

founded in 1918

**ПРОЯВЛЕНИЕ ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ
В ИЗМЕНЕНИЯХ СПЕКТРАЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ПРИРОДНЫХ
ЗОН РОССИИ**

Т. Б. Титкова¹, А. Н. Золотокрылин¹, В. В. Виноградова

¹ Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия

E-mail: titkova@igras.ru

ОБОСНОВАНИЕ: Совокупность альбедо (Al), температуры поверхности (Ts), вегетационного индекса (NDVI), а также их связи практически полностью дает спектральный портрет подстилающей поверхности в заданный момент времени (Титкова и др., 2020). Наблюдаемое потепление климата, а также антропогенное воздействие приводит к изменениям фитомассы в составе, структуре и функционировании растительного компонента ландшафтов и, следовательно, спектральных свойств поверхности. Изменение значений и связей спектральных характеристик отдельного ландшафта может говорить о большой вероятности потери целостности и активности биома (Титкова, Виноградова, 2015).

ЦЕЛЬ

Исследование изменения типов регулирования температуры поверхности и эволюции растительности в районах максимального проявления глобального потепления в летние месяцы на территории России.

Данные:

ВНИИГМИ-МЦД (URL <http://www.meteo.ru>) , 1961– 2024 гг.

MODIS за 2000–2024 гг. :

Al - MCD43C1 (URL <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd43c1v061/>).

NDVI - MOD13C2 <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13c2v061/>

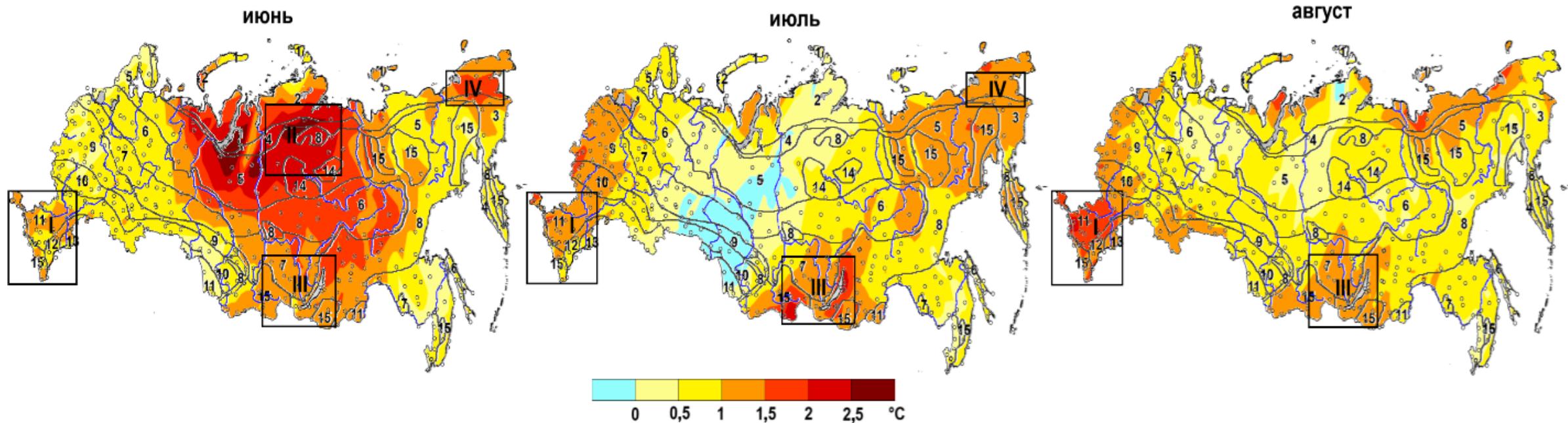
Ts - MOD11C3 (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11c3v061/>).

Методы

По корреляционной связи Al – Ts определялся тип регулирования Ts . Радиационное регулирование Ts – это процесс, при котором с возрастанием Al происходит уменьшение поглощения радиационной энергии деятельным слоем, при этом Ts снижается. При доминировании этого механизма наблюдается отрицательная корреляция Al и Ts . Весь радиационный баланс расходуется на нагревание воздуха и почвы.

