

# **Сезонная и межгодовая динамика радиояркостных температур акваторий восточных морей Северного Ледовитого океана**

Романов А.Н. (1), Хвостов И.В. (1), Рябинин И.В. (1), Тихонов В.В. (2,1), Шарков Е.А. (2)

(1) Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Российская Федерация

(2) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Детальный мониторинг происходящих гидрологических изменений в окраинных морях Северного Ледовитого океана необходим для прогнозирования возникающих опасных гидрологических и метеорологических явлений, а также для обеспечения надежного судоходства по трассе Северного морского пути, как важнейшей транспортной магистрали, соединяющей западную и восточную окраины Евразийского материка.

Для дистанционной оценки состояния морских льдов в акваториях северных морей, их классификации, определения начала таяния и замерзания разработаны методы, основанные на использовании радиометрических и радиолокационных изображений [1].

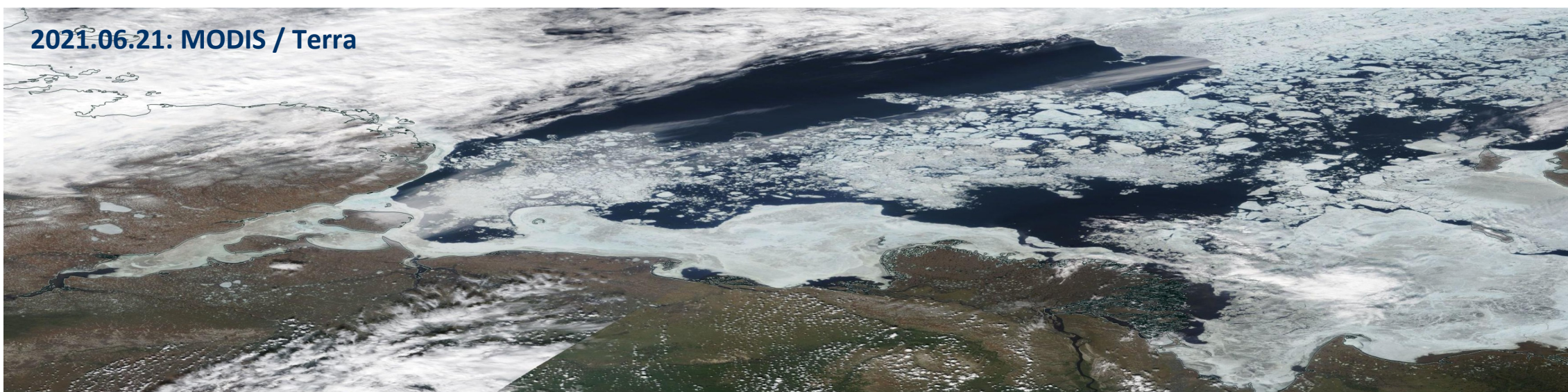
По данным дистанционного микроволнового зондирования с 1979 по 2002 годы в море Лаптевых выявлено уменьшение объемов и площадей морского льда на 1.5% и 1.7% в год [2], осуществлено сезонное прогнозирование годовой минимальной протяженности морского льда в морях Бофорта, Лаптевых, Чукотском, Восточно-Сибирском, Карском, Баренцевом и канадской Арктике [3].

1. Belchansky G.I., Douglas D.C., Mordvintsev I.N., Platonov N.G. Estimating the time of melt onset and freeze onset over Arctic sea-ice area using active and passive microwave data *Remote Sensing of Environment*, Volume 92, Issue 1, 15 July 2004, Pages 21-39] <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.05.001>
2. Drobot S.D. Using remote sensing data to develop seasonal outlooks for Arctic regional sea-ice minimum extent//*Remote Sensing of Environment*, Volume 111, Issues 2–3, 30 November 2007, Pages 136-147] <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.024>
3. Bareiss J., Gørgen K. Spatial and temporal variability of sea ice in the Laptev Sea: Analyses and review of satellite passive-microwave data and model results, 1979 to 2002 //*Global and Planetary Change*, Volume 48, Issues 1–3, September 2005, Pages 28-54]. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.12.004>

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

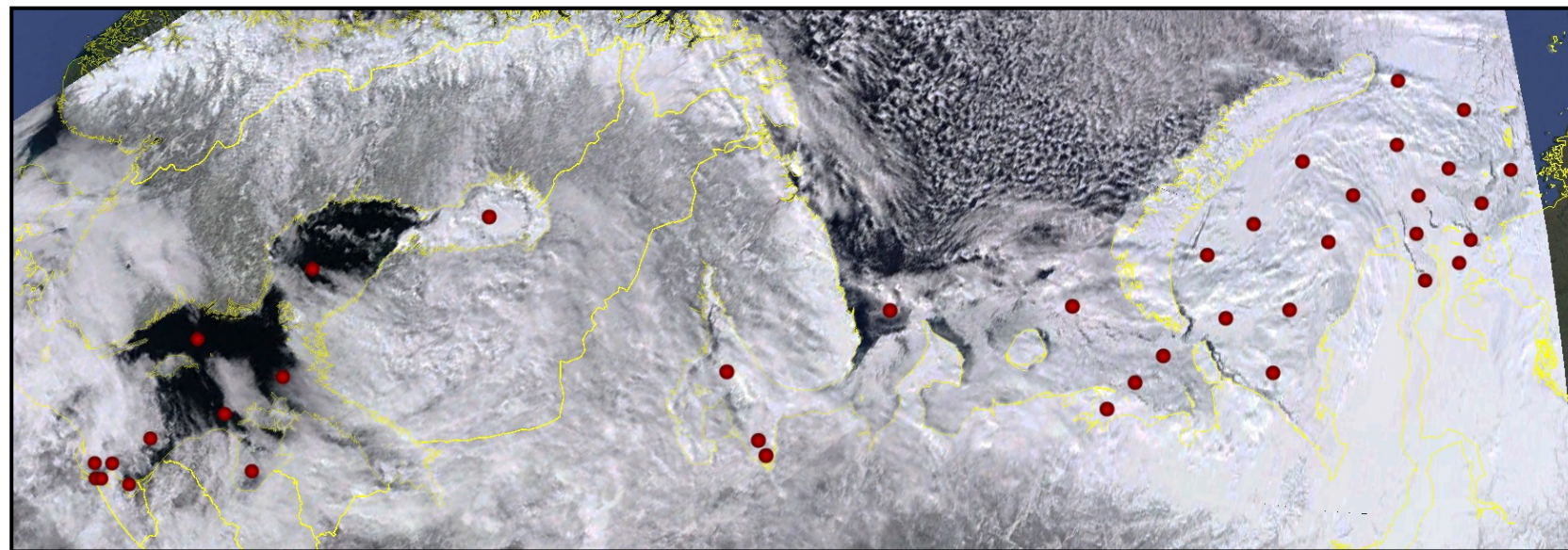
- ❑ По ежедневным данным спутника SMOS (product L1C) оценивались сезонные вариации радиояркостных температур акватории моря Лаптевых, как одного из окраинных морей Северного Ледовитого Океана.
- ❑ Динамика радиояркостной температуры на тестовых участках исследовалась на горизонтальной и вертикальной поляризациях.
- ❑ Исследовались сезонные и межгодовые вариации радиояркостной температуры.
- ❑ Тестовые участки находились на разном удалении от суши, устьев рек и различались по продолжительности существования и толщине ледового покрова, температуре и солености воды.
- ❑ Для тестовых участков определены периоды открытой воды, замерзания, ледостава, соответствующие качественным изменениям характеристик микроволнового излучения морской акватории.
- ❑ На основе анализа временных рядов радиояркостных температур определены фазы ледового режима: период открытой воды, период образования ледового покрова, период установившегося ледового покрова, период таяния ледового покрова.
- ❑ В качестве гидрологических параметров, характеризующих происходящие гидролого-климатические изменения, выбраны продолжительности периодов открытой воды и ледового периода.

