

Опыт интеграции наземных измерений и данных дистанционного зондирования для определения структурных характеристик растительности аридных ландшафтов

Шинкаренко Станислав

К.С.-Х.Н.

с.н.с. Отдела технологий спутникового мониторинга

Москва, 11 ноября 2024

Проблемы мониторинга состояния травянистой растительности

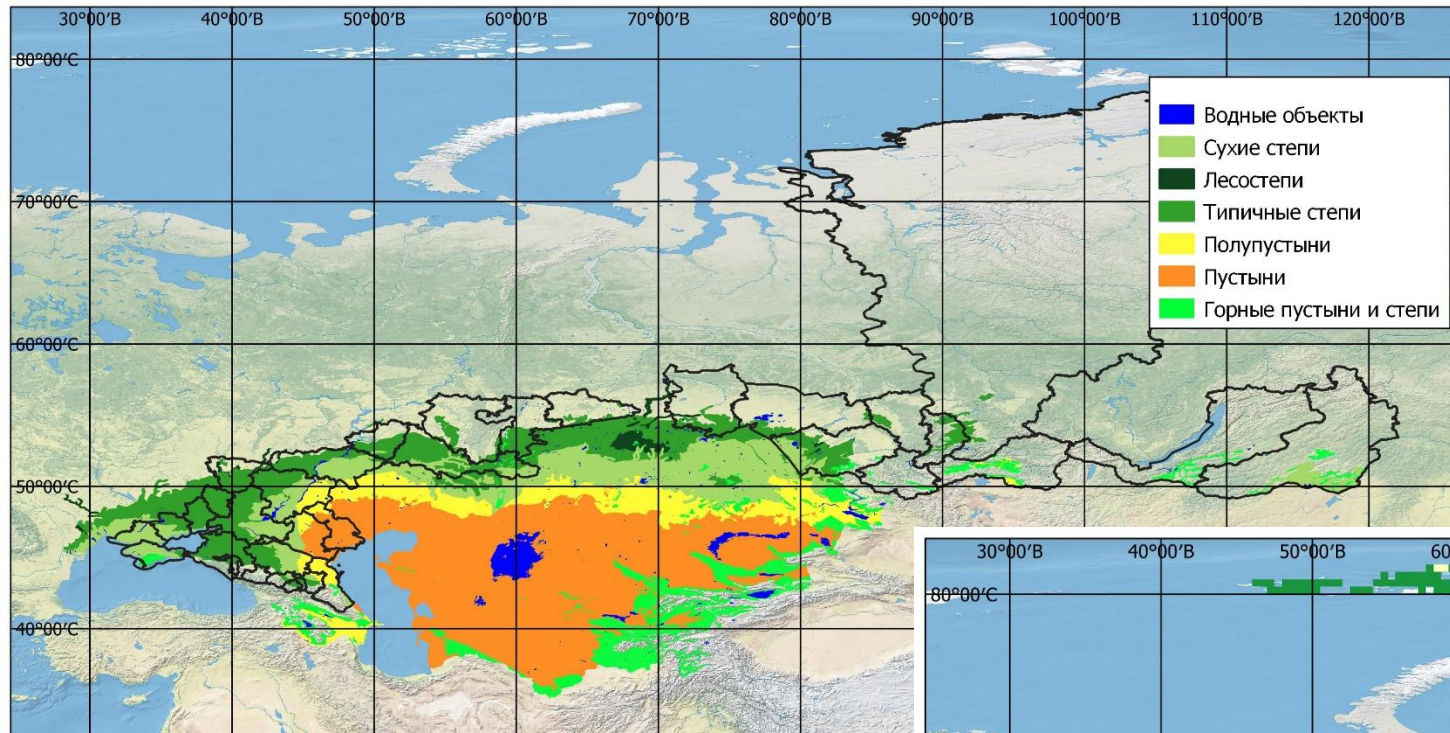
- Многолетняя и внутригодовая динамика
- Значительное видовое разнообразие
- Неоднородность и недостаток наземных данных
- Подземная фитомасса зачастую превышает надземную
- Отсутствие полноценной инвентаризации
- Интразональные варианты зачастую превышают по площади зональные

Исследования начаты в рамках гранта РФФИ 19-35-60007 «Пространственно-временные закономерности динамики состояния аридных пастбищных ландшафтов на основе анализа спектрально-отражательных свойств»,

Продолжаются в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 124060500032-7)

Данные ДЗЗ получены и обработаны с использованием ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (рег. № 122042500031-8)

Аридные ландшафты России



Ландшафтная карта СССР (ред. Исаченко, 1988)

~110 млн га

Коэффициент увлажнения:

$KУ = \text{сумма осадков} / \text{испаряемость} *$

Зоны:

<0.2 – аридная

0.2-0.5 – семиаридная

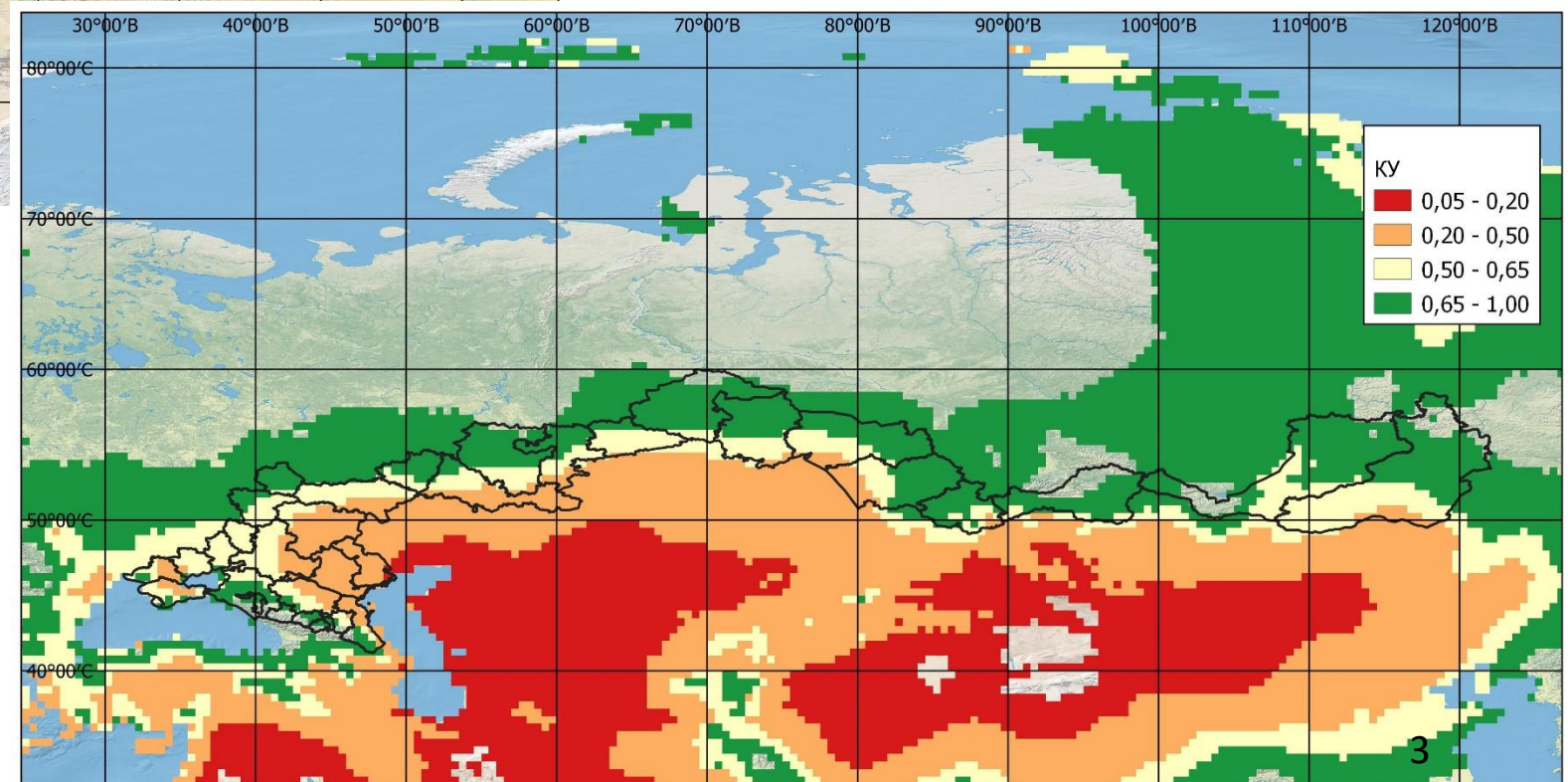
0.5-0.65 – сухая субгумидная

~130 млн га

*Исходные данные CRU TS 4.07

Harris et al., 2020

DOI:10.1038/s41597-020-0453-3



Роль «естественных» зональных аридных ландшафтов

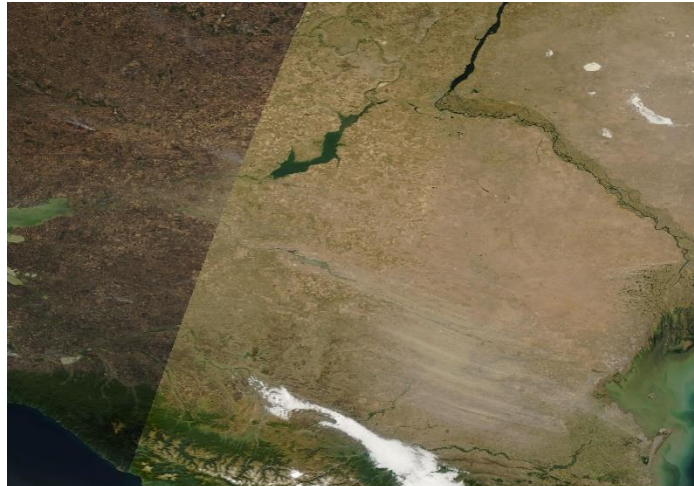
- Неисчерпаемый источник кормовых ресурсов (при правильном использовании)
- Сохранение биоразнообразия
- Депонирование углерода

Угрозы аридным экосистемам

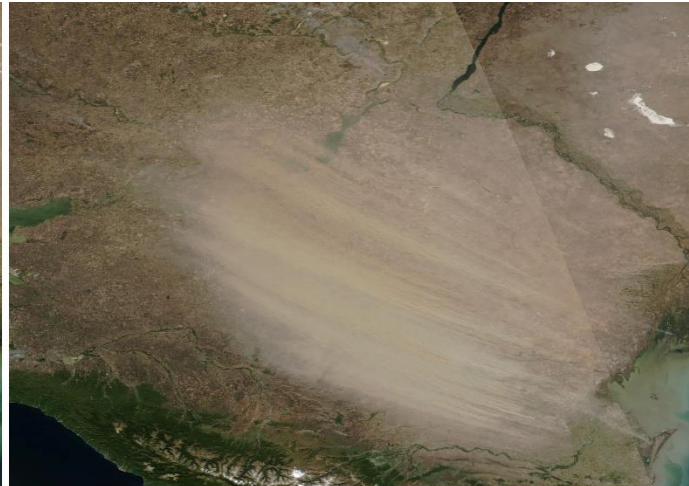
- Чрезмерный выпас и, как следствие, деградация, дефляция и пыльные бури
- Отсутствие выпаса ведет к накоплению мортмассы и пожарам
- Аридизация климата
- Распашка, техногенные нарушения

Деградация аридных ландшафтов

Пыльные бури
29 сентября – 1 октября 2024 г.



