

**Двадцать третья международная конференция  
“Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”  
10-14 ноября 2025 г., Москва**



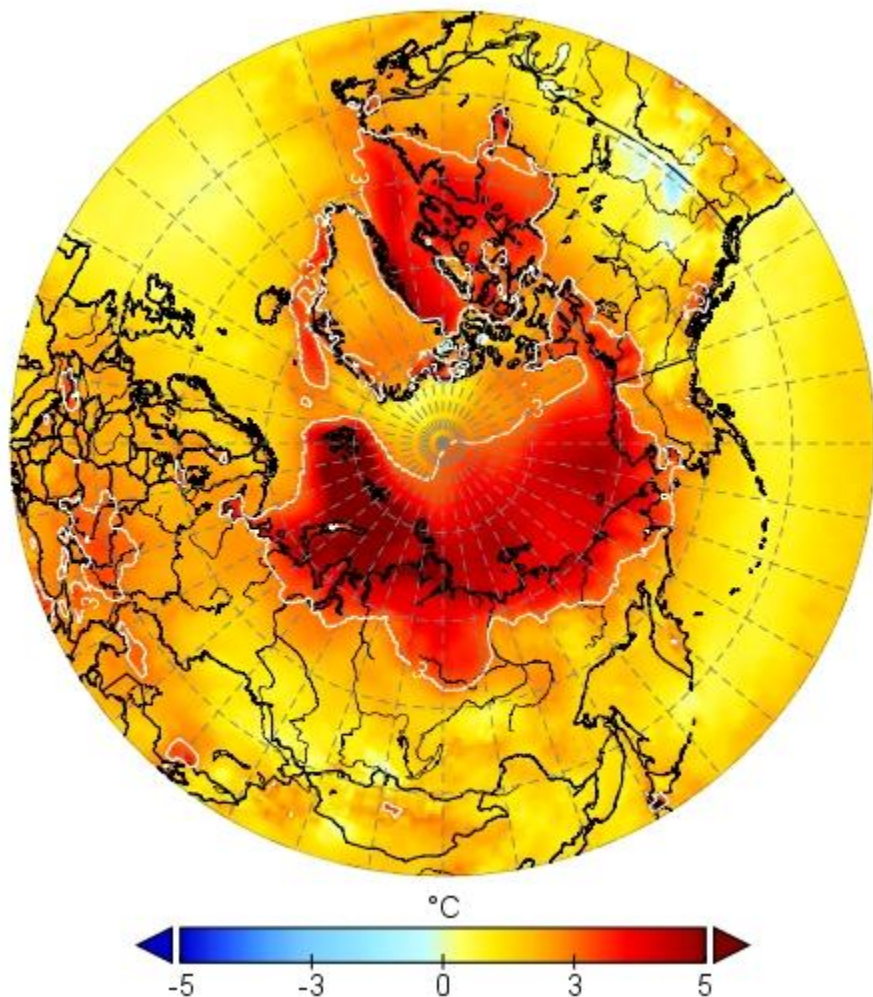
# **ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СИБИРИ В УСЛОВИЯХ БЫСТРОГО ПОТЕПЛЕНИЯ АРКТИКИ**

**Варламова Е.В., Соловьев В.С.**

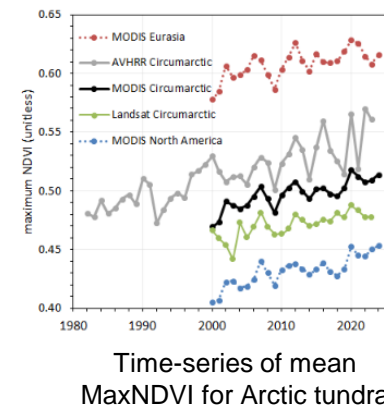
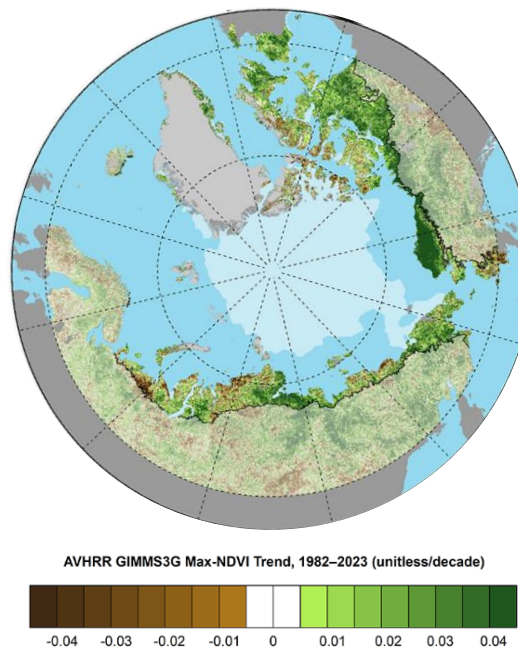
**[varlamova@ikfia.ysn.ru](mailto:varlamova@ikfia.ysn.ru)**

**Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск**

## Тренд среднегодовой температуры воздуха за 1982-2022



## Тренд максимального значения NDVI за 1982-2023



## Распространение высоких кустарников в циркумполярном регионе



Photos are from the Seward Peninsula, western Alaska, July 2024 (credit G. V. Frost).

## ЦЕЛЬ

Исследование особенностей пространственно-временной динамики показателей растительного покрова Сибири в условиях арктического усиления по многолетним данным дистанционного зондирования и сети наземных наблюдений (1982-2022 гг.).

