

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СИБИРИ В УСЛОВИЯХ БЫСТРОГО ПОТЕПЛЕНИЯ АРКТИКИ

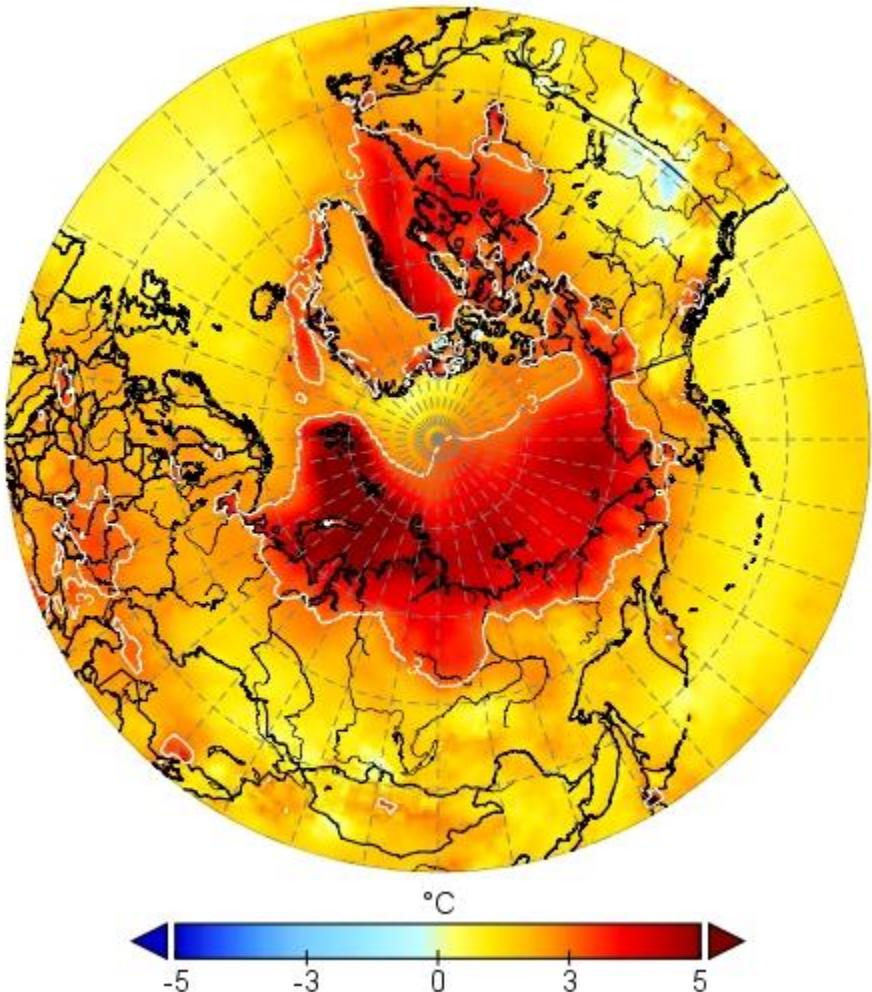
Варламова Е.В., Соловьев В.С.

varlamova@ikfia.ysn.ru

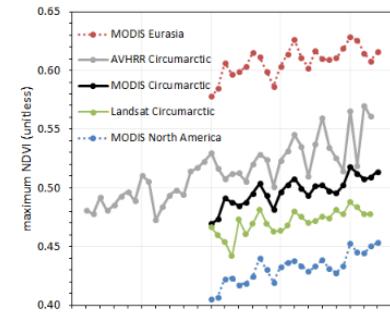
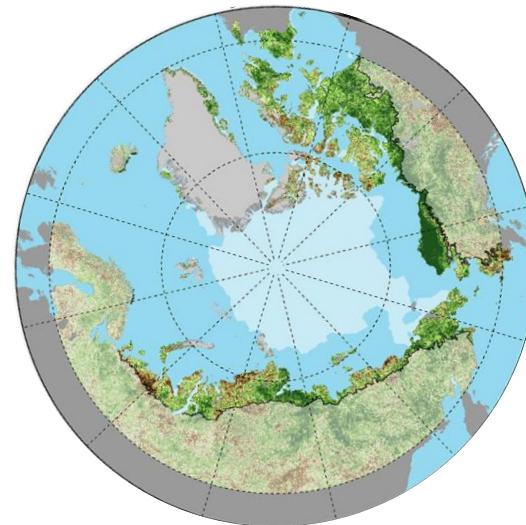
Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ

Тренд среднегодовой температуры воздуха за 1982-2022



Тренд максимального значения NDVI за 1982-2023



Time-series of mean MaxNDVI for Arctic tundra

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)

