



# Летнее потепление Арктической зоны России, реакция подстилающей поверхности.

Т.Б. Титкова, А.Н. Золотокрылин, В.В. Виноградова

E-mail: [titkova@igras.ru](mailto:titkova@igras.ru), [azolotokrylin1938@yandex.ru](mailto:azolotokrylin1938@yandex.ru), [vvvinog@yandex.ru](mailto:vvvinog@yandex.ru)

Институт географии РАН, Москва, Россия

*В Арктической зоне, при избыточном увлажнении (Dufour et al., 2016; Титкова, Виноградова, 2019), откликом растений на изменение температурного режима теплого периода является усиление углеродного и водного обмена (Kim et al., 2016, Kravtsova, Loshkareva, 2013), что в свою очередь приводит к росту интенсивности вегетации и обогащению видового разнообразия.*

*Характерной особенностью летнего потепления в Арктической зоне России за период 1991–2020 гг. является то, что максимальное потепление наблюдалось в начале лета. Оно было региональным и максимально проявилось в высоких широтах Западной и Средней Сибири (Титкова, Золотокрылин, 2021).*

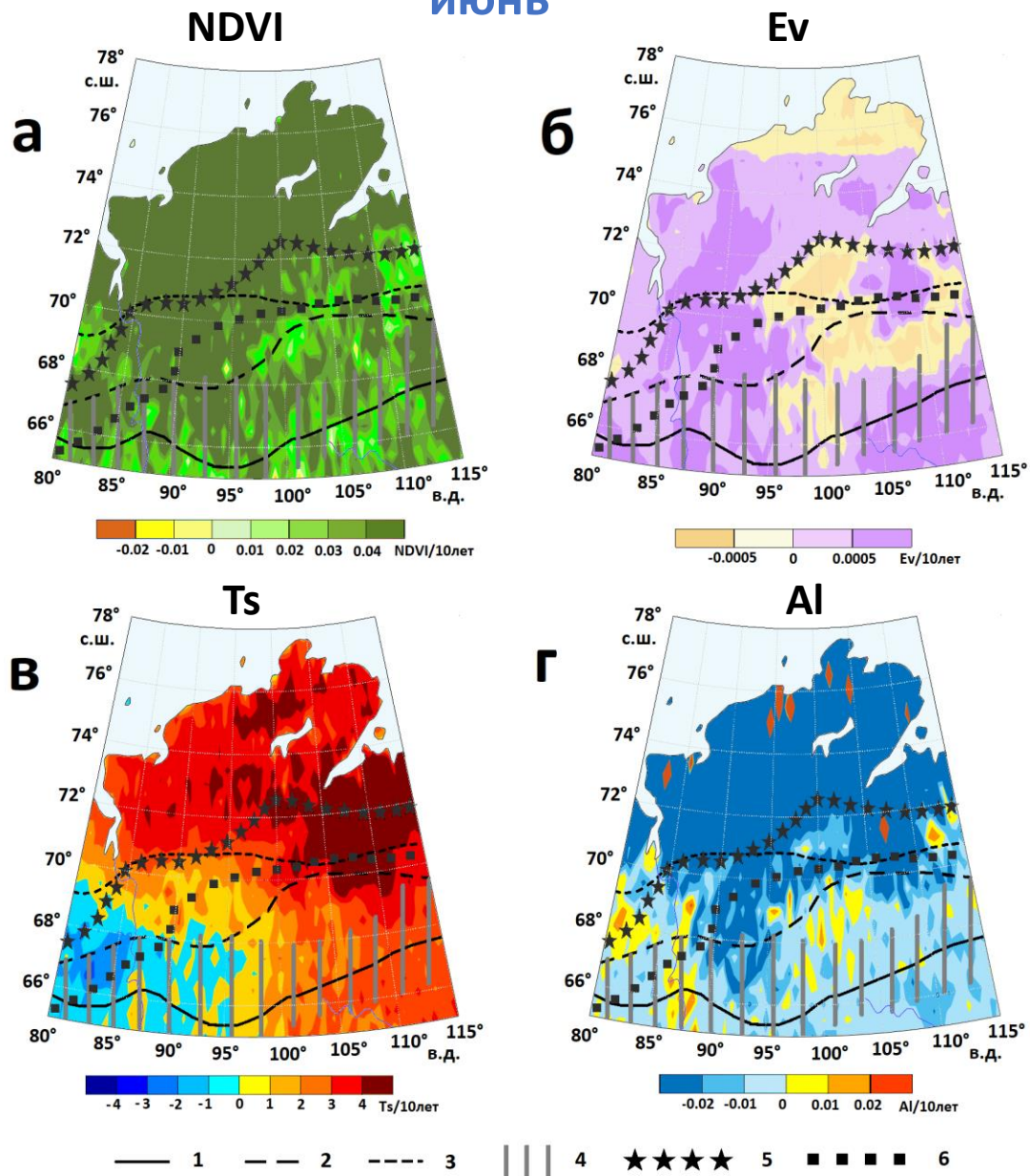
**Цель:** Изучение последствий современных климатических изменений для ландшафтов центральной части Арктической зоны России с использованием их спектральных характеристик.