## ДАННЫЕ (1982-2022)

- **GIMMS-3G+ V1.2**
  - композиты NDVI
- **\*ERA5, \*\*ВНИИГМИ-МЦД**
  - приземная температура воздуха<sup>\*, \*\*</sup>
  - атмосферные осадки<sup>\*, \*\*</sup>
  - облачный покров<sup>\*</sup>

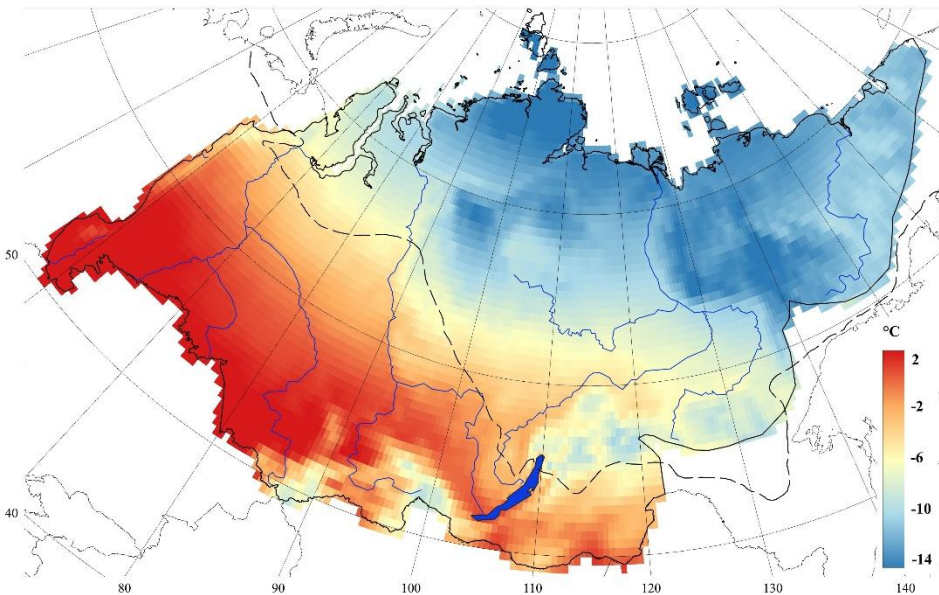
## МЕТОДЫ

- **TIN** (Time Integrated NDVI) – **интегральный вегетационный индекс**. Рассчитывается как сумма 15-дневных значений NDVI с мая по сентябрь.
- **SOS** (Start of the growing season) – **дата начала вегетационного сезона**. Рассчитывается на основе порогового метода: SOS день года, когда  $NDVI_{ratio}$  весной превышает пороговое значение 0.5.
- **ТП10** – **продолжительность тёплого периода**. Рассчитывается как количество дней в году с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через +10°C.
- **ОП** – **количество дней с облачным покровом** за период май-сентябрь. Облачным днём считался день, когда доля облачного покрова в ячейке градусной сетки превышала 70%.
- **Тренды** рассматриваемых параметров были проанализированы с использованием метода оценочной функции Тейла-Сена. **Статистическая значимость трендов** оценивалась с помощью критерия значимости Манна-Кендалла на уровне 95% ( $p < 0,05$ ).