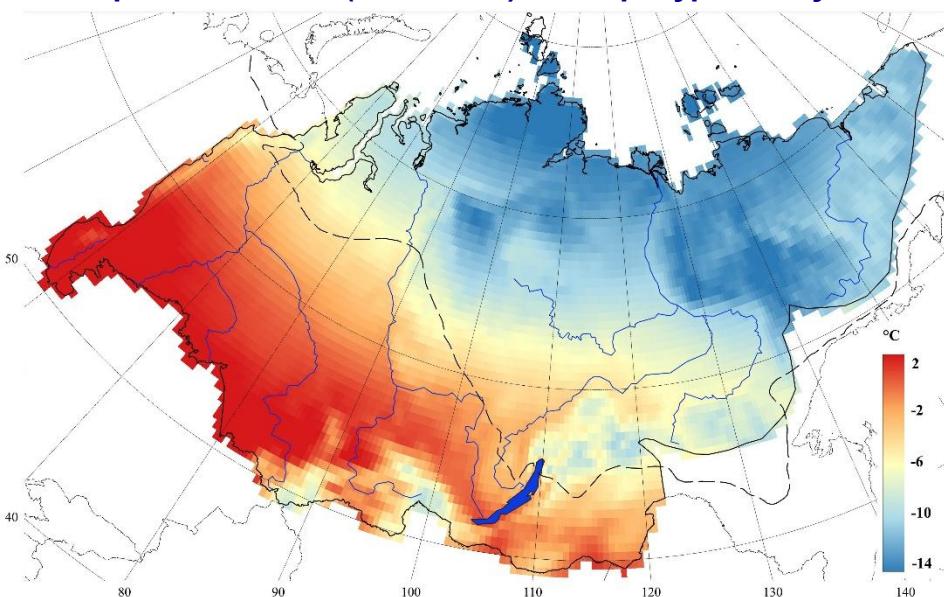
- **GIMMS-3G+ V1.2**
 - композиты NDVI
- ***ERA5, **ВНИИГМИ-МЦД**
 - приземная температура воздуха^{*, **}
 - атмосферные осадки ^{*, **}
 - облачный покров^{*}

МЕТОДЫ

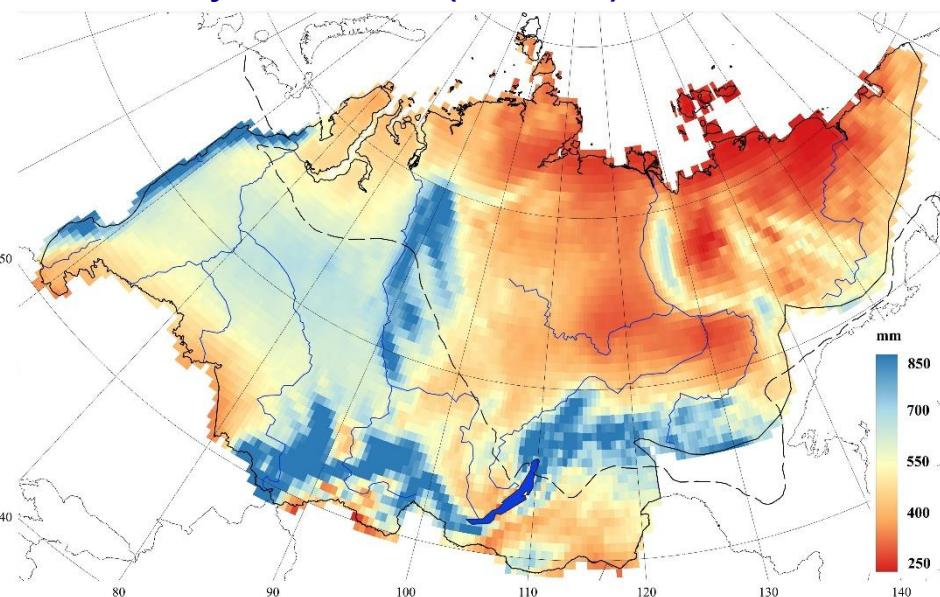
- **TIN** (Time Integrated NDVI) – **интегральный вегетационный индекс**. Рассчитывается как сумма 15-дневных значений NDVI с мая по сентябрь.
- **SOS** (Start of the growing season) – **дата начала вегетационного сезона**. Рассчитывается на основе порогового метода: SOS день года, когда $NDVI_{ratio}$ весной превышает пороговое значение 0.5.
- **ТП10** – **продолжительность тёплого периода**. Рассчитывается как количество дней в году с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через $+10^{\circ}\text{C}$.
- **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



