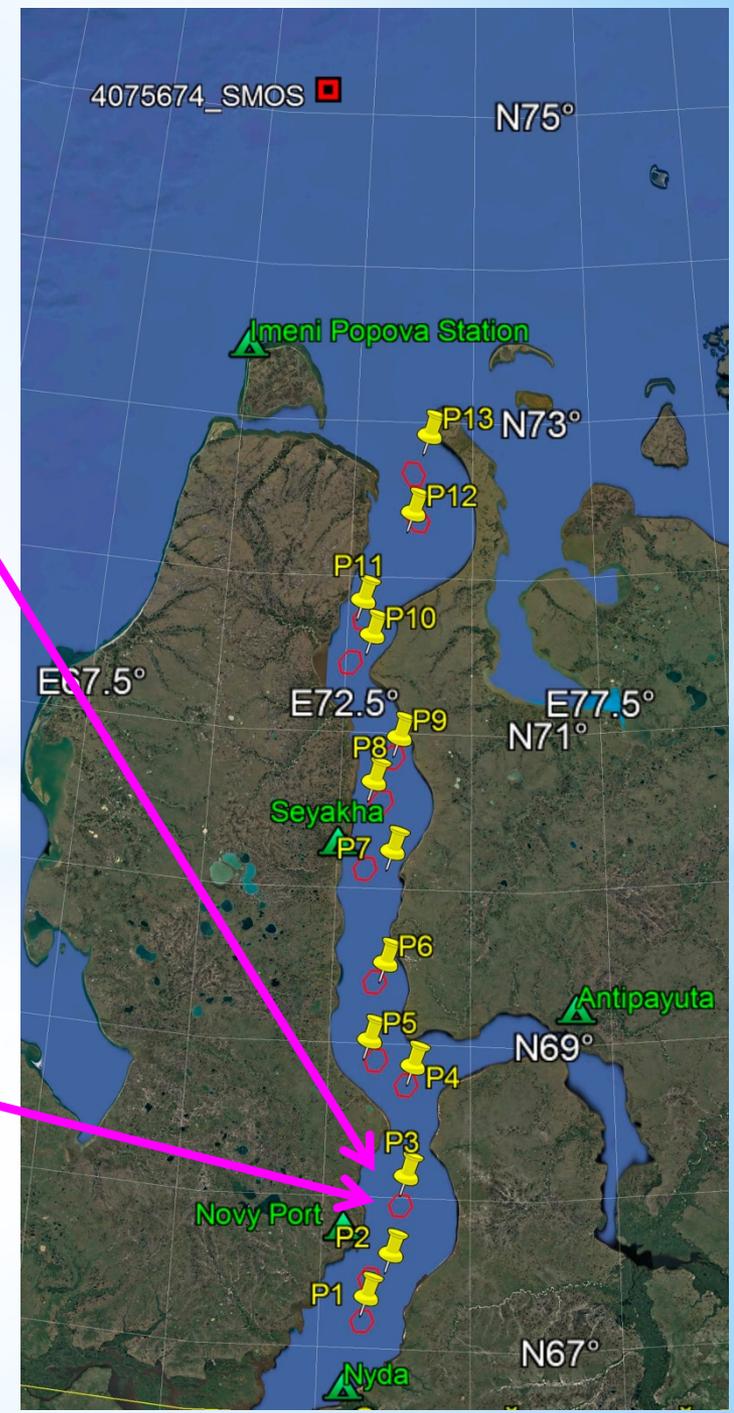
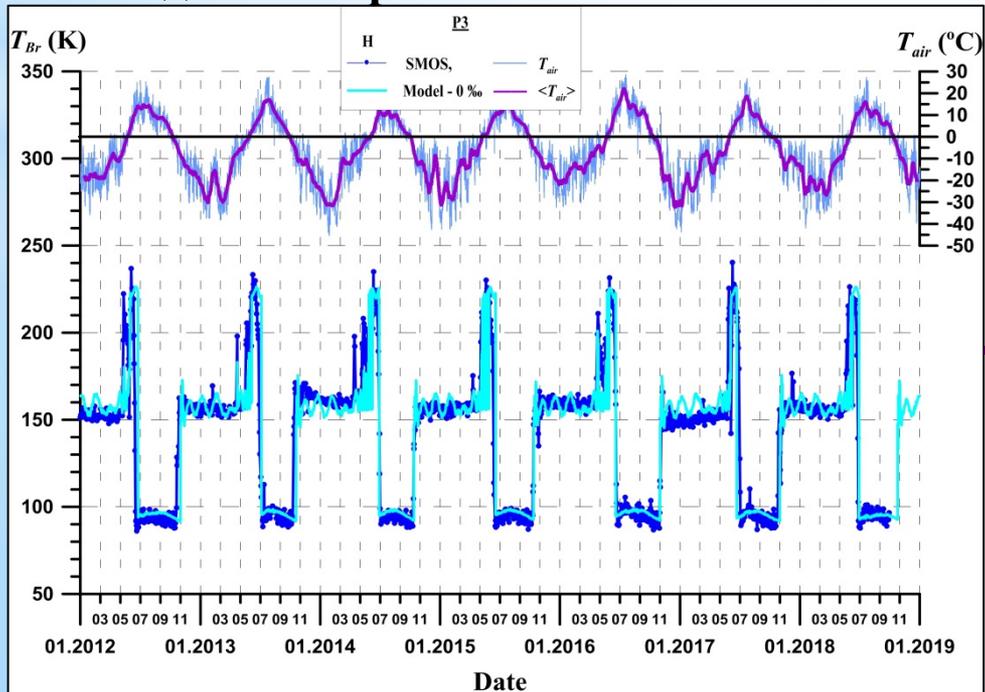


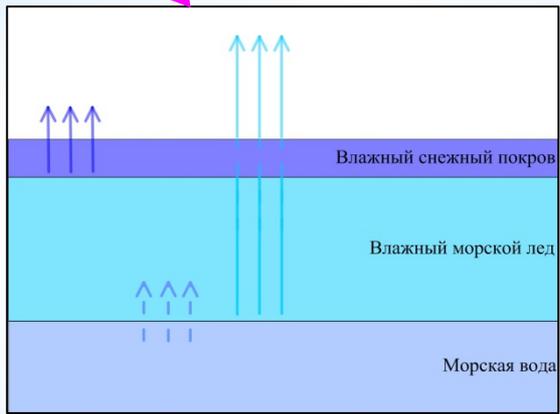
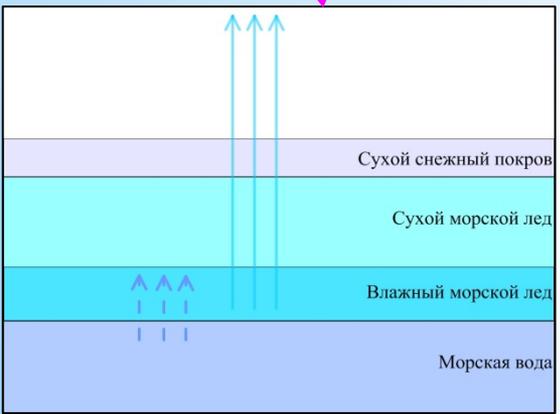
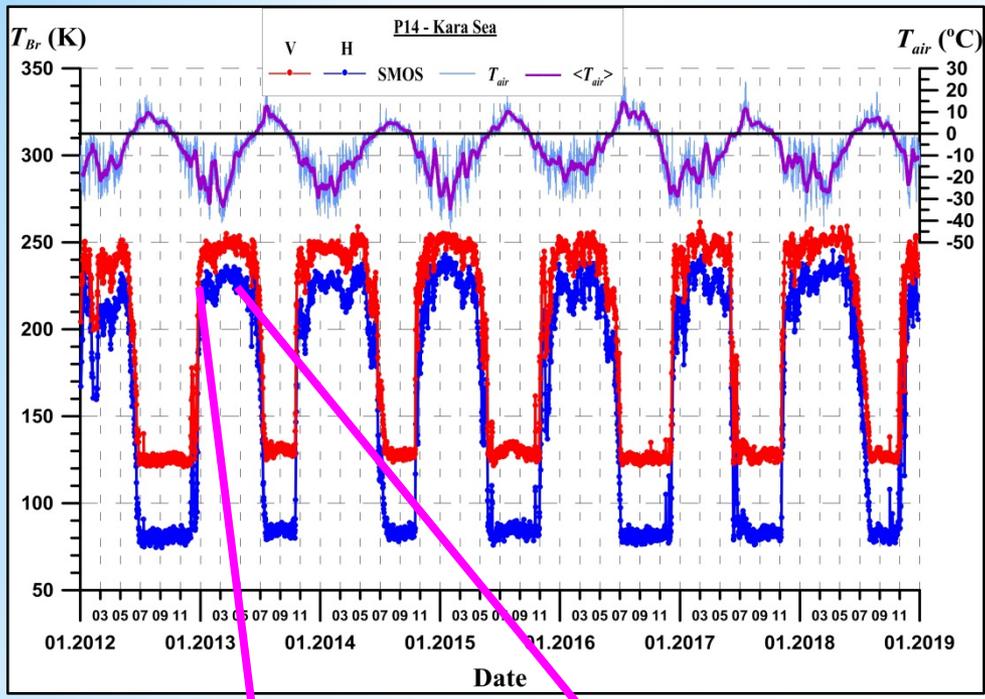