**Территория:** материковая часть Российской Арктики, включающая субарктические (тундровые и лесотундровые) и бореальные (северотаежные) ландшафты, т.е. регионы, где наблюдается максимальное летнее потепление, а именно, восточная часть Западной Сибири и Таймыр.

## Данные MODIS спектральных характеристиках:

- альbedo (Al, MCD43C1.v006 [<https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd43c1v006/>]),
- температура поверхности (Ts, MOD11C3.006 [<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11c3v006/>]),
- нормализованный вегетационный индекс (NDVI, MOD13C2.006 [<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13c2v006/>])
- суммарная эвапотранспирация (Ev, MERRA-2 [[https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/FLDAS/FLDAS\\_NOA\\_H01\\_C\\_GL\\_M.001/](https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/FLDAS/FLDAS_NOA_H01_C_GL_M.001/)])

ИЮНЬ

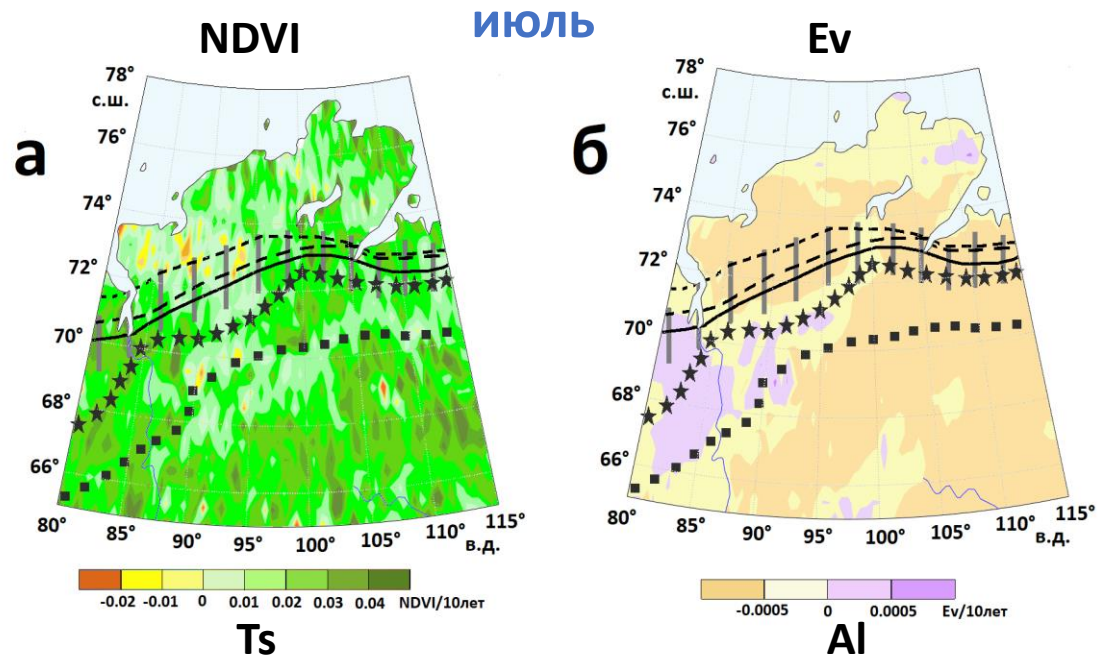


Тренды характеристик поверхности за 10 лет, июнь, 2000-2020:

- а) NDVI,
- б)  $Ev$  (г/м<sup>2</sup> в сек),
- в)  $T_s$  (°C),
- г)  $Al$ .