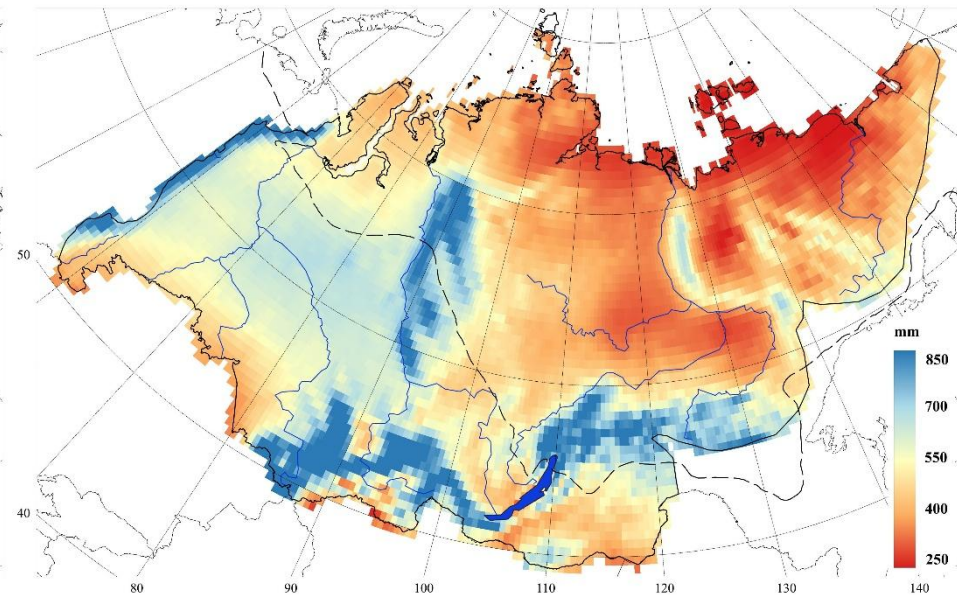


# ИССЛЕДУЕМАЯ ТЕРРИТОРИЯ

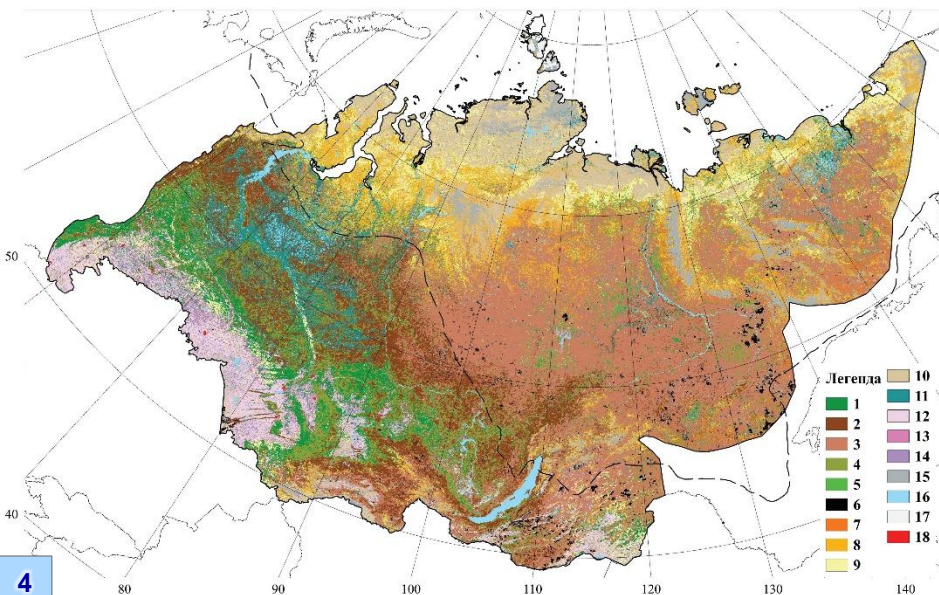
Среднегодовая (1982-2022) температура воздуха



Сумма годовых (1982-2022) осадков

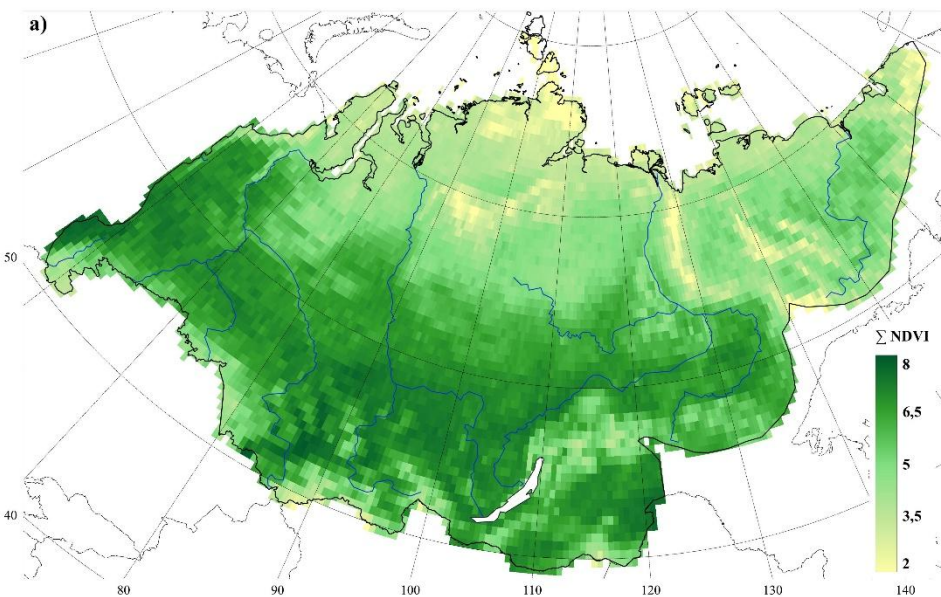


Карта земного покрова Сибири

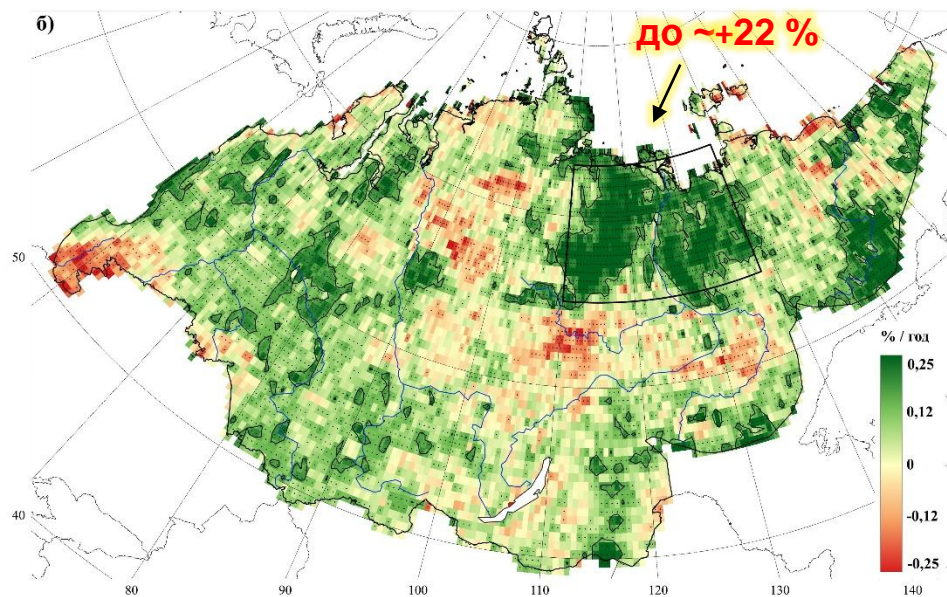


Class	GLC2000 Global Legend
1	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed
2	Tree Cover, needle-leaved, evergreen
3	Tree Cover, needle-leaved, deciduous
4	Tree Cover, mixed leaf type
5	Mosaic: Tree Cover / Other natural vegetation
6	Tree Cover, burnt
7	Shrub Cover, closed-open, evergreen
8	Shrub Cover, closed-open, deciduous
9	Herbaceous Cover, closed-open
10	Sparse herbaceous or sparse shrub cover
11	Regularly flooded shrub and/or herbaceous cover
12	Cultivated and managed areas
13	Mosaic: Cropland / Tree Cover / Other natural vegetation
14	Mosaic: Cropland / Shrub and/or grass cover
15	Bare Areas
16	Water Bodies
17	Snow and Ice
18	Artificial surfaces and associated areas