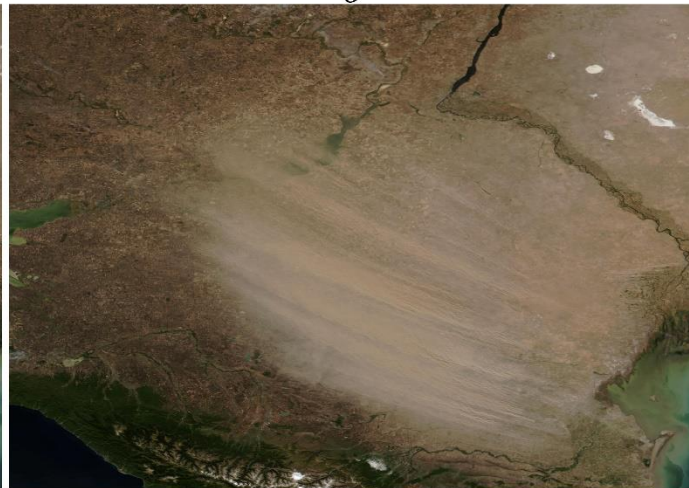
а



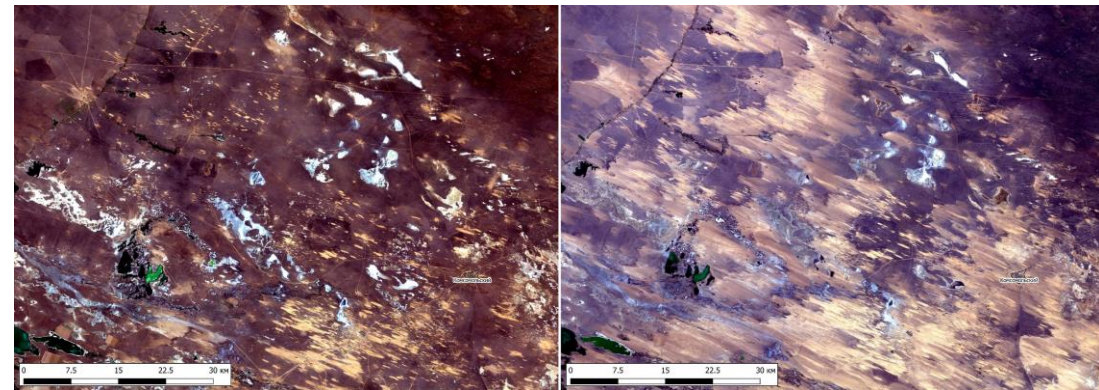
б



в



г



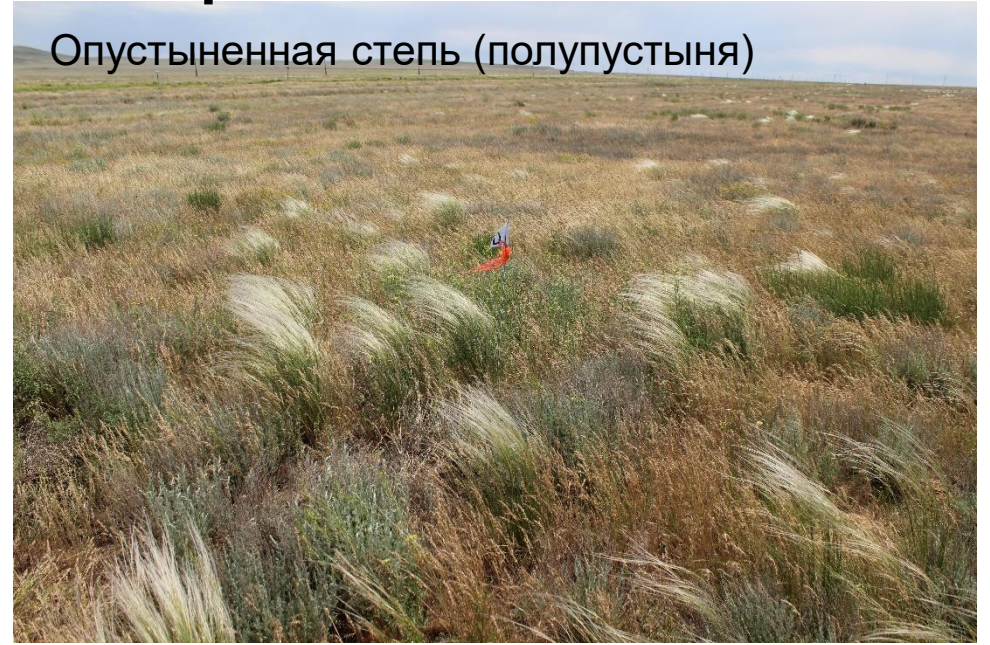
5

Аридные зональные ландшафты России

Сухая степь



Опустыненная степь (полупустыня)



Северная пустыня



Северная пустыня



Аридные азональные и интразональные ландшафты России

Солончаки



Поймы и дельты рек

Солонцы



Псаммофитные и петрофитные варианты степей



Карта сохранившихся степных экосистем (степных массивов) России, 2016 г.



Варианты степей	Площадь, млн га		
	ЕЧ РФ	Сибирь	Всего
1. луговые	0,46	2,18	2,64
2. типичные	3,43	4,00	7,43
3. сухие	1,68	1,08	2,76
4. опустыненные	2,44	0,39	2,83
5. горные	0,22	0,02	0,24
6. степная и интразональная растительность Прикаспия	5,71		5,71
Всего	13,94	7,67	21,62

СОХРАНЕНИЕ СТЕПЕЙ РОССИИ

- Степные новости
- FB-новости
- Библиотека
- Контакты
- Фотогалерея
- Видеоотека

ПРОЕКТ ПРООН/ГЭФ/МИНПРИРОДЫ РОССИИ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ И МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ООПТ В СТЕПНОМ БИОМЕ РОССИИ

КАРТА СТЕПЕЙ | О ПРОЕКТЕ | МЕТОДИКА КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СТЕПНЫХ УЧАСТКОВ | РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА | РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Карта сохранившихся степных экосистем (степных массивов) России

GeoMixer | Карта | Данные | Вид | Инструменты | Сервисы | Справка | Войти

- Республика Калмыкия
- Республика Башкортостан
- Волгоградская область
- Дагестанская Республика
- Краснодарский край
- Оренбургская область
- Пензенская область
- Ростовская область
- Самарская область
- Саратовская область
- Ставропольский край
- Республика Татарстан
- Ульяновская область
- Чеченская Республика

- Азиатская часть
 - Доминанты растительного покрова степей Сибири
 - Степи Сибири
- ООПТ
 - ООПТ России
- Подложка
 - Зональная степная растительность
 - Стилы слов
 - World Grassland Types
 - Геоботаническая карта СССР 1954 год, масштаб 1:1000000

Вернуться к карте
1,196 просмотров

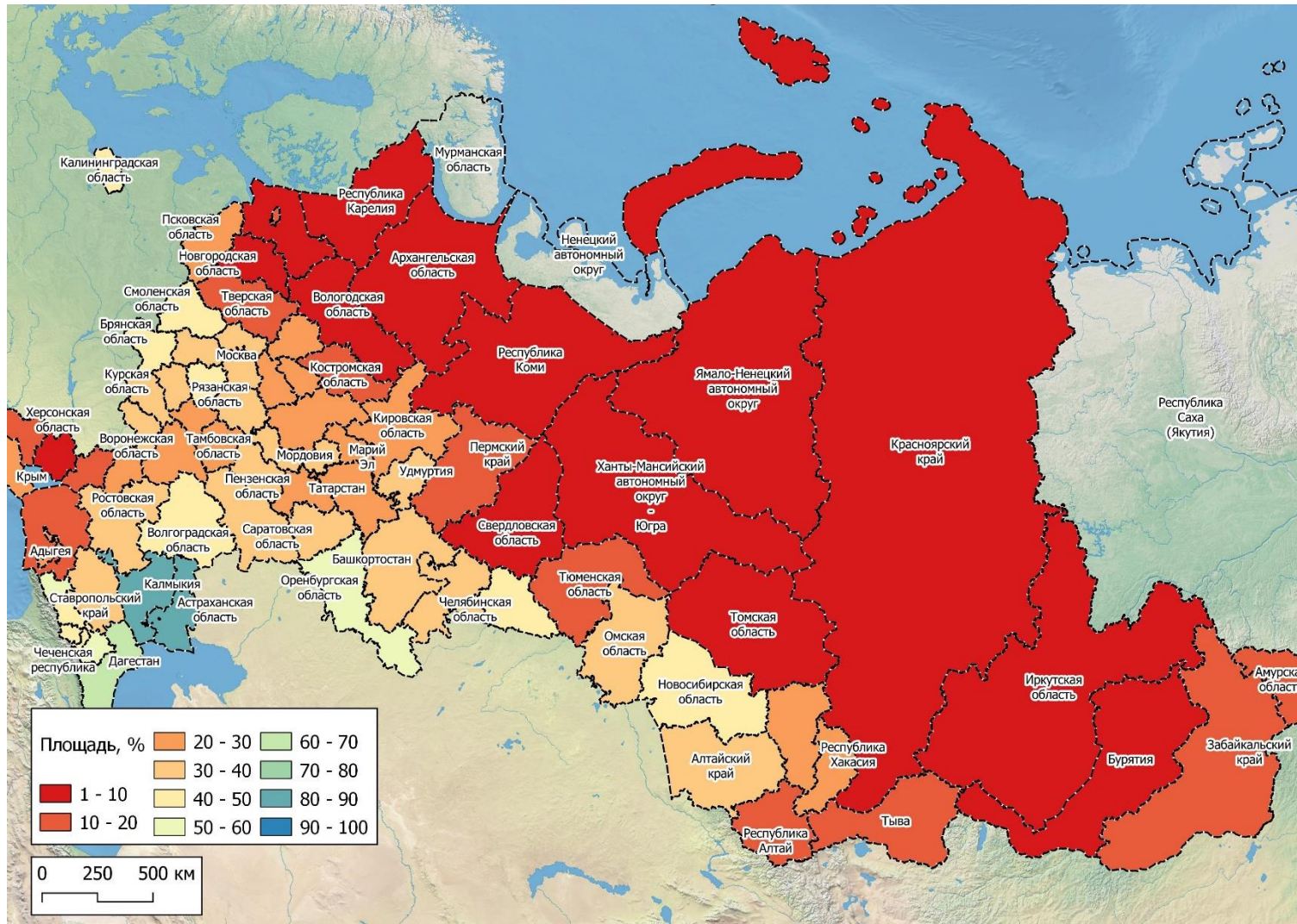
НА ГЛАВНУЮ | СТЕПНЫЕ НОВОСТИ | СТЕПНОЙ ФОТОАЛЬБОМ | ВИДЕОТЕКА | ГЛОССАРИЙ | КОНТАКТЫ

© 2010-2015 Сохранение степей России

<http://savesteppe.org/maps>

Площадь луговых и степных экосистем

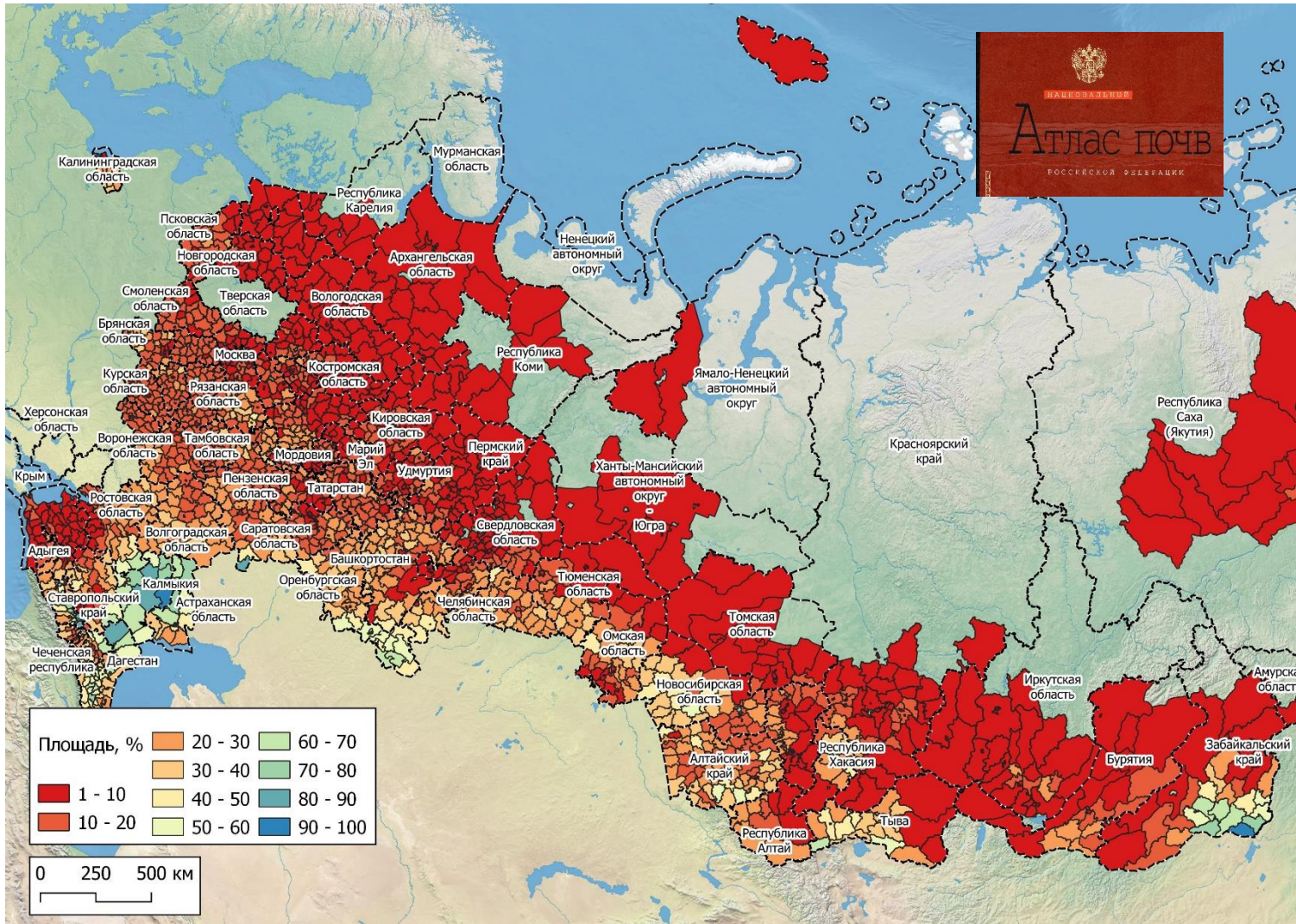
Карта растительности ИКИ РАН 2016 г.



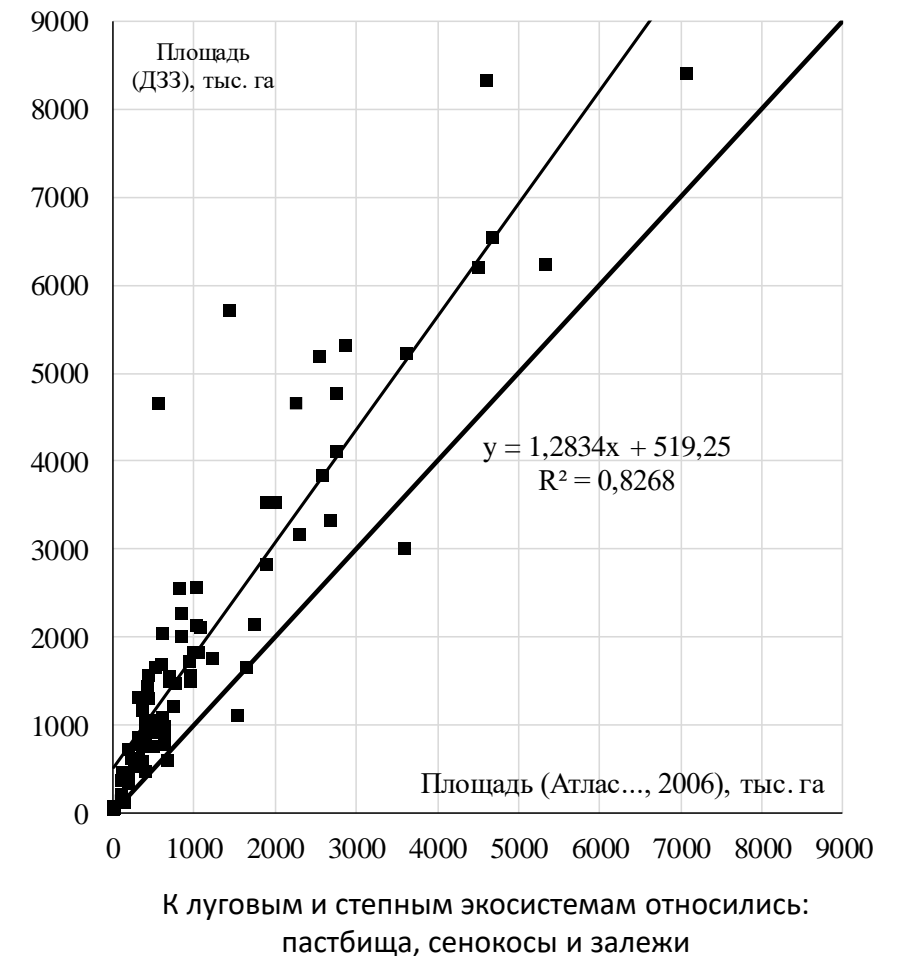
Площадь, млн га			
	Луга	Степи	Всего степи+луга
Вся территория	137,6	32,8	170,4
На 1 февраля 2022	136,3	32,2	168,5
На 1 февраля 2014	135,7	31,7	167,5



Статистические данные о площадях пастбищ, сенокосов и залежей Атлас почв РФ, данные на 2006 г.