Обозначения: 1 – положение изотермы +10 °C в 1991-2000; 2 – 2001-2010; 3 – 2011-2020; 4 – стандартное отклонение положение изотермы +10 °C за 1961-1990; 5 – южная граница тундры; 6 – южная граница лесотундры.

- Июньское потепление первых двух десятилетий XXI века максимально расширило зону активной вегетации растений в лесотундре и тундре Таймыра. Здесь отмечены положительные тренды  $T_s$ , NDVI,  $Ev$  и уменьшение  $Al$ .



*Тренды характеристик поверхности за 10 лет, июль, 2000-2020:*

*а) NDVI,*

*б) Ev ( $\text{г}/\text{м}^2$  в сек),*

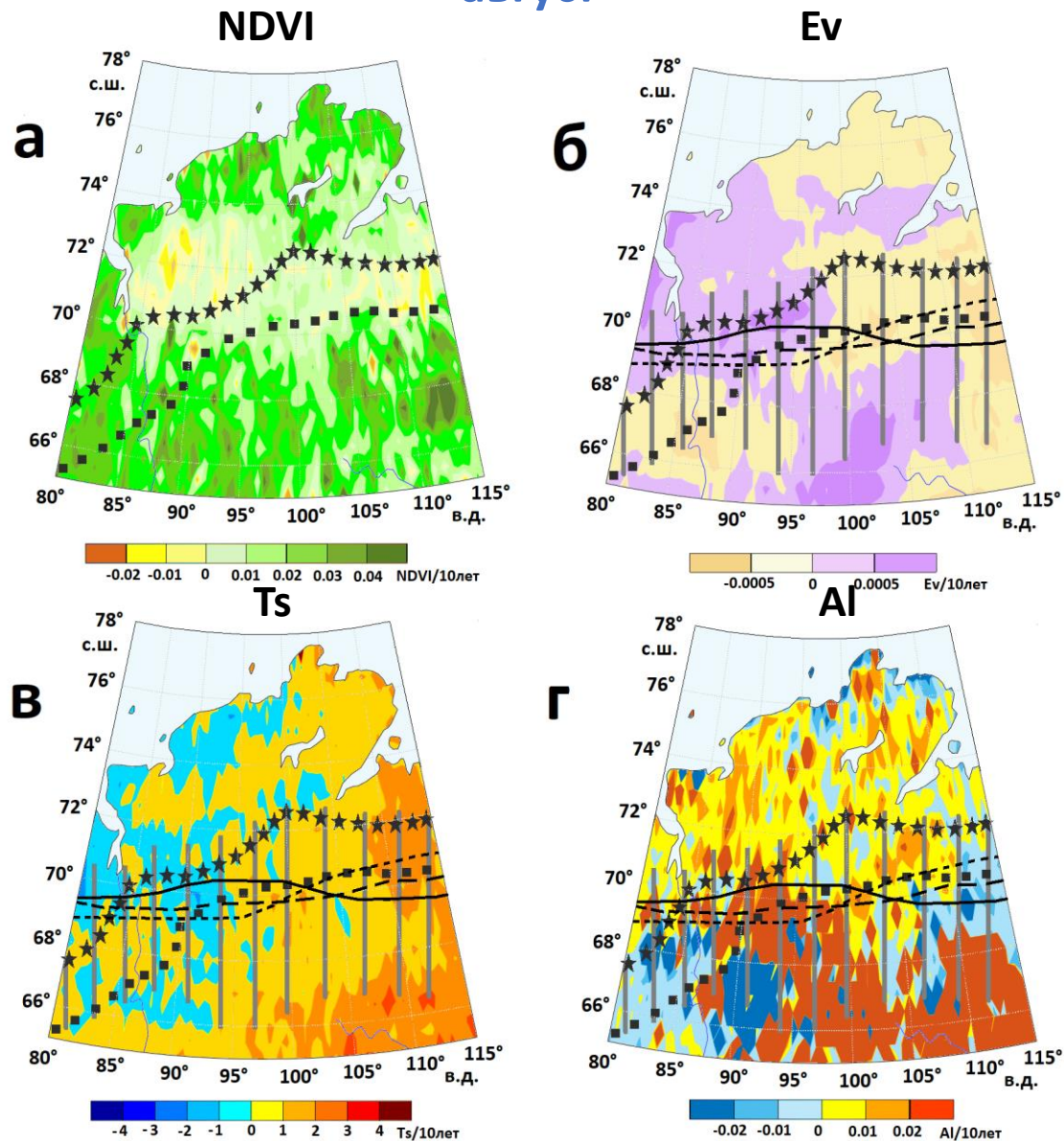
*в) Ts ( $^{\circ}\text{C}$ ),*

*г) AI.*

*Обозначения см. рис. 2.*

- В середине лета отмечаются незначительные изменения спектральных характеристик поверхности по сравнению с началом лета.
- Небольшой рост NDVI сопровождается падением Ev.
- В районах максимального увеличения NDVI в июне наблюдается падение Ts в июле.
- Тренды AI в зоне тундры Таймыра в основном отрицательны и положительны в северотаежных ландшафтах.





## Тренды характеристик поверхности за 10 лет, август, 2000-2020:

а) NDVI,

б) Ev ( $\text{г}/\text{м}^2$  в сек),

в) Ts ( $^{\circ}\text{C}$ ),

г) AI.

- В конце вегетационного сезона наблюдаются положительные тренды Ts и разнонаправленные тренды AI, NDVI и Ev, что связано с неравномерностью прогрева и увлажнения в соседних ландшафтных зонах.
- В тундре и лесотундре в августе при завершении вегетационного сезона рост NDVI минимален и сопровождается падением Ev и AI.
- В северотаежных ландшафтах, при продолжающемся вегетационном периоде наблюдается небольшое повышение NDVI.
- На некоторых участках идет рост Ev, Ts и AI.

## Выводы.

- Климатическое потепление начала XXI века привело к изменению спектральных характеристик ландшафтов в центральной части Российской Арктической зоны главным образом в начале вегетационного сезона, где наблюдается зарастание и озеленение тундры и лесотундры Таймыра, а также северотаежной зоны.