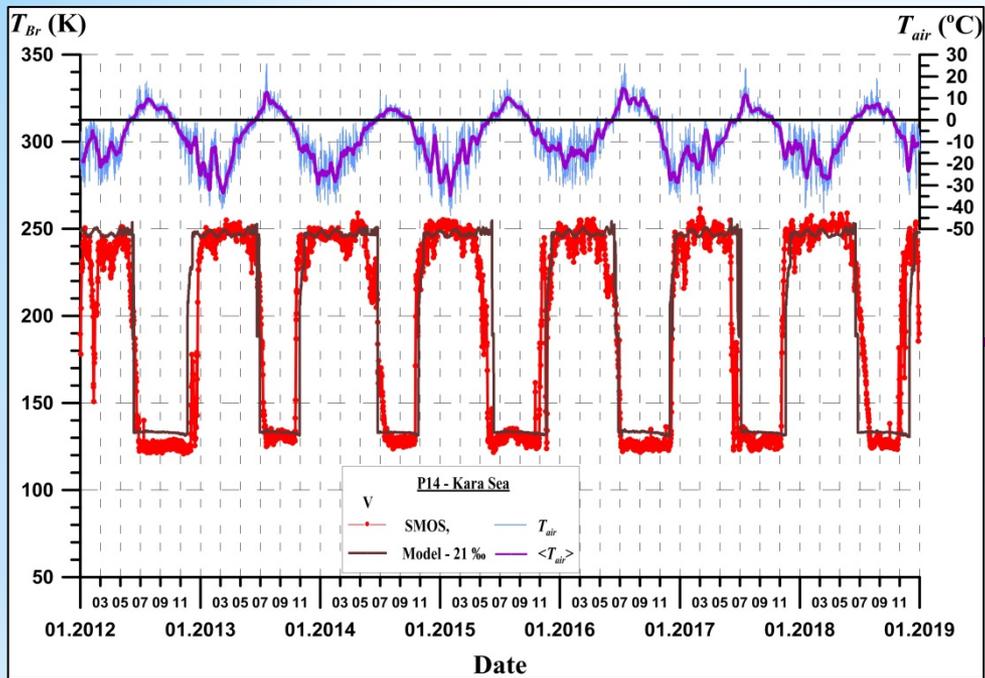


Модельный расчёт Model calculation

0 %

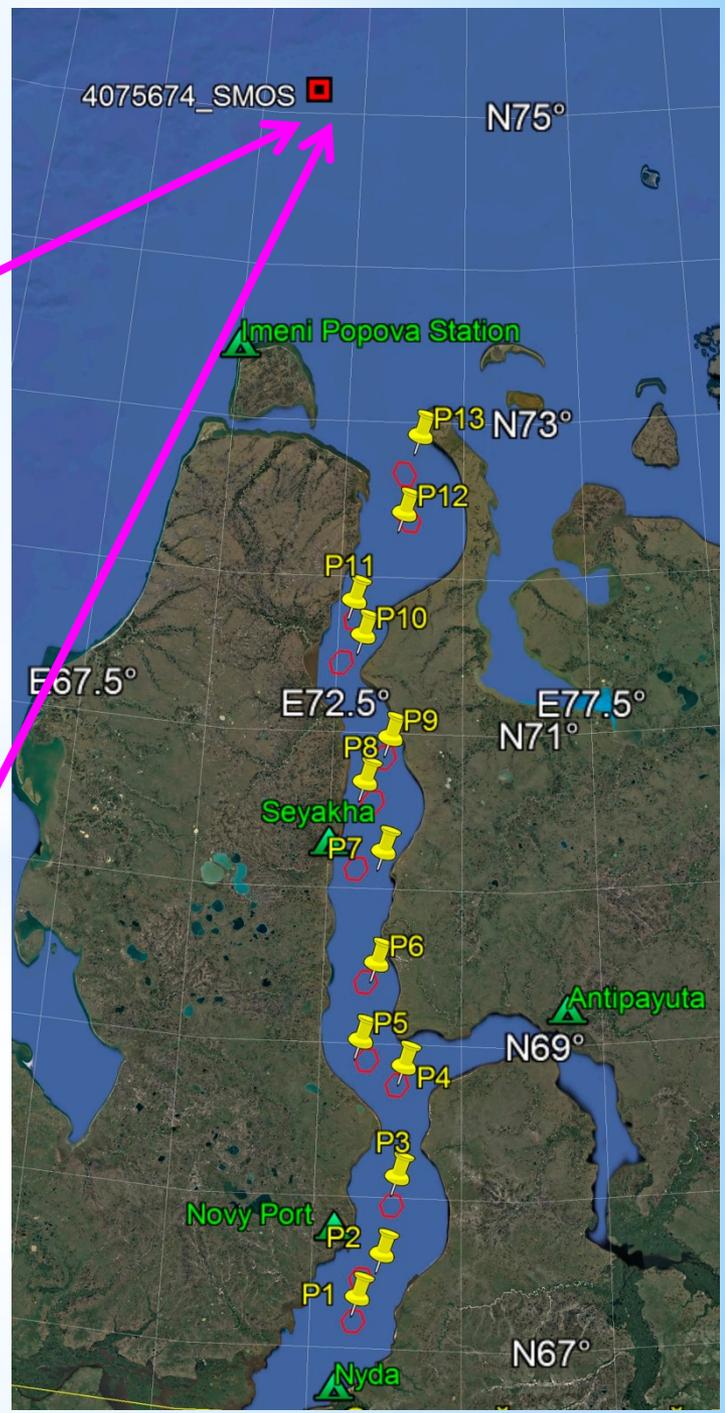
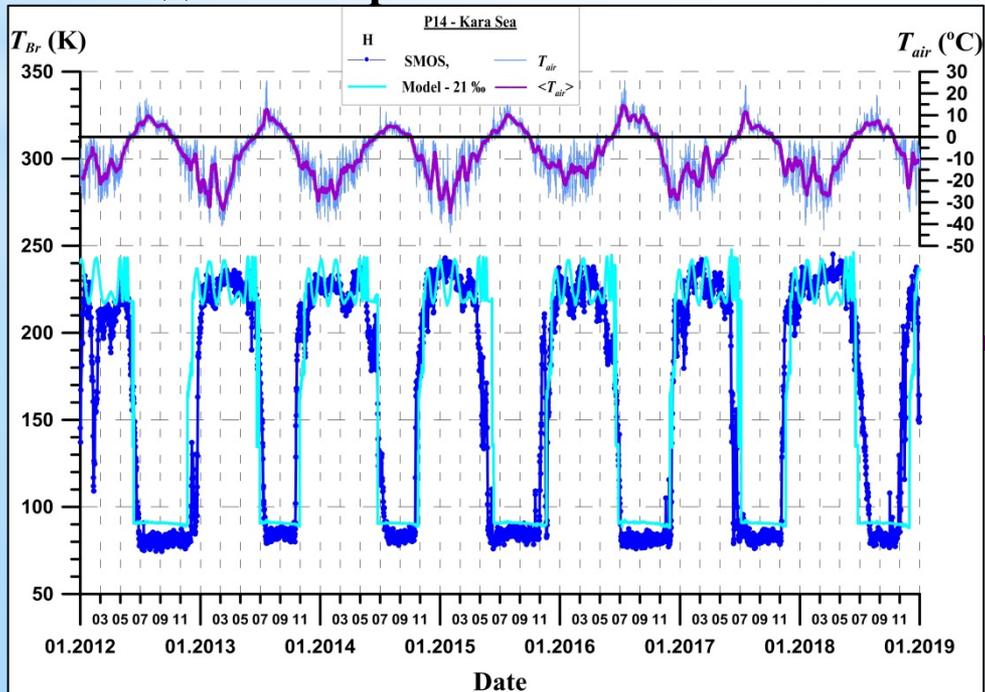


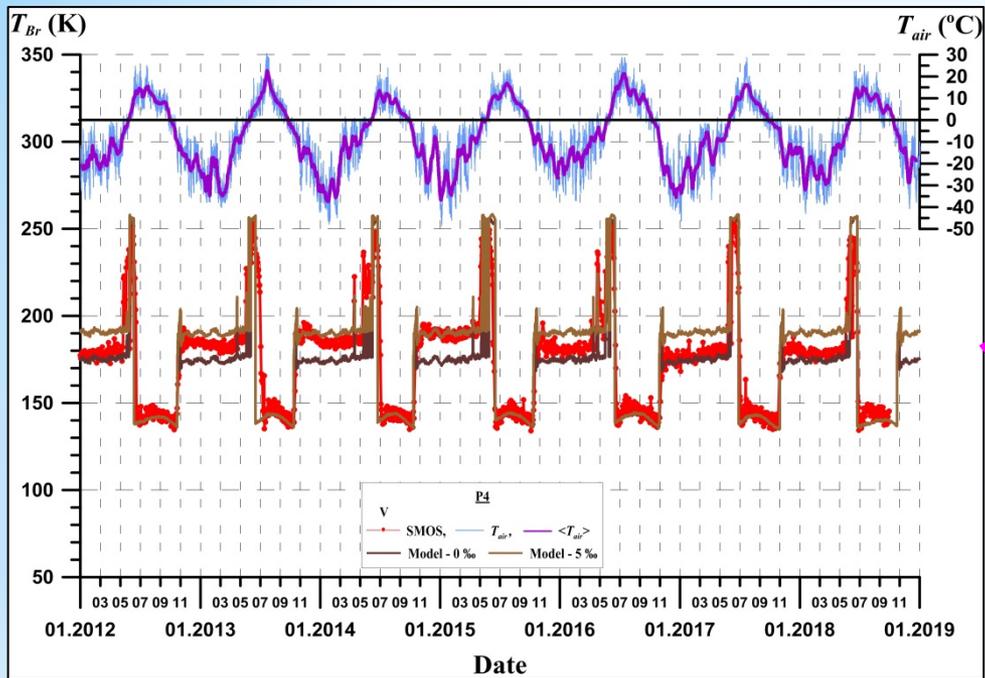




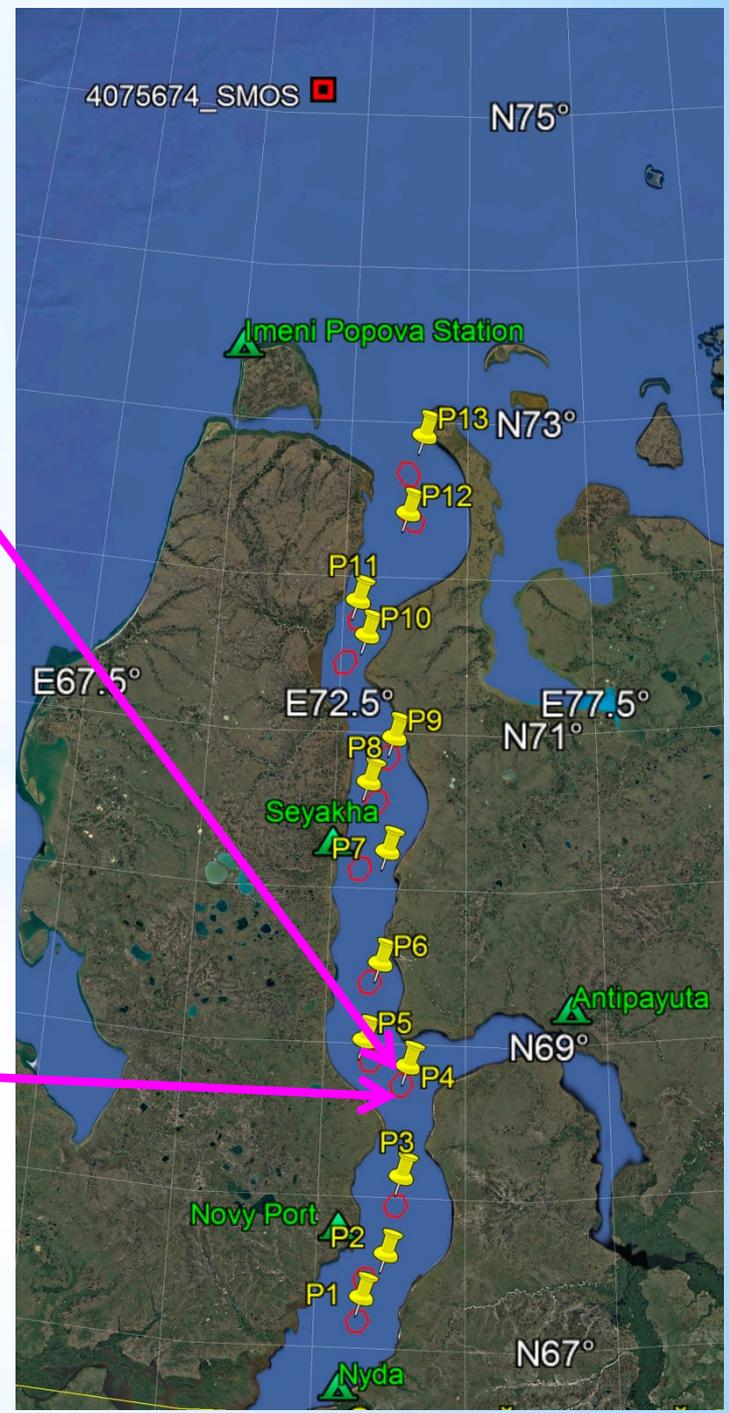
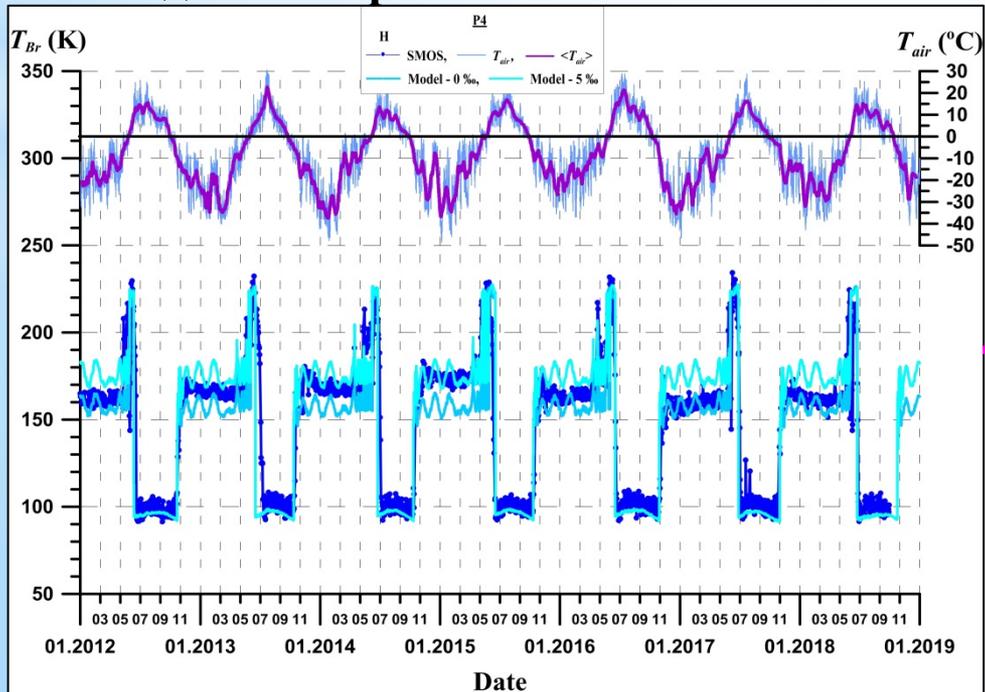
Модельный расчёт Model calculation