Всего с/х угодя	Площадь, млн га					Пастбища Сенокосы Залежи
	Пашни	Залежи	Многолетние насаждения	Сенокосы	Пастбища	
220,5	121,6	5,0	1,8	24,0	68,1	97,0



<https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii>

Площади пастбищ, сенокосов и залежей

Источник	Площадь, млн га						
	Всего с/х угодья	Пашни	Залежи	Многолетние насаждения	Сенокосы	Пастбища	Пастбища+Сенокосы+Залежи
Атлас почв, 2006	220,5	121,6	5,0	1,8	24,0	68,1	97,0
Перепись, 2006	166,0	102,1	13,9	0,8	13,9	35,2	63,1
Перепись, 2016	142,7	94,6	10,5	0,7	10,3	26,5	47,3
Нац. доклад Росреестра, 2022	197,7	116,2	4,4	1,2	18,7	57,1	80,2

Площади луговых и степных экосистем

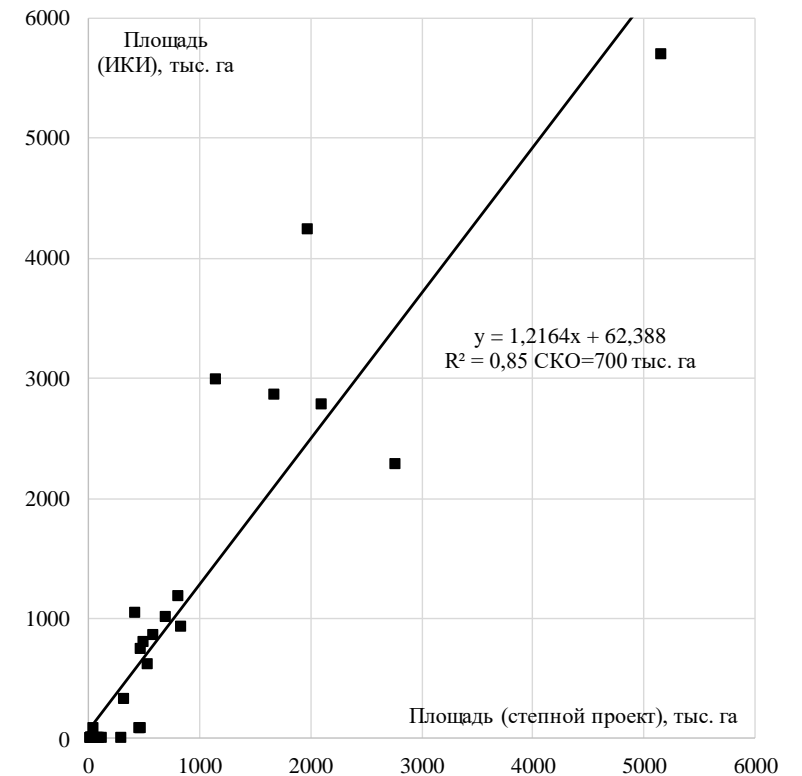
Источник	Площадь, млн га		
	Степи	Луга	Всего
Степной проект, 2016	21,6	-	-
Карта ИКИ РАН, 2016	32,8	137,6	170,4

Значительная часть выделенных экспертами степных участков представлены солонцеватыми, солончаковыми и другими типами лугов.

Эксперты выделяли степные участки площадью больше установленного порога.

Степной проект не включал Заволжье Астраханской области площадью около 1,2 млн га.

В Забайкалье, Волгоградской области и некоторых других регионах большое количество залежей не отнесены экспертами к степной растительности.



Сезонная динамика зональных ландшафтов

16 апреля 2016 г.



24 апреля 2016 г.



Сезонная динамика зональных ландшафтов

14 мая 2016 г.

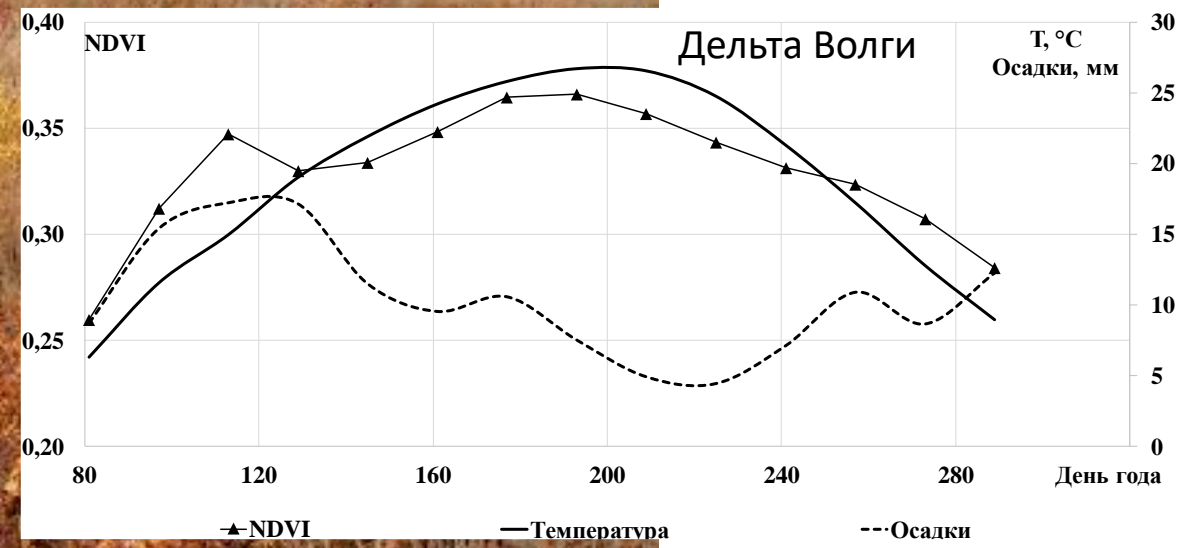
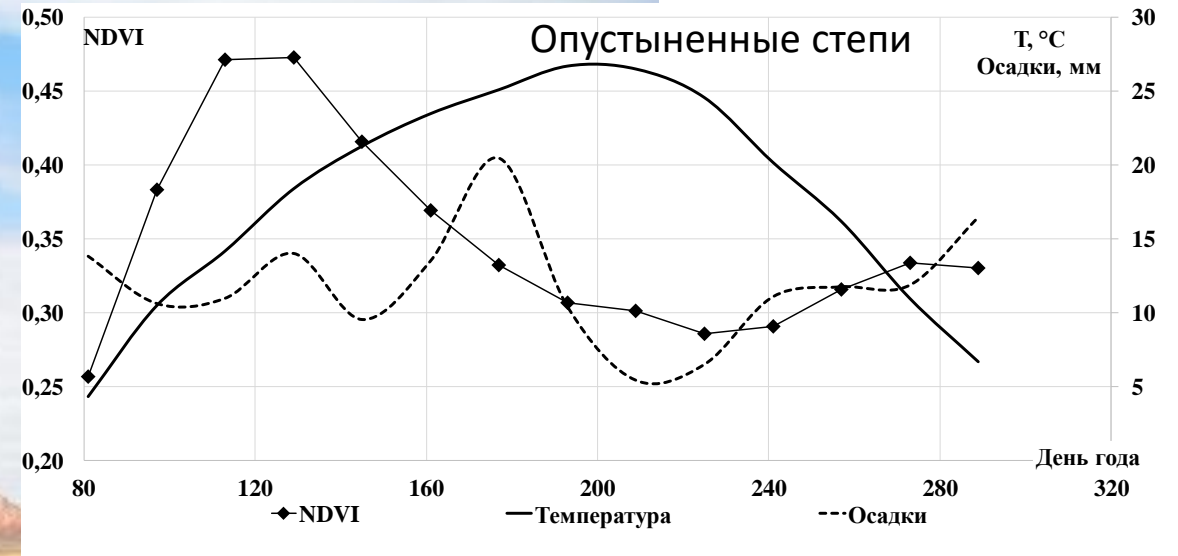


18 июля 2016 г.

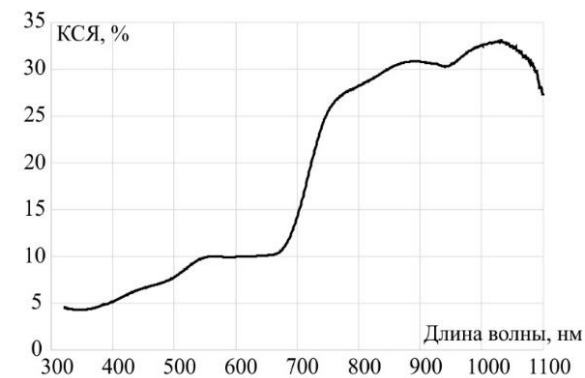
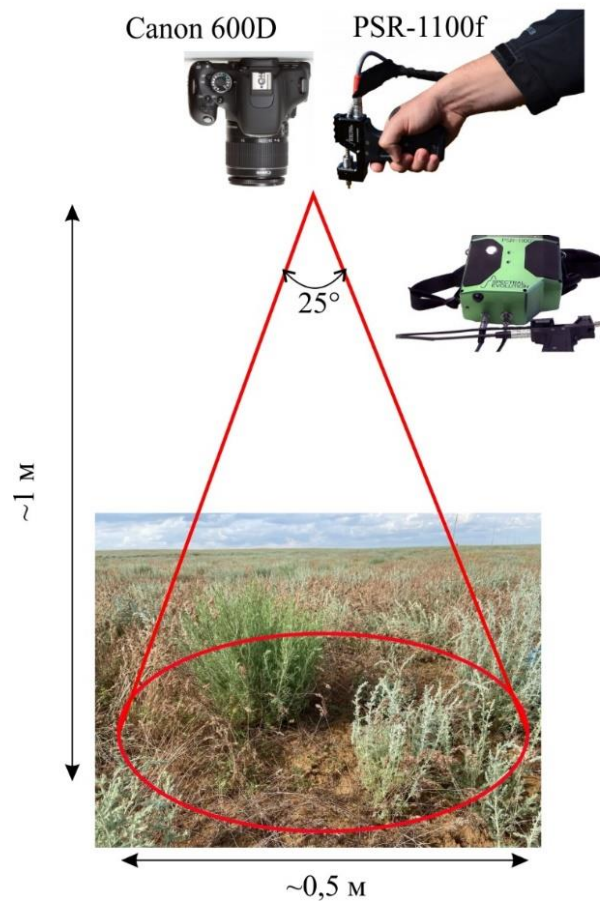


Сезонная динамика ландшафтов

1 октября 2016 г.

