

Анализ процессов аридизации  
территорий в Западной Сибири и  
Центральной Азии на основе  
спутниковых и наземных данных

к.г.н. Плуталова Т.Г.

д.т.н., доцент Романов А.Н.

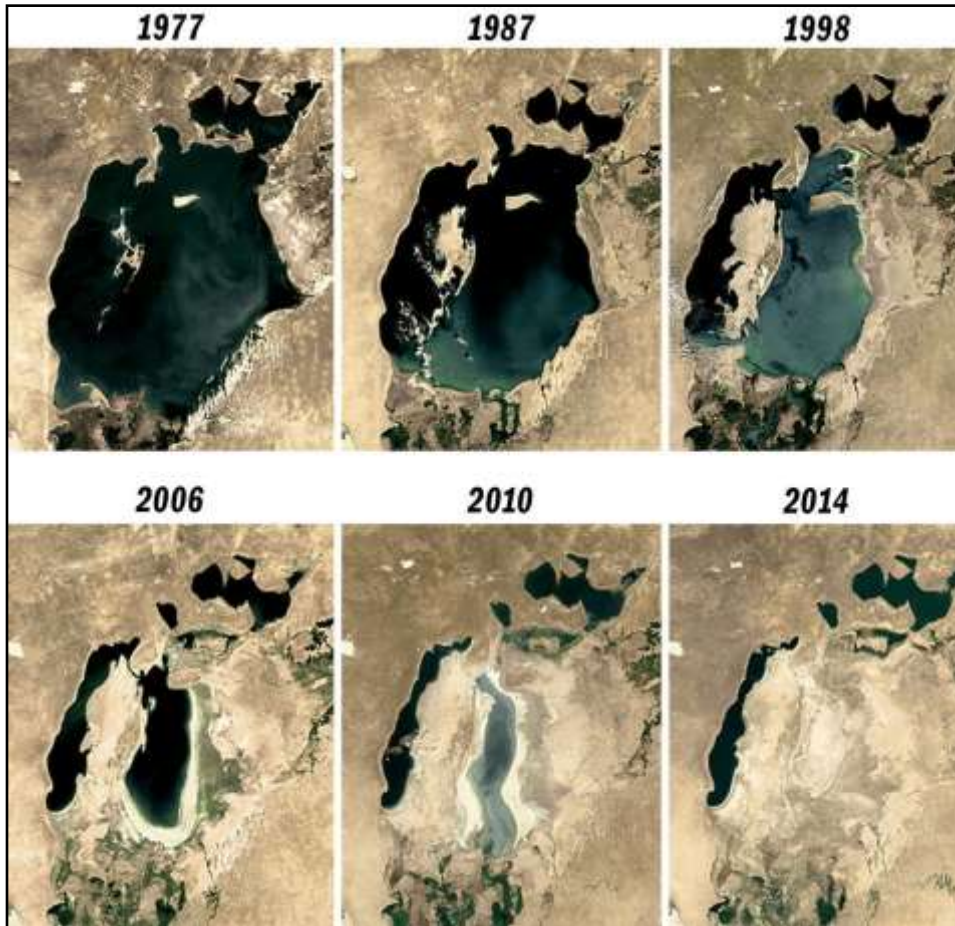
Институт водных и экологических проблем СО РАН,  
Барнаул

## В последние десятилетия наблюдается интенсивная аридизация территорий Западной Сибири и Центральной Азии:

- возрастание вероятности засух
- деградация растительного покрова
- катастрофические усыхания степных озер и повышение солености воды
- увеличением засоленности почв и образование солончаков.



# Аральское море → Аралкум



[https://pikabu.ru/story/aran\\_est\\_li\\_zhizn\\_posle\\_smerti\\_8169956#comments](https://pikabu.ru/story/aran_est_li_zhizn_posle_smerti_8169956#comments)

<https://rg.ru/2022/09/20/more-prizrak.html>

Изменение существующих механизмов атмосферно-гидросферных процессов способствует увеличению частоты засух.

Выявление изменяющихся взаимосвязей и получение достоверной, высокоточной и оперативной информации, необходимой для принятия управляющих решений по уменьшению социально-экономических рисков - важная научная проблема - **разработка методов дистанционного мониторинга засух.**

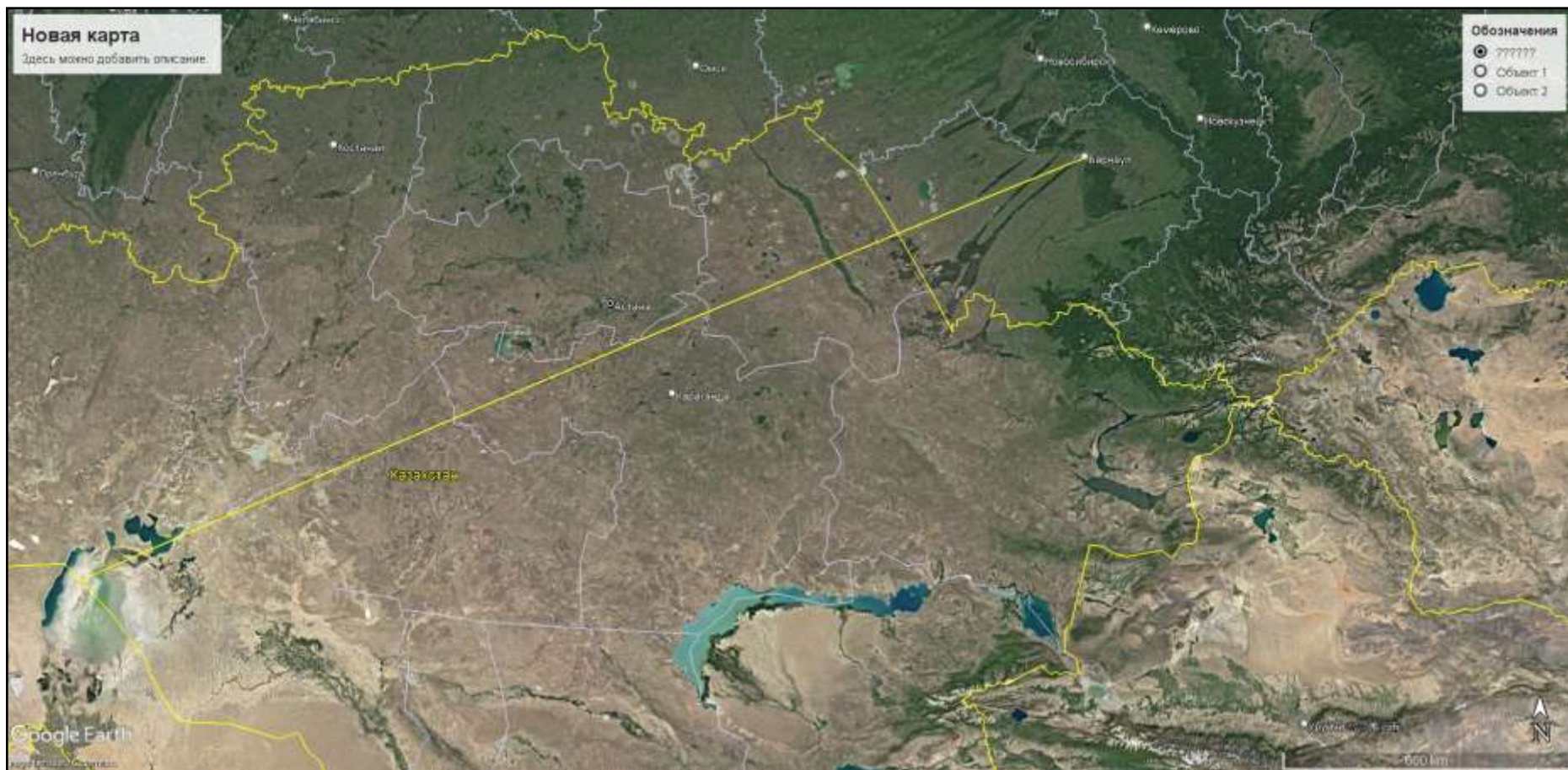
Используются комбинированные индексы, основанные на метеорологических данных и результатах дистанционного зондирования в видимом и инфракрасном диапазонах.