## Средненоголетний TIN (1982-2022)



## Тренд TIN (1982-2022)



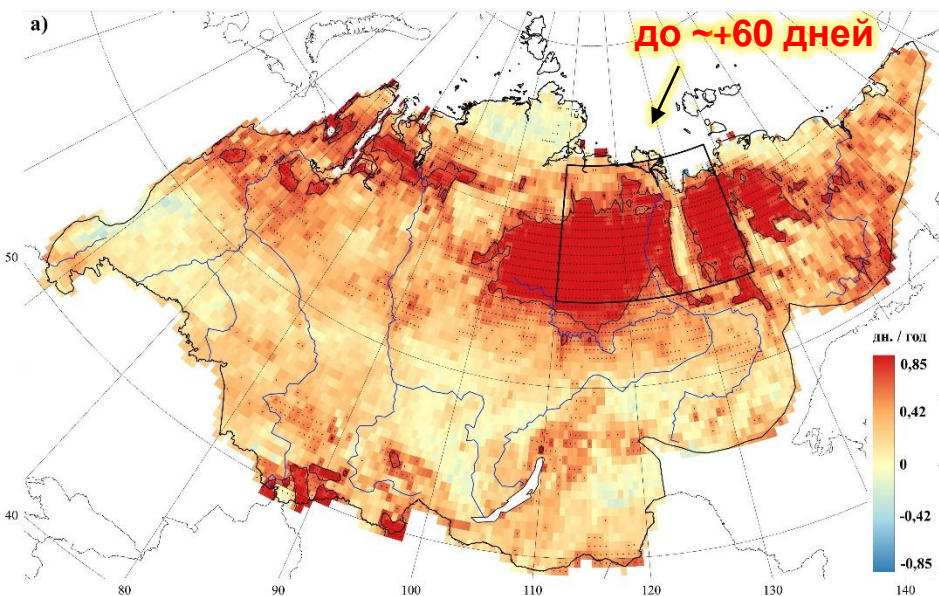
Средние тренды TIN  
\* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
+3±1*%	<b>+10±2*%</b>



# ТРЕНДЫ ТЁПЛОГО ПЕРИОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ

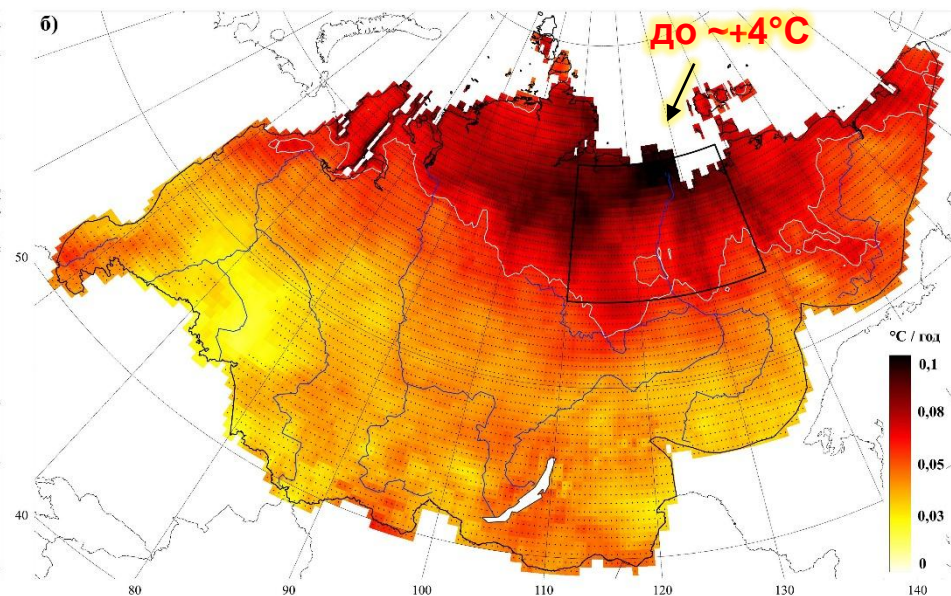
## Тренд продолжительности тёплого периода (ТП10) (1982-2022)



Средние тренды ТП10  
\* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
+14±5* дней	продолжит. +36±11* дней
	начало -22±8* дня
	окончание +14±10* дней

## Тренд приземной температуры за период май-сентябрь ( $T_{\text{май-сен}}$ ) (1982-2022)

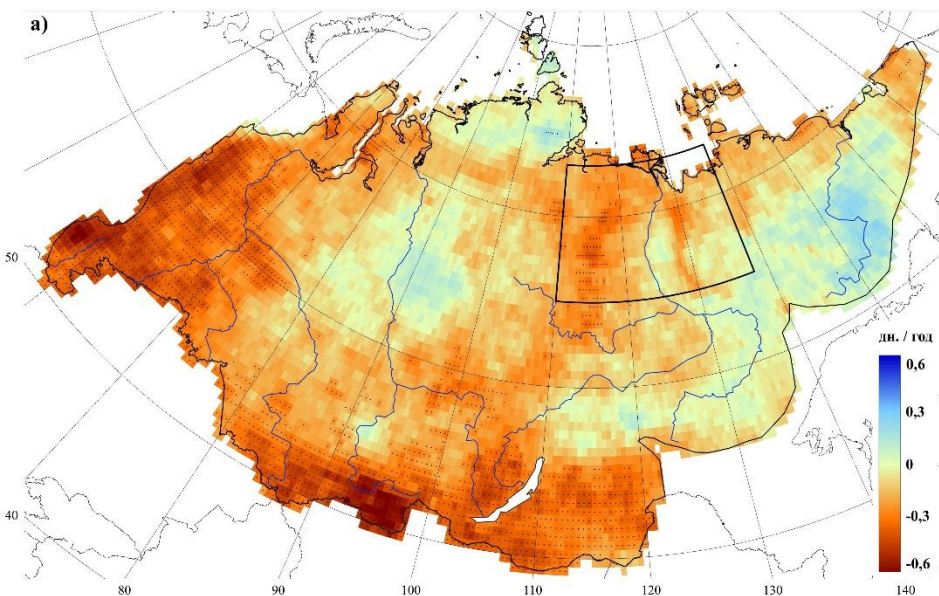


Средние тренды  $T_{\text{май-сен}}$   
\* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
+2,0±0,5* °C	+3,1±1* °C