Эвапотранспирационное регулирование Ts становится доминирующим, когда при увеличении Al эвапотранспирация уменьшается, что ведет к повышению Ts (положительная связь Al и Ts). В boreальных ландшафтах эвапотранспирационное регулирование Ts является доминирующим фактором. Здесь заметная часть поглощенного поверхностью радиационного тепла тратится на транспирацию и испарение. В итоге в случае увеличения Al, Ts возрастает (положительная корреляция).

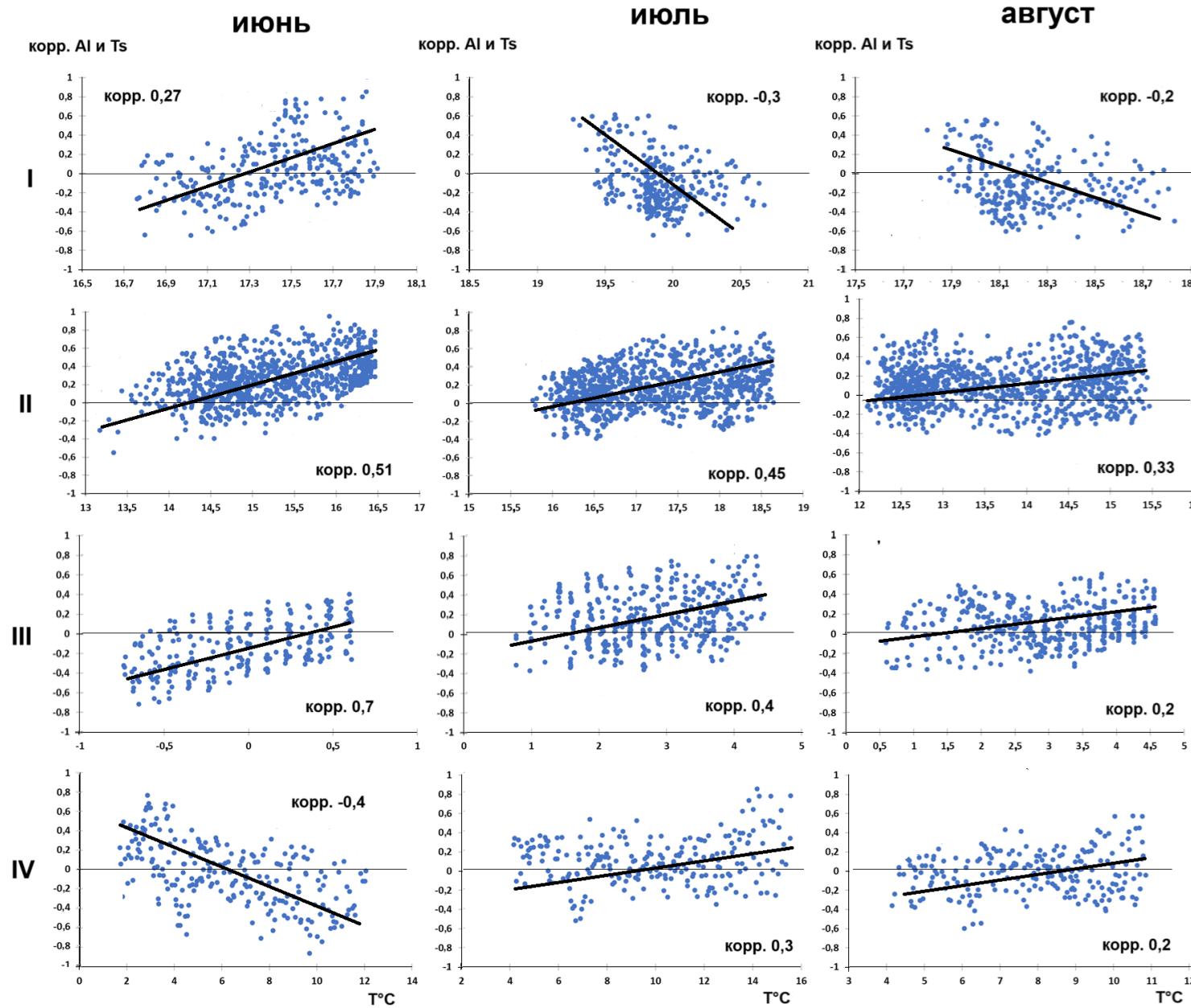
Изменение температуры воздуха (Тв) между периодами (1991–2020) – (1961–1990) и области максимального роста Тв в летние месяцы