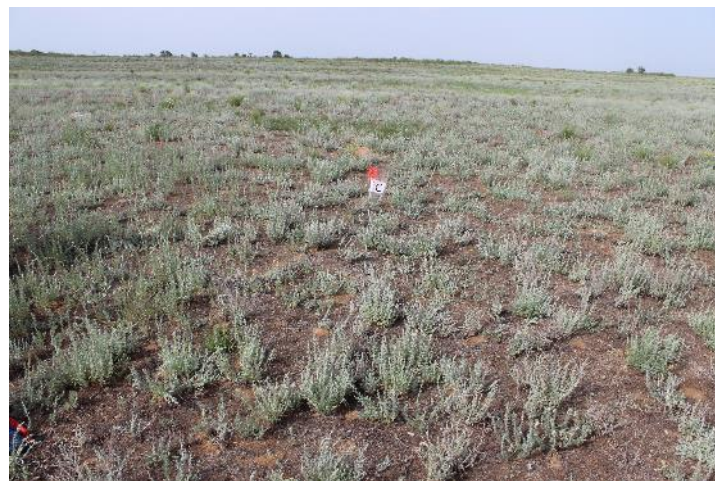
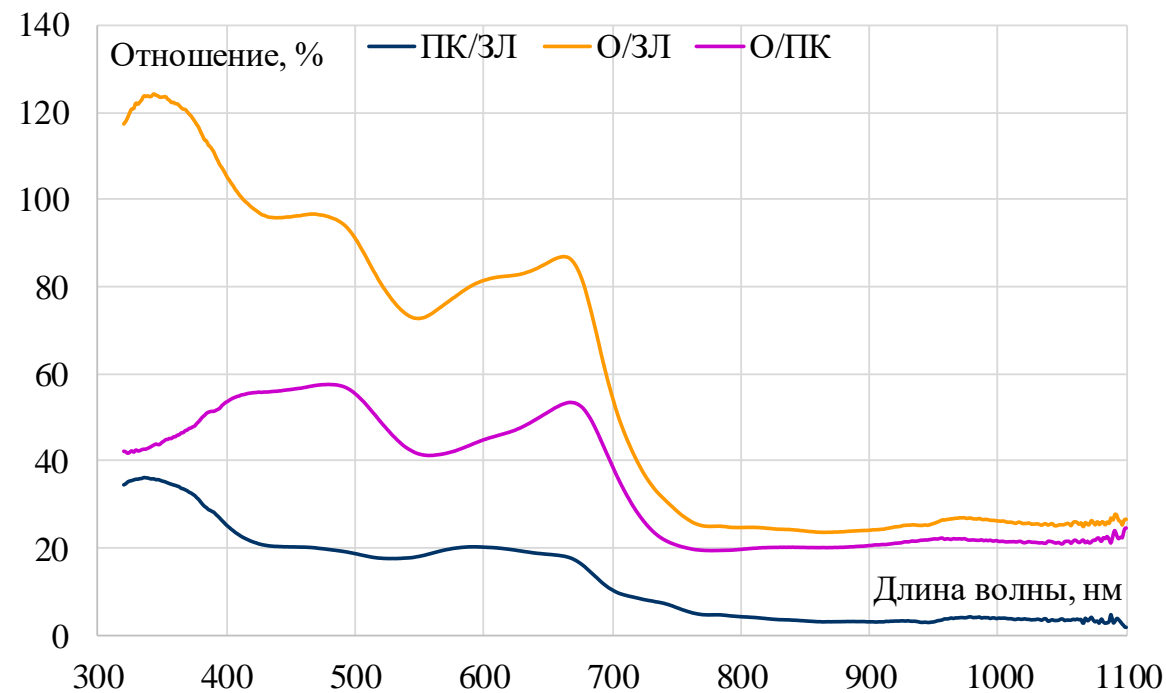
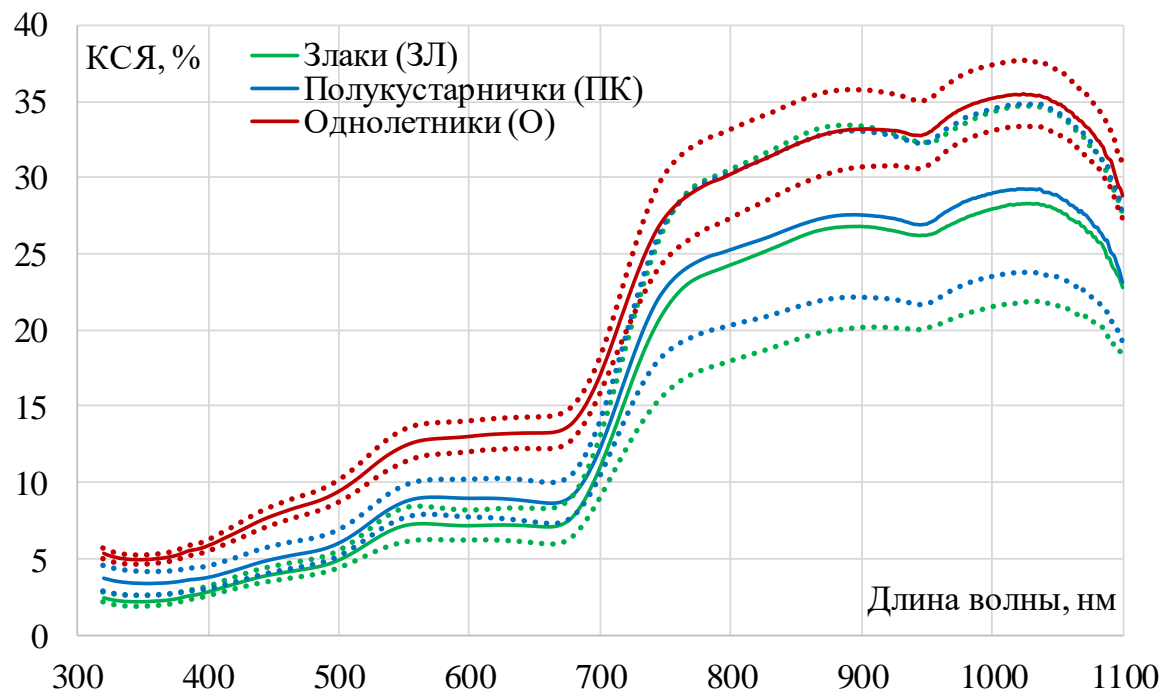


Анализ спектрально-отражательных свойств зональной растительности

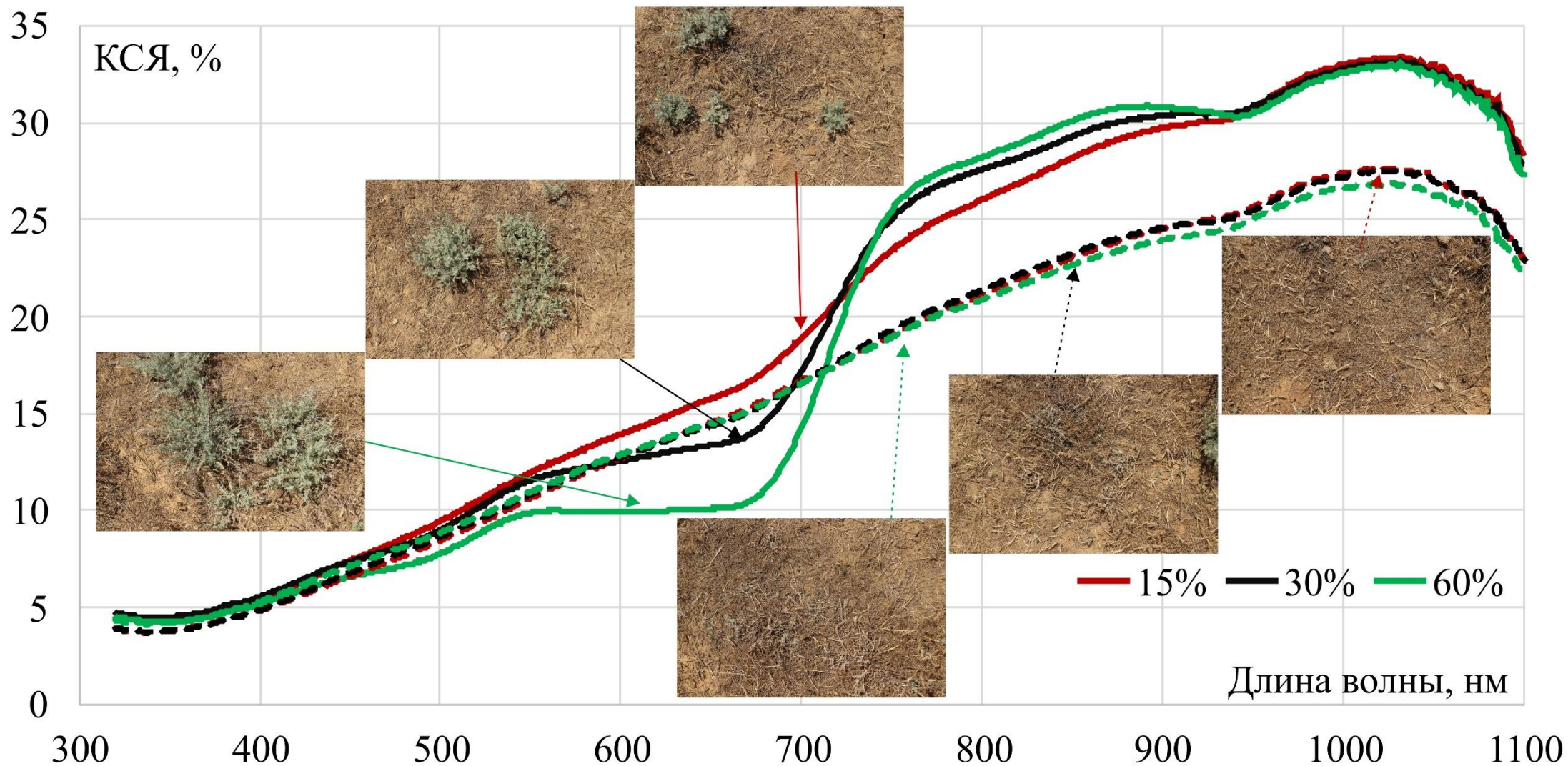


Шинкаренко, Барталев, 2023
DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192

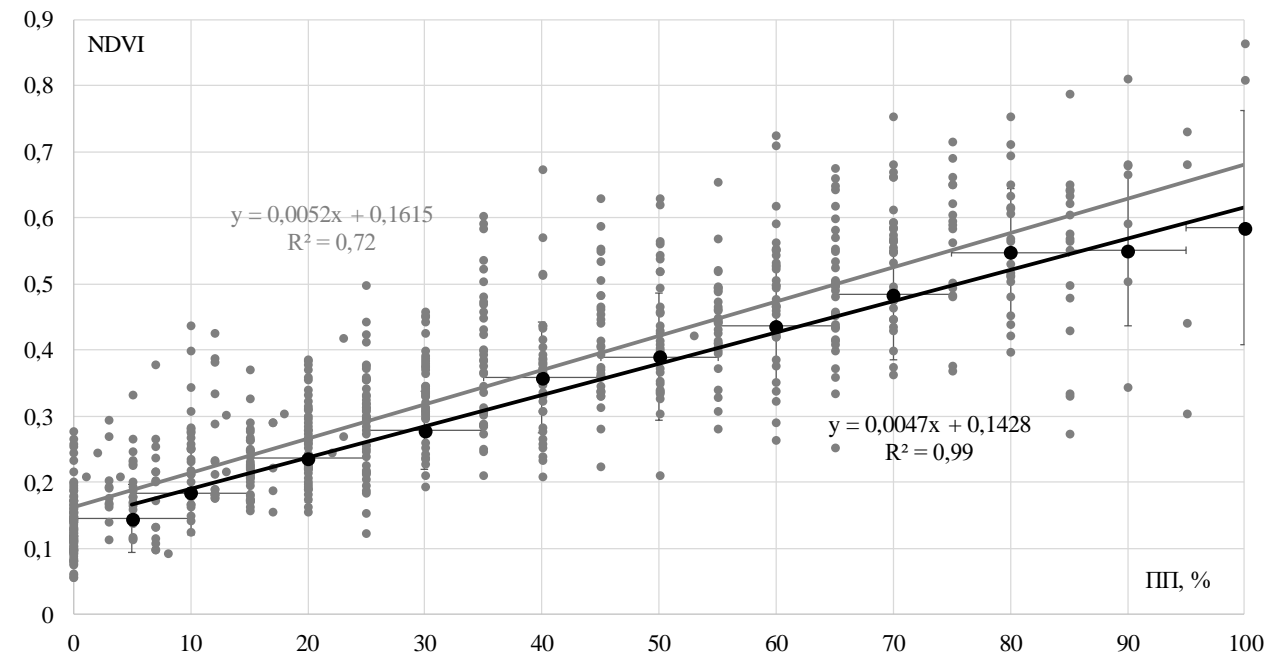
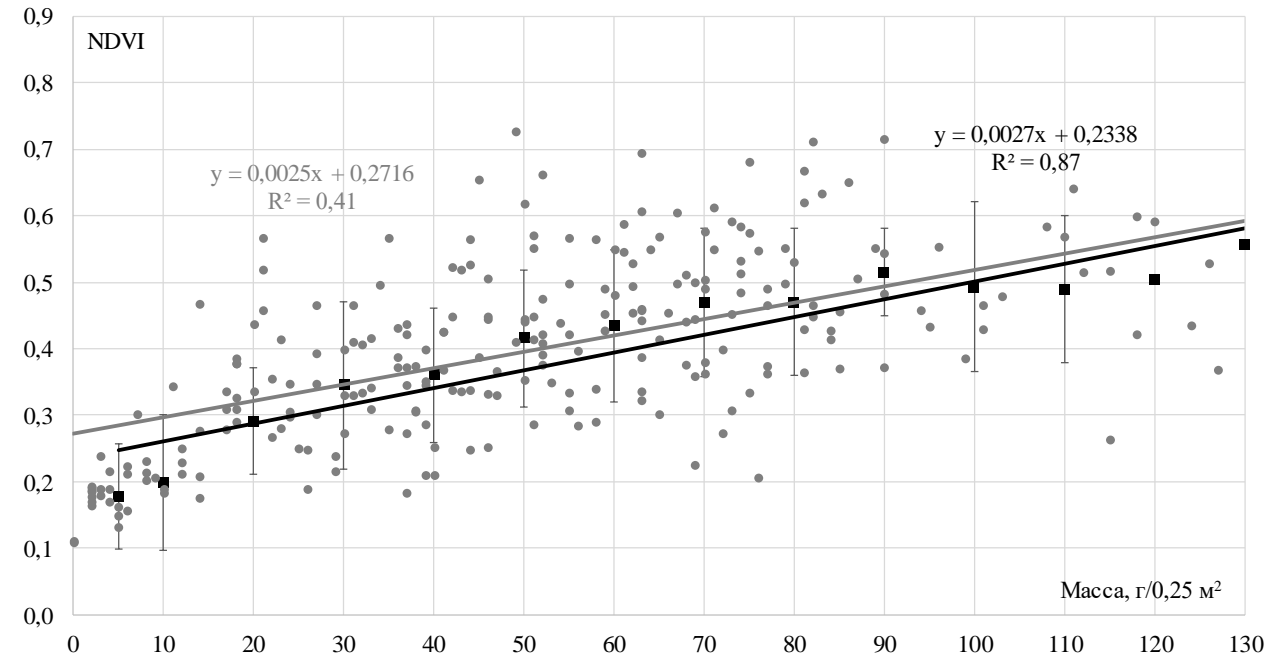
Анализ спектрально-отражательных свойств зональной растительности