Надежной информацией о состоянии растительности является вегетационный индекс NDVI (по данным спутниковых наблюдений MODIS 2000-2021 гг.).

Ведутся активные исследования по разработке индексов засухи и их апробации на разных территориях, различающихся по климатическим условиям.

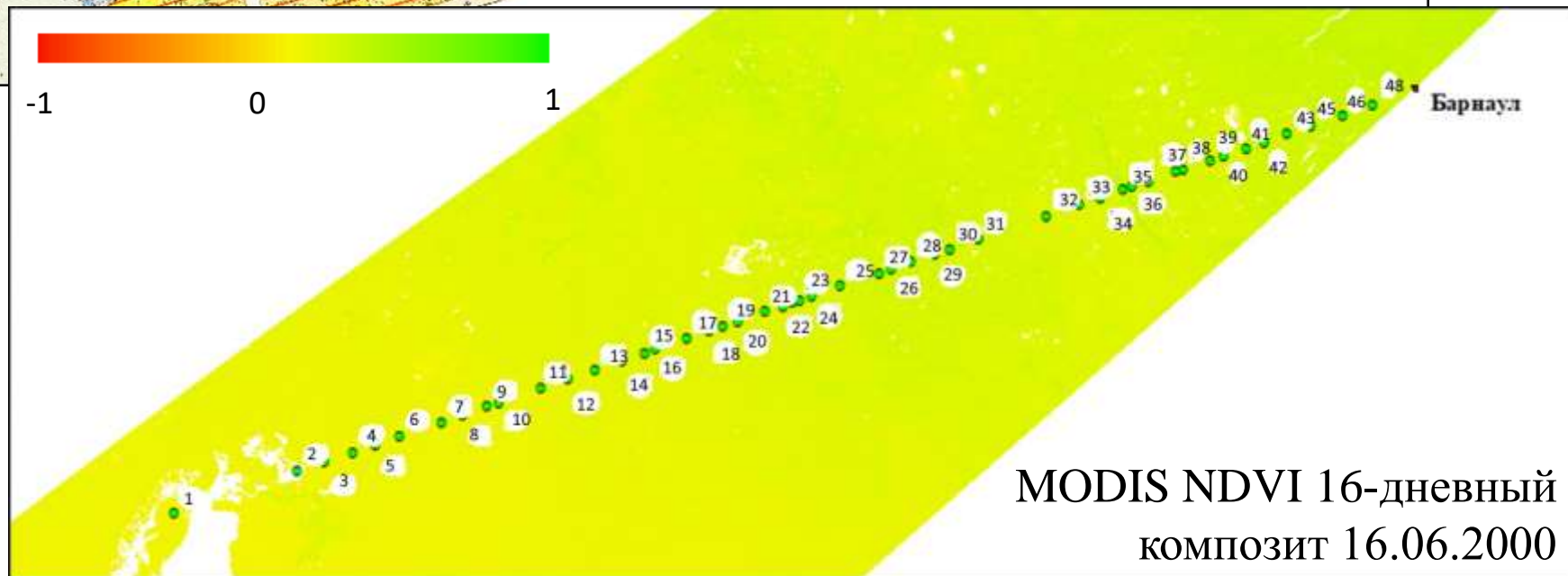
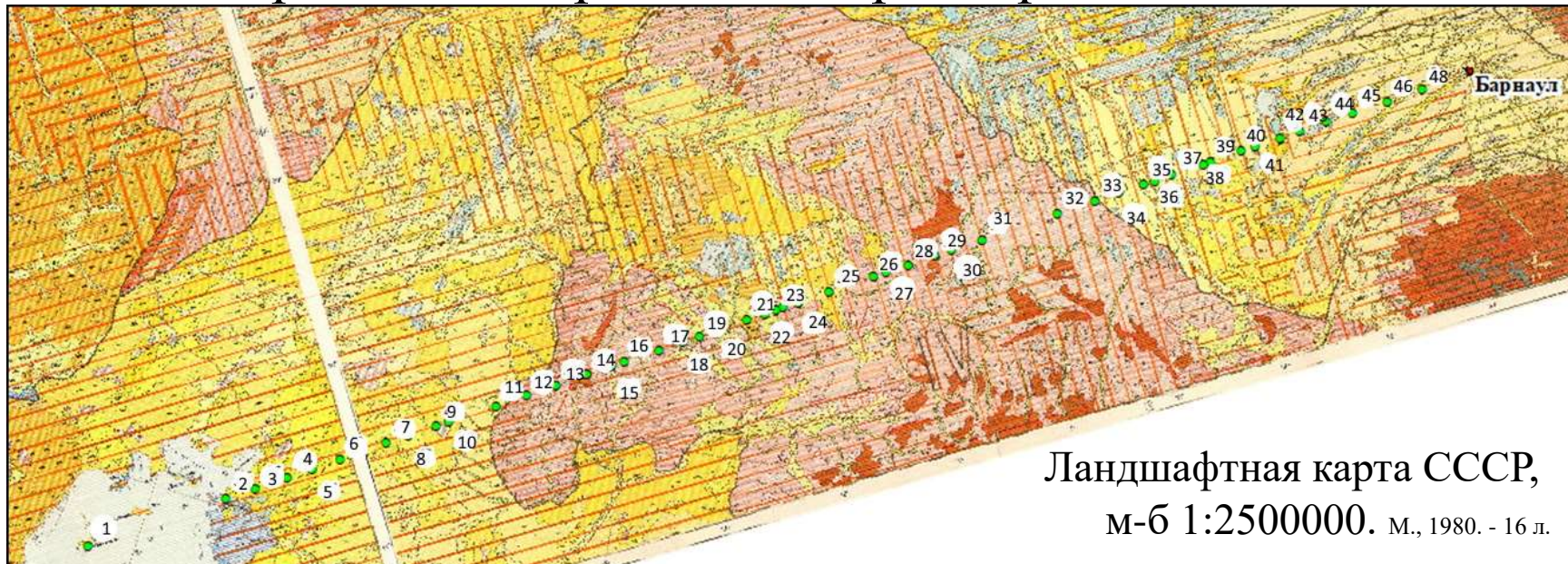