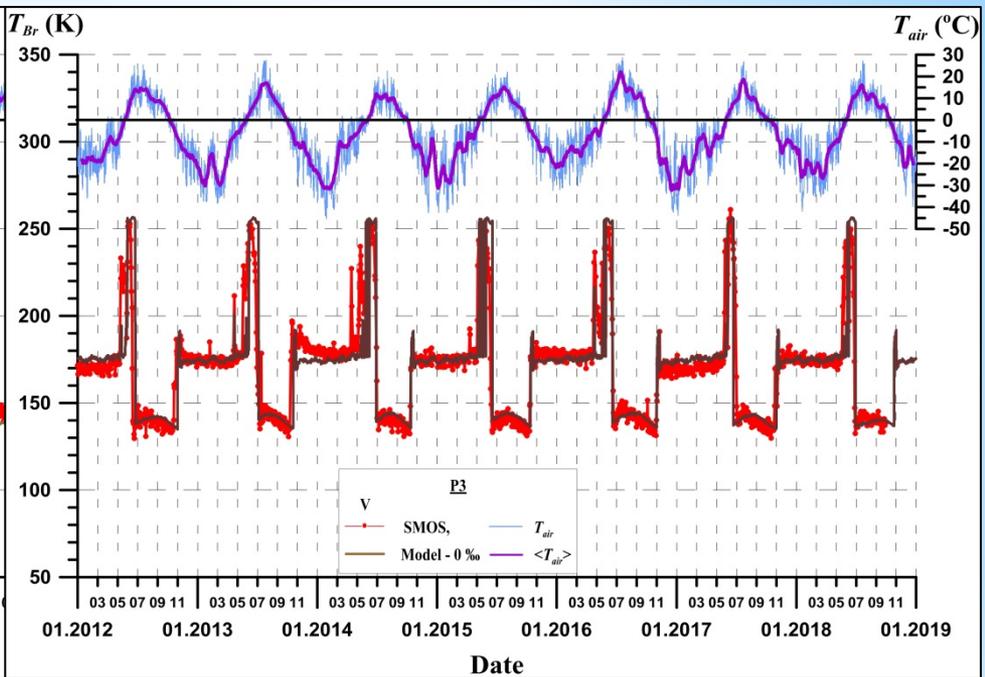
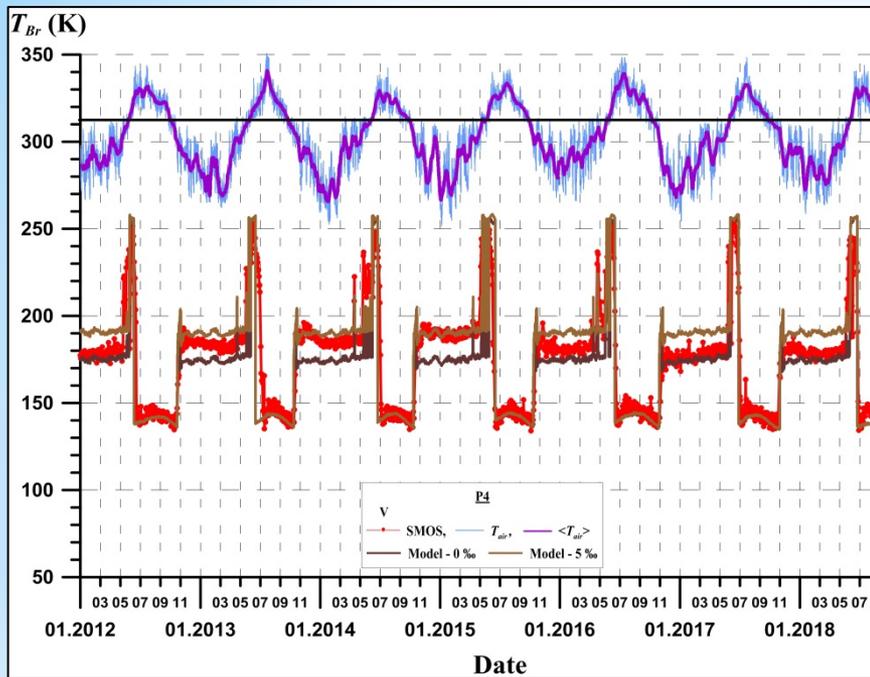
21 %



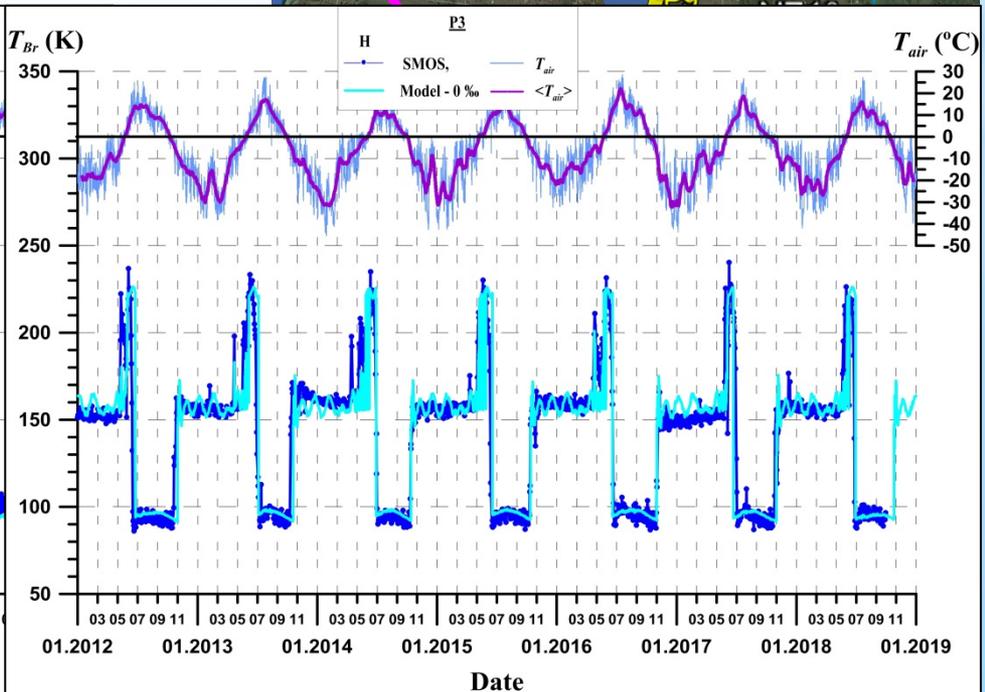
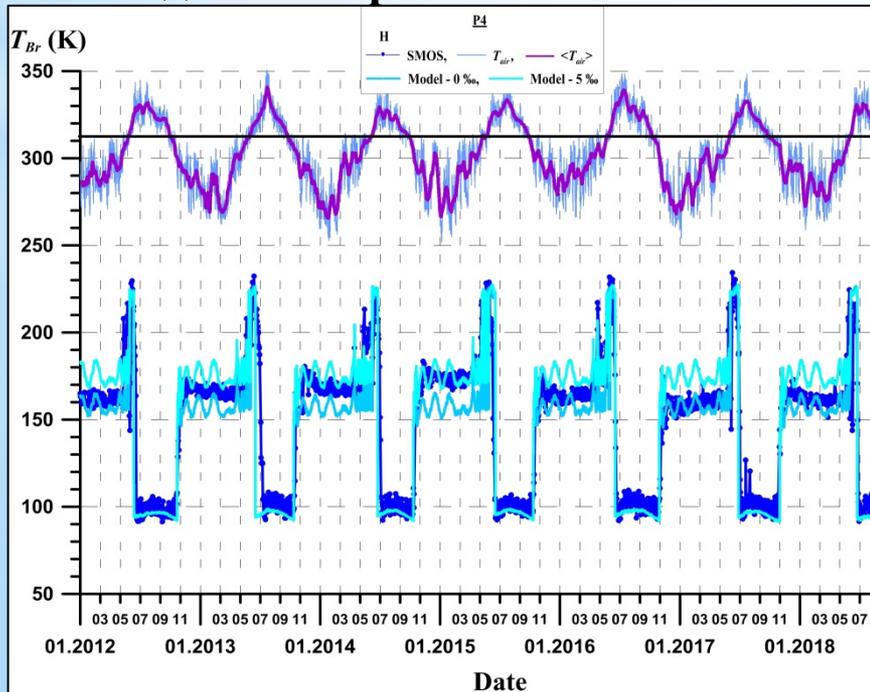