# ТРЕНДЫ ОБЛАЧНЫХ ДНЕЙ И ОСАДКОВ

## Тренд количества дней с облачным покровом (ОП) (1982-2022)

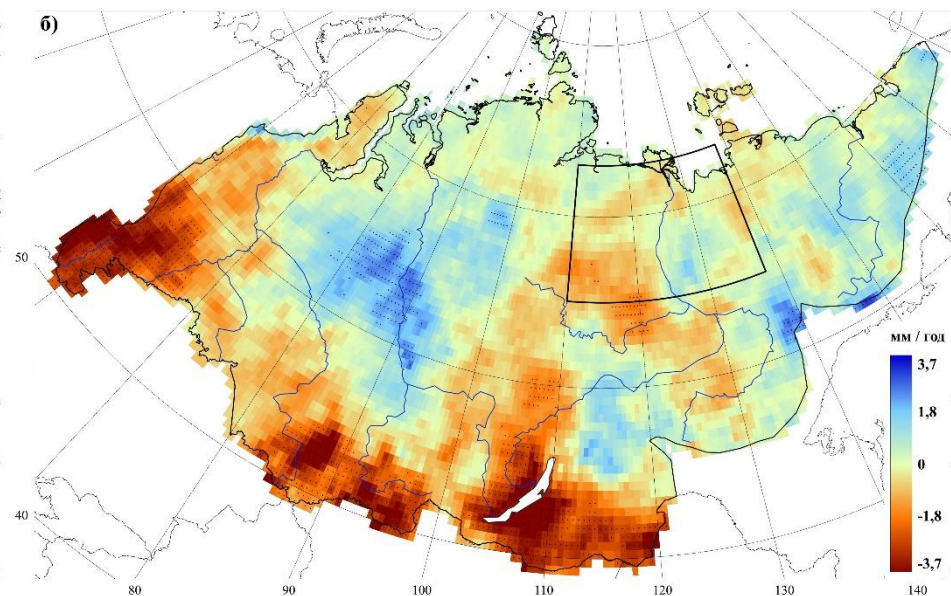


Средние тренды ОП

\* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
$-6 \pm 3^*$ дней	$-6 \pm 8$ дней

## Тренд атмосферных осадков за период май-сентябрь (АО<sub>май-сен</sub>) (1982-2022)



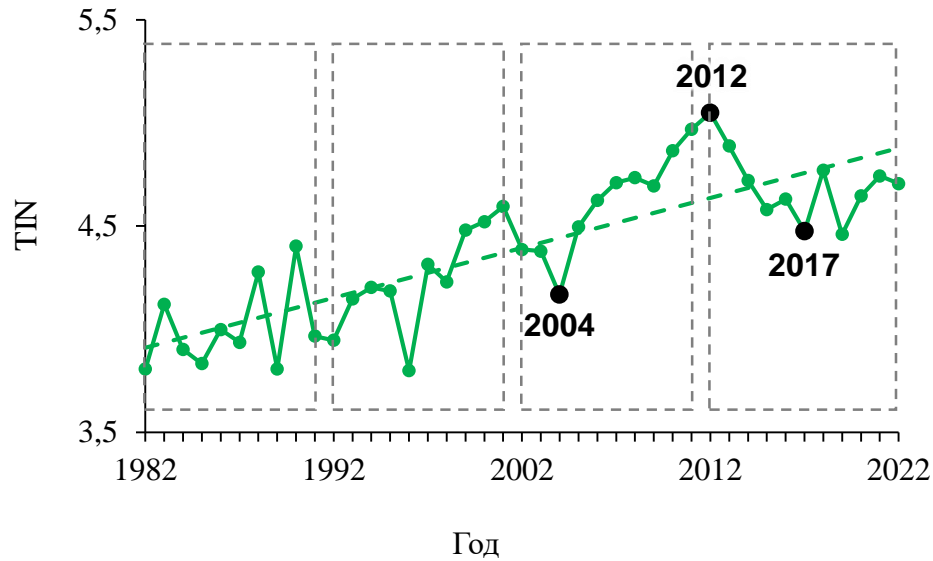
Средние тренды АО<sub>май-сен</sub>

\* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
$-11 \pm 14$ мм	$-3 \pm 34$ мм