Спутниковые данные оптического диапазона целесообразно использовать как вспомогательные для ситуационного подтверждения данных микроволнового диапазона путём сопоставления. К сожалению оптические данные не отличаются регулярностью, а в период с октября март в исследуемых широтах отсутствуют вовсе.

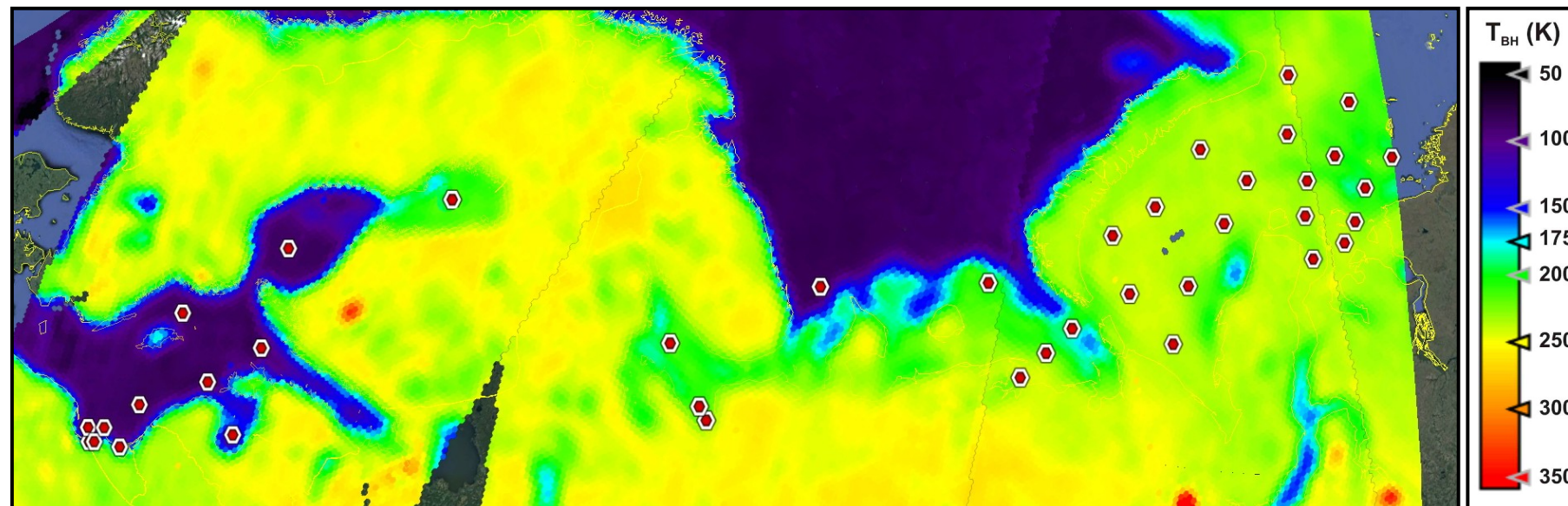




<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