Изменения значимы при аномалиях температуры воздуха (Тв) больше 1 (меньше –1) °С. Цифрами показаны природные зоны: 1 Арктика, 2 тундра, 3 стланиковая тундра, 4 лесотундра, 5 северная тайга, 6 средняя тайга, 7 южная тайга, 8 горная тайга, 9 широколиственные леса, 10 лесостепь, 11 степь, 12 южная степь, 13 полупустыня, 14 низкогорные бореальные, 15 горные ландшафты. (Ландшафты ..., 2007). Кружками показаны метеостанции. Районы максимального повышения Tw: юг ЕТР (I), юг Средней Сибири (II), север Средней Сибири (III), Чукотка (IV)

Изменение Tw между периодами 1991–2020 и 1961–1990 гг. в течение летнего периода затрагивает большинство природных зон. Потепление максимально:

в июне на большей части азиатской России,
в июле больше проявляется в южной части средней Сибири (Прибайкалье и Забайкалье),
в августе – на юге ЕТР.



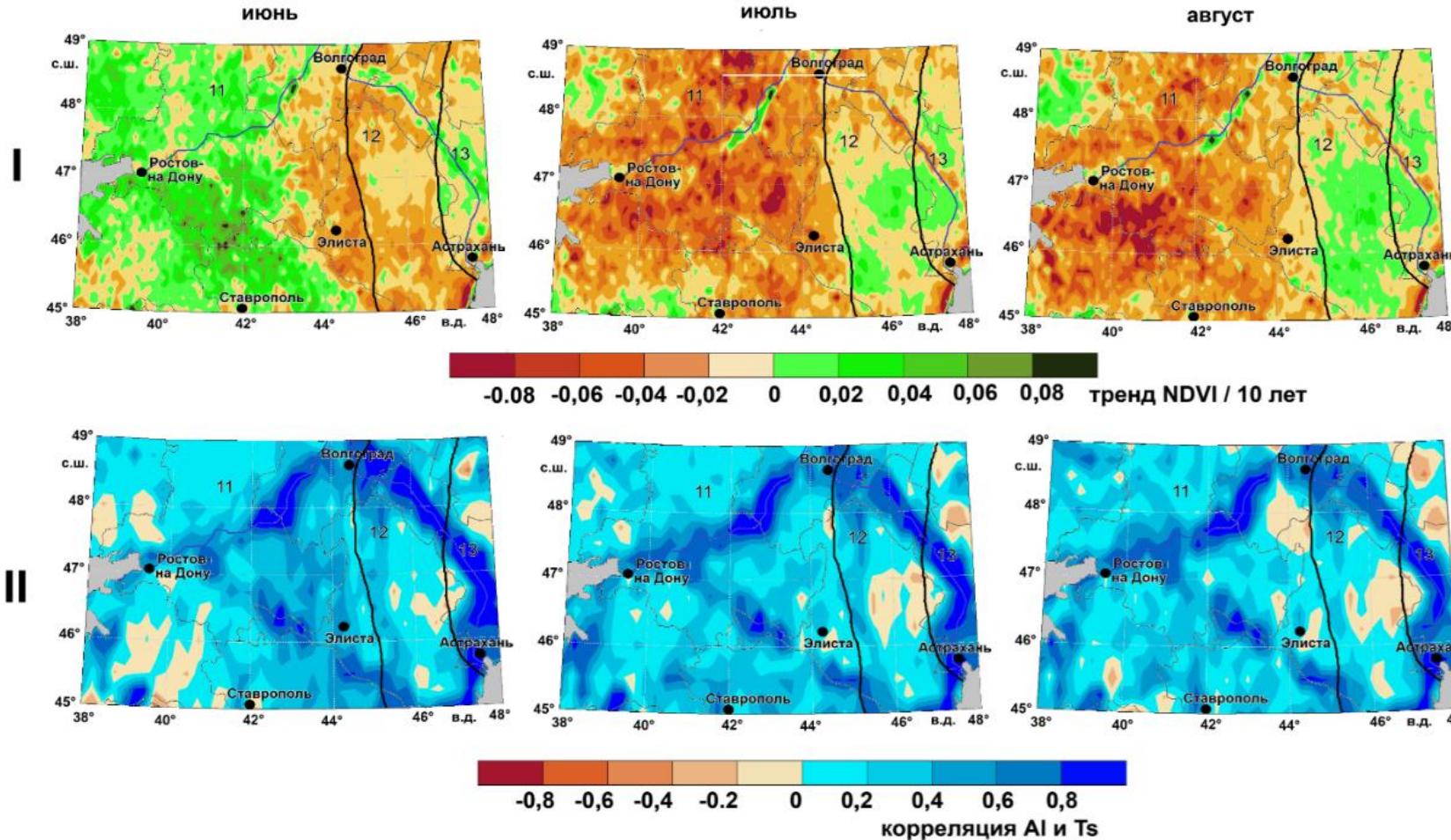
Связь Тв с типом регулирования Ts (корреляция Al и Ts) в летние месяцы 2000-2020, в районах:
 юг ЕТР (I),
 юг Средней Сибири (II),
 север Средней Сибири (III),
 Чукотка (IV)