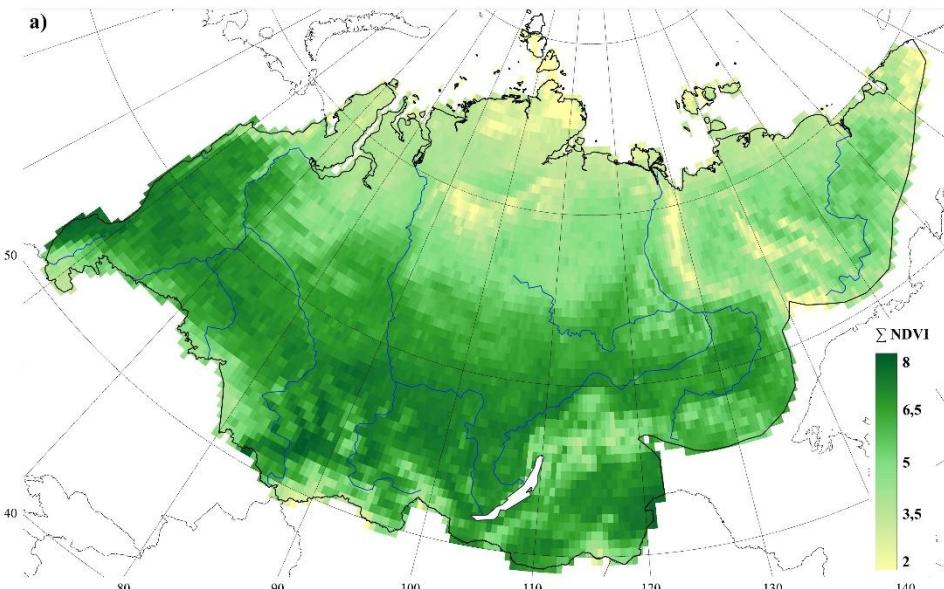
Карта земного покрова Сибири



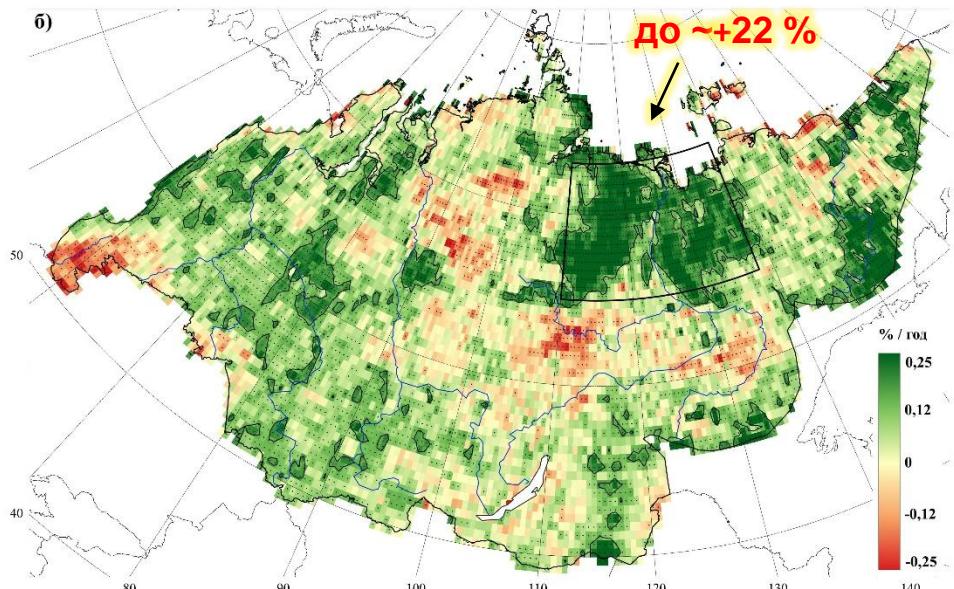
Class	GLC2000 Global Legend
1	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed
2	Tree Cover, needle-leaved, evergreen
3	Tree Cover, needle-leaved, deciduous
4	Tree Cover, mixed leaf type
5	Mosaic: Tree Cover / Other natural vegetation
6	Tree Cover, burnt
7	Shrub Cover, closed-open, evergreen
8	Shrub Cover, 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

СРЕДНЕМОГОЛЕТНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТРЕНДЫ ТИН

Среднемноголетний ТИН
(1982-2022)



Тренд ТИН
(1982-2022)