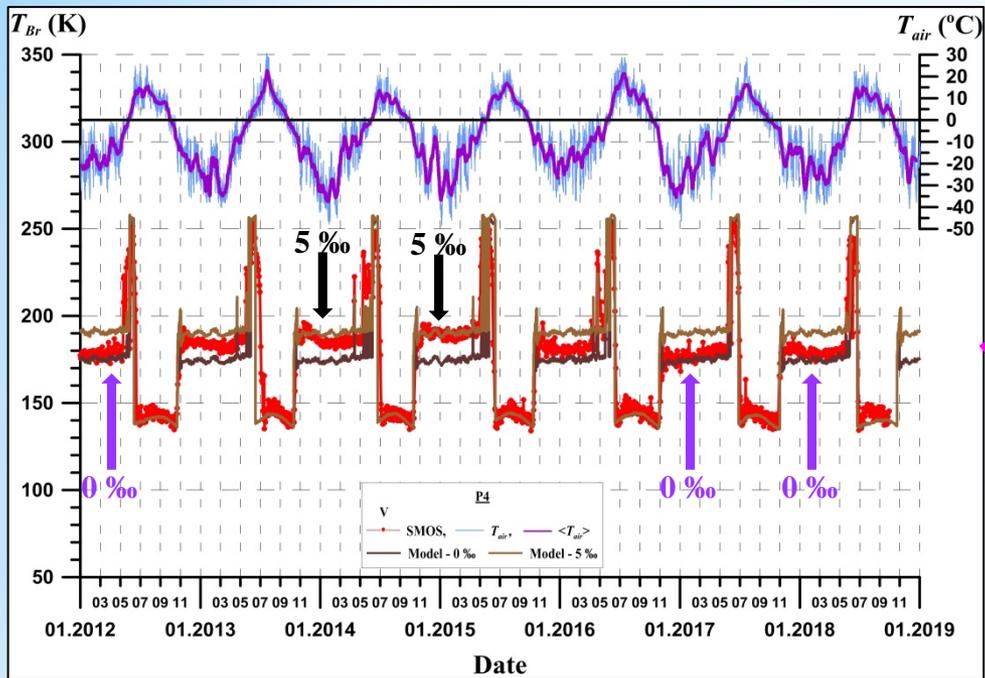
Модельный расчёт Model calculation



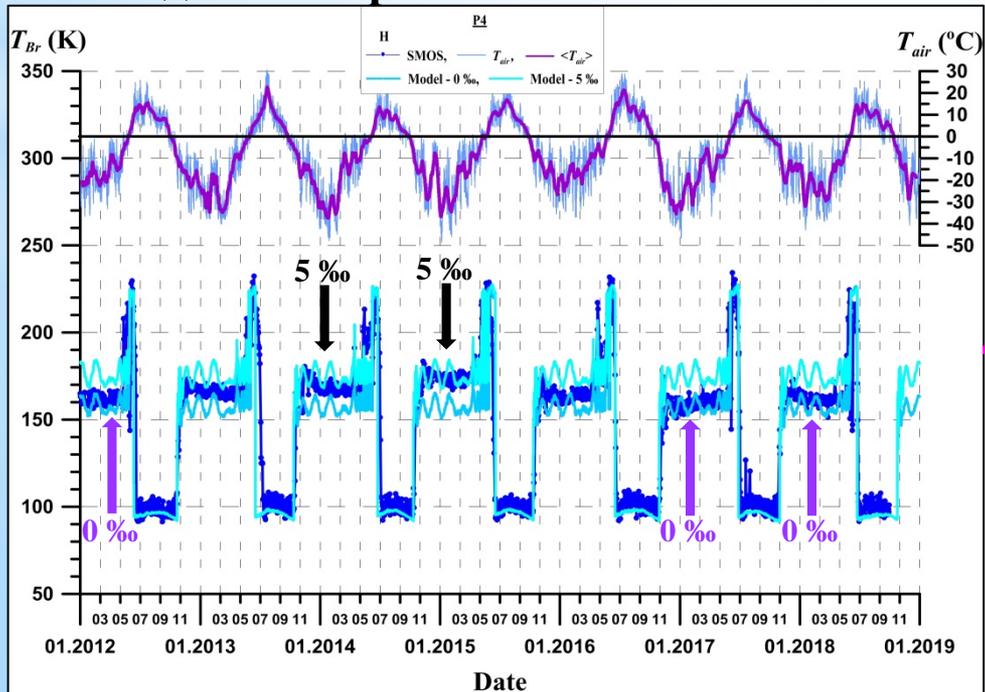


Модельный расчёт Model calculation

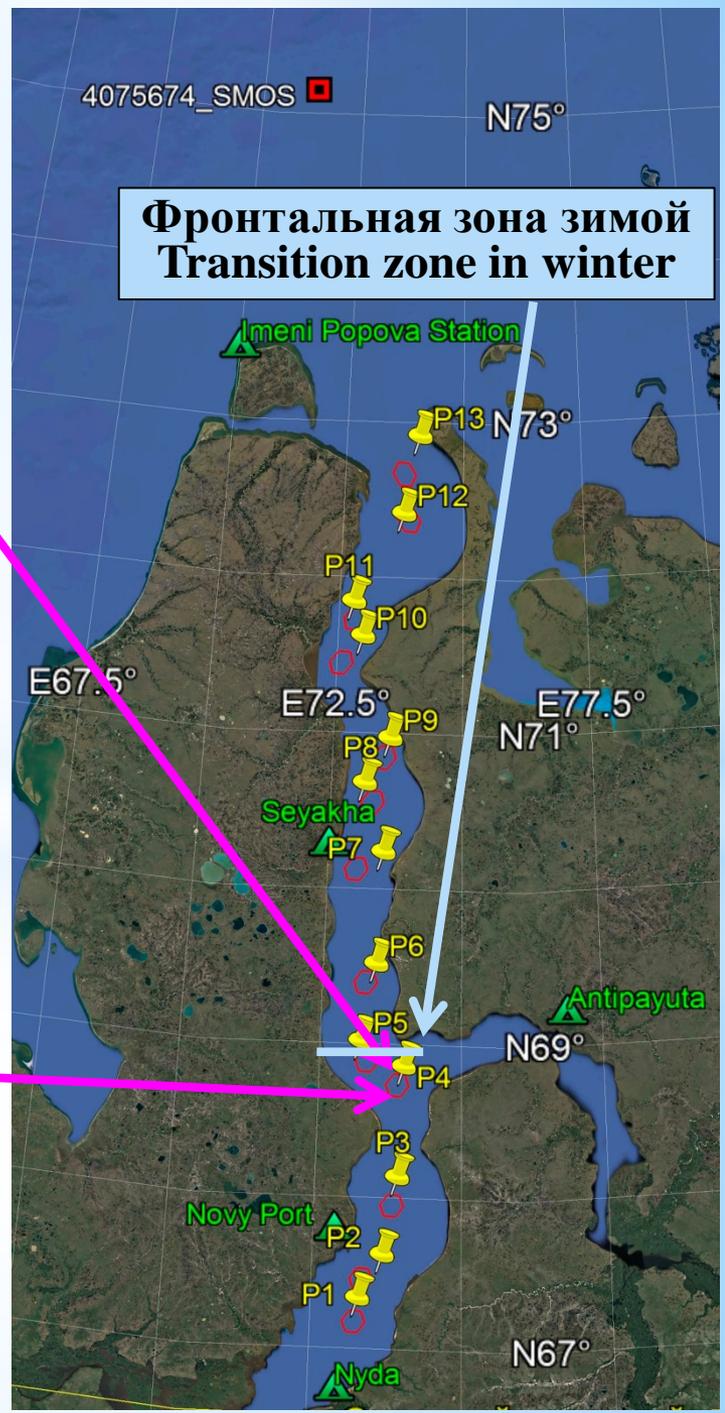




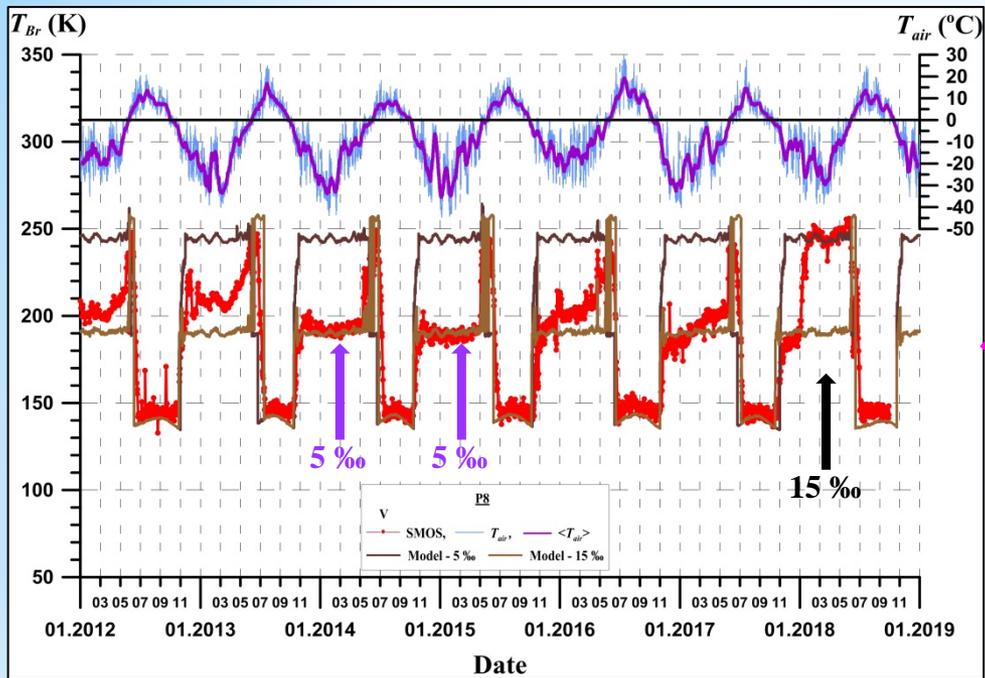
Модельный расчёт Model calculation



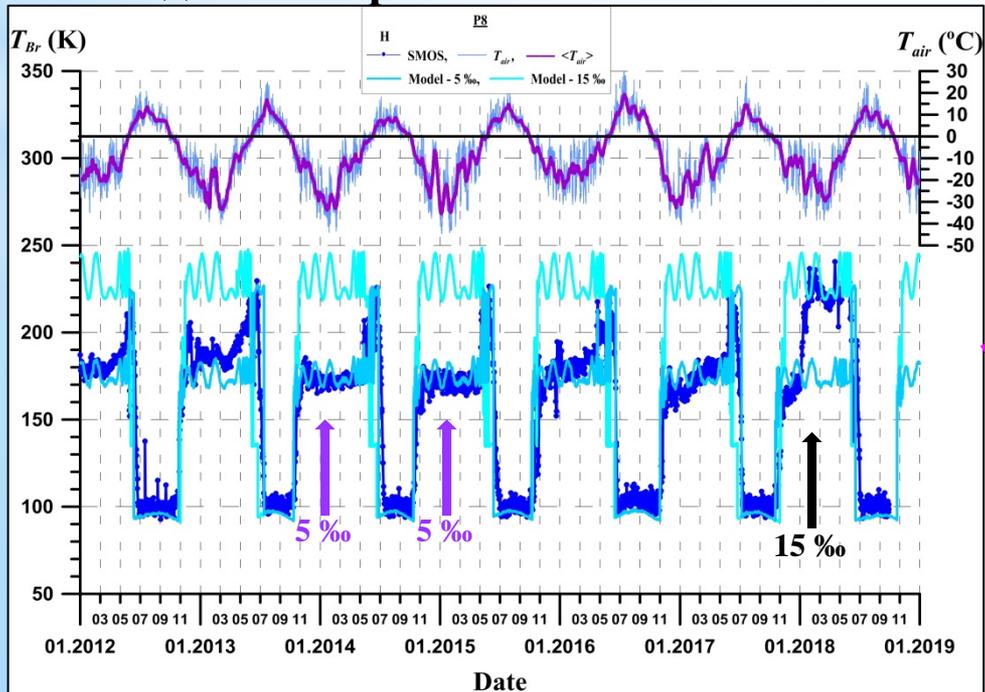
0 ‰
5 ‰



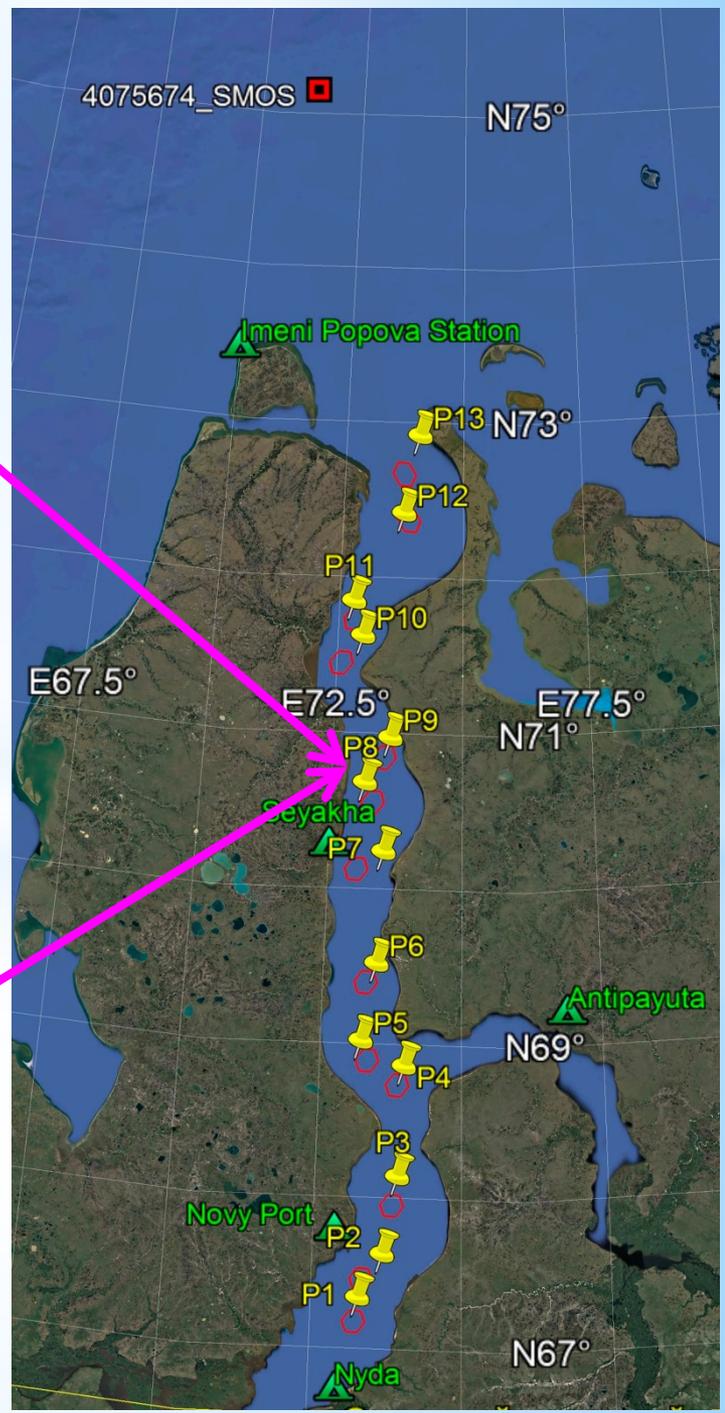
**Фронтальная зона зимой
Transition zone in winter**