# Территория исследования Трансекта «Аральское море - Приобское плато»



<https://www.google.com/maps/>

# Территория исследования Трансекта «Аральское море - Приобское плато»



Трансекта пересекает четыре ландшафтных зоны.  
Полученные индексы NDVI им соответствуют:

- $\leq 0.1$  – пустынные
- 0.2-0.3 – полупустынные
- 0.4-0.5 – степные
- 0.6-0.7 – лесостепные



Приаральские Каракумы

<https://silkadv.com/en/content/priaralskie-karakumy>



Казахский мелкосопочник.

Талдысай

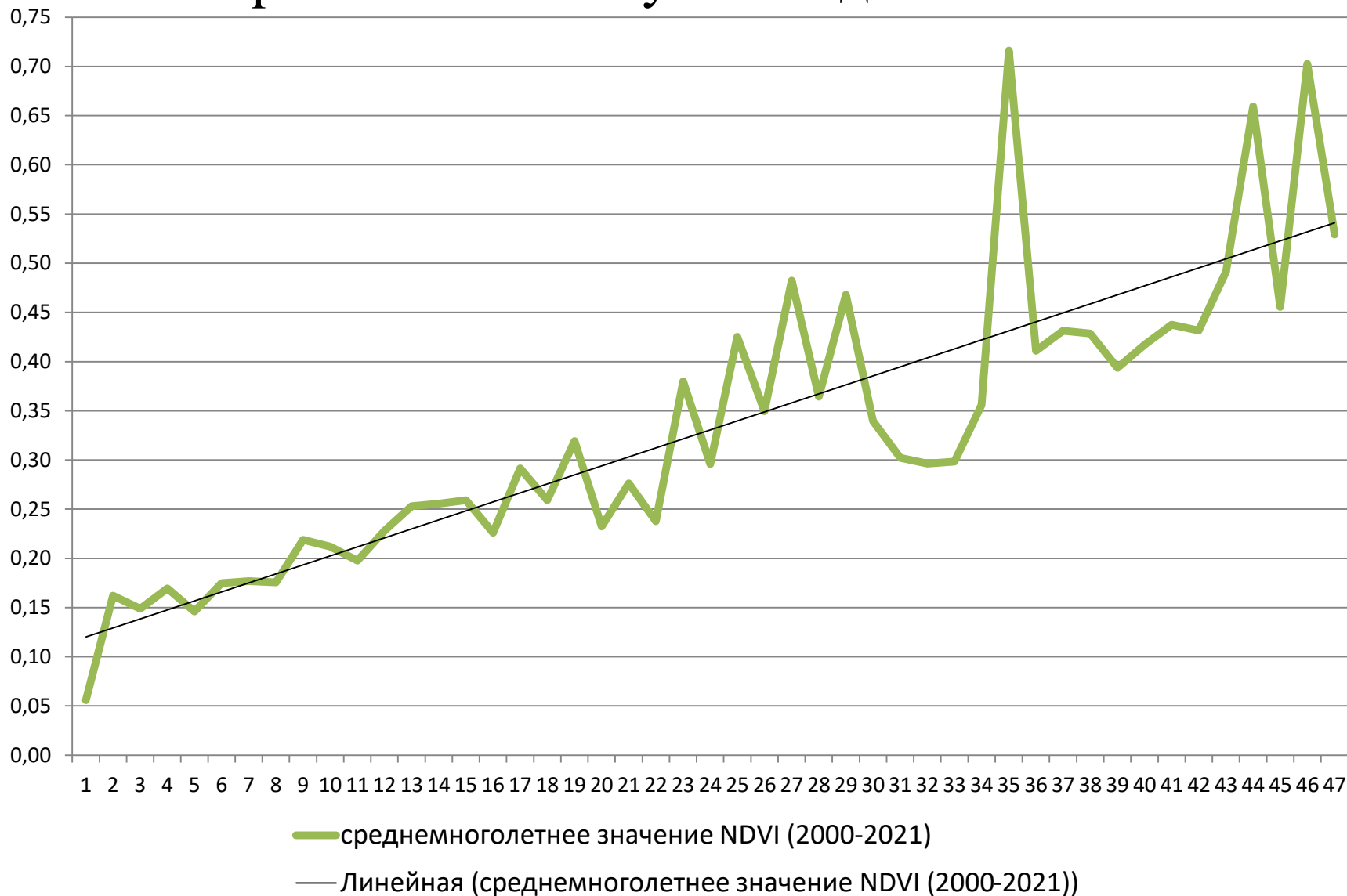
<https://e-history.kz/ru/news/show/3844>

Приобское плато



Кулундинская степь

# Общий тренд значений NDVI – увеличение от 0,13 до 0,54 в направлении с юго-запада на северо-восток трансекты – от пустыни до лесостепи





Минимальные значения NDVI находятся западнее р. Иртыш и относятся к одному роду ландшафта – сухостепные аккумулятивно-денудационные аллювиальные равнины.

Максимум значений NDVI относится к интразональным типам ландшафта - сухостепные аккумулятивно-денудационные озерно-аллювиальные равнины – и лесостепные типы.