Анализ спектрально-отражательных свойств зональной растительности

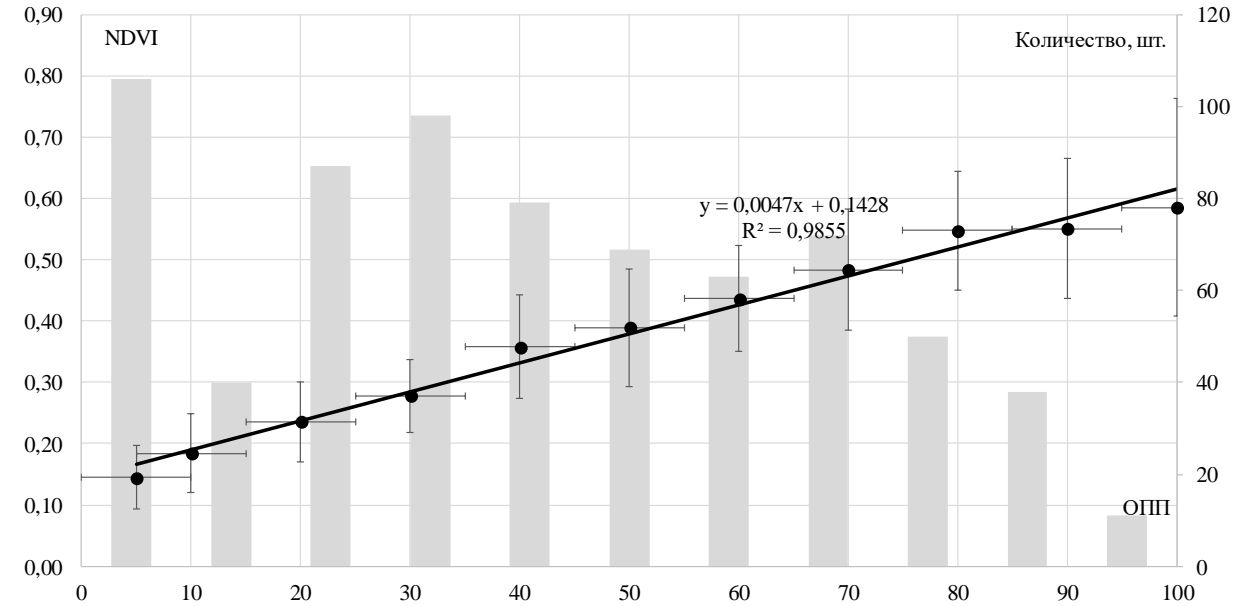


Перспективы картографирования проективного покрытия и фитомассы зональной растительности



Перспективы картографирования проективного покрытия зональной растительности

Доминант	Количество	Коэффициенты корреляции						ВИ
		NDVI	SAVI	EVI	IPVI	MSAVI2	MAX	
Галофиты	32	0,92	0,83	0,82	0,93	0,79	0,93	IPVI
Житняк	35	0,61	0,32	0,29	0,61	0,28	0,61	NDVI
Ковыль	38	0,88	0,77	0,75	0,88	0,72	0,88	IPVI
Прутняк	18	0,65	0,50	0,51	0,65	0,49	0,65	NDVI
Мортук	27	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,95	IPVI
Мятлик	94	0,67	0,60	0,58	0,67	0,58	0,67	IPVI
Осока	4	0,83	0,71	0,69	0,83	0,70	0,83	IPVI
Полевичка	13	0,84	0,87	0,87	0,84	0,87	0,87	MSAVI2
Полынь австрийская	14	0,63	0,52	0,53	0,63	0,50	0,63	IPVI
Полынь белая	139	0,74	0,68	0,69	0,74	0,65	0,74	NDVI
Полынь черная	30	0,82	0,77	0,76	0,82	0,75	0,82	NDVI
Пырей	21	0,76	0,62	0,61	0,76	0,59	0,76	NDVI
Разнотравье	27	0,91	0,87	0,87	0,91	0,86	0,91	IPVI
Рогач	27	0,86	0,84	0,84	0,86	0,50	0,86	NDVI
Рожь	18	0,84	0,70	0,71	0,84	0,66	0,84	IPVI
Ромашник	29	0,82	0,80	0,79	0,82	0,79	0,82	IPVI
Солянка сорная	15	0,93	0,90	0,90	0,93	0,90	0,93	IPVI
Типчак	25	0,13	0,08	0,08	0,13	0,07	0,13	NDVI
Все точки	712	0,85	0,75	0,74	0,84	0,71	0,85	NDVI

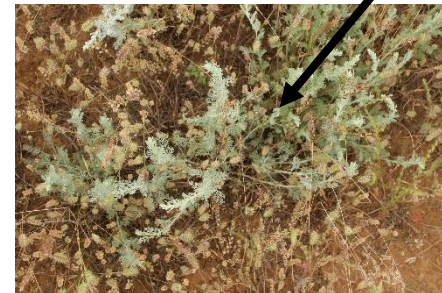
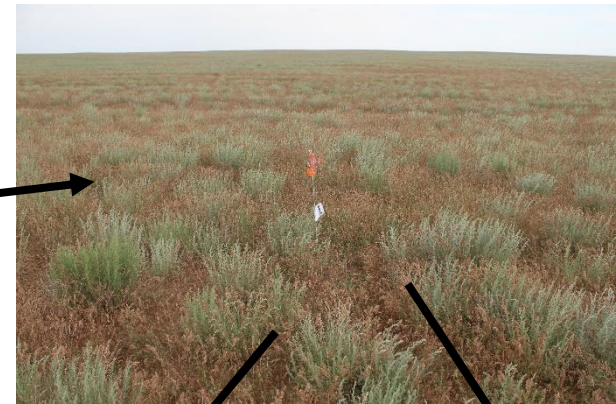
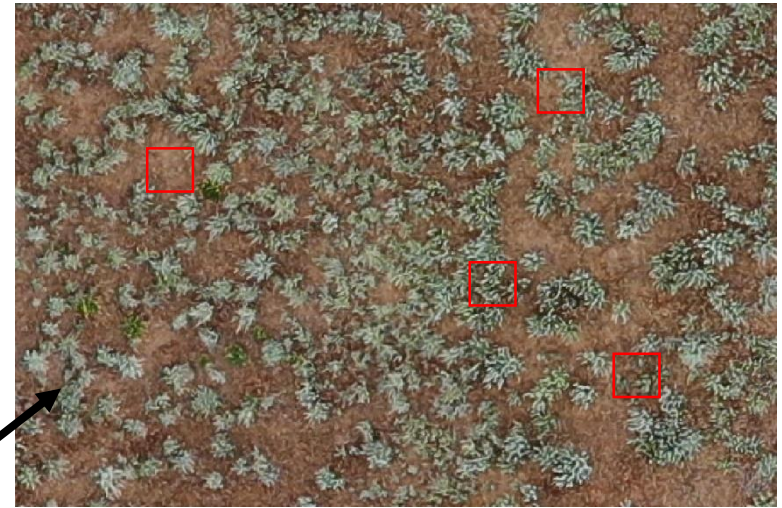


Перспективы картографирования фитомассы зональной растительности

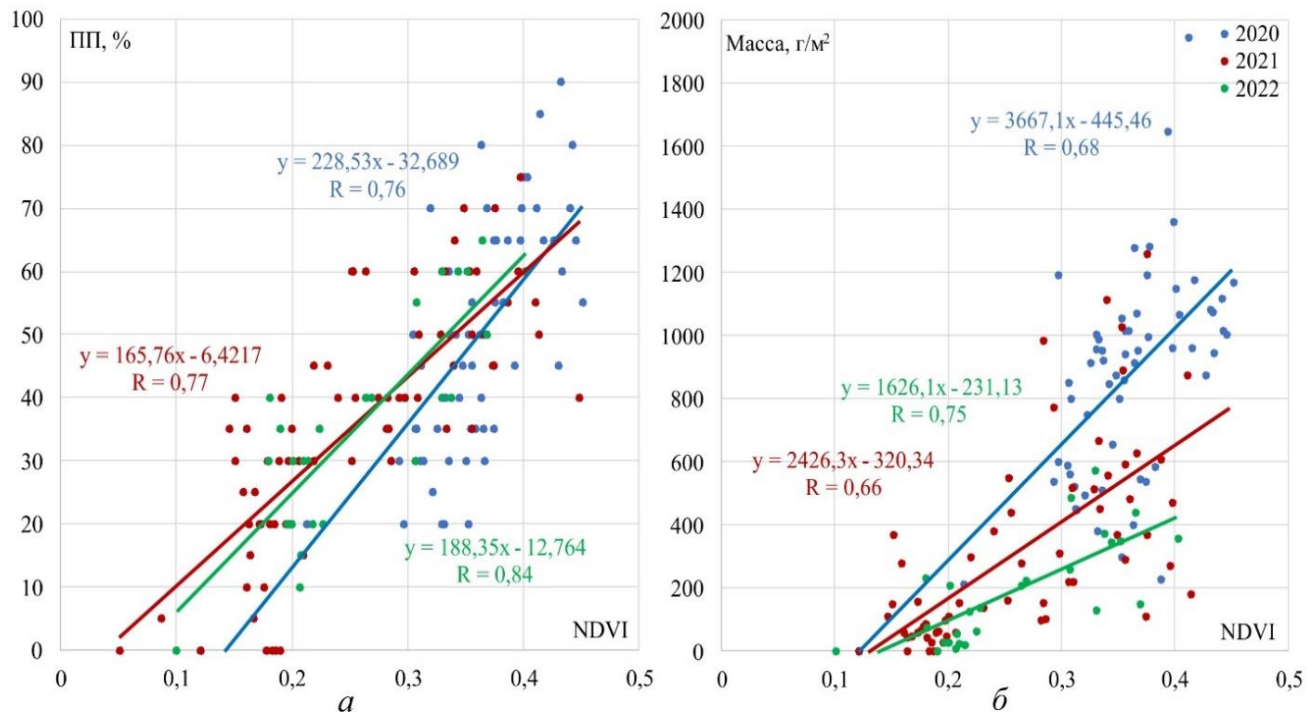
Доминант	Количество	Коэффициенты корреляции						БИ
		NDVI	SAVI	EVI	IPVI	MSAVI2	MAX	
Галофиты	14	0,63	0,56	0,56	0,63	0,54	0,63	IPVI
Житняк	19	0,58	0,70	0,72	0,58	0,72	0,72	EVI
Ковыль	29	0,63	0,54	0,53	0,63	0,50	0,63	IPVI
Прутняк	6	0,85	0,60	0,63	0,85	0,55	0,85	IPVI
Мятлик	31	0,79	0,88	0,89	0,79	0,88	0,89	EVI
Полевичка	11	0,30	0,40	0,38	0,30	0,42	0,42	MSAVI2
Полынь австрийская	14	0,02	-0,07	-0,07	0,02	-0,09	0,02	NDVI
Полынь белая	49	0,53	0,68	0,68	0,53	0,69	0,69	MSAVI2
Полынь черная	10	0,27	0,37	0,35	0,27	0,38	0,38	MSAVI2
Пырей	21	0,55	0,49	0,48	0,55	0,47	0,55	IPVI
Рогач	8	0,64	0,85	0,82	0,63	0,82	0,85	SAVI
Ромашник	10	0,45	0,59	0,55	0,46	0,60	0,60	MSAVI2
Типчак	25	0,40	0,43	0,42	0,40	0,42	0,43	SAVI
Все точки	266	0,64	0,61	0,60	0,64	0,59	0,64	NDVI

Перспективы картографирования фитомассы пастбищной растительности

Весовые коэффициенты в зависимости от встречаемости сообществ



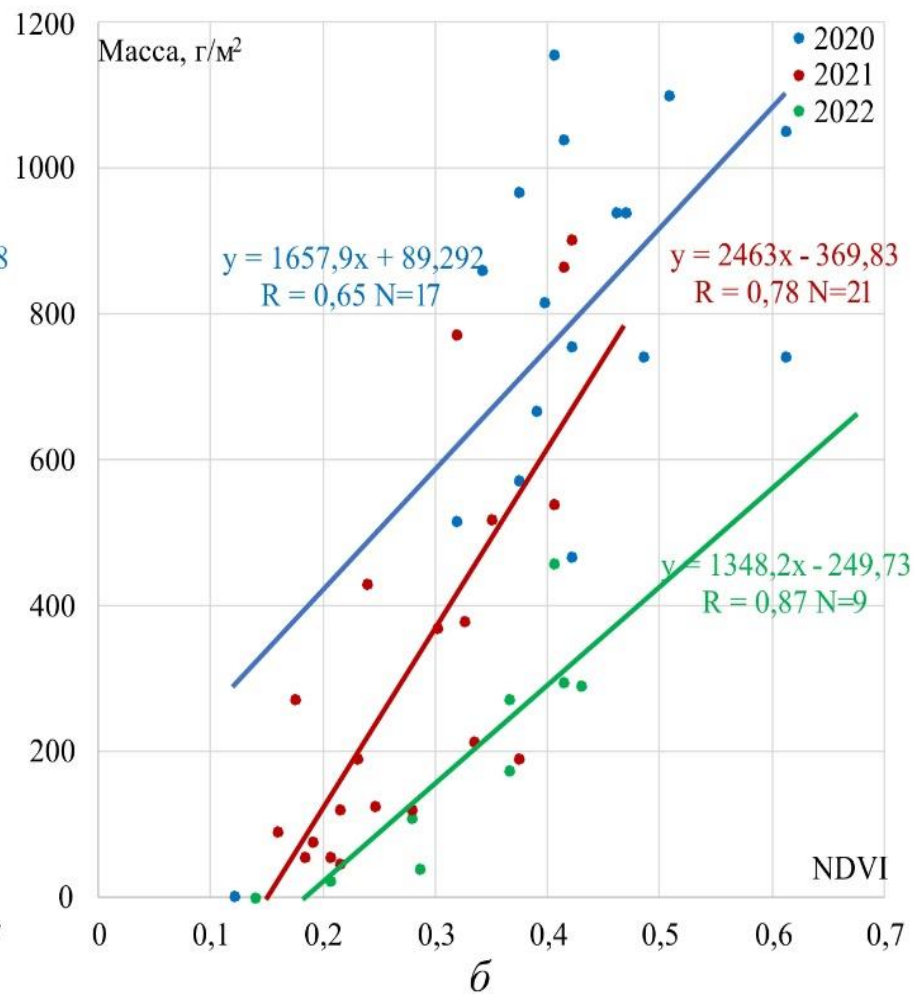
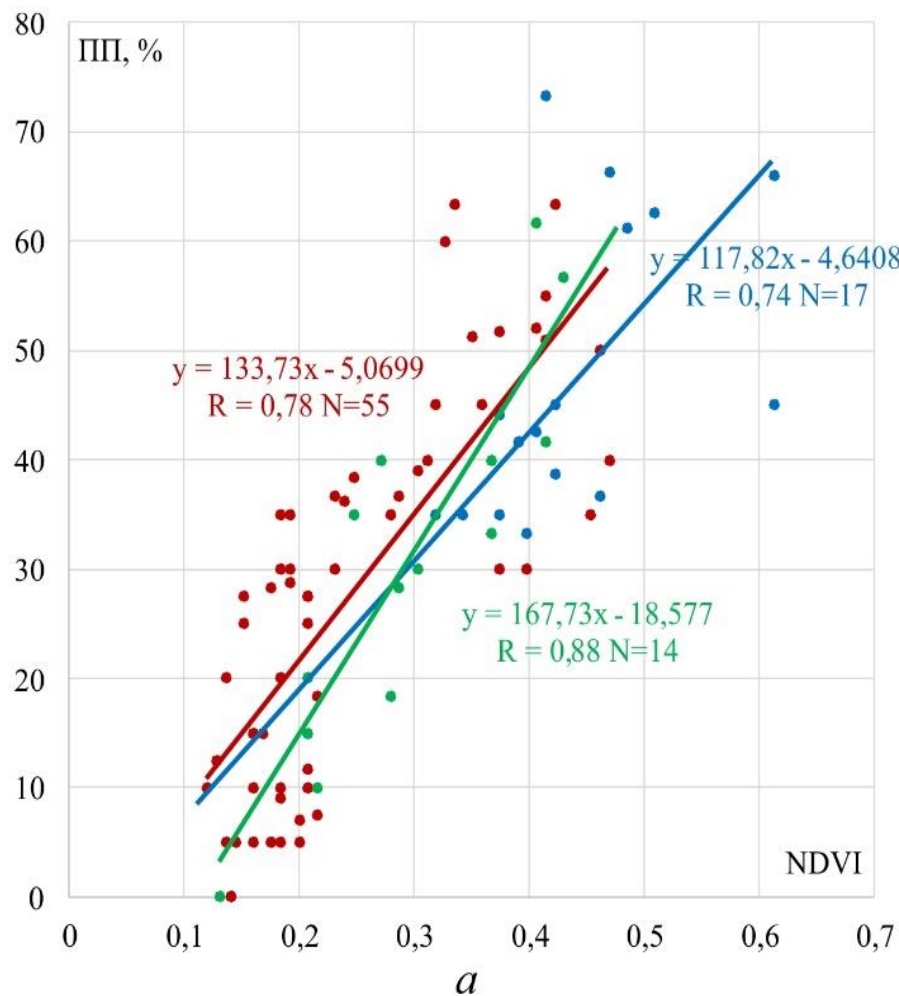
Перспективы картографирования проективного покрытия и фитомассы пастбищной растительности по данным Sentinel-2