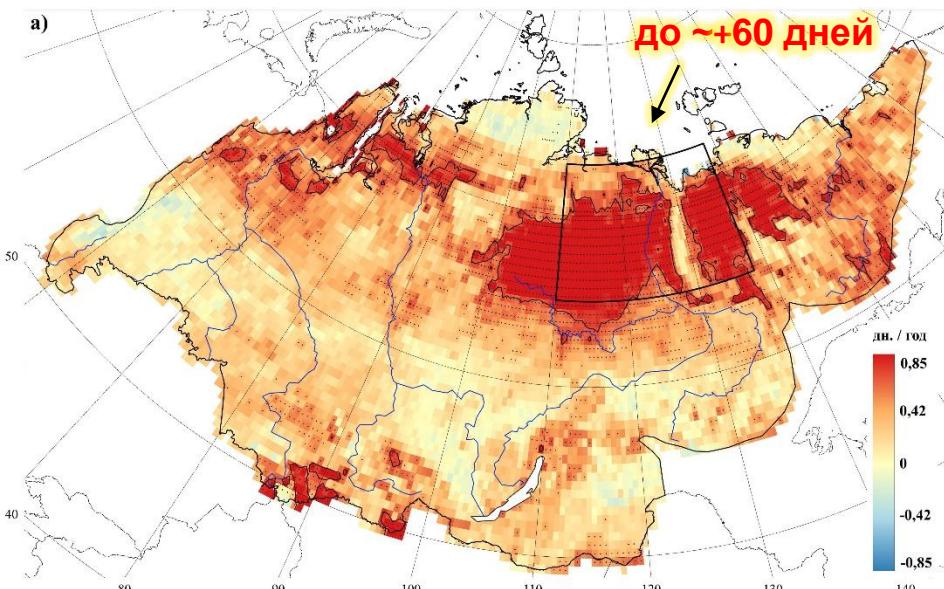


Средние тренды ТИН
 $*p < 0.05$

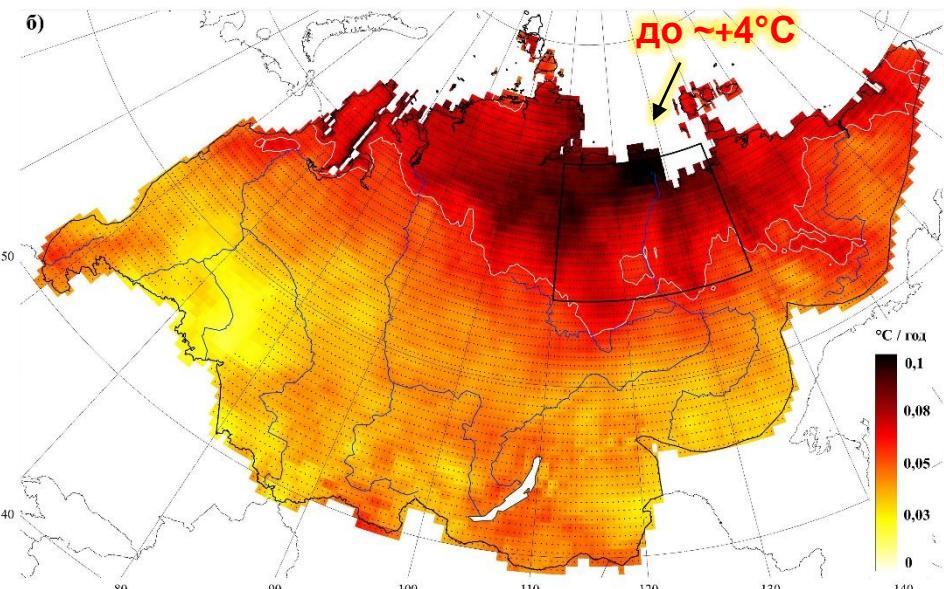
Сибирь	ROI
$+3 \pm 1 * \%$	$+10 \pm 2 * \%$

ТРЕНДЫ ТЁПЛОГО ПЕРИОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ

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



Тренд приземной температуры за период май-сентябрь (Т_{май-сен}) (1982-2022)



Средние тренды ТП10

* $p < 0.05$

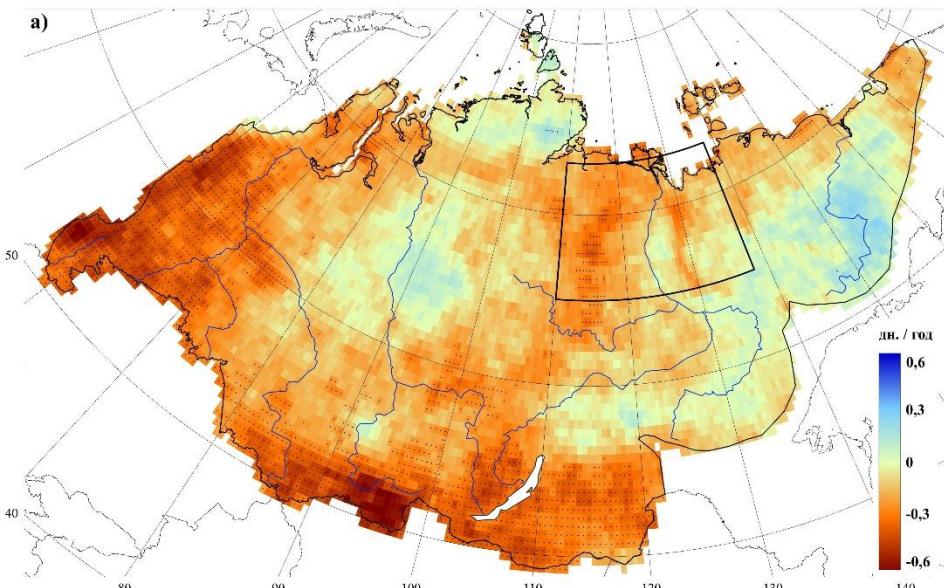
Сибирь	ROI
+14±5* дней	продолжит. +36±11* дней
	начало -22±8* дня
	окончание +14±10* дней