# Распределение значений NDVI по месяцам и ландшафтными зонам

№ пп	май_2	июнь	июнь_2	июль	июль_2	август	август_2	сентябрь	№ пп	май_2	июнь	июнь_2	июль	июль_2	август	август_2	сентябрь
48	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	24	0,41	0,37	0,32	0,30	0,26	0,25	0,23	0,23
46	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	23	0,53	0,52	0,52	0,45	0,40	0,36	0,32	0,30
45	0,18	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	22	0,47	0,43	0,41	0,36	0,33	0,29	0,26	0,24
44	0,20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	21	0,53	0,58	0,57	0,53	0,49	0,43	0,38	0,35
43	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	20	0,42	0,39	0,37	0,38	0,36	0,36	0,33	0,31
42	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	19	0,54	0,54	0,52	0,51	0,48	0,46	0,38	0,32
41	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	18	0,38	0,38	0,38	0,36	0,35	0,32	0,29	0,26
40	0,21	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	17	0,26	0,31	0,31	0,38	0,33	0,30	0,28	0,25
39	0,28	0,24	0,23	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	16	0,31	0,31	0,30	0,31	0,31	0,28	0,28	0,27
38	0,27	0,23	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	15	0,34	0,30	0,28	0,32	0,31	0,29	0,28	0,27
37	0,26	0,22	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	14	0,39	0,38	0,36	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31
36	0,29	0,26	0,23	0,23	0,21	0,20	0,20	0,20	13	0,72	0,84	0,85	0,84	0,78	0,68	0,56	0,47
35	0,32	0,28	0,26	0,25	0,24	0,22	0,22	0,22	12	0,38	0,40	0,41	0,45	0,44	0,43	0,41	0,38
34	0,32	0,32	0,29	0,26	0,23	0,22	0,20	0,19	11	0,48	0,47	0,46	0,46	0,43	0,40	0,39	0,37
33	0,36	0,32	0,28	0,26	0,23	0,22	0,21	0,20	10	0,42	0,43	0,44	0,47	0,45	0,43	0,41	0,37
32	0,28	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	9	0,40	0,41	0,40	0,41	0,40	0,39	0,37	0,37
31	0,39	0,34	0,31	0,28	0,27	0,25	0,25	0,24	8	0,35	0,45	0,51	0,51	0,47	0,39	0,35	0,30
30	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23	0,23	0,23	7	0,41	0,44	0,47	0,49	0,48	0,43	0,40	0,36
29	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	0,25	6	0,33	0,49	0,52	0,56	0,47	0,42	0,37	0,30
28	0,27	0,26	0,24	0,23	0,23	0,21	0,20	0,21	5	0,39	0,56	0,67	0,66	0,52	0,44	0,37	0,32
27	0,38	0,32	0,29	0,27	0,25	0,25	0,23	0,23	4	0,66	0,69	0,71	0,69	0,68	0,68	0,61	0,55
26	0,32	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	3	0,33	0,52	0,63	0,63	0,50	0,42	0,32	0,28
25	0,35	0,37	0,44	0,45	0,42	0,39	0,33	0,30	2	0,68	0,74	0,78	0,78	0,74	0,68	0,65	0,57
									1	0,37	0,59	0,72	0,73	0,60	0,48	0,40	0,34

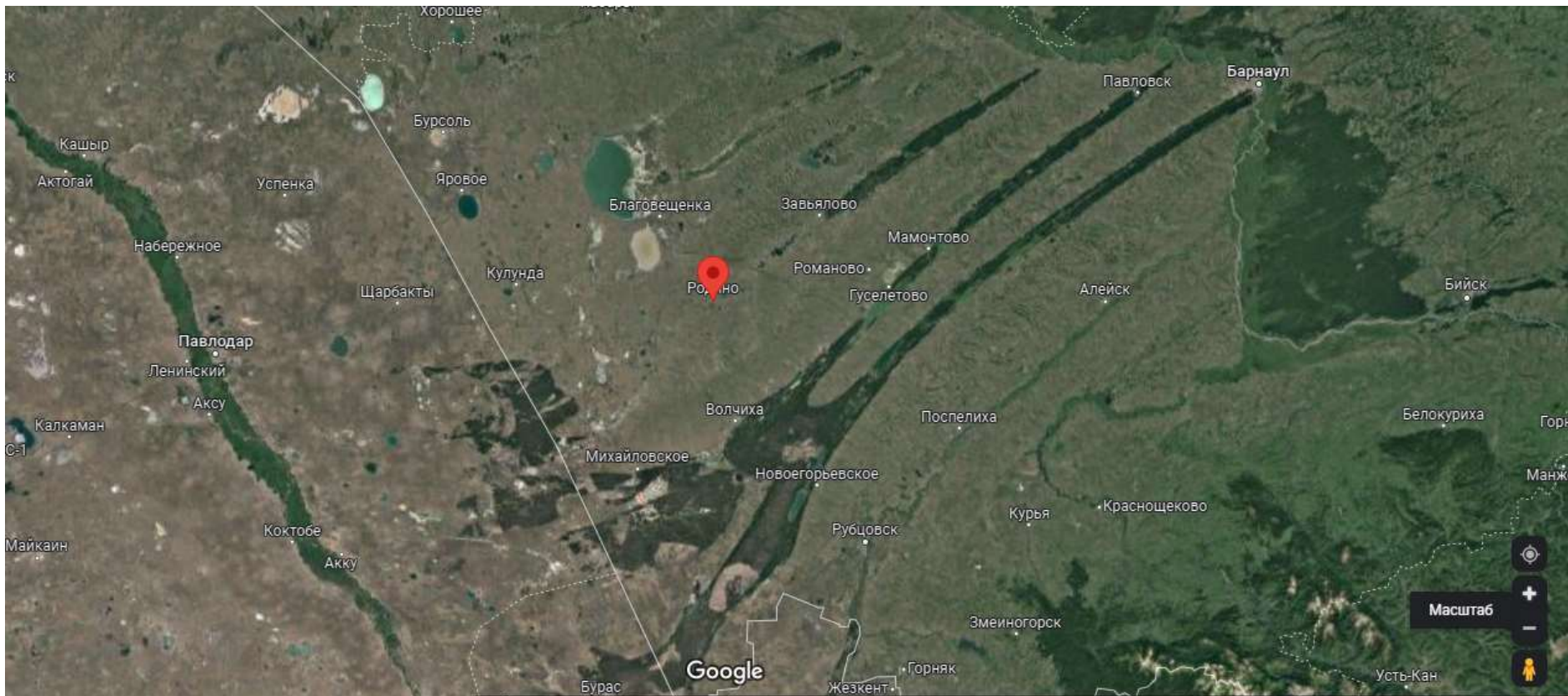
Наблюдается четкое разделение  $\max$  и  $\min$  значений NDVI по ландшафтными зонам внутри вегетационного периода.