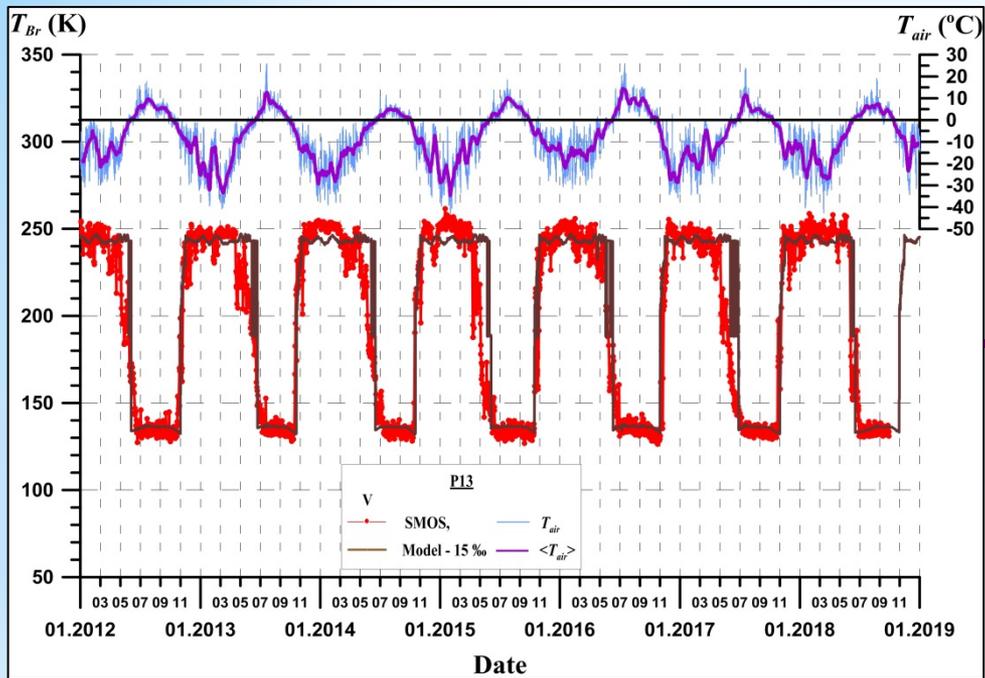


Модельный расчёт Model calculation



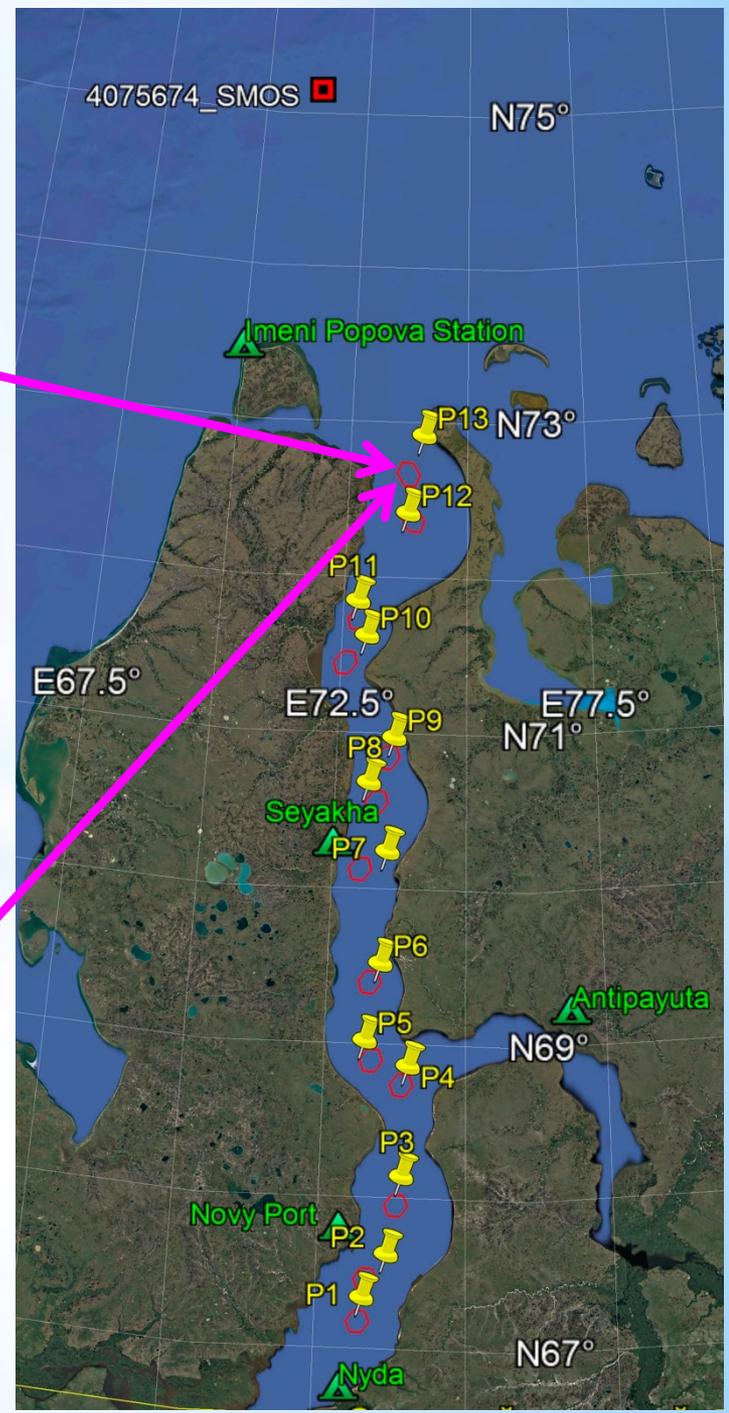
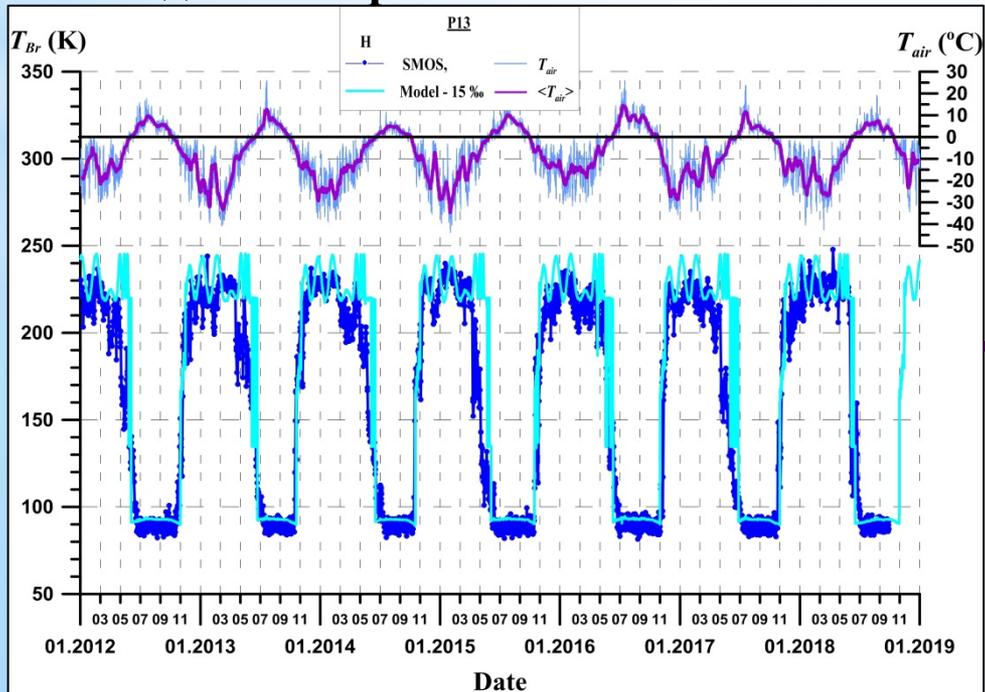
5 %
15 %





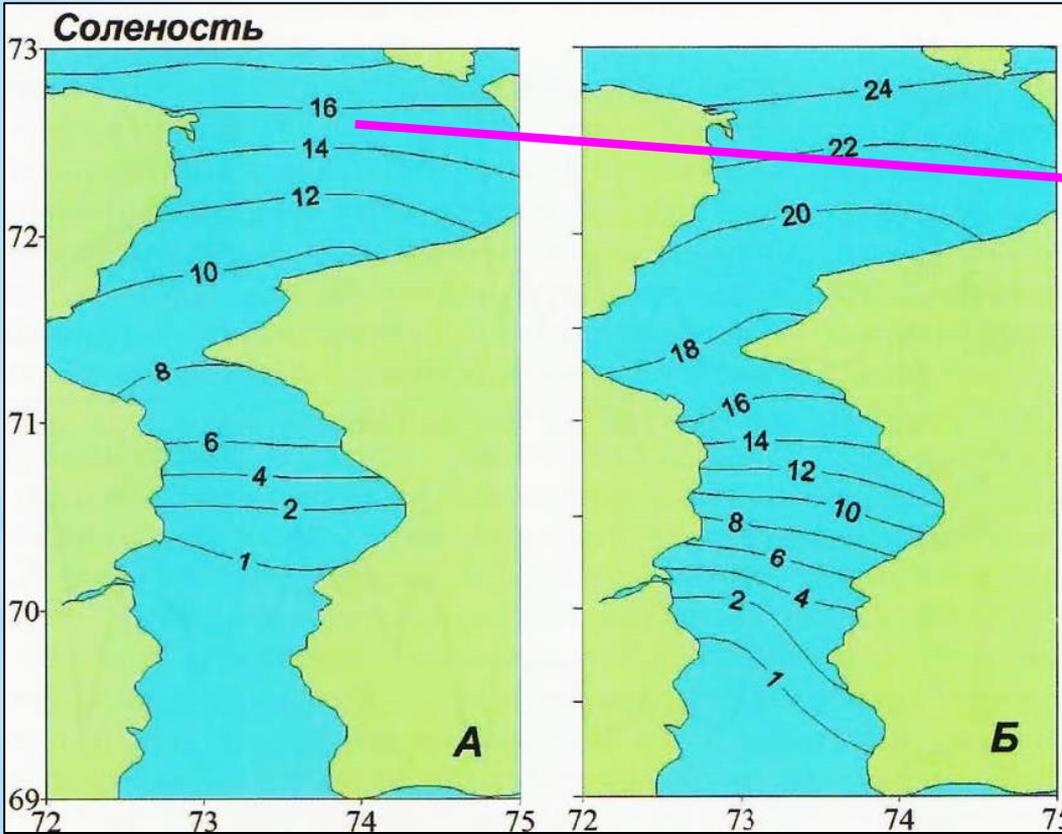
Модельный расчёт Model calculation

15 %



1966–1994 гг. Нерегулярные зимние измерения
 1966-1994 Irregular measurements in winter