Коэффициенты корреляции проективного покрытия (числитель) и фитомассы (знаменатель)

Растительность	Коэффициенты корреляции							
	Спектральные каналы и вегетационные индексы							
	BLUE	GREEN	RED	NIR	NDVI	PVI	SAVI	EVI
Многолетние злаки	-0,63	-0,55	-0,53	-0,44	0,63	0,52	0,57	0,49
	-0,47	-0,49	-0,53	-0,46	0,58	0,45	0,51	0,54
Однолетники и эфемероиды	-0,33	-0,37	-0,47	-0,26	0,70	0,61	0,68	0,39
	-0,20	-0,22	-0,32	-0,16	0,71	0,62	0,68	0,23
Полукустарнички	-0,59	-0,54	-0,56	-0,27	0,70	0,63	0,68	0,66
	-0,60	-0,52	-0,52	-0,50	0,50	0,17	0,30	0,25
Всего	-0,38	-0,45	-0,57	-0,36	0,76	0,66	0,73	0,38
	-0,32	-0,38	-0,52	-0,40	0,74	0,49	0,60	0,25

Перспективы картографирования проективного покрытия и фитомассы пастбищной растительности по данным MODIS



Ежедневные данные MODIS

Проблема определения проективного покрытия

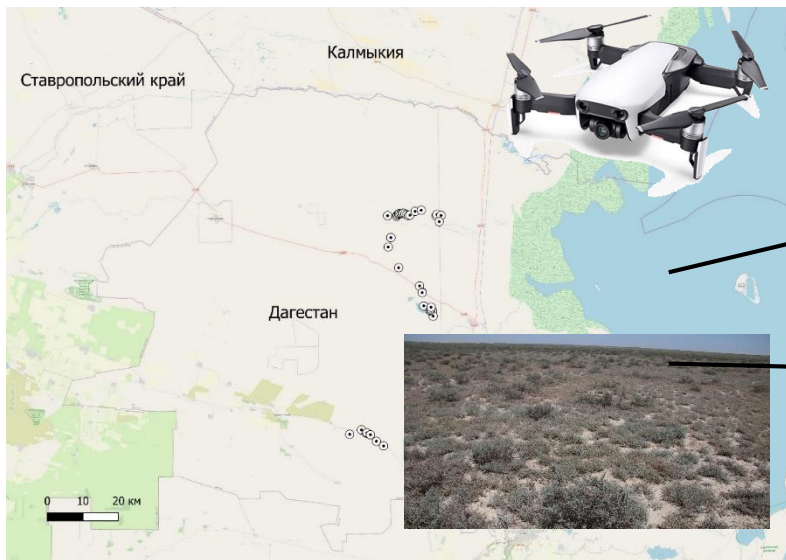


Глазомерная оценка субъективна
Неопределенность при объединении данных нескольких источников

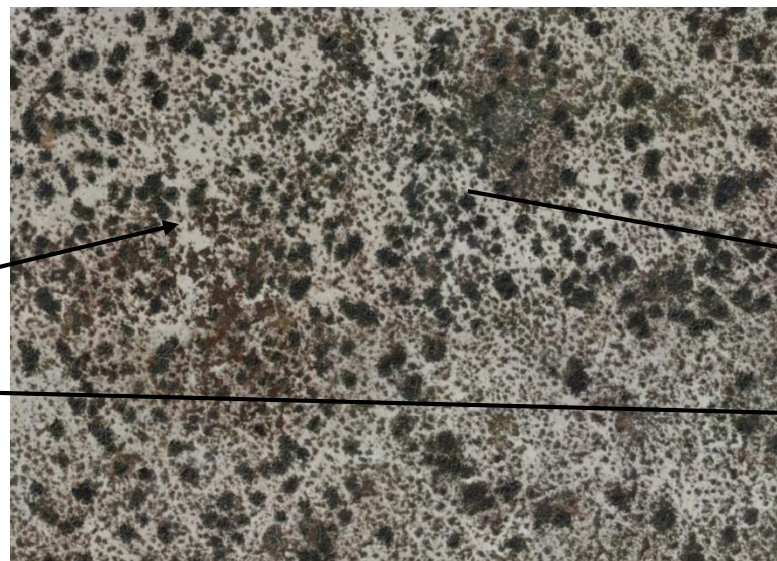


Возможные решения:
инструментальные измерения истинного проективного покрытия;
камеры 360° или «рыбий глаз»;
аэросъемка.

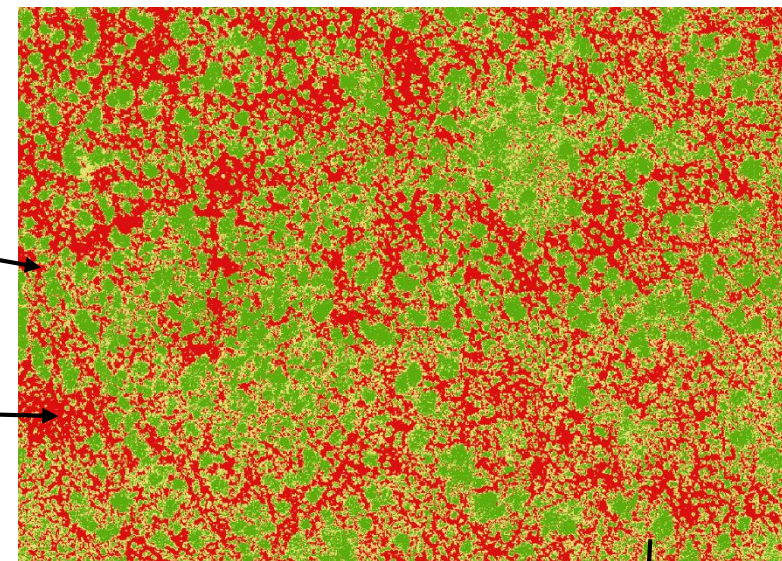
Перспективы картографирования проективного покрытия растительности



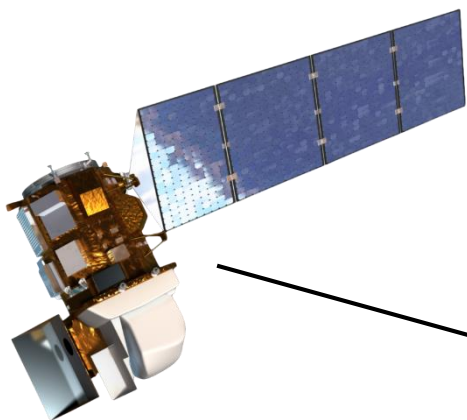
Аэросъемка RGB ~150 га
Геоботанические описания
апрель, июль, октябрь 2023 г.



Ортофотопланы:
размер ~200x200 м
Разрешение: ~2 см/пикс



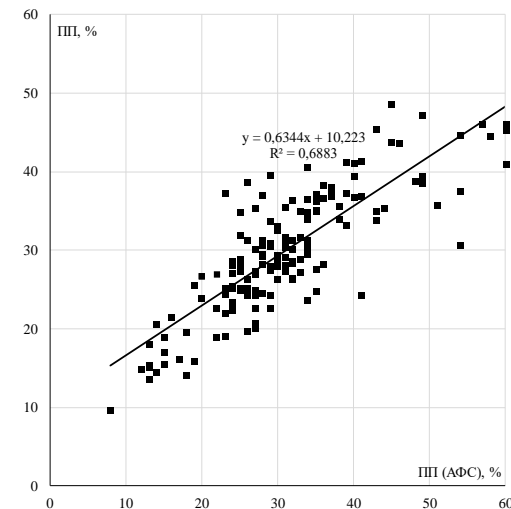
Сегментация ортофотоплана:
вегетирующая растительность;
открытая почва;
невегетирующая растительность.



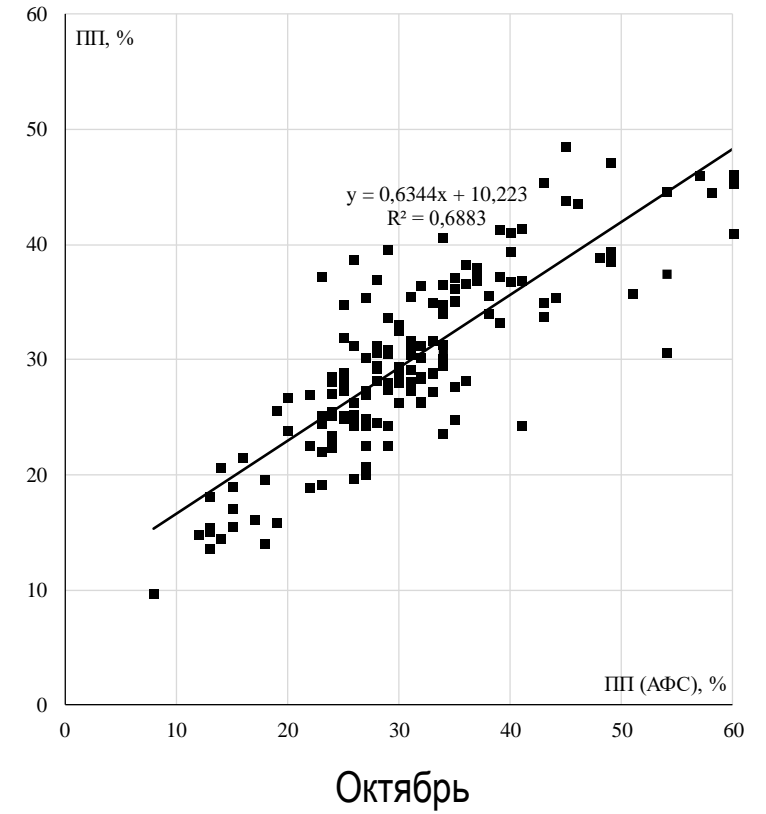
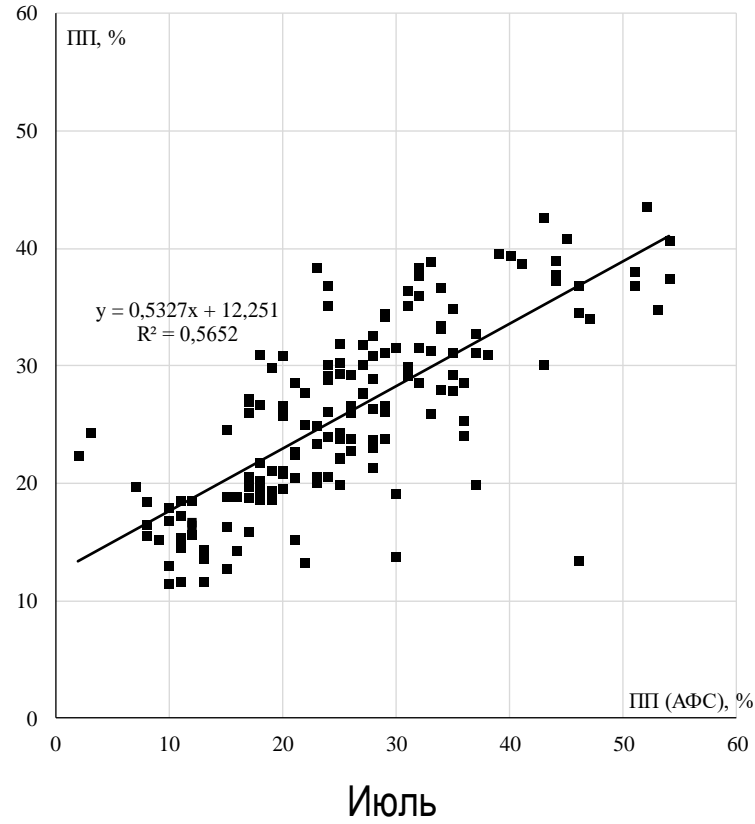
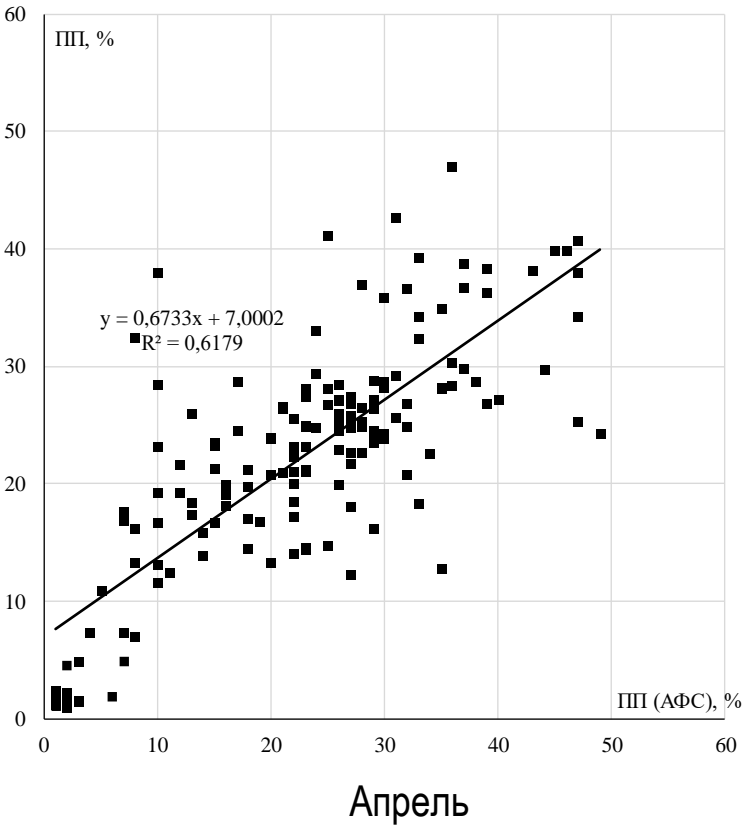
Данные Landsat 8, 9
апрель-октябрь 2023 г.