Статистика площади (в %) с радиационным типом регулирования Ts (корреляция Al и Ts <-0.2) в районах максимального повышения Тв по природным зонам в летние месяцы 2000–2024 гг

природная зона	район	среднее	стандартно е отклонение	тренд/10 лет
		июнь		
суб boreальная	I Юг ЕТР	18.2	1.5	-0.1
бoreальная	II Юг Средней Сибири	23.6	1.5	-0.3
	III Север Средней Сибири	39.1	4.6	-2.4
субарктическая	IV Чукотка	44.1	4.7	0.2
июль				
суб boreальная	I Юг ЕТР	17.6	2.3	-0.3
бoreальная	II Юг Средней Сибири	23.1	1.5	0.6
	III Север Средней Сибири	20.7	1.4	-0.2
субарктическая	IV Чукотка	28.1	1.8	0.3
август				
суб boreальная	I Юг ЕТР	18	2.5	-0.1
бoreальная	II Юг Средней Сибири	26	1.3	0.5
	III Север Средней Сибири	24.3	2.4	-0.3
субарктическая	IV Чукотка	34.1	1.3	0.6

Изменение спектральных характеристик поверхности за 2000–2024 гг.

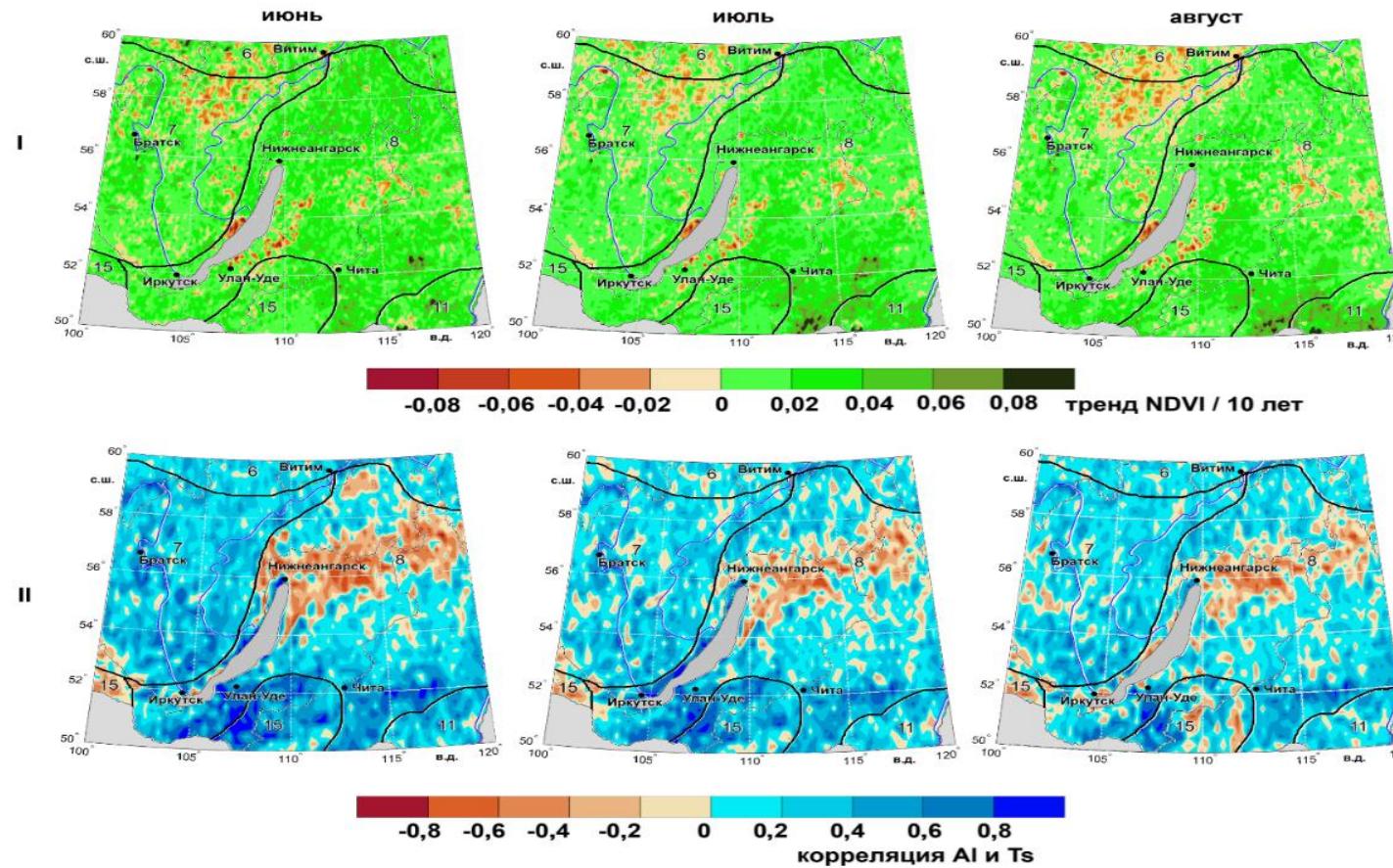
ЮГ ЕТР



В суббореальной зоне юга ЕТР усиление потепления в течение летнего периода приводит к деградации растительности, что может увеличивать территории с радиационным типом регулирования T_s , создавая очаги опустынивания.

I — тренд NDVI,
II — корреляция Al и Ts.
Обозначены административные
границы и природные зоны:
11 степь,
12 южная степь,
13 полупустыня.