Для пустынных и полупустынных территорий максимум приходится на вторую половину мая и первую половину июня. При этом для пустынных территорий значения индекса меняются не значительно в течение всего сезона.

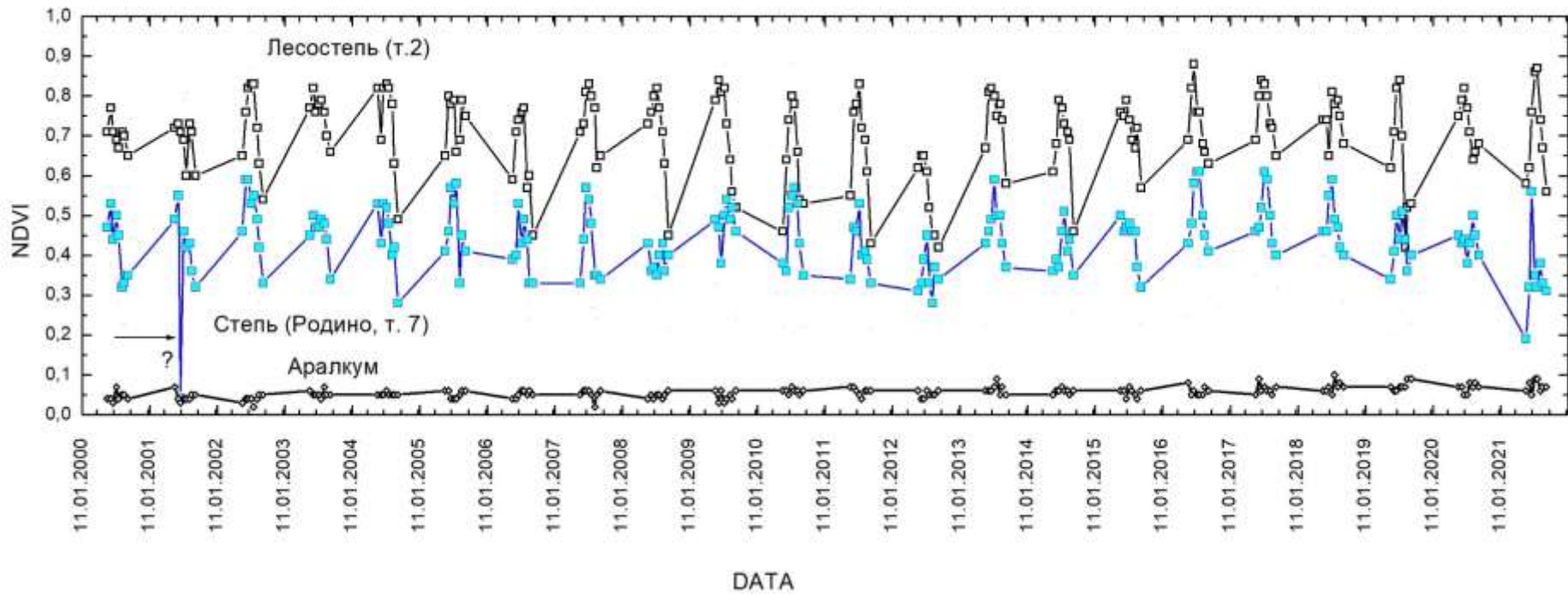
Для сухостепных территорий максимальные значения характерны во второй половине мая и весь июнь. Для точек, относящихся к типично степным ландшафтам добавляется первая половина июля.

Максимум в лесостепных ландшафтах приходится на конец июня-начало июля.