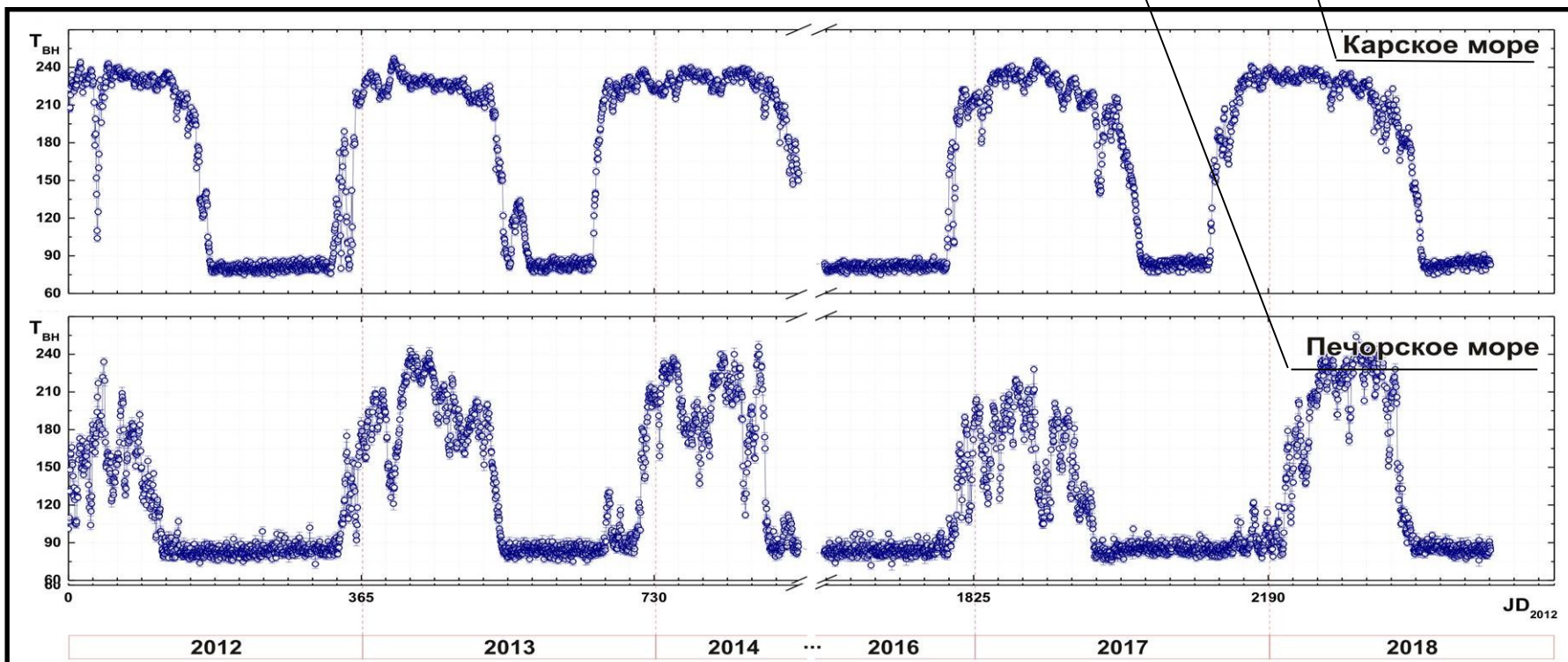
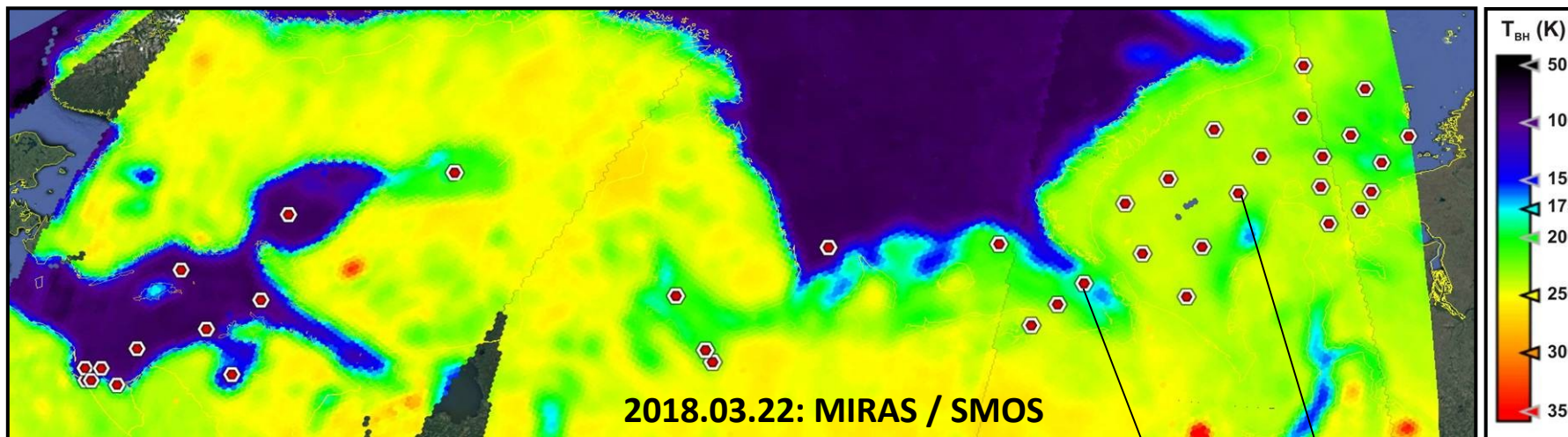


MIRAS / SMOS





# Многолетняя динамика радиояркостных температур по данным MIRAS (SMOS)



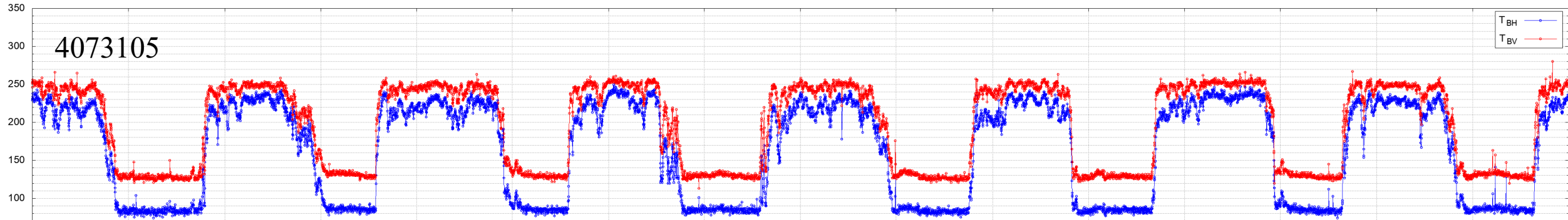


# Карское море

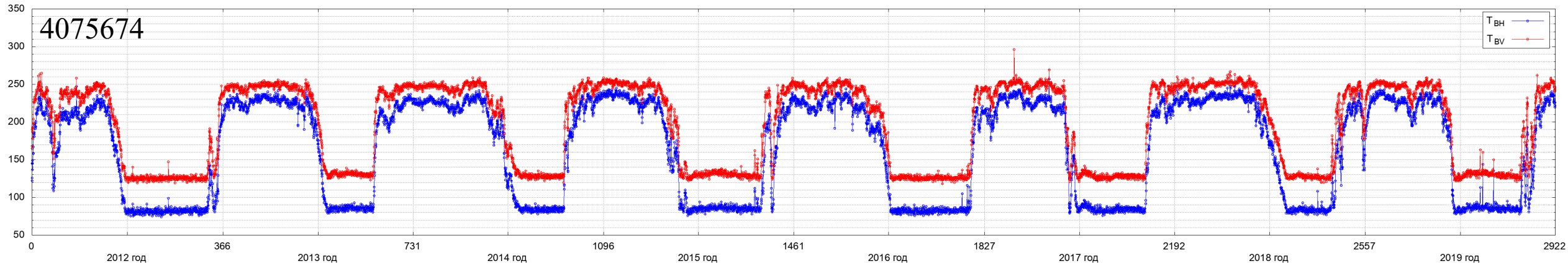


# Карское море

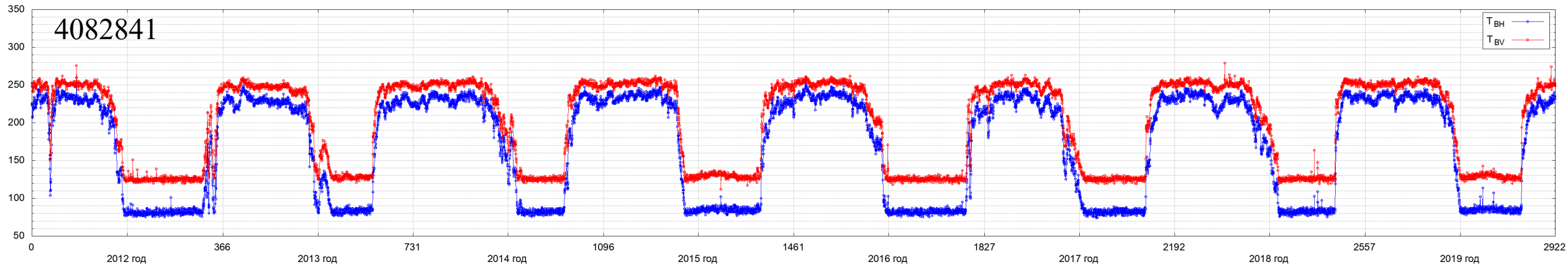
Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4073105 [74,147 с.ш.; 73,312 в.д.]



Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4075674 [75,179 с.ш.; 71,378 в.д.]

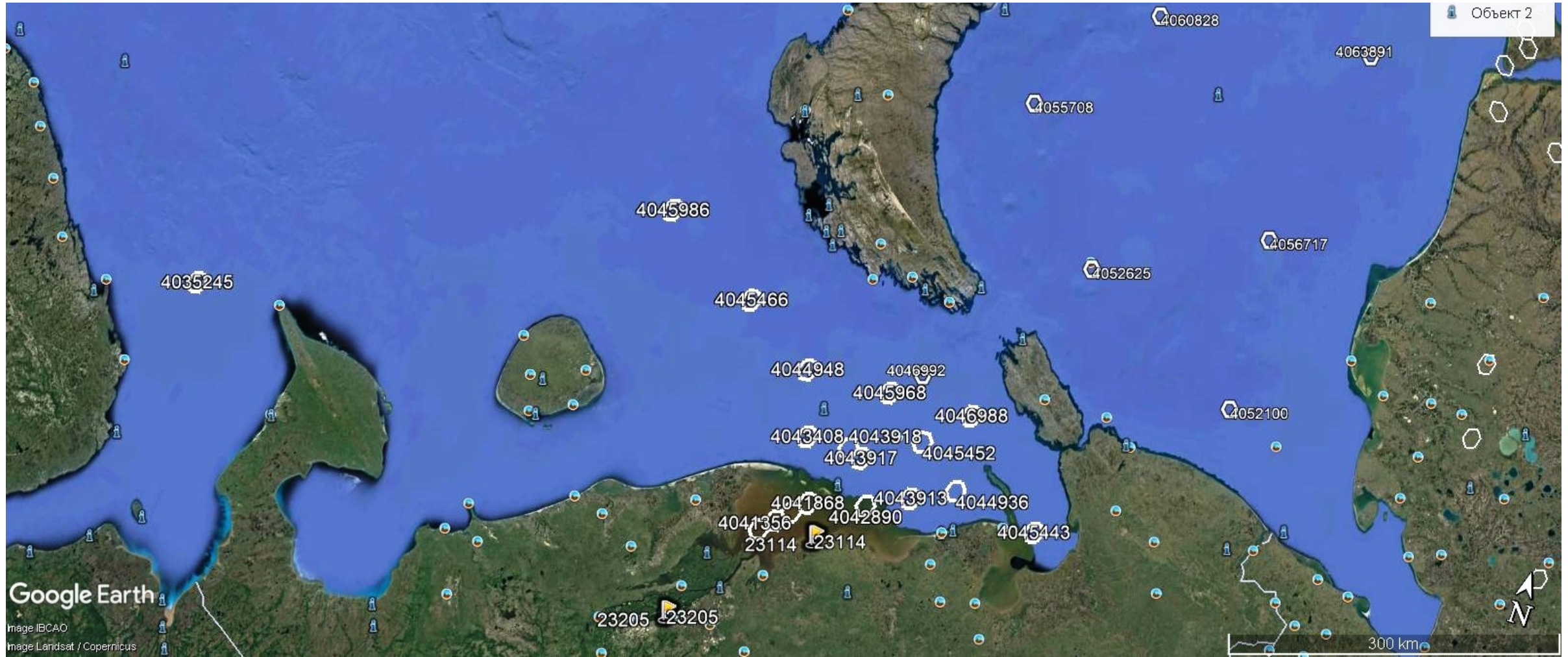


Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4082841 [75,970 с.ш.; 77,970 в.д.]