# ЕЖЕГОДНЫЕ ВАРИАЦИИ TIN

## ВАРИАЦИИ TIN $+10 \pm 2\%$

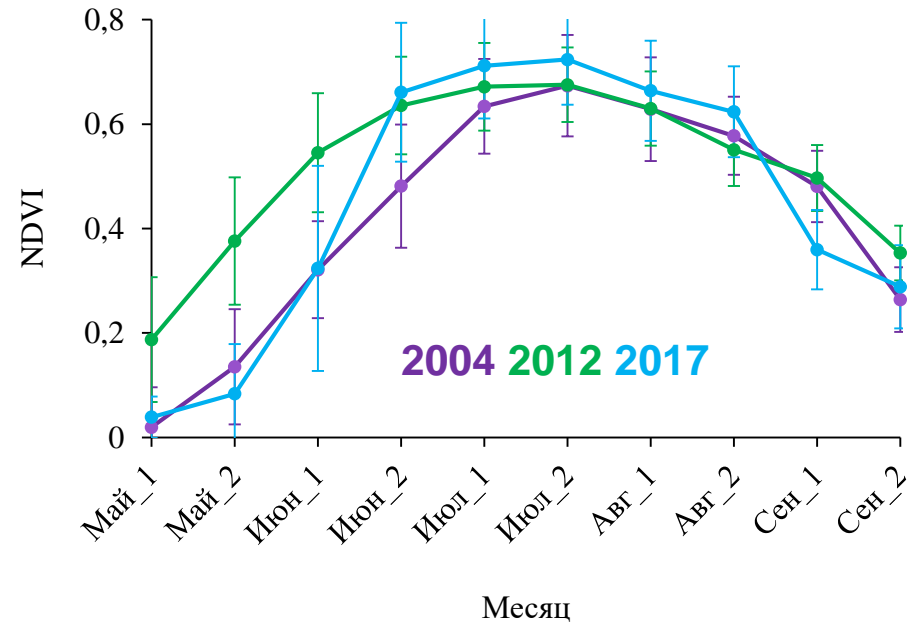
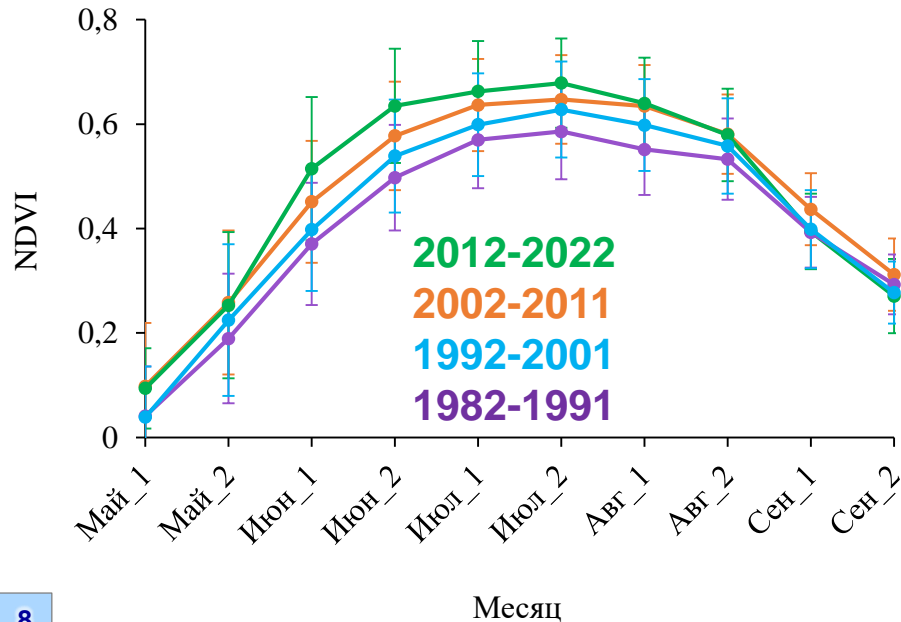


## ТРЕНДЫ NDVI

\*p < 0,05

	1982-2022, %	2004-2012, % 	2012-2017, % 
Май	$+5 \pm 7$	$+14 \pm 4^*$	$-30 \pm 5^*$
Июнь	$+18 \pm 5^*$	$+8 \pm 4^*$	$-10 \pm 2$
Июль	$+13 \pm 2^*$	$+1 \pm 1$	$+6 \pm 2$
Август	$+10 \pm 3^*$	$+0 \pm 2$	$+9 \pm 2$
Сентябрь	$+0 \pm 4$	$+9 \pm 2^*$	$-12 \pm 1^*$