Средние тренды Т_{май-сен}
* $p < 0.05$

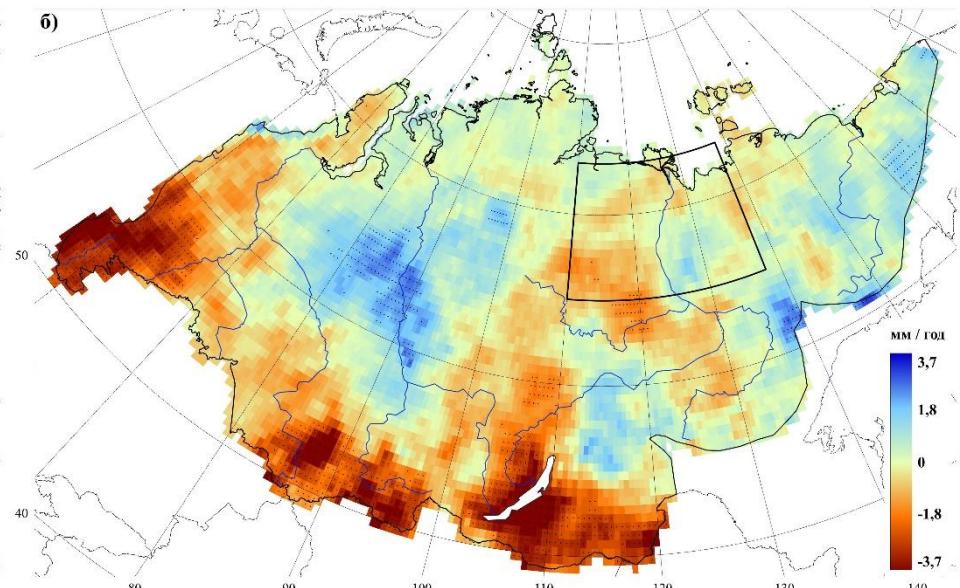
Сибирь	ROI
+2,0±0,5* °C	+3,1±1* °C

ТRENДЫ ОБЛАЧНЫХ ДНЕЙ И ОСАДКОВ

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



Тренд атмосферных осадков за период май-сентябрь (АО_{май-сен}) (1982-2022)



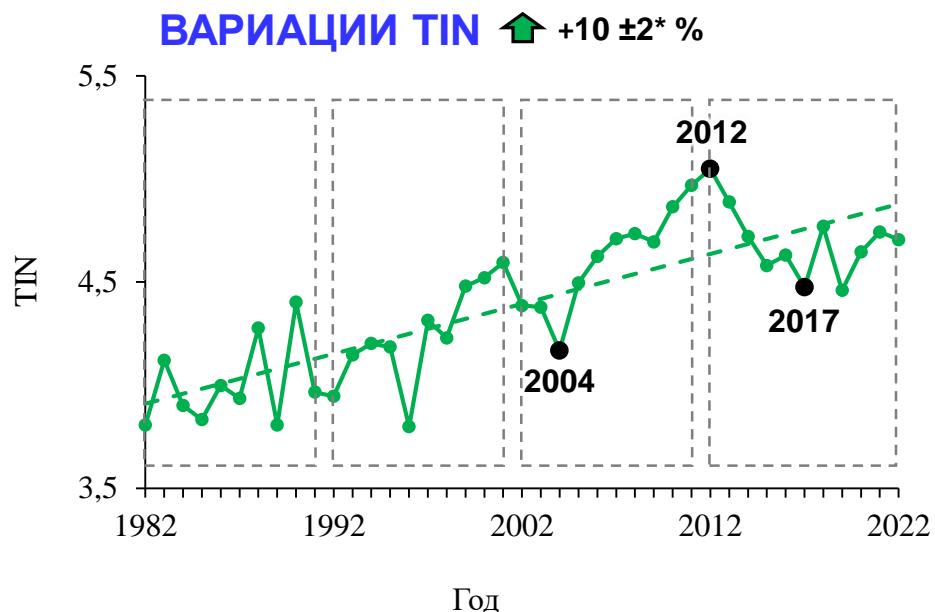
Средние тренды ОП
* $p < 0.05$

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

Средние тренды АО_{май-сен}
* $p < 0.05$

Сибирь	ROI
-11 ± 14 мм	-3 ± 34 мм

ЕЖЕГОДНЫЕ ВАРИАЦИИ ТИН

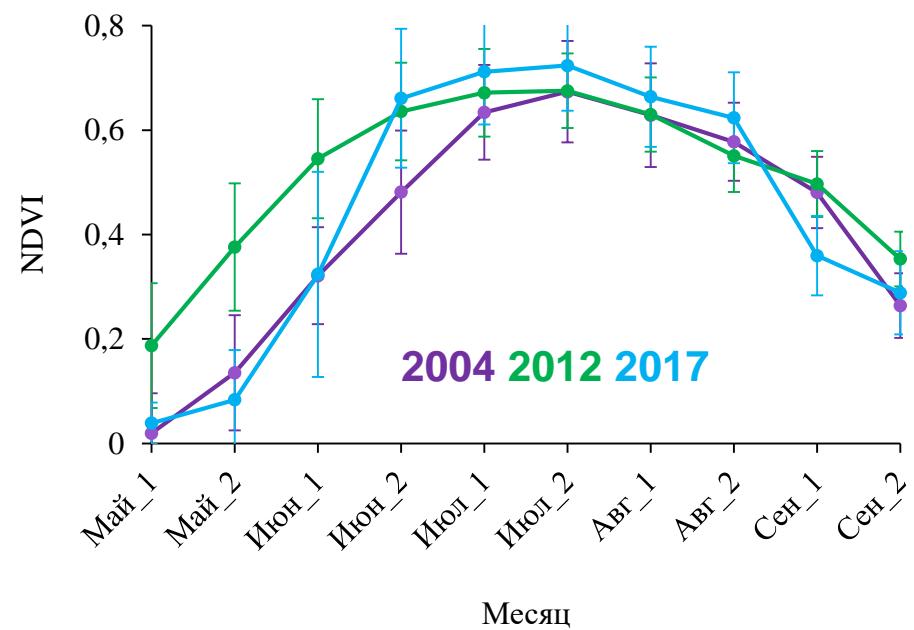
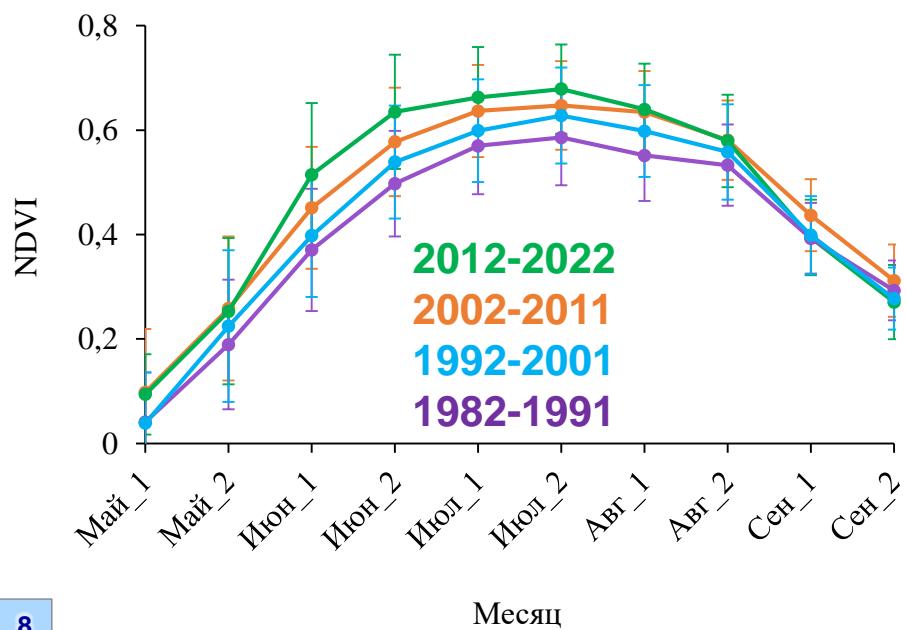