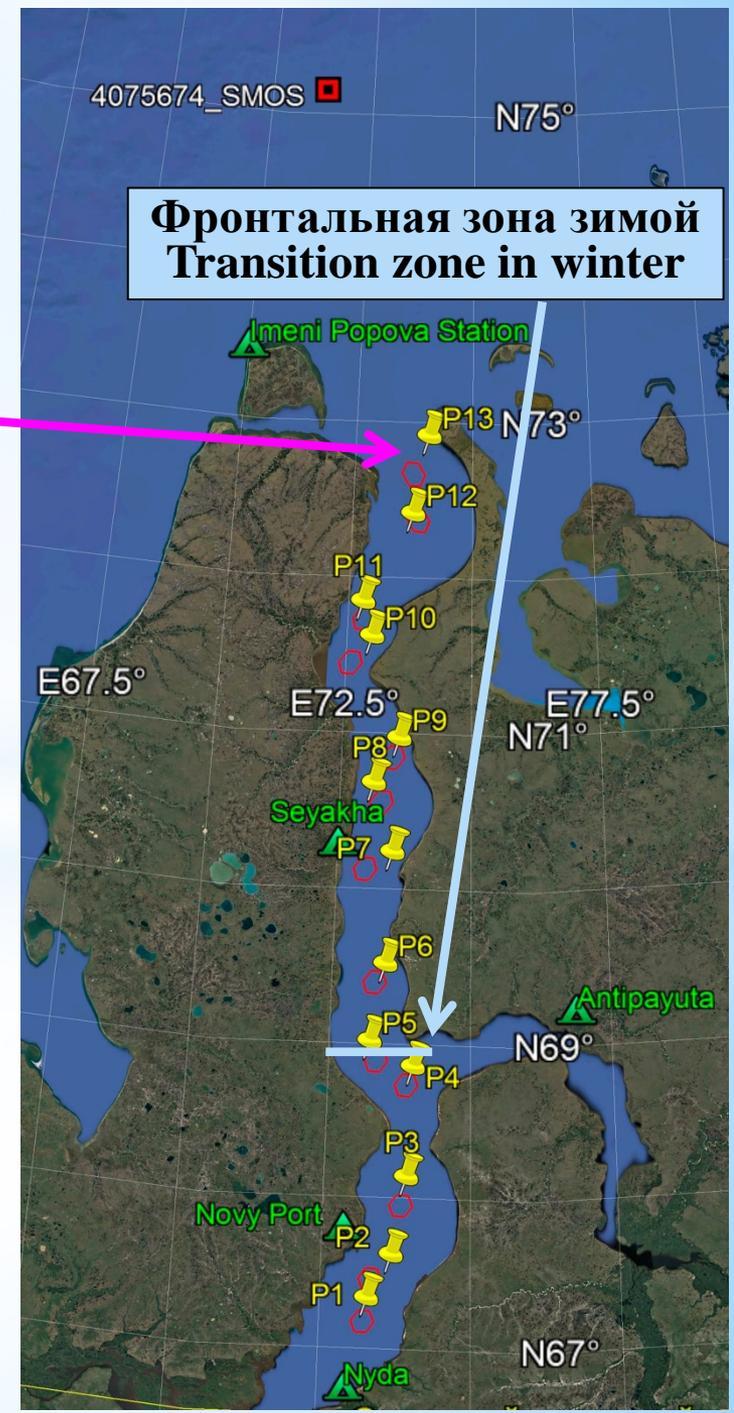
15 ‰



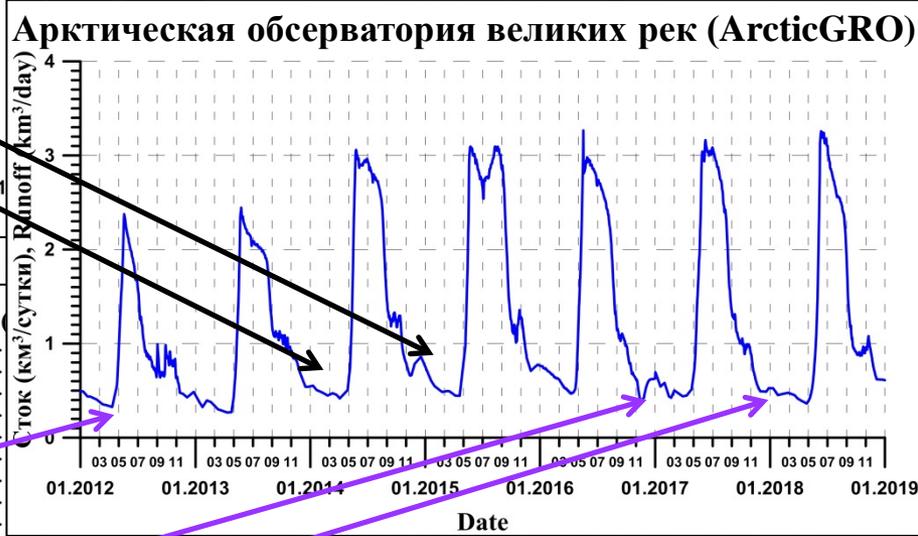
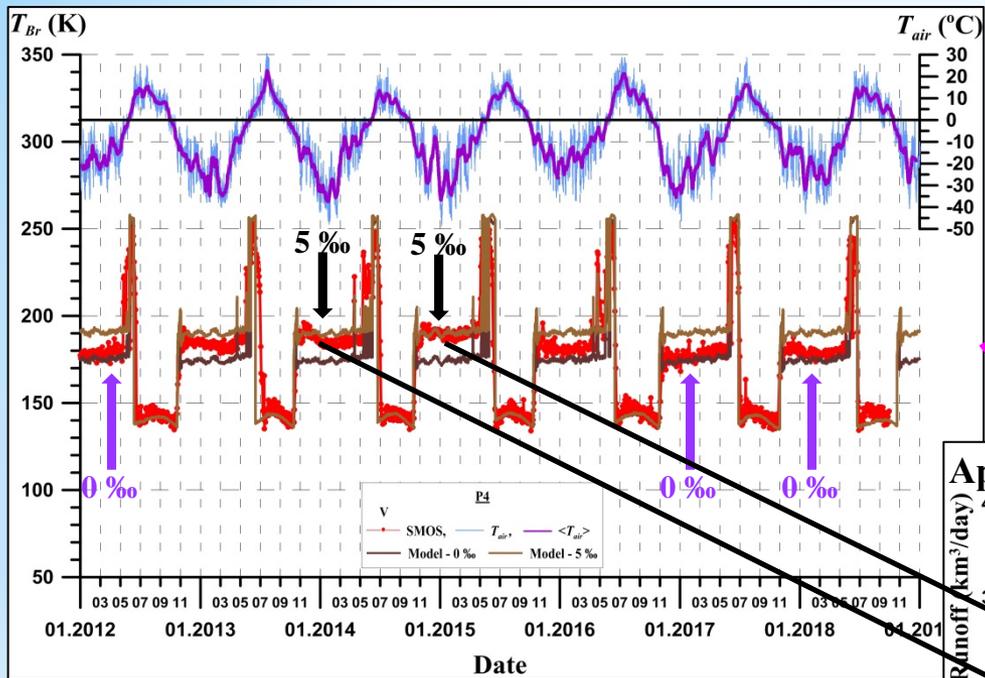
Поверхность

Дно

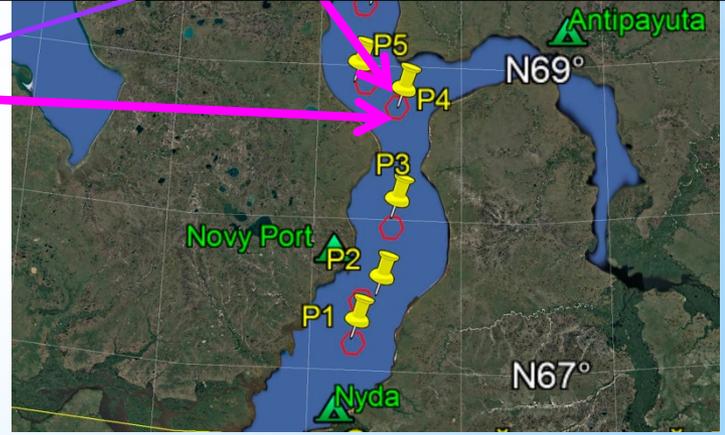
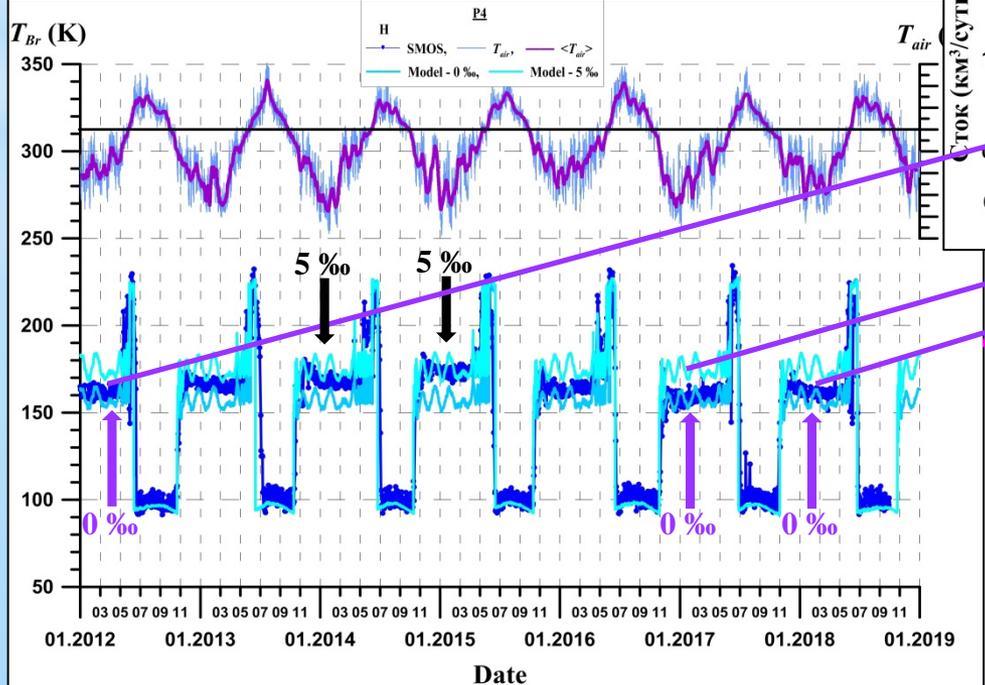
Фронтальная зона зимой
 Transition zone in winter

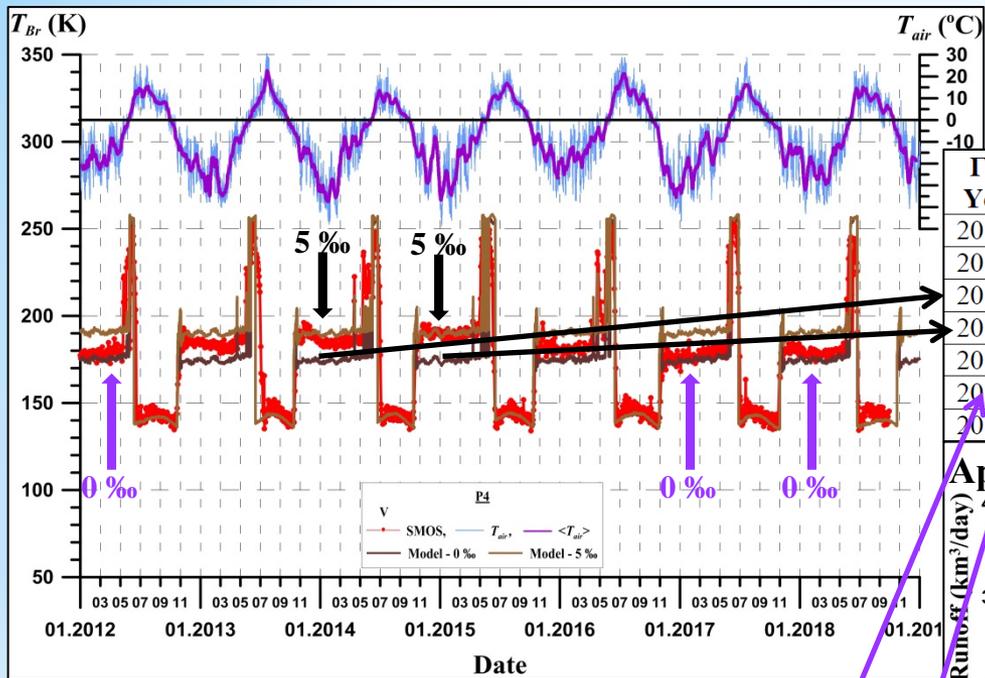


Войнов Г.Н. и др. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ. СПб., 2017. 192 с.
 Voynov G.N., et al. The main features of the hydrological regime of the Ob and Taz bays. St-Petersburg. 2017.



Модельный расчёт Model calculation

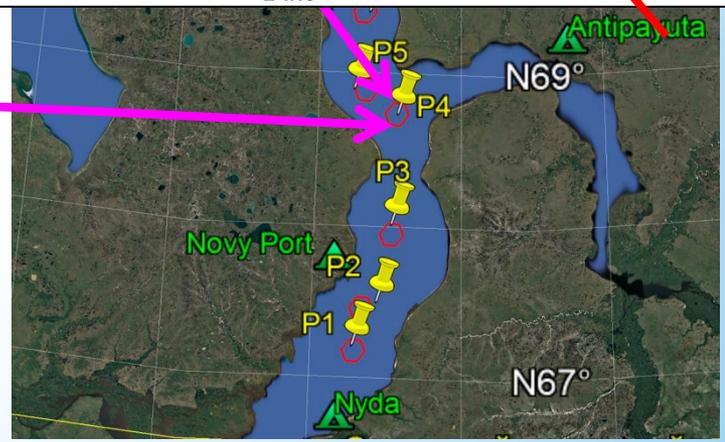
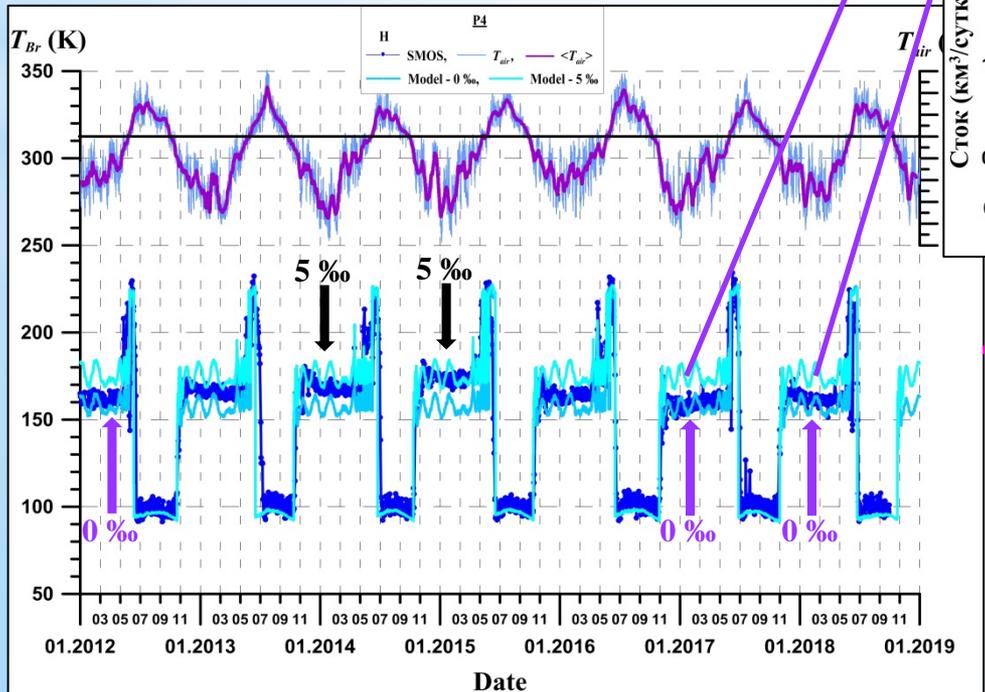
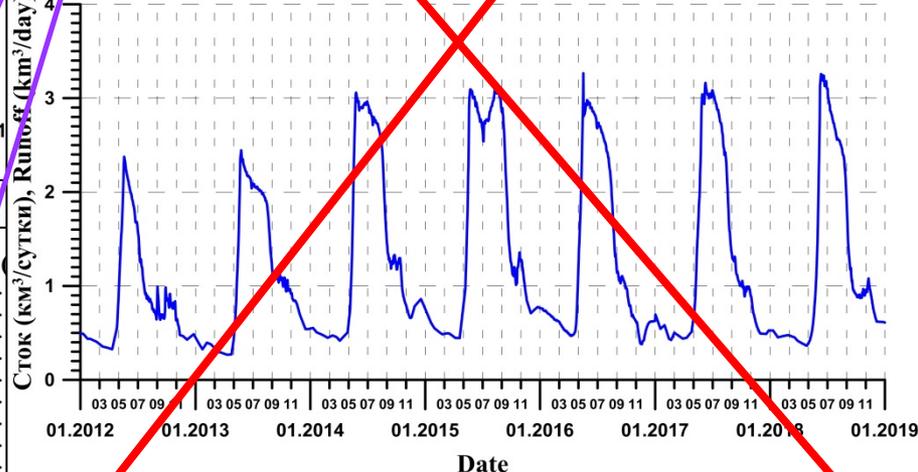