# Точка №41 «Родино»



# Многолетняя динамика NDVI для тестовых участков

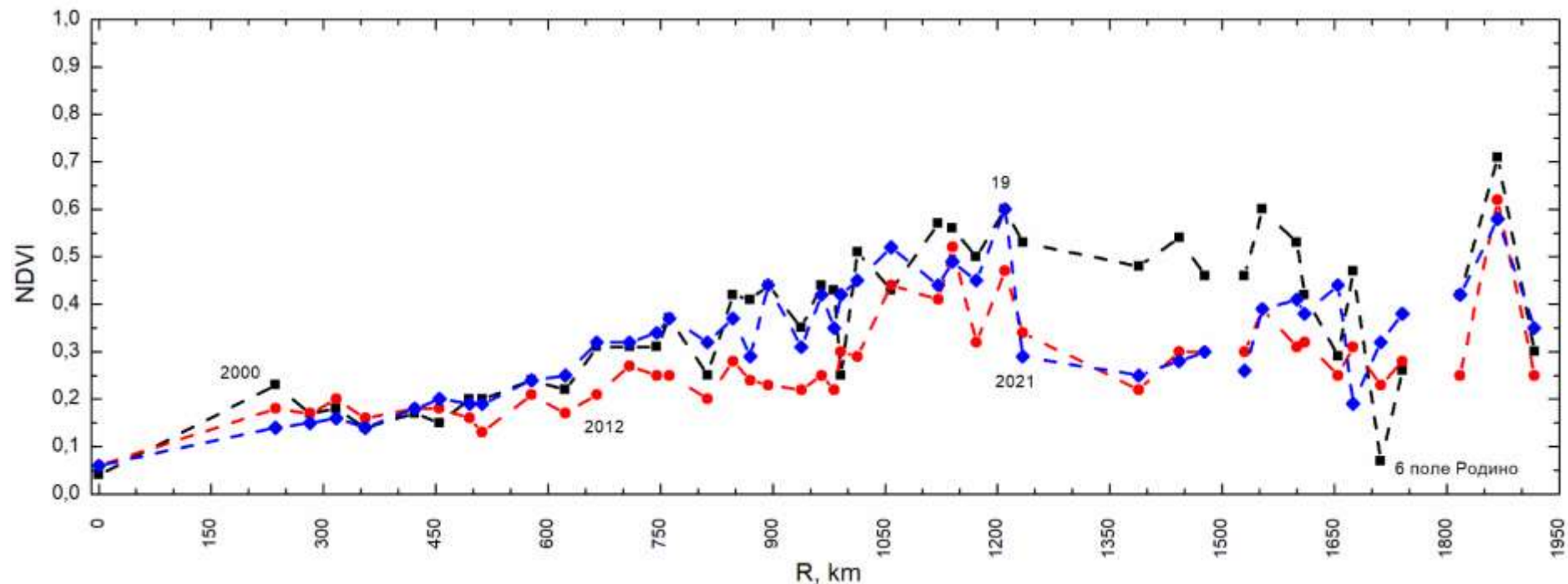


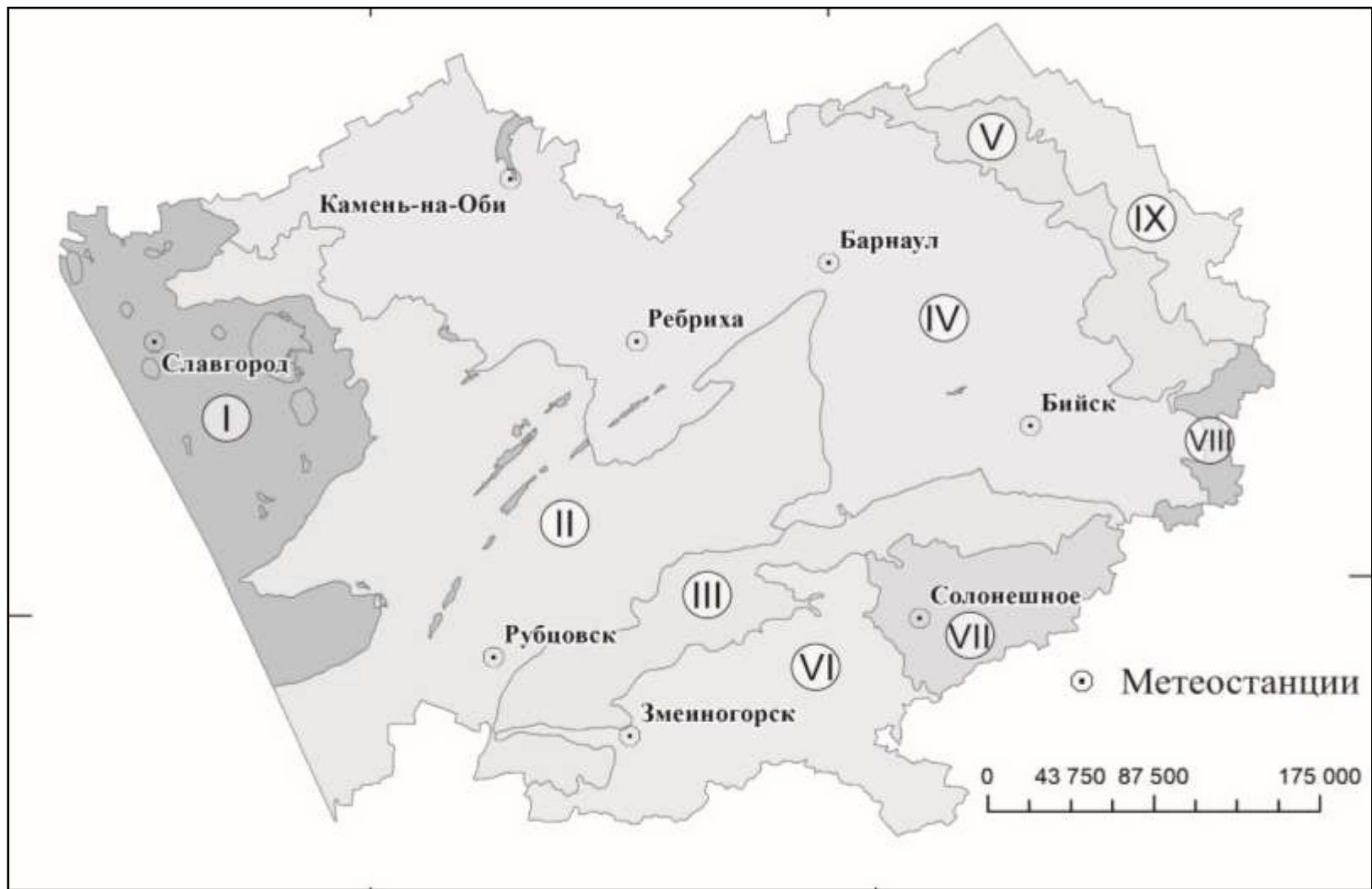
Минимальные значения NDVI приходятся на **2000, 2008 и 2020** годы. Абсолютные минимумы в **2012** г.

Эти значения совпадают с официальными, инструментально отмеченными атмосферной и почвенной засухой, суховеями на территории Алтайского края и Восточного Казахстана. Сопровождались большим числом природных пожаров и гибелью посевов.



# Изменение значений NDVI в засушливые годы в зависимости расстояния от пустыни Аралкум (точка №1)





Метеорологические станции Алтайского края (Ландшафтная карта., 2016).

Степная зональная область: I. Кулундинская, II. Южно-Приалейская, III. Предалтайская провинции.

Лесостепная зональная область: IV. Верхне-Обская, V. Предсалаирская провинции. Алтайская горная область: VI. Северо-Западная Алтайская, VII. Северо-Алтайская, VIII. Северо-Восточная Алтайская провинции.

Салаиро-Кузнецко-Алатауская горная область: IX. Салаирская провинция.



# Тенденции изменения климатических параметров метеостанций Алтайского края за период 1966-2018 гг.

МС	Температура					Количество осадков				
	Тенденция среднег. тем-ры	Зима	Весна	Лето	Осень	Тенденция среднег. кол-ва осадков	Зима	Весна	Лето	Осень
Барнаул	↑↑	↑ 2	↑2,4	↑0,8	↑1,3	↑↑	↑15	↑ 7	↑25	↔
Бийск	↑↑	↑2,4	↑2,4	↑ 1	↑0,9	↓	↓30	↑ 10	↓17	↔
Славгород	↑↑	↑ 3	↑ 2	↑ 1	↑1,2	↓	↓14	↓ 8	↓11	↔
Рубцовск	↑↑	↑3,1	↑ 1,9	↑0,8	↑ 1	↔	↓22	↔	↑20	↔
Ребриха	↑	↑2	↑1,7	↑0,2	↑0,6	↓	↓50	↔	↑24	↔
Солонешное	↑	↑2,4	↑ 1,7	↑0,8	↔	↑↑	↑15	↑↑ 45	↑32	↔
Камень-на-Оби	↑↑	↑ 2	↑ 2,2	↑ 1	↑ 1	↑	↑10	↑ 10	↑ 5	↑ 14
Змеиногорск	↑	↑2,3	↑ 1	↑ 1	↑ 1	↔	↔	↓11	↑ 8	↔

↔ - изменения статистически незначимы или их нет

↓ - уменьшение

↑ - увеличение

↑↑ - увеличение температуры более, чем на 1,5 С° или количества осадков – более, чем на 40 мм.