## СЕЗОННЫЙ ХОД NDVI

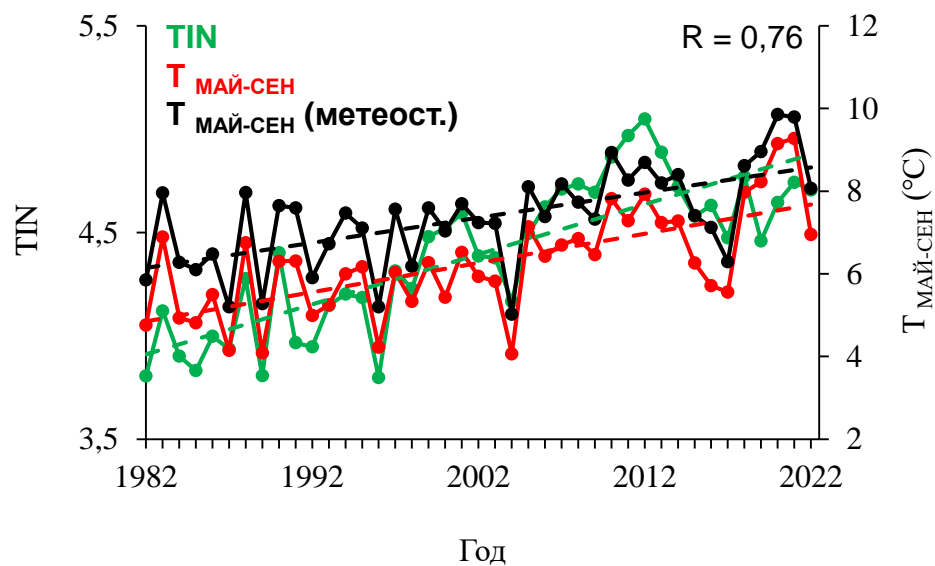




# СРАВНЕНИЕ TIN С МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ

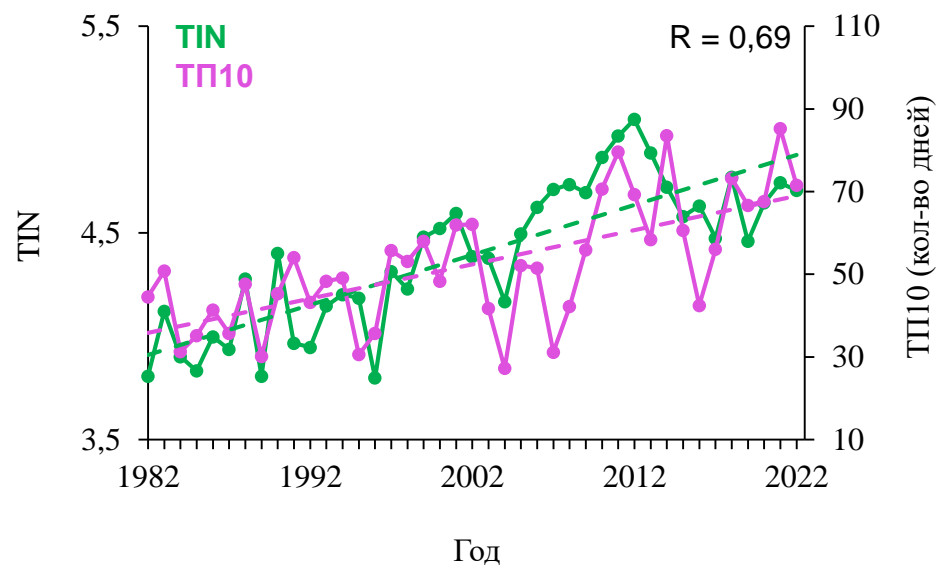
$+2,2 \pm 0,8^{\circ} \text{C}$  (2004-2012)

$-3,0 \pm 0,2^{\circ} \text{C}$  (2012-2017)



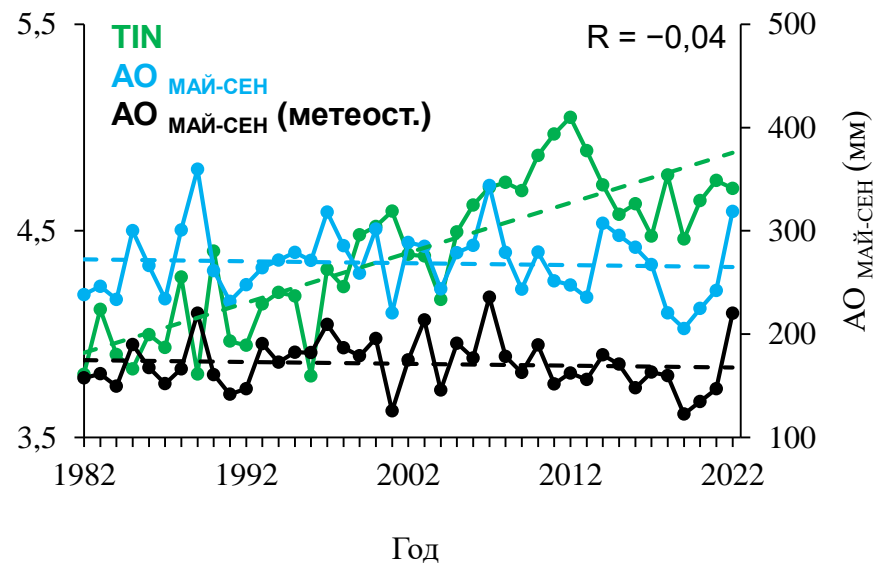
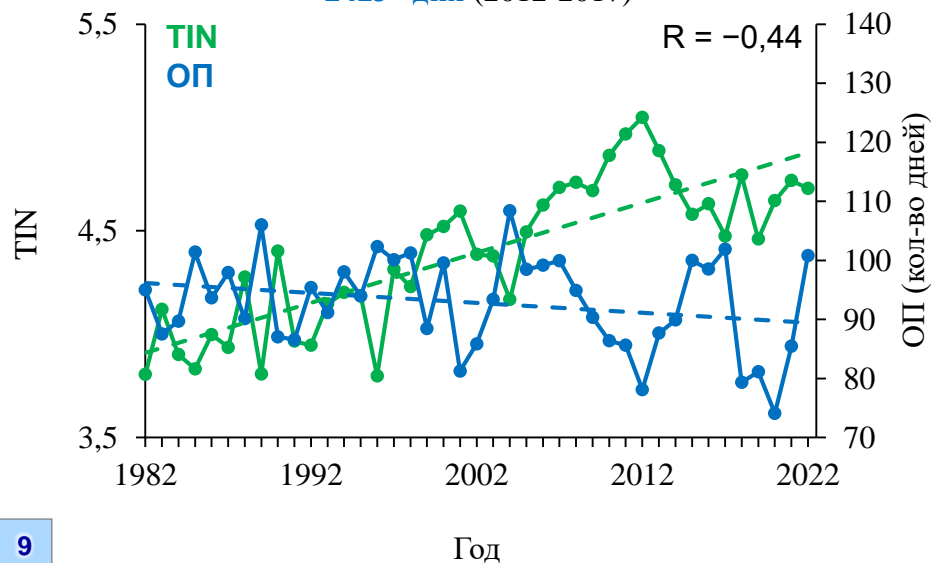
$+50 \pm 11^*$  дней (2004-2012)

$-16 \pm 13^*$  дней (2012-2017)



$-30 \pm 3^*$  дней (2004-2012)

$+24 \pm 3^*$  дня (2012-2017)