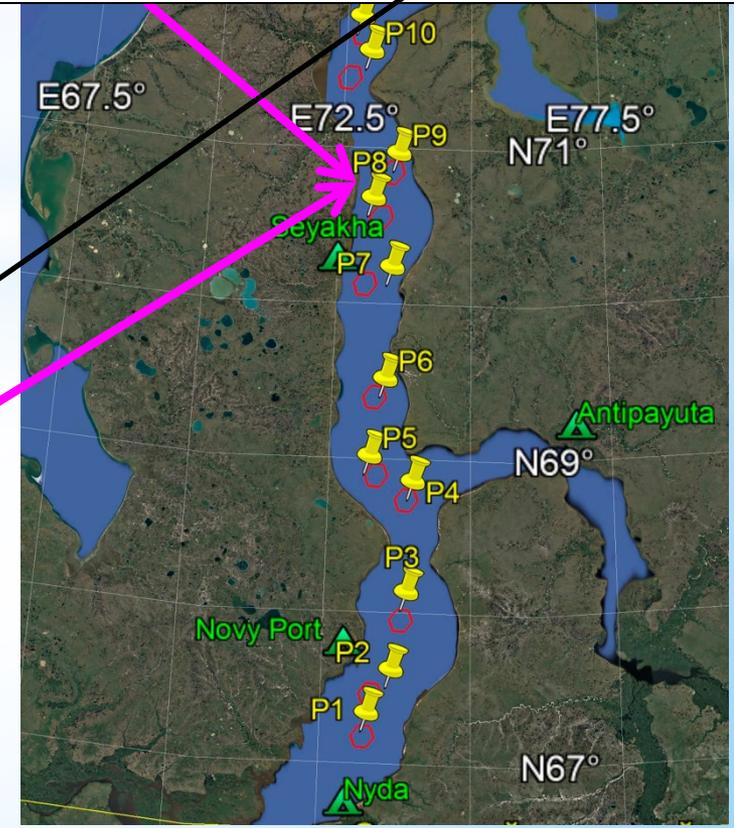
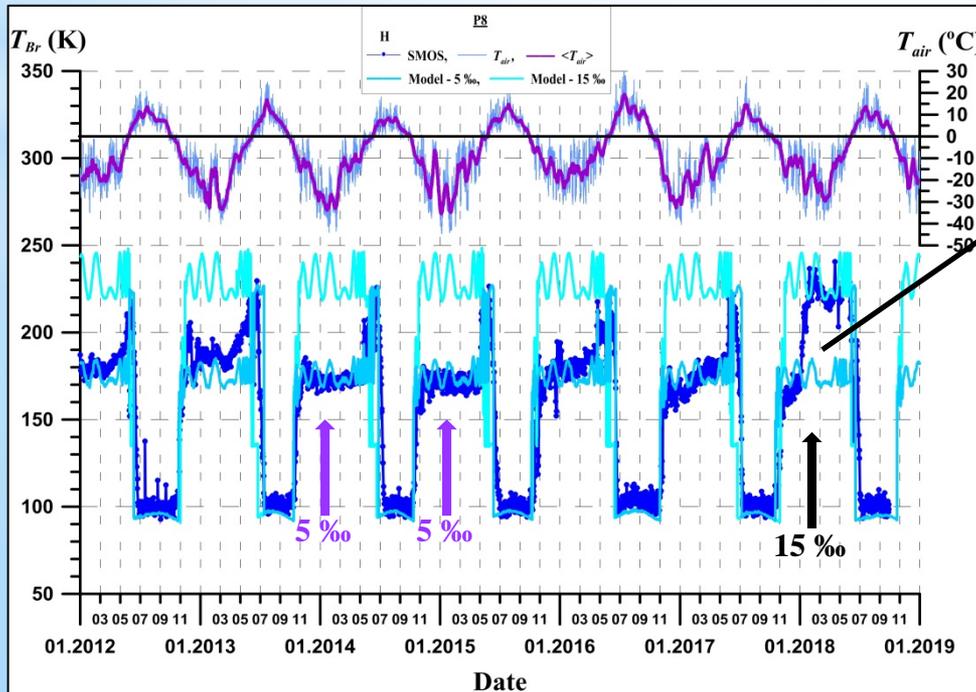
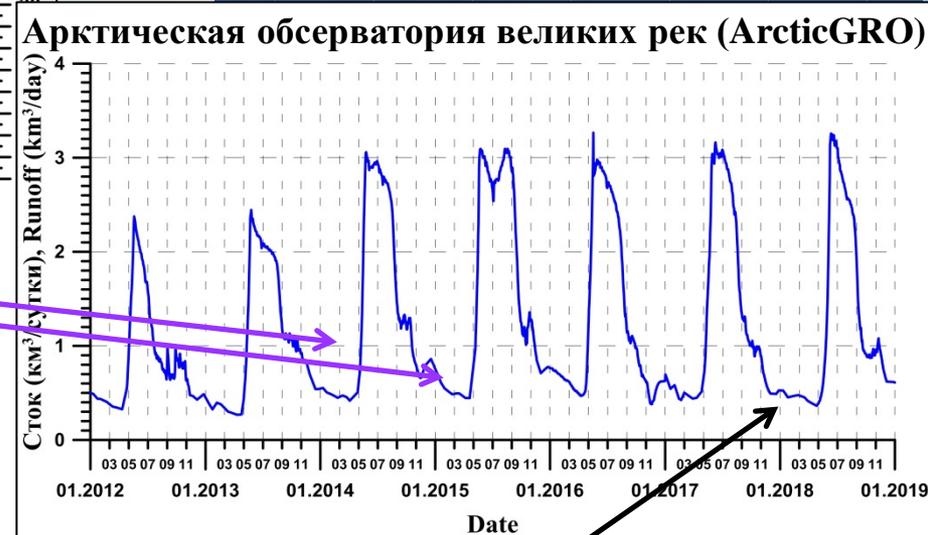
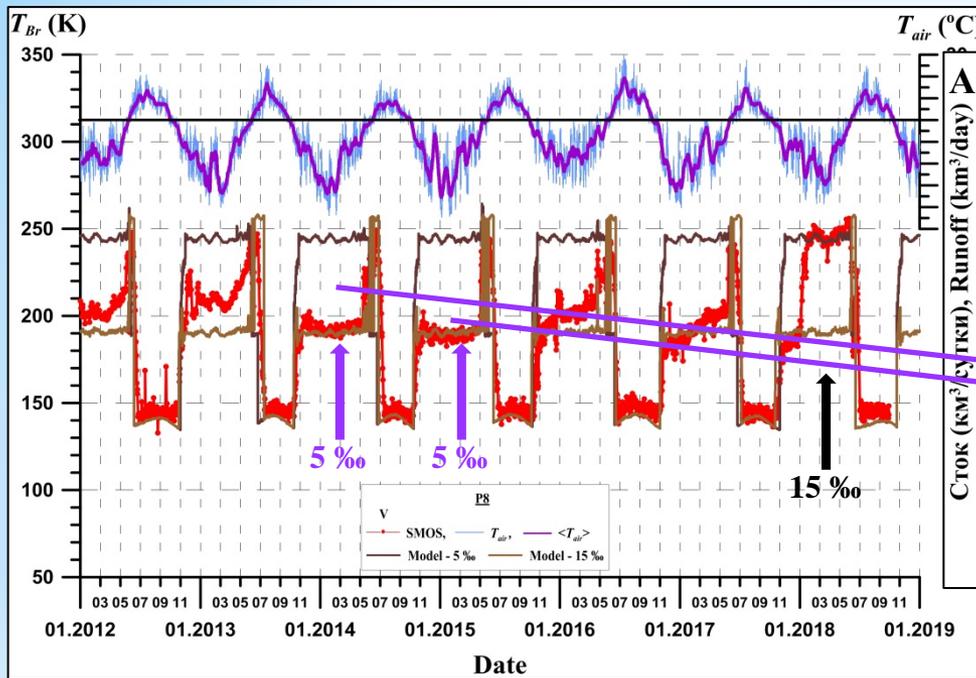


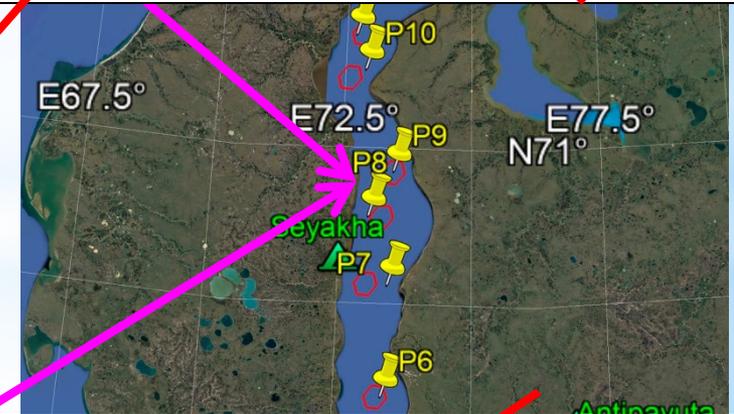
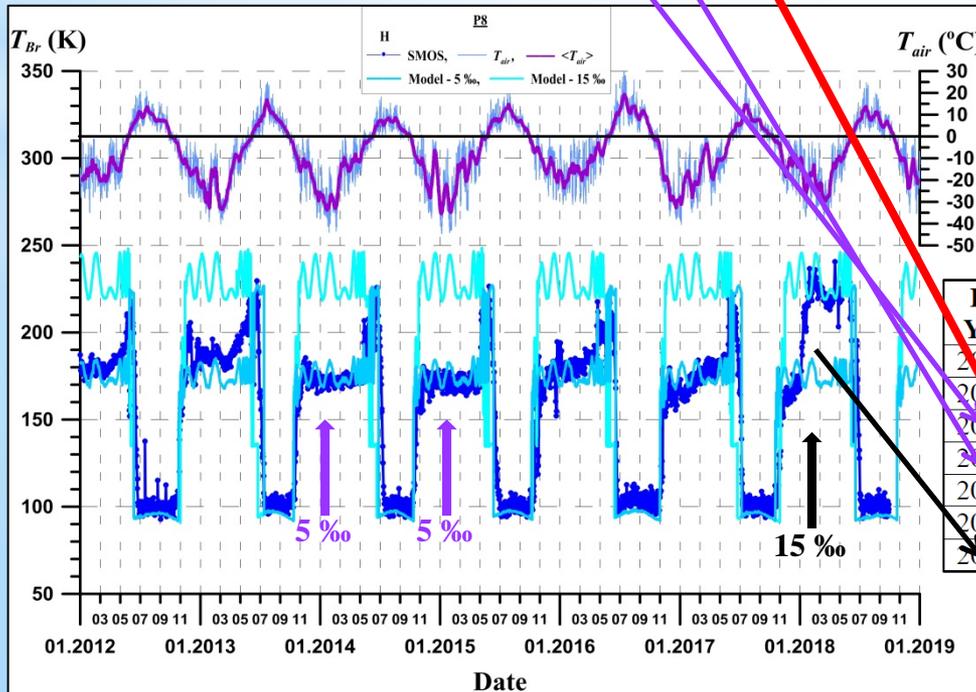
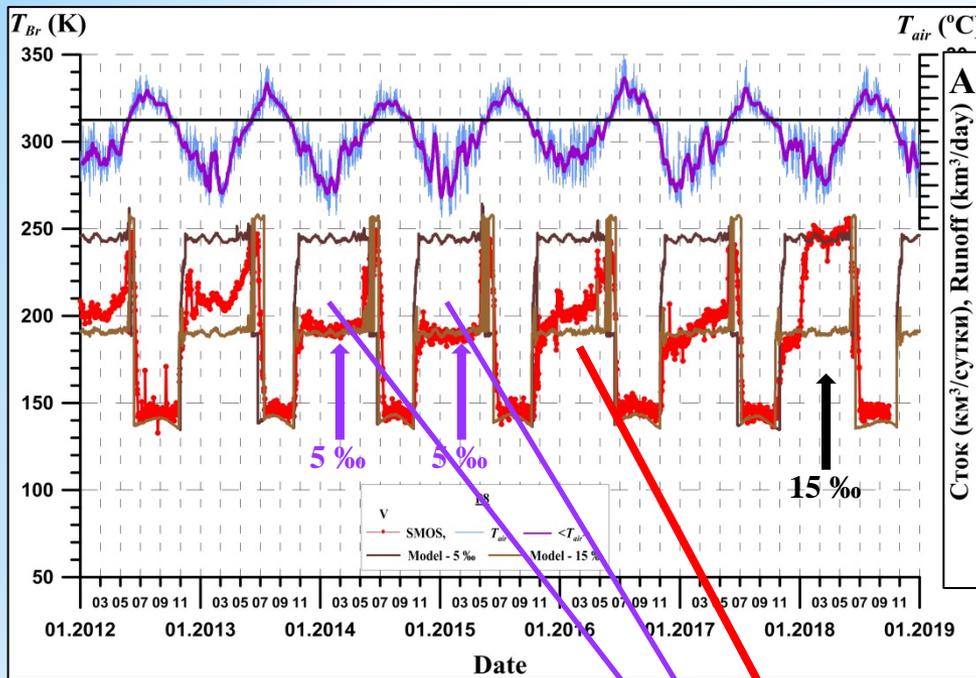
4075674_SMOS ■ N75°