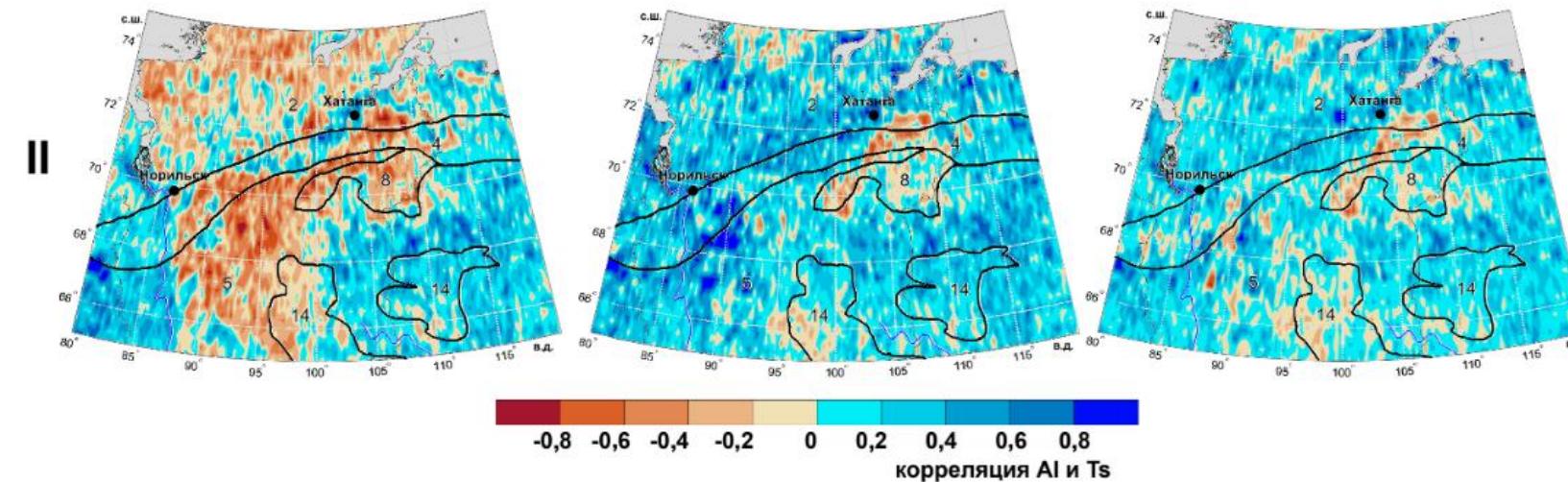
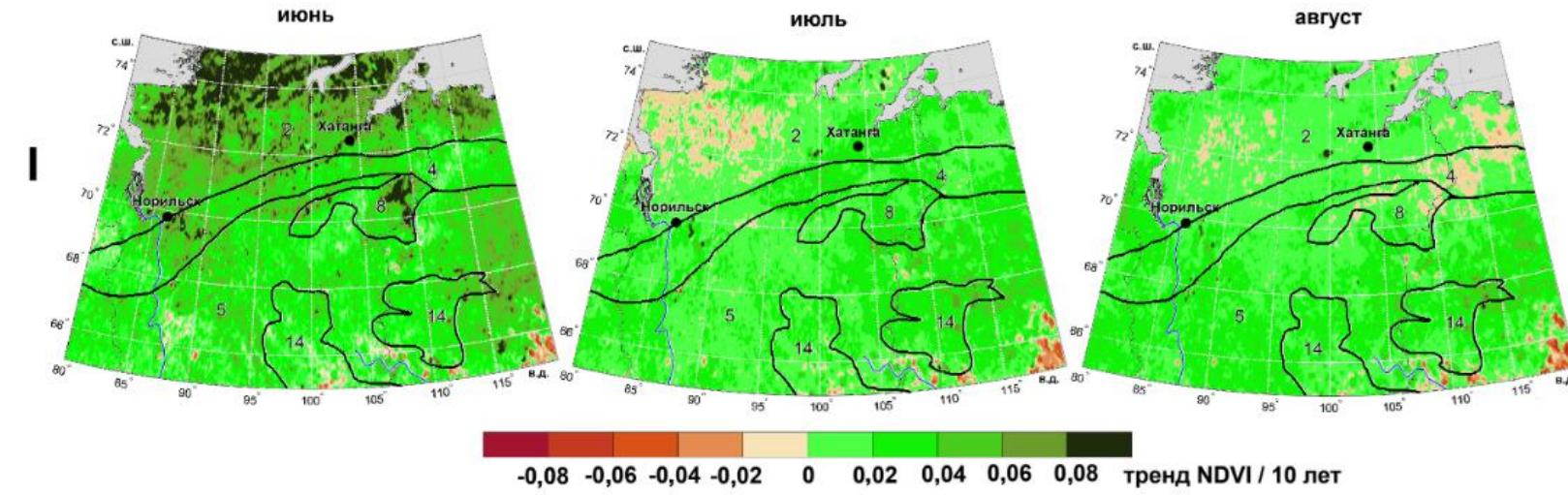
южной части Средней Сибири