Для оценки гидротермических условий (сочетания температуры и осадков) был использован гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова

$$\text{ГТК} = R * 10 / \Sigma T,$$

где R – сумма осадков за период с температурой выше 10 °С, мм;

$\Sigma T$  – сумма температур воздуха за период с температурой выше 10 °С.

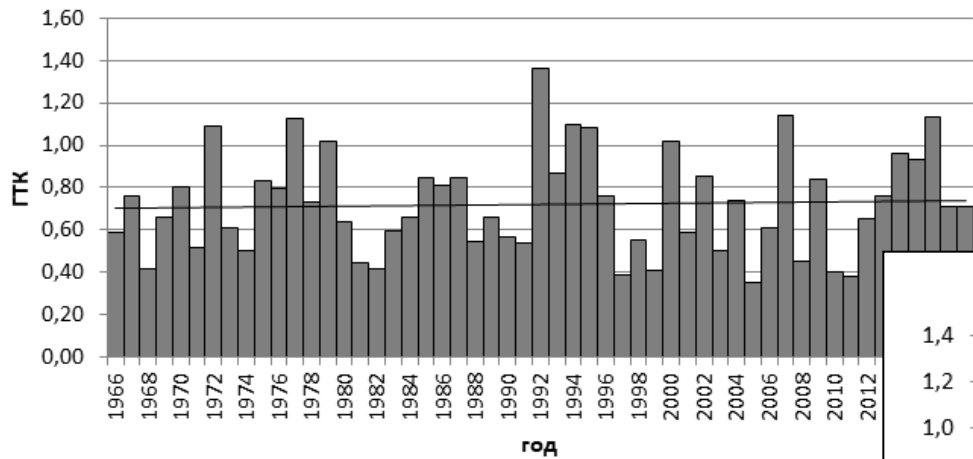
Обеспеченность растений влагой определяется в зависимости от значений ГТК:

<0,4 – сухая зона;	0,41-0,7 – очень засушливая;
0,71-1,0 – засушливая;	1,1-1,3 – слабо засушливая;
1,31-1,6 – влажная зона;	>1,6 – избыточно влажная зона.

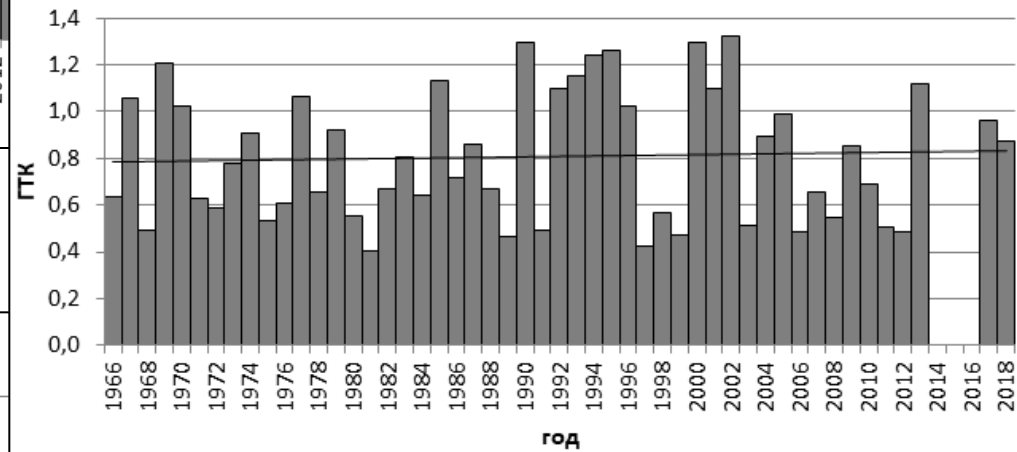
Динамика изменения индекса ГТК за 1966-2018 гг. по метеостанциям в российской части исследуемой территории имеет разнонаправленный тренд.