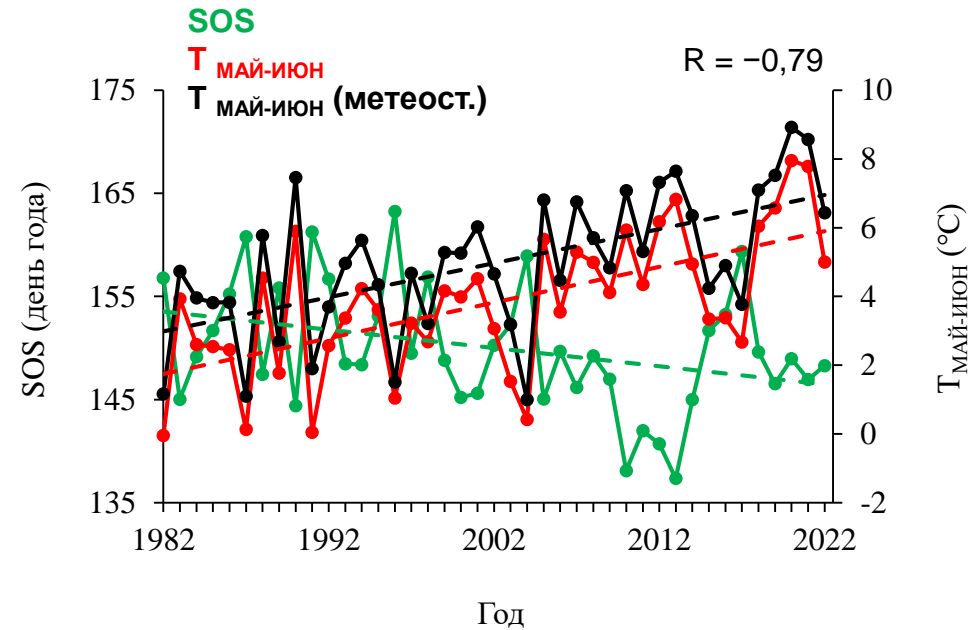
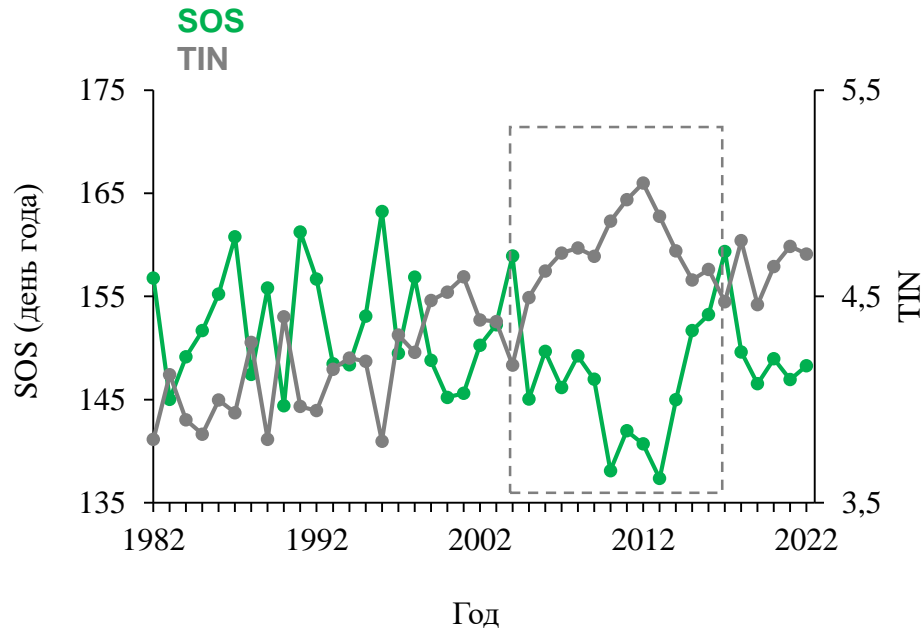
# СРАВНЕНИЕ SOS С ТЕМПЕРАТУРОЙ

−16±4\* дней (2004-2012)

+24±3\* дня (2012-2017)

+3,4±1,5\* °C (2004-2012)

−5,0±0,7\* °C (2012-2017)



# ВЫВОДЫ

На территории Сибири за рассматриваемый период в среднем преобладает положительный ( $3\pm 1\%$ ) тренд интегрального индекса TIN на фоне роста среднегодовой температуры воздуха на  $2,1\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ .

Область с наиболее высоким статистически значимым ростом TIN ( $10\pm 2\%$ ) выявлена на севере Сибири, на локальных участках которого максимальный рост TIN достигает  $\sim 22\%$ . При этом в 2004-2012 гг. наблюдается наиболее длительный устойчивый рост TIN ( $7\pm 1\%$ ) и соответствующий сдвиг начала сезона вегетации на более ранние сроки ( $16\pm 4$  дней), а в течение 2012-2017 гг. отмечен быстрый спад TIN на  $7\pm 1\%$  со сдвигом начала сезона вегетации на более поздние сроки ( $24\pm 3$  дня).

Наблюдаемые изменения показателей растительности обусловлены в основном температурным фактором. Устойчивый рост TIN на  $7\pm 1\%$  в 2004-2012 связан с ростом приземной температуры воздуха за период май-сентябрь на  $2,2\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ , увеличением тёплого периода (с температурой выше  $+10^{\circ}\text{C}$ ) на  $50\pm 11$  дней и увеличением количества ясных дней в мае-сентябре на  $30\pm 3$  дней. Быстрый спад TIN в 2012-2017 происходил на фоне снижения температуры на  $3,0\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , уменьшения тёплого периода на  $16\pm 13$  дней и уменьшения количества ясных дней на  $24\pm 3$  дня. Сдвиги начала сезона вегетации на более ранние и поздние сроки в указанные периоды обусловлены соответствующим ростом (на  $3,4\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ) и снижением (на  $5,0\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ ) приземной температуры воздуха в мае-июне.



*Спасибо за внимание!*