Год Year	Годовой сток, км ³ Annual runoff, km ³	Зимний сток, км ³ Winter runoff, km ³	Зимний/Годовой, % Winter/annual, %
2012	301		
2013	374	70	19
2014	470	99	21
2015	542	111	20
2016	463	128	28
2017	456	93	20
2018	435	88	20

Арктическая обсерватория великих рек (ArcticGRO)

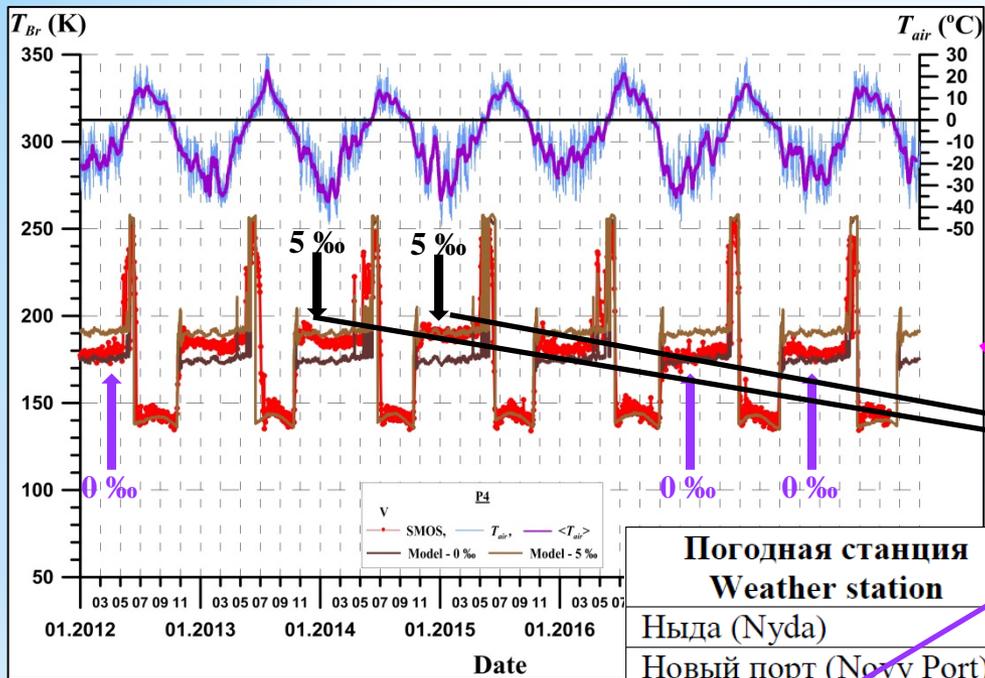




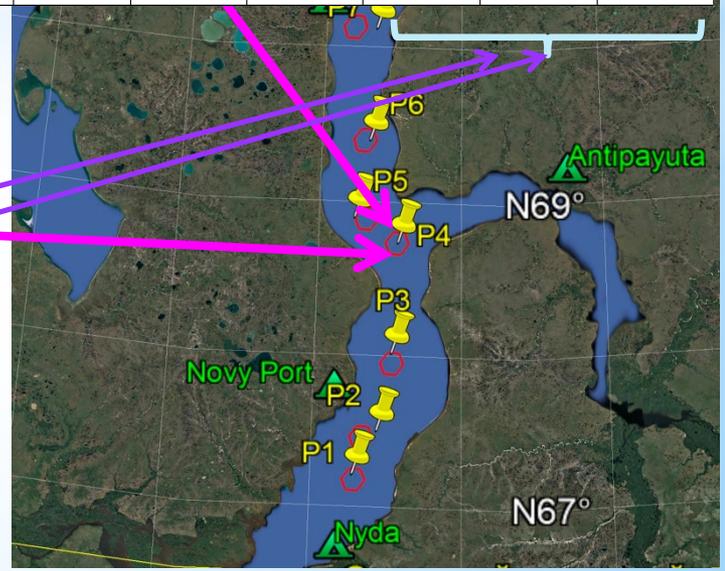
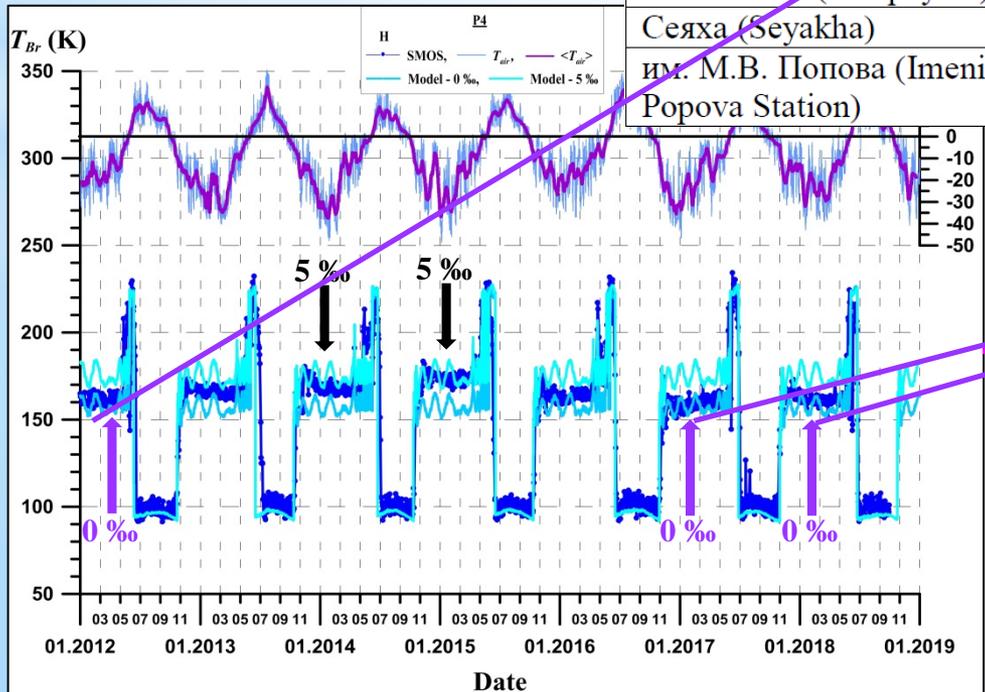


Год Year	Годовой сток, км³ Annual runoff, km³	Зимний сток, км³ Winter runoff, km³	Зимний/годовой, % Winter/annual, %
2012	301		
2013	374	70	19
2014	479	99	21
2015	542	111	20
2016	463	128	28
2017	456	93	20
2018	435	88	20





Погодная станция Weather station	2012 $^{\circ}$ C	2013 $^{\circ}$ C	2014 $^{\circ}$ C	2015 $^{\circ}$ C	2016 $^{\circ}$ C	2017 $^{\circ}$ C	2018 $^{\circ}$ C
Ныда (Nyda)	-3,9	-6,5	-7,0	-4,9	-3,4	-4,3	-6,0
Новый порт (Novy Port)	-4,8	-7,4	-7,9	-5,9	-4,3	-5,4	-6,8
Антипаюта (Antipayuta)	-6,5	-9,0	-9,4	-7,1	-5,8	-6,8	-8,1
Сякха (Seyakha)	-5,9	-9,0	-9,3	-7,0	-5,5	-6,5	-7,6
им. М.В. Попова (Imeni Popova Station)	-5,6	-9,4	-9,1	-7,3	-6,0	-6,7	-7,8



Обская губа (Gulf of Ob)



Terra MODIS, 05.07.2016

Обская губа (Gulf of Ob)



Terra MODIS, 05.07.2016

Выводы (Conclusions):

1. Зима – фронтальная зона может смещаться в центральную и южную часть Обской губы:
 - таяние вечномёрзлых пород;
 - речной сток;
 - влияние Карского моря (приливы и отливы, сгонно-нагонные явления, течения).
2. Нарушение экосистемы региона:
 - зимовка и нерест ценных пресноводных рыб (муksун, осетр, пелядь, налим, и т.д.).
3. Постоянный мониторинг региона:
 - дистанционный;
 - контактный.

1. Winter - the transition zone may shift to the central and southern regions of the Gulf of Ob:
 - permafrost melt;
 - river runoff;
 - influence of the Kara Sea waters (tides, wind-driven effects, currents).
2. Disturbance of the ecosystem of the region:
 - Wintering and spawning of valuable freshwater fish (muksun, sturgeon, burbot, etc.).
3. Continuous monitoring of the region:
 - remote sensing;
 - contact studies.

Публикации (Publications):

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. Тихонов В. В., Хвостов И. В., Романов А. Н., Шарков Е. А., Боярский Д. А, Комарова Н. Ю., Сеницкий А. И. Особенности собственного излучения Обской губы в L-диапазоне в период ледостава // Исследование Земли из космоса. 2020. № 3. С. 59-76.
4. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Алексеева Т.А., Сеницкий А. И., Тихонова М. В., Шарков Е. А., Комарова Н. Ю. Межгодовые вариации собственного микроволнового излучения Обской губы в период ледостава и их связь с гидрологическими и климатическими изменениями региона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. Принята в печать.
5. Tikhonov V. V., Boyarskii D. A., Sharkov E. A, Raev M. D., Repina I. A., Ivanov V. V, Alexeeva T. A., Komarova N. Yu. Microwave Model of Radiation from the Multilayer “Ocean-atmosphere” System for Remote Sensing Studies of the Polar Regions // Progress In Electromagnetics Research B, 2014, Vol. 59, pp.123 –133.
6. Tikhonov V.V., Khvostov I.V., Romanov A.N., Sharkov E.A. Analysis of changes in the ice cover of freshwater lakes by SMOS data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2018, Vol. 54, No. 9, pp.1135-1140.
7. Tikhonov V., Khvostov I., Romanov A., Sharkov E. Theoretical study of ice cover phenology at large freshwater lakes based on SMOS MIRAS data // The Cryosphere, 2018, Vol. 12, No. 8, pp. 2727-2740.
8. Tikhonov V.V., Khvostov I.V., Romanov A.N., Sharkov E.A., Boyarskii D.A., Komarova N.Yu., Sinitskiy A.I. Features of the Intrinsic L-Band Radiation of the Gulf of Ob during the Freeze-Up Period // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2020, Vol. 56, No. 9, pp. 936-949.

Спасибо!

Thanks!