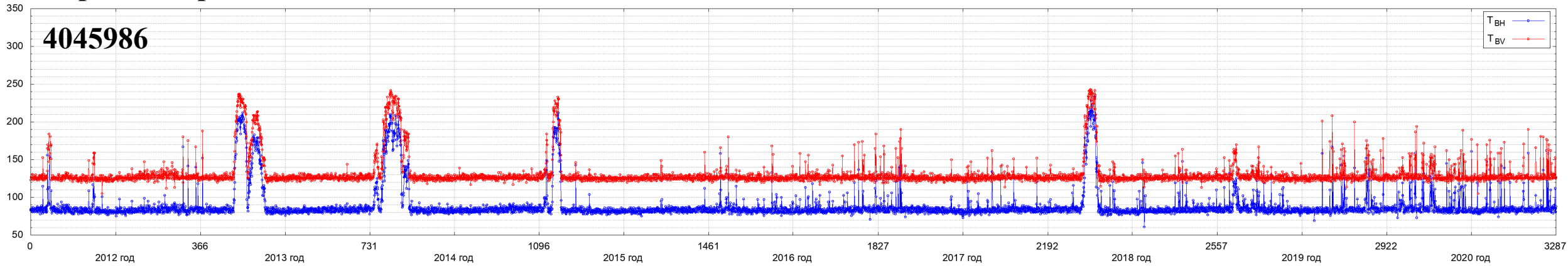


# Печорское море

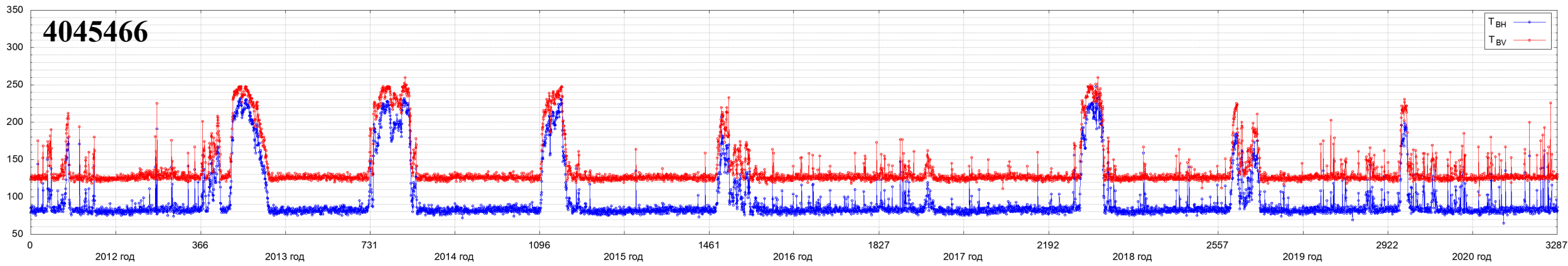


# Печорское море

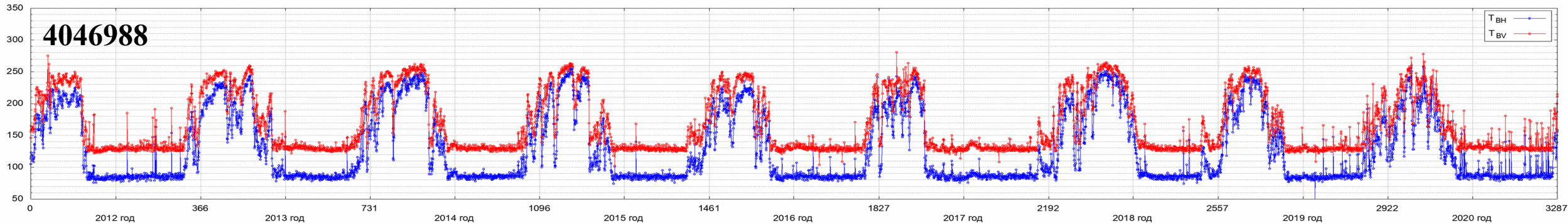
Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4045986 [70,565; 50,350]



Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4045466 [70,126; 52,701]

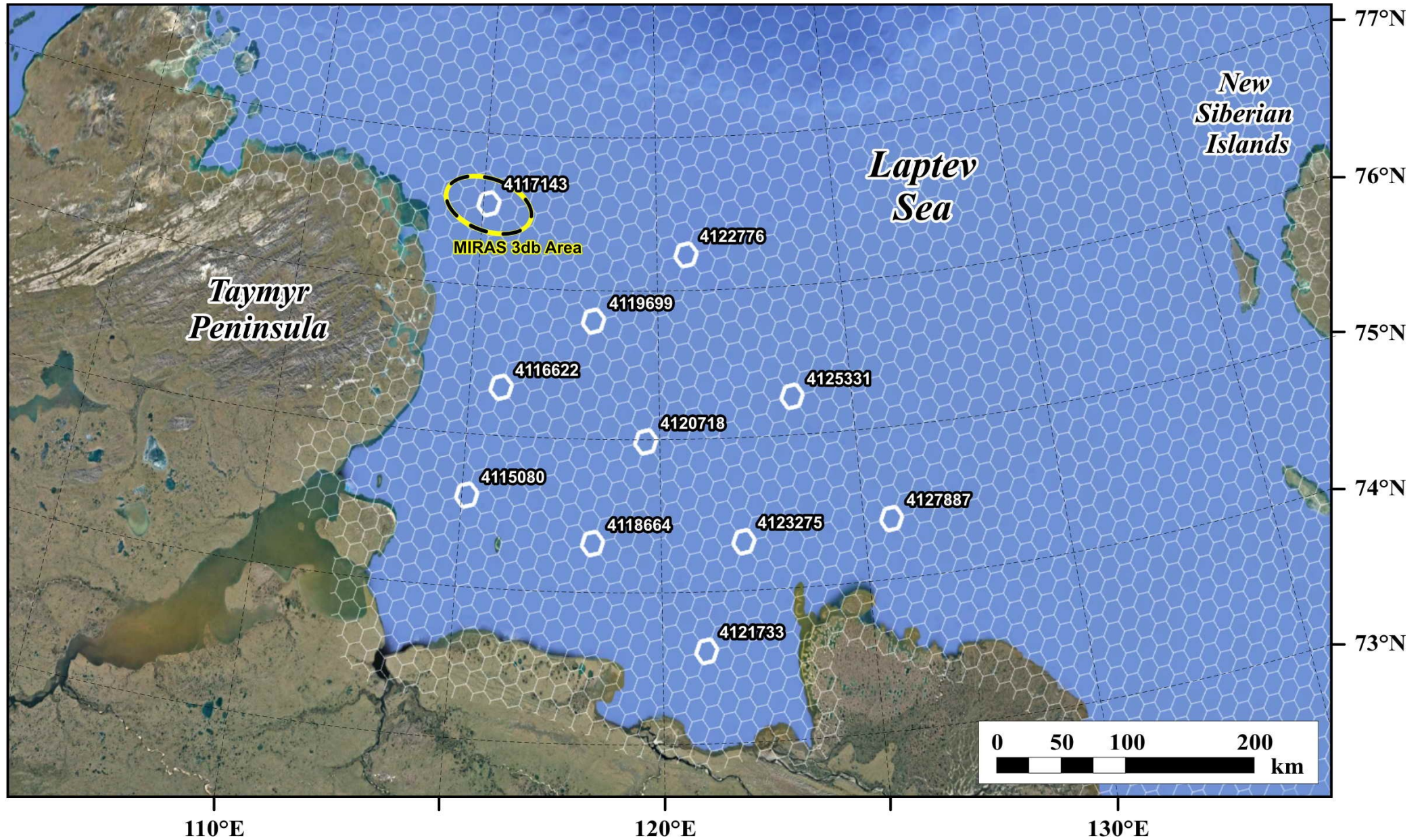


Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4046988 [69,730; 58,085]