ТРЕНДЫ NDVI

* $p < 0,05$

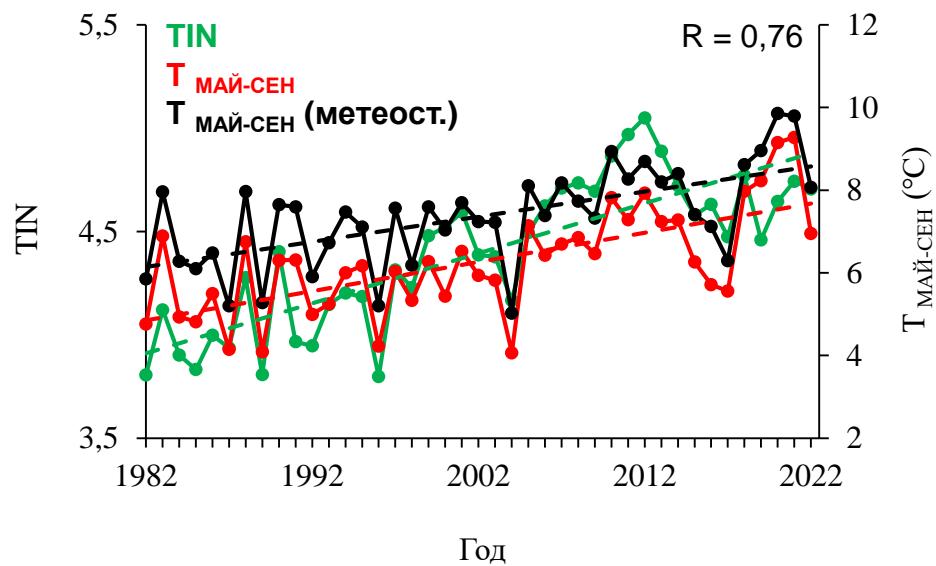
	1982-2022, %	2004-2012, %	2012-2017, %
Май	+5±7	+14±4*	-30±5*
Июнь	+18±5*	+8±4*	-10±2
Июль	+13±2*	+1±1	+6±2
Август	+10±3*	+0±2	+9±2
Сентябрь	+0±4	+9±2*	-12±1*