- Менее интенсивное июльское потепление слабо проявилось в изменении спектральных характеристик поверхности по сравнению с началом лета во всей Арктической зоне.
- В августе, спектральные параметры реагируют на потепление в северотаежных ландшафтах.

*Работа выполнена в рамках ГЗ № 0148-2019-0009 и проекта РФФИ № 18-05-60216*

### Литература

1. *Замолодчиков Д.Г.* Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учета лесного фонда // Успехи современной биологии. — 2011. — Т. 131. — № 4. — С. 382-392.
2. *Титкова Т.Б., Виноградова В.В.* Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2019. — Т. 16. — № 5. — С. 310-323. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-310
3. *Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н.* Региональная неравномерность летнего потепления материковой Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2021. — № 3. — С. 374-384
4. *Dufour A., Zolina O., Gulev S.K.* Atmospheric moisture transport to the Arctic. J. Climate. — 2016. — No 29. — pp. 5061-5081.
5. *Kim B.-M., Hong J.-Y., Jun S.-Y., Zhang X., Kwon H., Kim S.-J., Kim J.-H., Kim S.-W., Kim H.-K.* Major cause of unprecedented Arctic warming in January 2016. Critical role of Atlantic windstorm. Sci. Rep. — 2017. — No 7. — pp. 40051. <https://doi.org/10.1038/srep40051>
6. *Kravtsova V.I., Loshkareva A.R.* Dynamics of vegetation in the tundra-taiga ecotone on the Kola Peninsula depending on climate fluctuations. Russian J. Ecology. — 2013. — No. 4. — pp. 303-311. DOI: 10.1134/S1067413613040085
7. *Vinogradova V., Titkova T., Zolotokrylin A.* How climate change is affecting the transitional natural zones of the Northern and Arctic regions of Russia. Polar Science. Available online — 11 February 2021. — 100652. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100652>