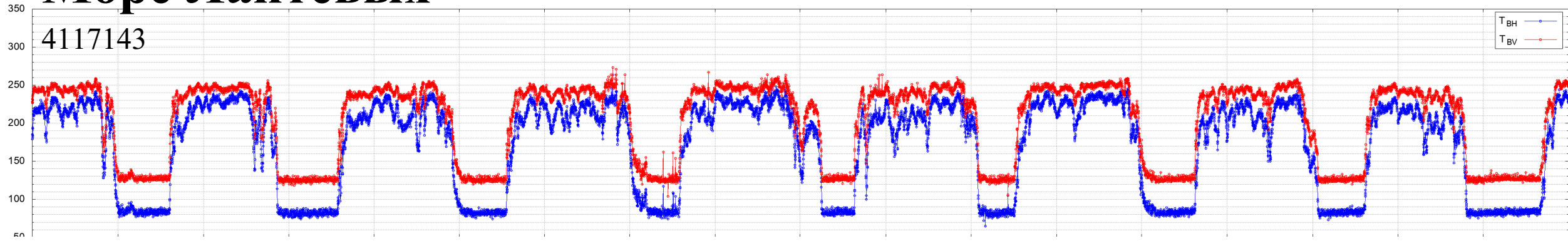
# Море Лаптевых



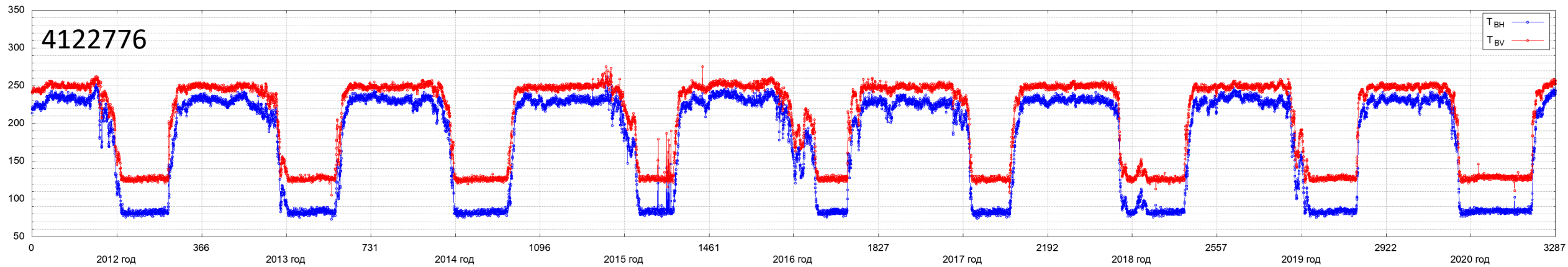


# Море Лаптевых

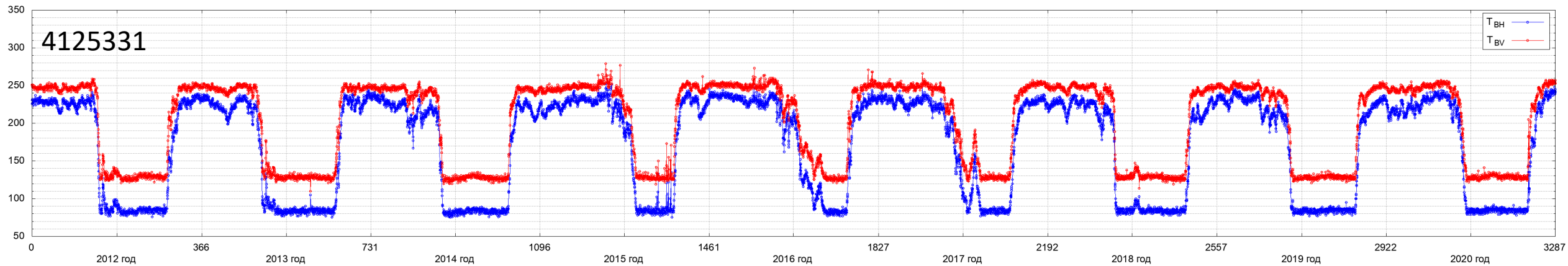
Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4117143 [76,542; 115,192]



Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4122776 [76,234; 120,729]

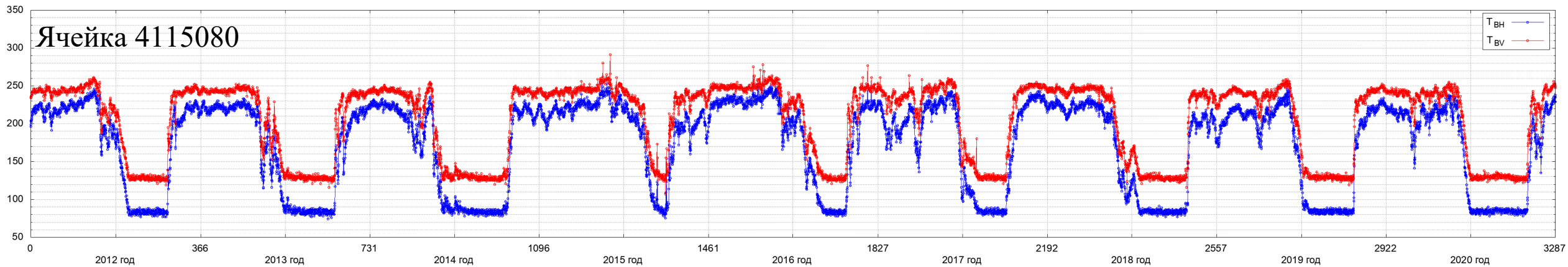


Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4125331 [75,267; 123,387]

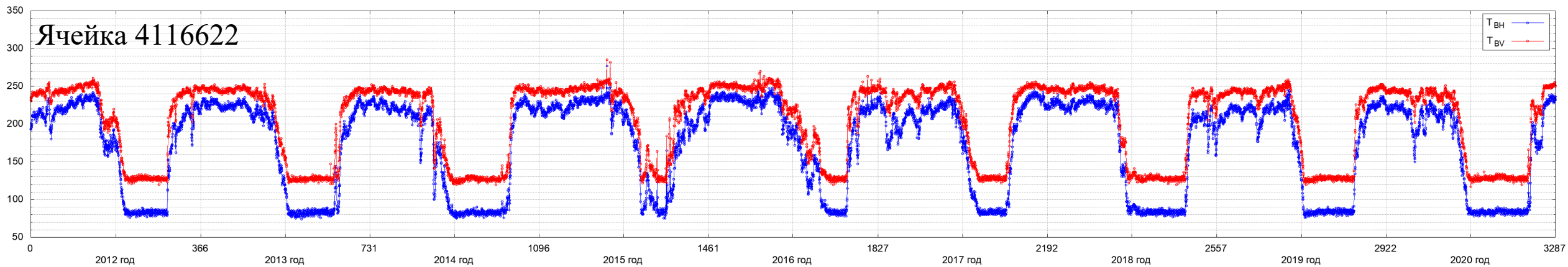




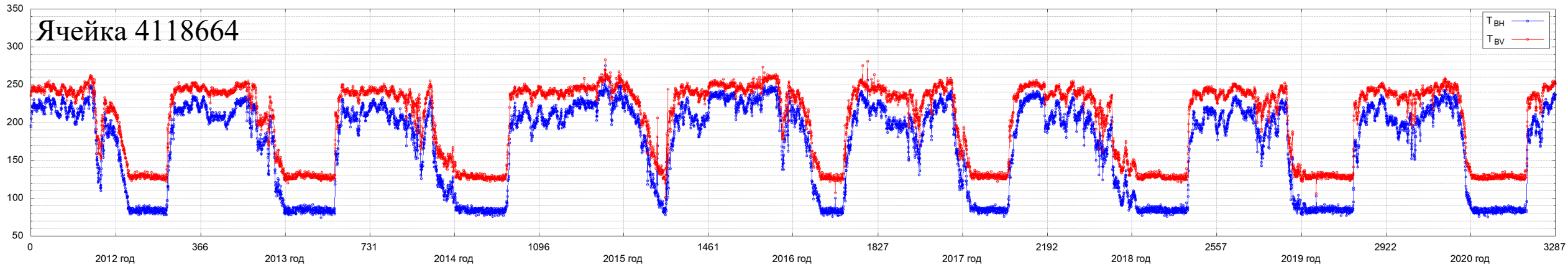
Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4115080 [74,608; 115,170]