Определение проективного покрытия
вегетирующей растительности:

вегетационные индексы, КСЯ на даты близкие к наземным
измерениям;
максимальные, минимальные, средние значения ВИ и КСЯ
за апрель-октябрь;
методы машинного обучения (Random Forest).



Перспективы картографирования проективного покрытия зональной растительности

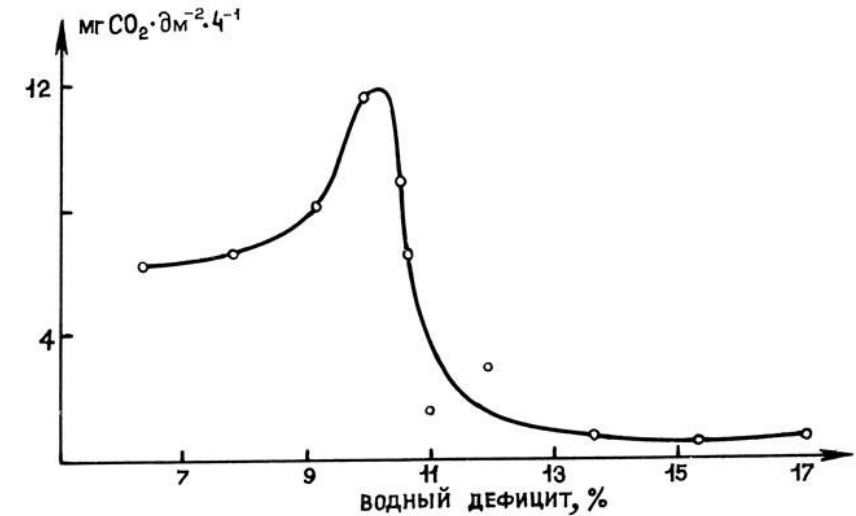


Перспективы картографирования проективного покрытия и фитомассы зональной растительности

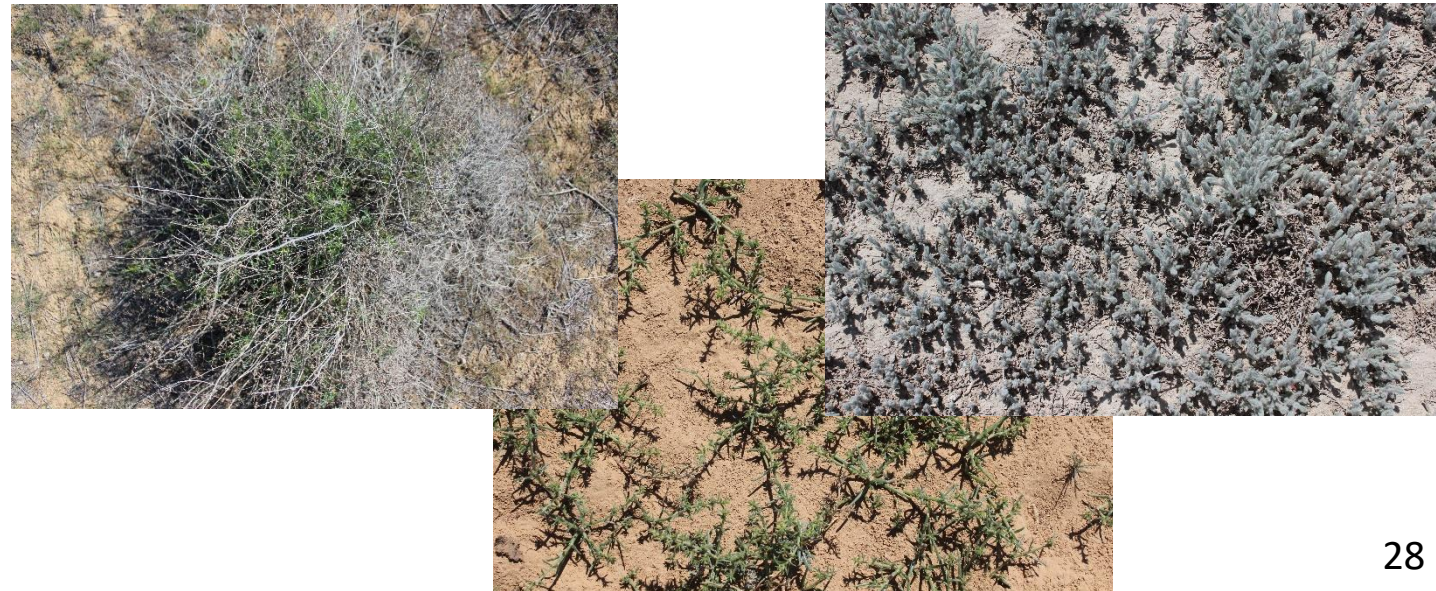
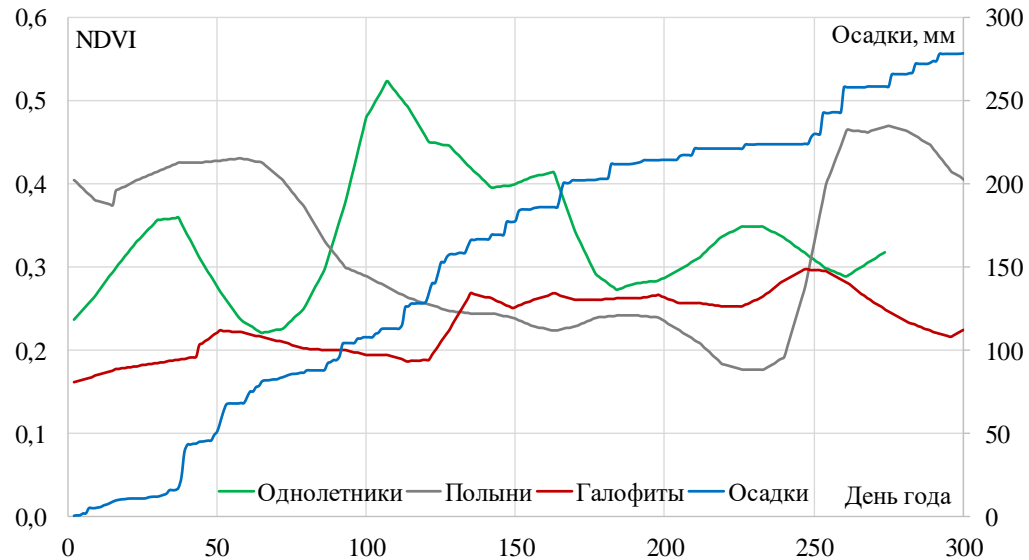
Источник	Территория	Источник данных	Метод	R ²	
				ПП	Фитомасса
Шинкаренко, Барталев, 2023	Северный Прикаспий	Наземные измерения	$ax+b$	0,72	0,41
Шинкаренко, Барталев, 2024	Северный Прикаспий	Sentinel-2	$ax+b$	0,58	0,55
Шинкаренко, Барталев, 2024	Северный Прикаспий	Sentinel-2	RF	0,45	0,62
Шинкаренко, Барталев, 2024	Северный Прикаспий	MODIS	$ax+b$	0,62	0,45
Шинкаренко и др.	Северный Прикаспий	Landsat	RF	0,69	-
Золотокрылин и др., 2013	Калмыкия (Черные земли)	MODIS	$ax+b$	-	0,12
Золотокрылин и др., 2013	Калмыкия (Черные земли)	Landsat	$ax+b$	-	0,40
Немцева и др., 2018	Ростовский заповедник	Landsat	$ax+b$	-	0,76
Хорошев и др., 2023	Оренбургская область	Landsat	$ax+b$	-	0,45
Quang et al., 2020	Тибетское плато (Китай)	Landsat	$ax+b$	-	0,52
Chu, 2020	Тибетское плато (Китай)	MODIS	$ax+b$	-	0,52
Wang et al., 2022	Внутренняя Монголия (Китай)	MODIS	$a*\ln(x)+c$	-	0,70
Zeng et al., 2021	Тибетское плато (Китай) – Луга	MODIS	RF	-	0,70
Zhang et al., 2023	Тибетское плато (Китай) – Пустыни	MODIS	RF	-	0,44
Wang et al., 2018	Внутренняя Монголия (Китай)	MODIS	$a*\ln(x)+c$	-	0,71
Zhang et al., 2023	Синьцзян-Уйгурский автономный район (Китай)	MODIS	RF	-	0,44

Неопределенности при картографировании структурных характеристик растительности аридных ландшафтов

- Значительное влияние почвенного покрова и мортмассы
- Физиологические особенности растительности (пигментация, опушение и т.п.)
- Снижение интенсивности фотосинтеза при дефиците влаги

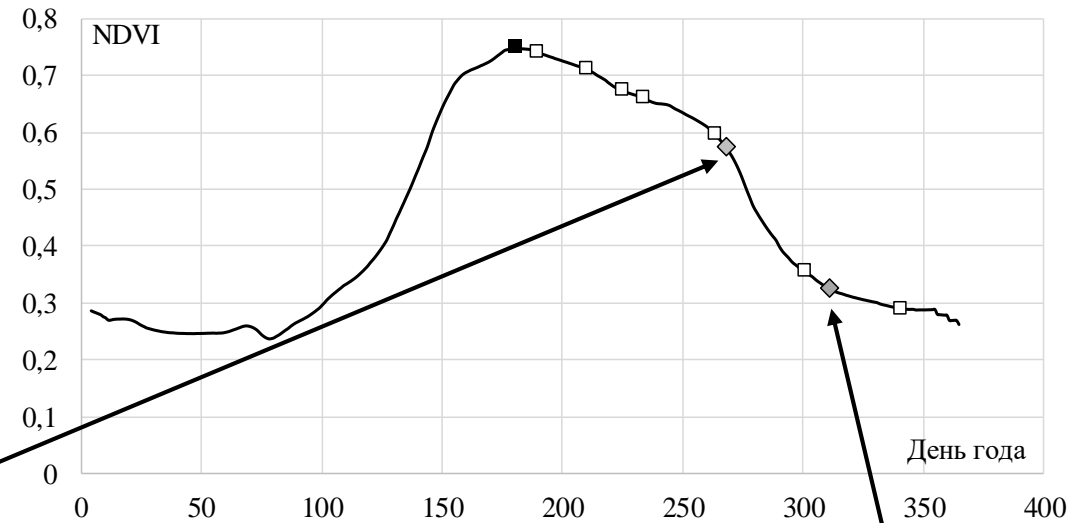


Зависимость интенсивности фотосинтеза от водного дефицита ассимиляционной ткани у картофеля (по В. М. Иванченко, 1974)