# Наблюдается общий рост тренда коэффициента ГТК для метеостанций Рубцовск, Ребриха и Камень-на-Оби

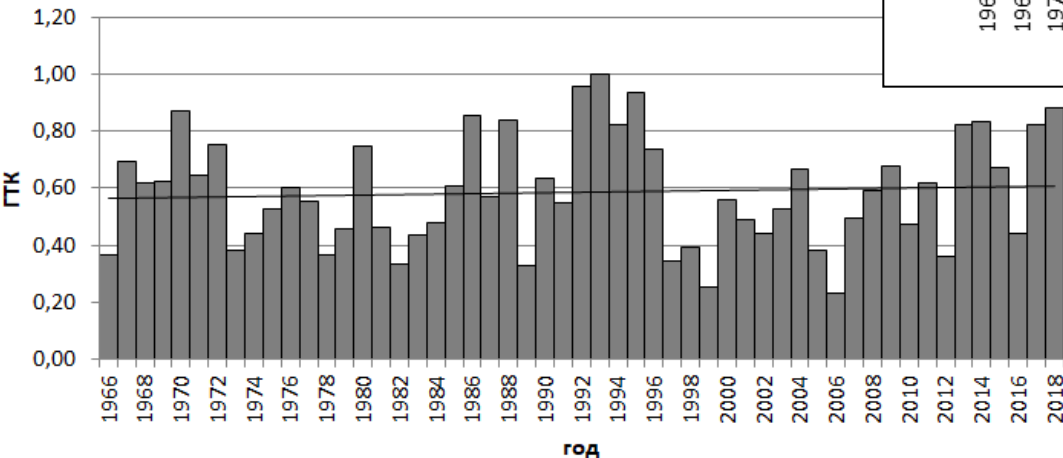
## Рубцовск



## Ребриха

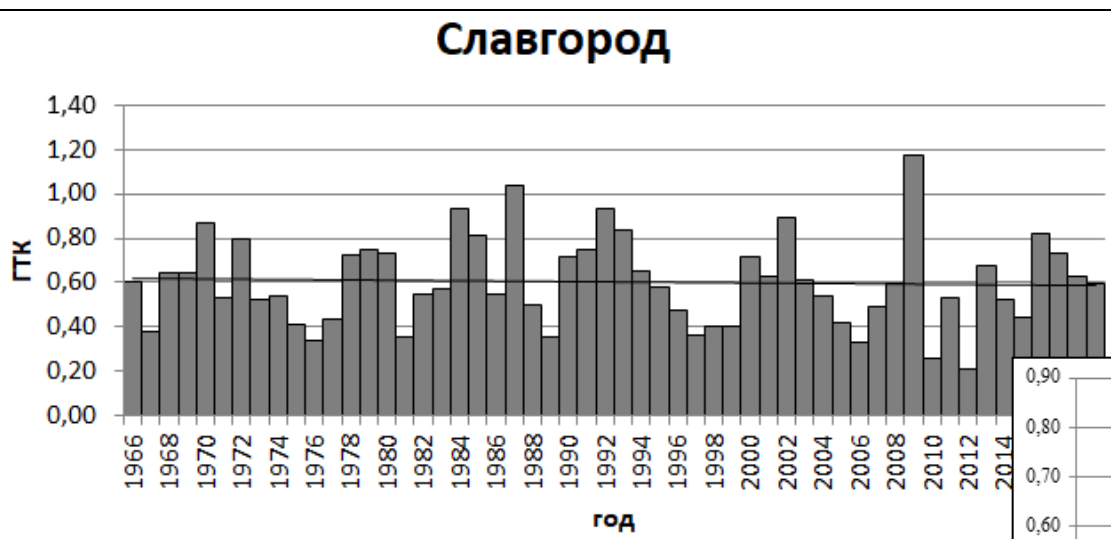


## Камень-на-Оби

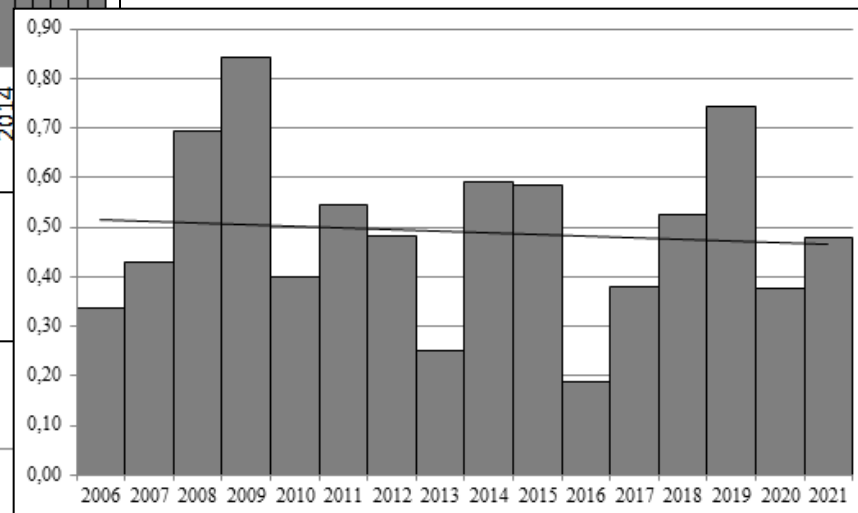


# Общий спад тренда коэффициента ГТК для метеостанций Кулунда, Славгород и Бийск

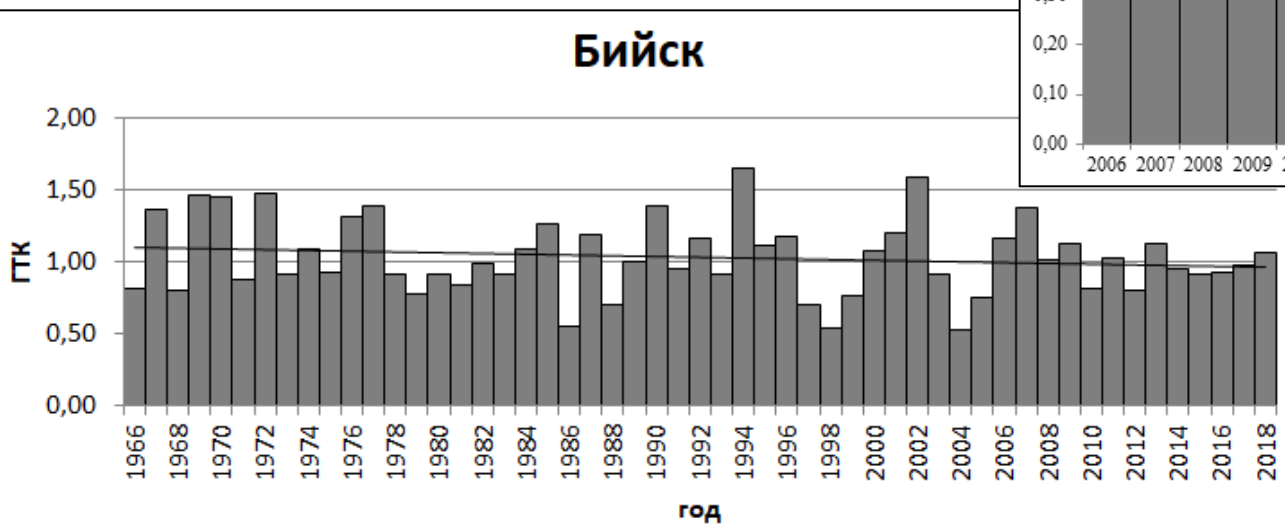
## Славгород



## Кулунда



## Бийск



С помощью расчётного индекса ГТК Селянинова выявлены изменения повторяемости очень сильных и сильных засух.

Наибольшее число отмечено на МС в степной зональной области: Камень-на-Оби и Славгород – 49,1% лет с сильными засухами и 3,8% - с очень сильными.

Для МС Ребриха и Рубцовск за исследуемый период очень сильных засух не отмечено, сильных засух – 28,3% и 35,8% соответственно.

Градации значений ГТК:

$\leq 0,3$  - очень сильные засухи

0,31-0,6 - сильные засухи

0,61-0,8 - средние засухи

$\geq 0,81$  - слабые засухи

# Выводы

- Отмечены значительные изменения температур, гидротермических характеристик и значений индекса NDVI переходных сезонов – май и сентябрь.
- Значительное снижение значений индекса NDVI характерно для большинства точек трансекты с мая по первую половину июля.
- В отношении влагообеспеченности отмечается аридизация климата.
- Использование вегетационных индексов для установлении зависимостей климатических изменений осложняется разнообразными природным условиям в зональном направлении, а также пересечением зональных областей (ленточные боры, растительность вдоль рек, предгорная и горная растительность).

# Спасибо за внимание

Исследование выполнено при поддержке  
гранта РФФИ № 22-17-20041

<https://rscf.ru/project/22-17-20041>

[plutalova.tg@gmail.com](mailto:plutalova.tg@gmail.com)

[romanov\\_alt@mail.ru](mailto:romanov_alt@mail.ru)