СЕЗОННЫЙ ХОД NDVI

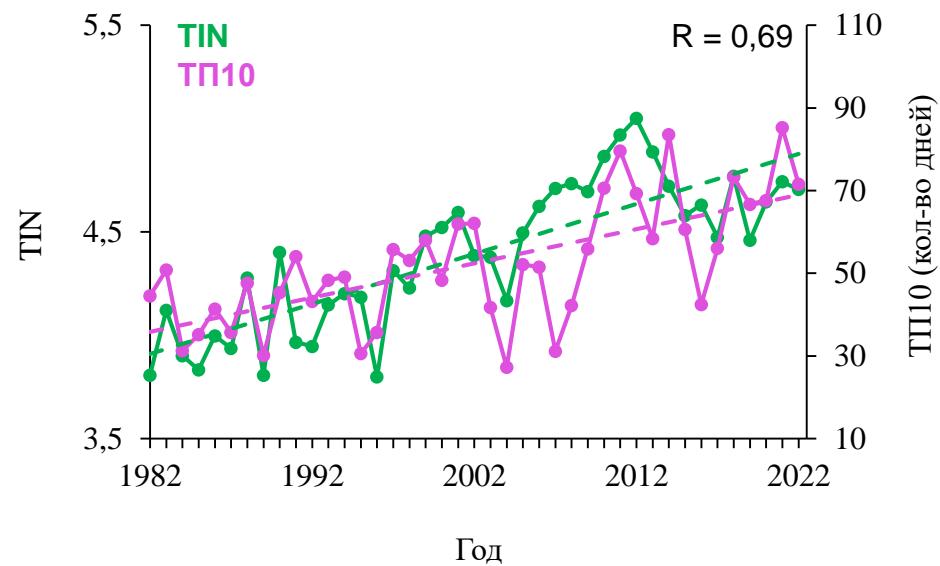


СРАВНЕНИЕ TIN С МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ

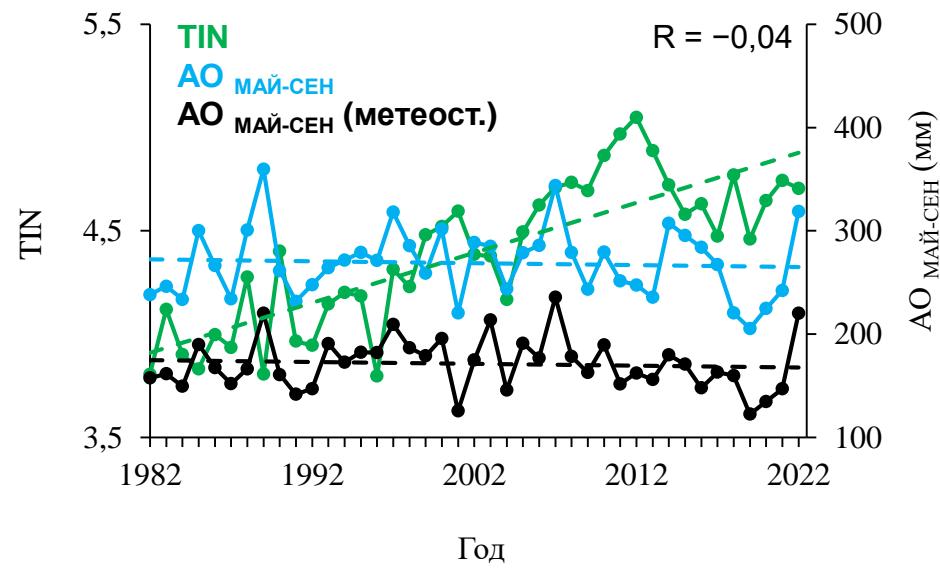
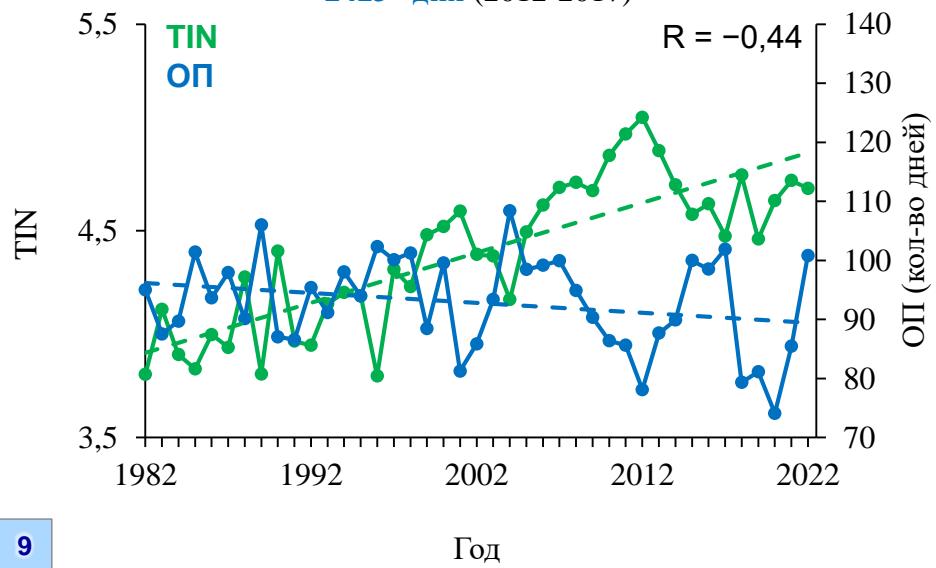
$+2,2 \pm 0,8^* \text{ } ^\circ\text{C}$ (2004-2012)
 $-3,0 \pm 0,2^* \text{ } ^\circ\text{C}$ (2012-2017)



$+50 \pm 11^* \text{ дней}$ (2004-2012)
 $-16 \pm 13^* \text{ дней}$ (2012-2017)