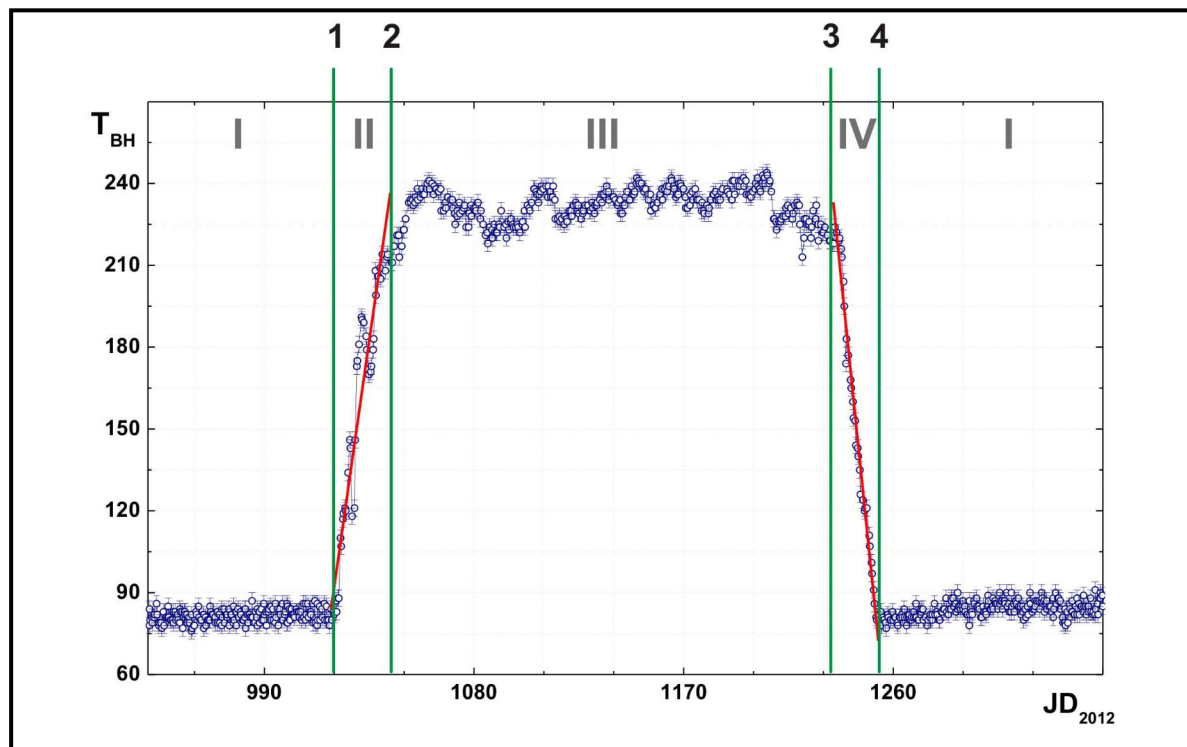
Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4116622 [75,333; 115,851]



Динамика радиояростной температуры поверхности на участке наблюдения DGGID 4118664 [74,344; 116,290]



## Сезонная динамика радиоярких температур акваторий морей СЛО



Радиоизлучение водной поверхности с установившимся ледяным покровом существенно отличается от радиоизлучения открытой водной поверхности: значения радиояркого контраста достигают 140-150 К.

Регулярные ежедневные спутниковые измерения радиоярких температур позволяют определять моменты смены состояний поверхности с точностью до суток.

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta T_B = \left| \frac{T_B - T_{B,water}}{T_{B,water}} \right| > 10\%, \quad \text{for } JD = JD_1 - 1 \\ \delta T_B = \left| \frac{T_B - T_{B,water}}{T_{B,water}} \right| \leq 10\%, \quad \forall JD \in [JD_1; JD_1 + 10] \\ \delta T_B = \left| \frac{T_B - T_{B,water}}{T_{B,water}} \right| \leq 10\%, \quad \text{for } JD = JD_2 - 1 \\ \delta T_B = \left| \frac{T_B - T_{B,water}}{T_{B,water}} \right| > 10\%, \quad \forall JD \in [JD_2; JD_2 + 30] \end{array} \right.$$

В годовой динамике радиоизлучения водной поверхности морей СЛО можно выделить 4 фазы:

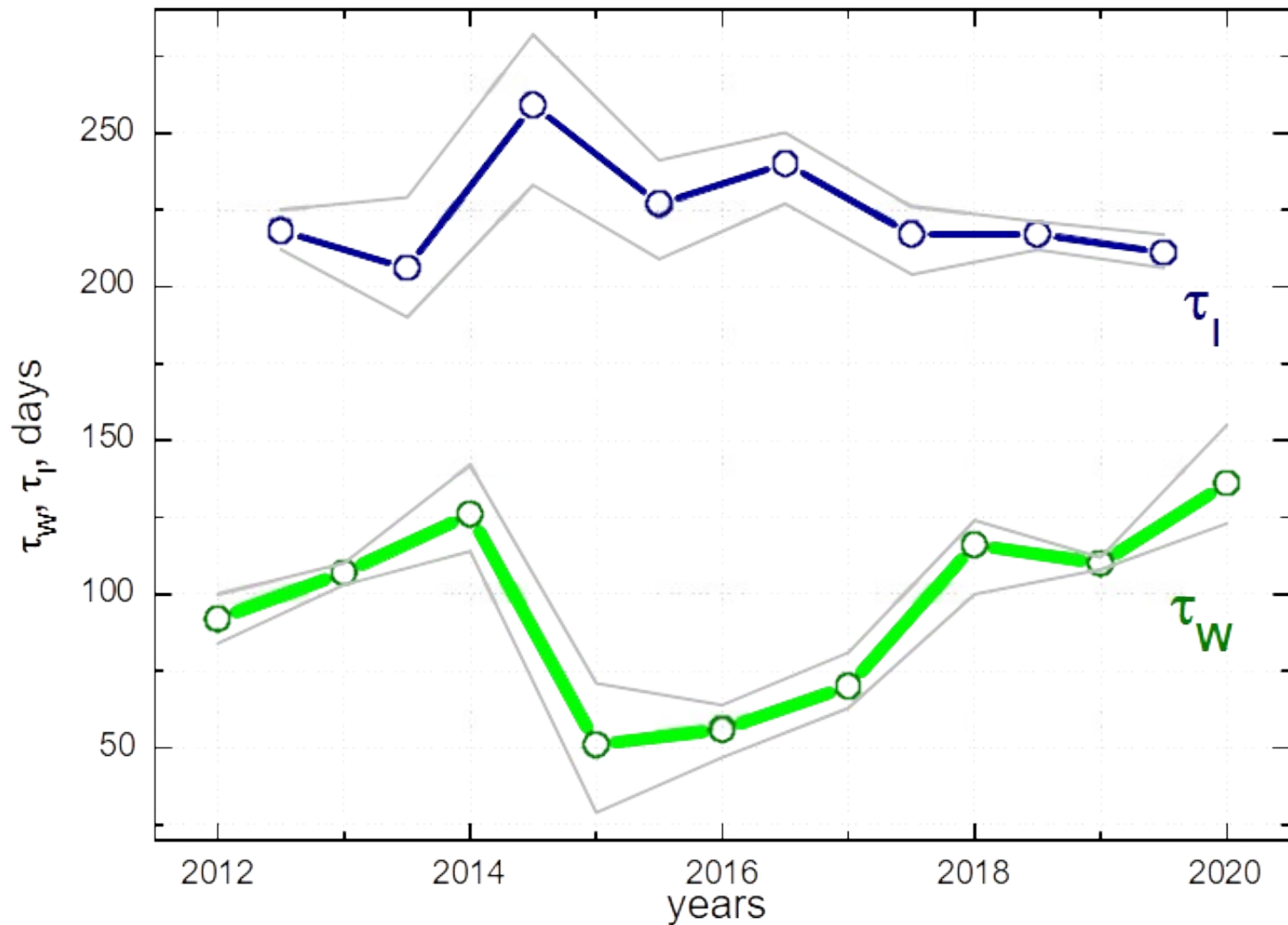
- Период открытой воды (ОВ)
- Период образования ледового покрова
- Период установившегося ледового покрова (УЛП)
- Период таяния ледового покрова

Каждая фаза характеризуется своей продолжительностью.

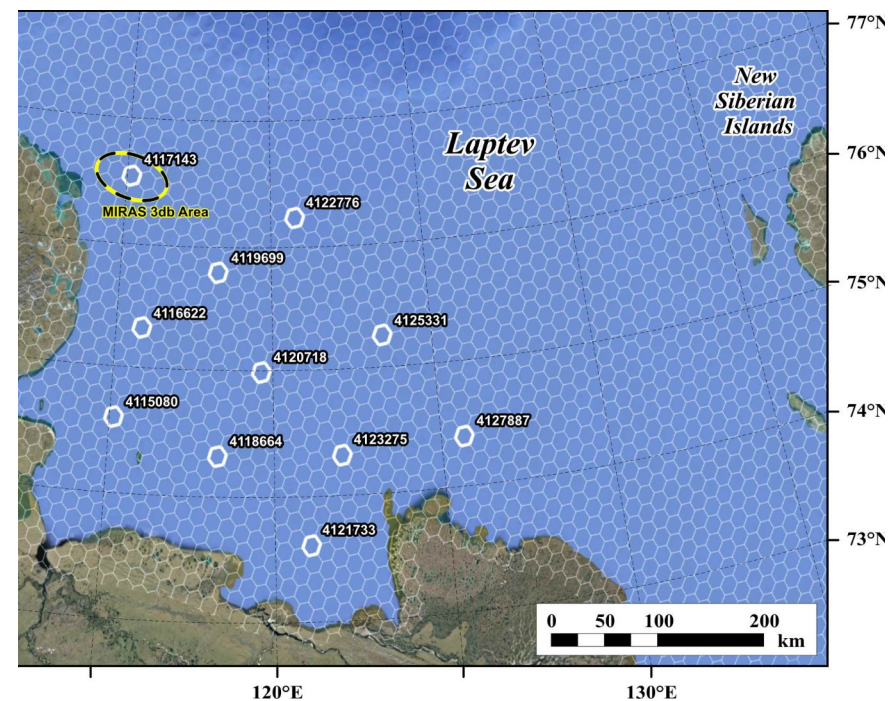
Фазы образования и таяния ледового покрова также могут характеризоваться скоростью изменения яркостной температуры.



# Тренды продолжительности периодов ОВ и УЛП в море Лаптевых



Ежегодный анализа динамики яркостных температур исследованных участков позволяет достоверно с точностью до суток определять величины продолжительности периодов установившегося ледового покрова и открытой воды для акваторий морей СЛО.



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа серий микроволновых изображений выявлены пространственные и временные закономерности смены фаз ледового режима в южной части акватории моря Лаптевых:

- Образование устойчивого ледового покрова начинается в южной части с приконтинентальной полосы и распространяется на север как правило в течение 3-7 суток. В отдельные годы процесс затягивается на 15-25 суток, предположительно, под влиянием штормовых ветров и сильного волнения морской поверхности.
- В отдельные годы в период ледостава на расстоянии 200-250 км от южного берега временно образуется узкая, ориентированная с запада на восток полынья. Полоса пониженной сплоченности ледового покрова шириной до 150 км может наблюдаться в течение 1-4 недель.
- Процесс освобождение акватории от ледового покрова начинается в апреле-мае с северной части акватории и распространяется на юг в течение 15-40 суток. В отдельные годы в южной части акватории (Анабарский залив, Оленёкский залив, Янский залив) ледовый покров сохраняется вплоть до конца августа, при этом период открытой воды длится не более 30 дней.
- Не взирая на существенную пространственную неоднородность значений продолжительности периодов открытой воды  $\tau_w$  и устойчивого ледового покрова  $\tau_l$ , наблюдается единый для всей акватории характер межгодовой динамики этих значений.

*Вопрос о связи минимумов и максимумов в динамике параметров  $\tau_w$  и  $\tau_l$  с климатическими факторами (индексы циркуляции, солнечная активность) является предметом дальнейших исследований.*