I — тренд NDVI,
II — корреляция Al и Ts.
Обозначены административные
границы и природные зоны:
6 средняя тайга,
7 южная тайга,
8 горная тайга,
11 степь,
15 горные ландшафты.

В бореальной зоне юга Средней Сибири рост Тв приводит к увеличению интенсивности эвапотранспирационного типа регулирования Ts. Увеличение NDVI способствует росту эвапотранспирации, приводит к снижению Al и Ts. Увеличение Тв летом и рост числа пожаров (Барталев и др., 2015) привели к мозаичному увеличению районов с радиационным регулированием Ts.

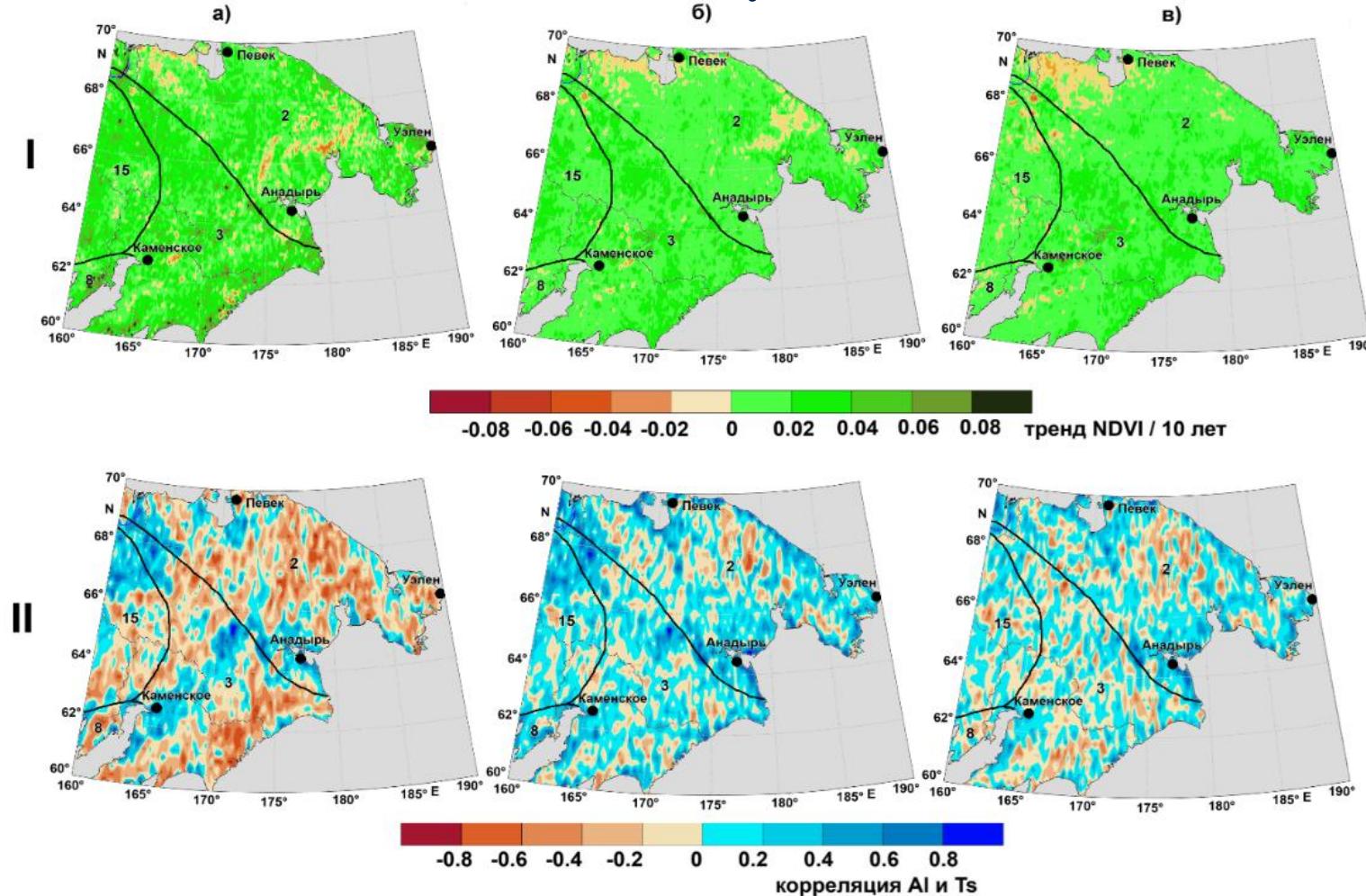
северная часть Средней Сибири



- I — тренд NDVI,
 II — корреляция Al и Ts.
 Обозначены административные
 границы и природные зоны:
 2 тундра,
 4 лесотундра,
 5 северная тайга,
 8 горная тайга,
 14 низкогорные boreальные.

В тундре Средней Сибири и в северной тайге на больших площадях горной и каменистой поверхности отмечено рост NDVI и сокращение площади с радиационным типом регулирования Ts.

Чукотка



В тундрах Чукотки, повышение Тв также влечет за собой рост NDVI. В конце летнего периода в горных районах Чукотки повышение Тв сопровождается положительным трендом площади с радиационным типом регулирования Ts, предположительно в результате того, что гористая щебнисто-каменистая поверхность тундры в конце лета подвержена интенсивному высыханию с последующим ростом Al.

Выводы

Аномалии T_b на территории России в 1991–2020 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. в течение летнего периода затрагивает большое число природных зон. Потепление максимально на большей части азиатской России в июне, немного слабее в южной части средней Сибири (Прибайкалье и Забайкалье) в июле, а на юге ЕТР – в августе.