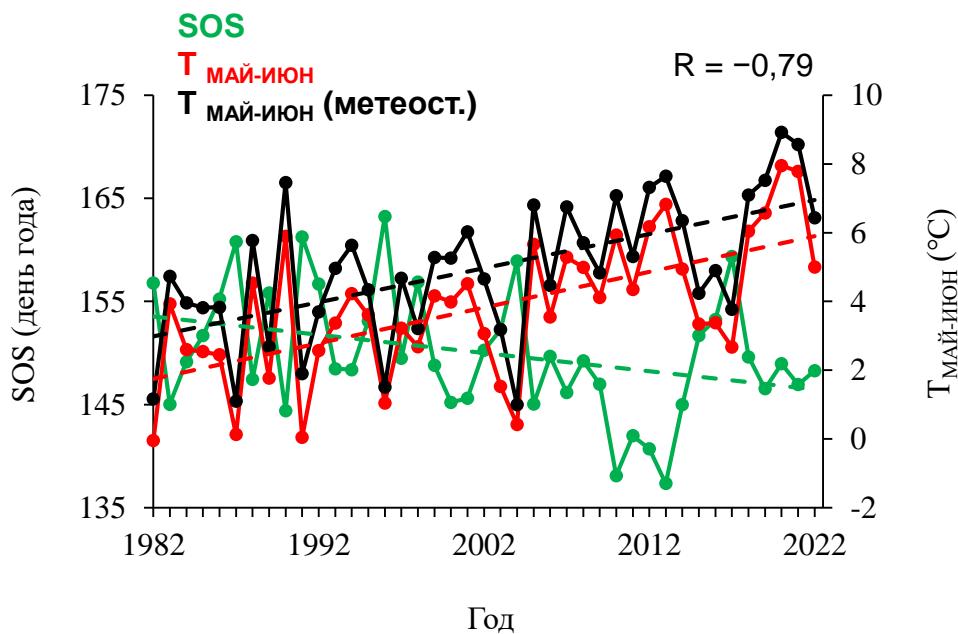
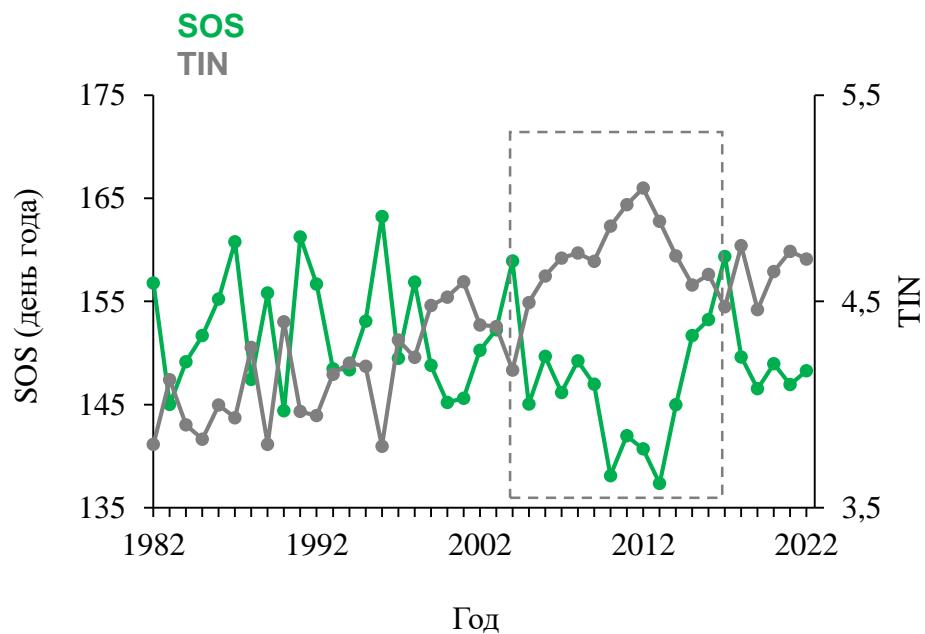
$-30 \pm 3^* \text{ дней}$ (2004-2012)
 $+24 \pm 3^* \text{ дня}$ (2012-2017)



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 ($3\pm1\%$) тренд интегрального индекса TIN на фоне роста среднегодовой температуры воздуха на $2,1\pm0,8^{\circ}\text{C}$.

Область с наиболее высоким статистически значимым ростом TIN ($10\pm2\%$) выявлена на севере Сибири, на локальных участках которого максимальный рост TIN достигает $\sim22\%$. При этом в 2004-2012 гг. наблюдается наиболее длительный устойчивый рост TIN ($7\pm1\%$) и соответствующий сдвиг начала сезона вегетации на более ранние сроки (16 ± 4 дней), а в течение 2012-2017 гг. отмечен быстрый спад TIN на $7\pm1\%$ со сдвигом начала сезона вегетации на более поздние сроки (24 ± 3 дня).

Наблюдаемые изменения показателей растительности обусловлены в основном температурным фактором. Устойчивый рост TIN на $7\pm1\%$ в 2004-2012 связан с ростом приземной температуры воздуха за период май-сентябрь на $2,2\pm0,8^{\circ}\text{C}$, увеличением тёплого периода (с температурой выше $+10^{\circ}\text{C}$) на 50 ± 11 дней и увеличением количества ясных дней в мае-сентябре на 30 ± 3 дней. Быстрый спад TIN в 2012-2017 происходил на фоне снижения температуры на $3,0\pm0,2^{\circ}\text{C}$, уменьшения тёплого периода на 16 ± 13 дней и уменьшения количества ясных дней на 24 ± 3 дня. Сдвиги начала сезона вегетации на более ранние и поздние сроки в указанные периоды обусловлены соответствующим ростом (на $3,4\pm1,5^{\circ}\text{C}$) и снижением (на $5,0\pm0,7^{\circ}\text{C}$) приземной температуры воздуха в мае-июне.

Спасибо за внимание!