В суб boreальной зоне юга ЕТР усиление потепления в течение летнего периода приводит к деградации растительности, что может увеличивать территории с радиационным типом регулирования T_s , создавая очаги опустынивания.

В boreальной зоне повышение T_b также может привести к распространению областей с радиационным типом регулирования T_s за счет неблагоприятных климатических условий.

В субарктической зоне рост T_b может привести как к сокращению площади с радиационным типом регулирования T_s в результате роста фитомассы (север Средней Сибири), так и к росту таких площадей в результате свойств подстилающей поверхности в горных районах (Чукотка).

Таким образом, независимо от природной зоны, увеличение T_b может привести к распространению территорий с радиационным типом регулирования T_s , что во многом определяется рельефом и локальными природными условиями. Эти процессы являются еще одним индикатором эволюции ландшафтов на фоне глобального потепления.

Исследование выполнено по теме ГЗ Института географии РАН «Изменения климата, их причины и последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» FMWS-2024-0001.

Литература

1. *Ландшафты* (карта, м-б 1:15 000 000) // Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология. М.: Картография, 2007. С. 398–399. <https://nationalatlas.ru/tom2/398-399.html>
2. Титкова Т. Б., Виноградова В. В. Отклик растительности на изменение климатических условий в boreальных и субарктических ландшафтах в начале ХХI века // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 3. С. 75–86.
3. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В. Спектральные характеристики тундровых и лесотундровых ландшафтов в годы летних температурных аномалий // Фундаментальная и прикладная климатология. 2020. № 4. С. 88–103. DOI: 10.21513/2410-8758-2020-4-88-103.