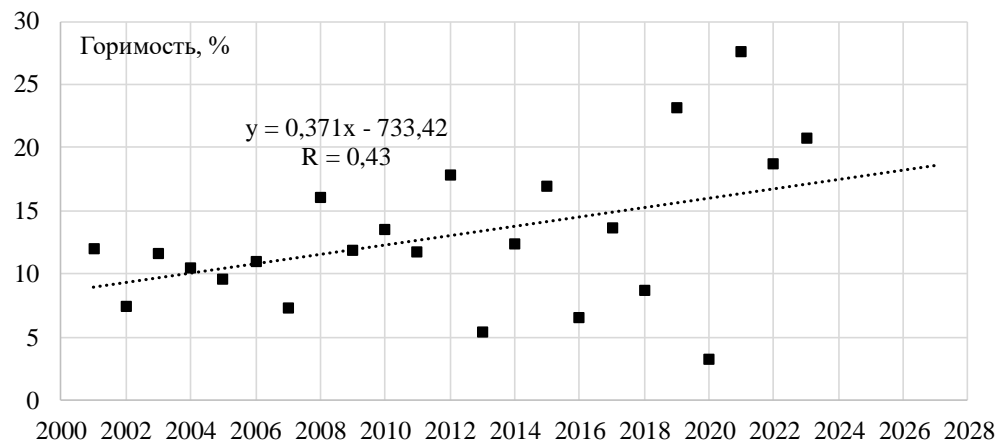
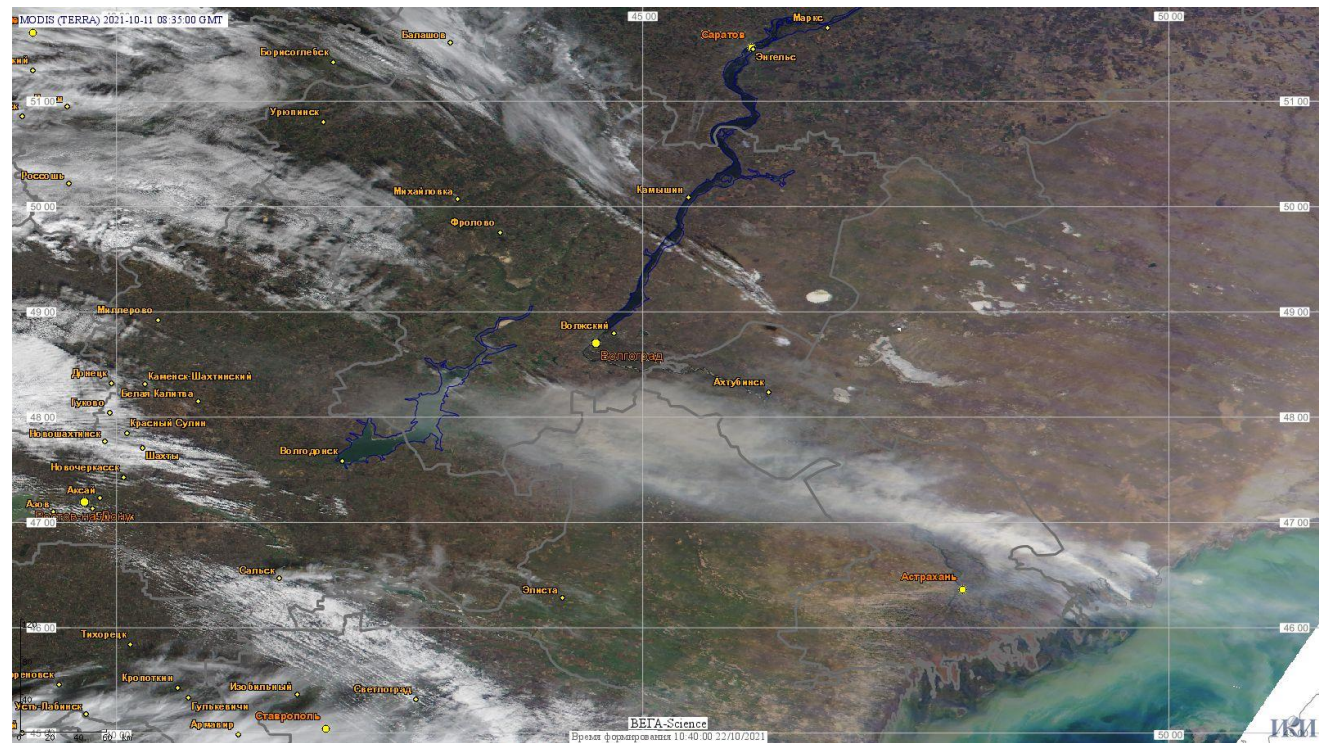
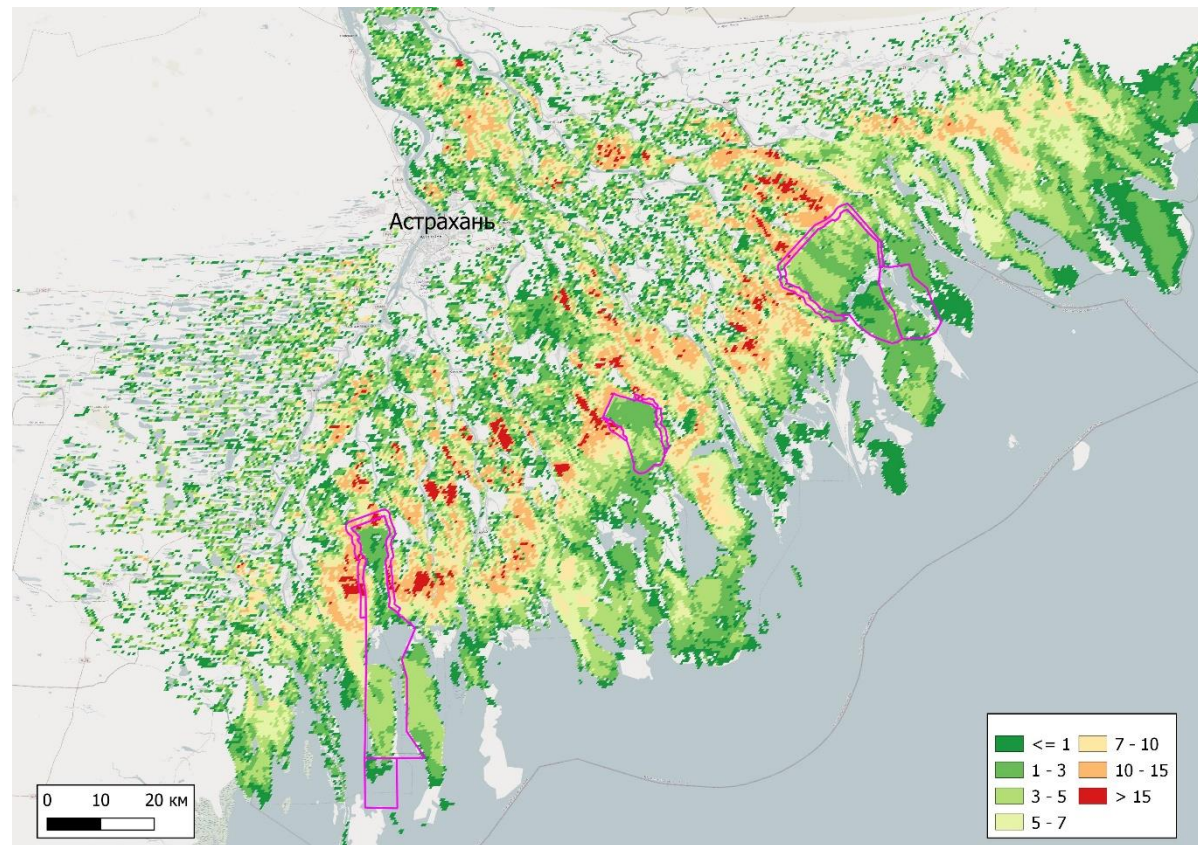


Особенности тростниковой растительности

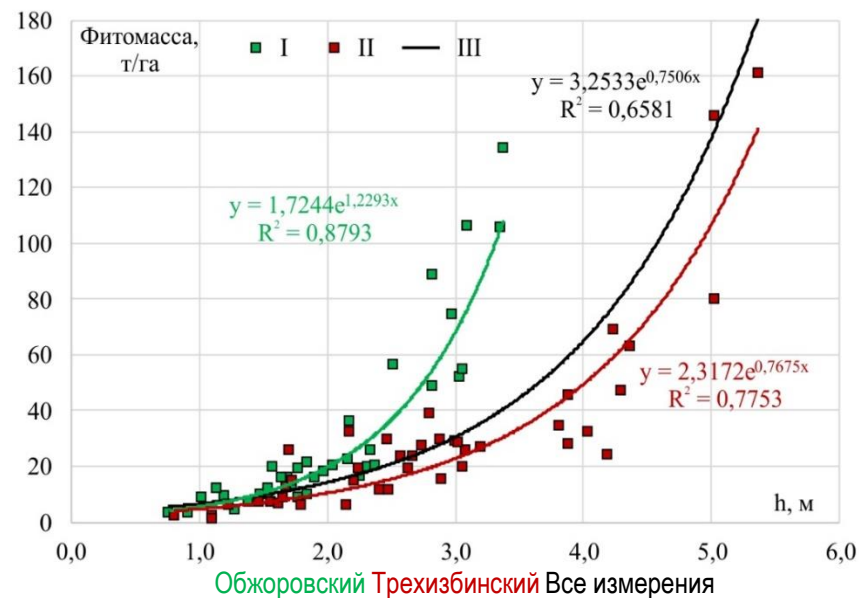
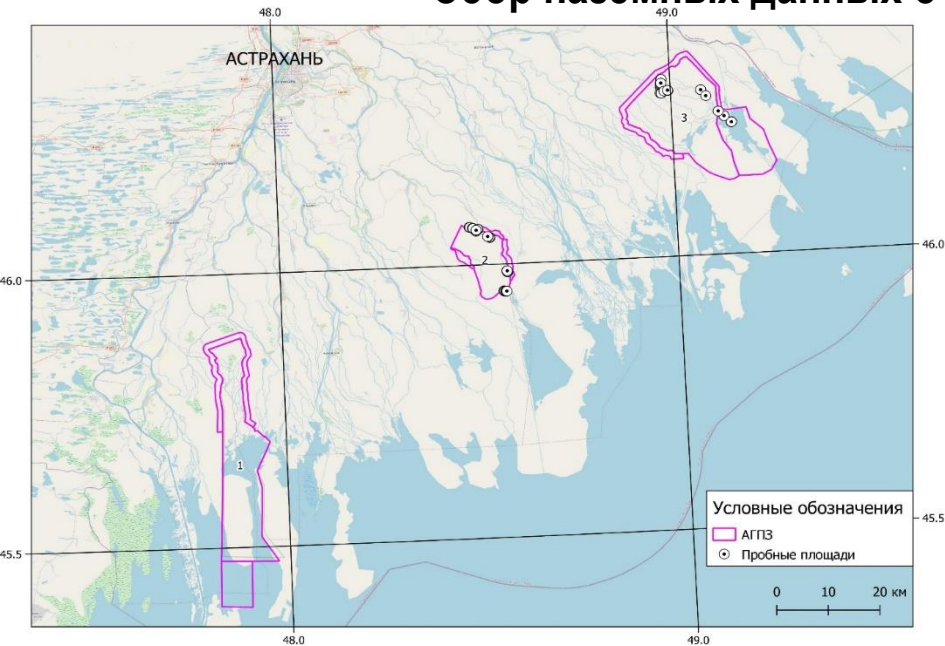
- Большая высота: до 6-7 м и более
- Значительная фитомасса: более 5-7 т/га
- Регулярные ландшафтные пожары
- Высокая сомкнутость



Ландшафтные пожары в 2001-2023 гг.



Сбор наземных данных о структурны характеристиках тростниковой растительности



- Измерение высоты, диаметра стеблей
- Укосы на определение фитомассы
- Видовой состав растительности
- Определение аллометрических соотношений
- Аэросъемка: 27 тестовых полигонов общей площадью 145 га



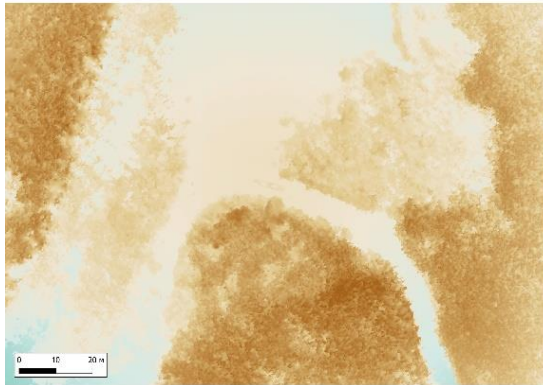
Использование БПЛА для картографирования фитомассы тростниковой растительности



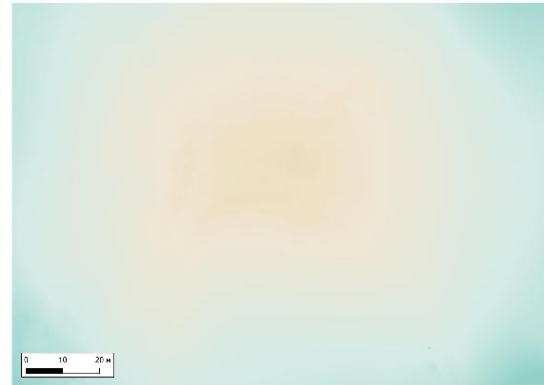
а



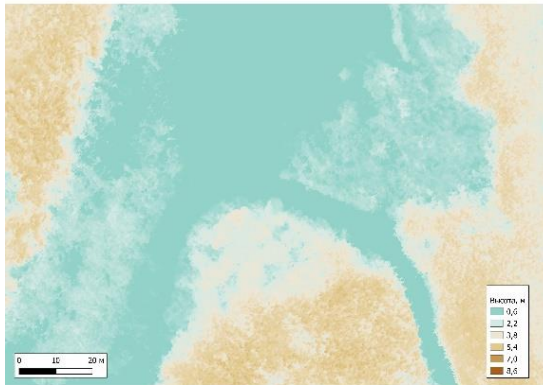
б



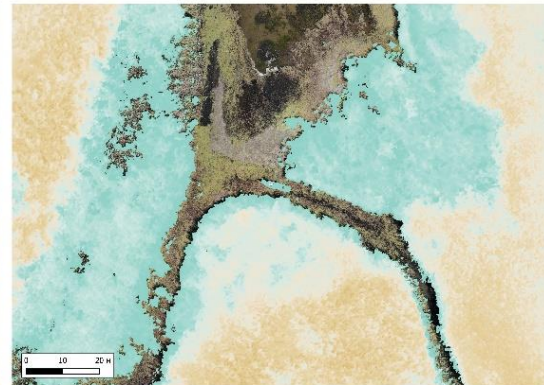
в



г

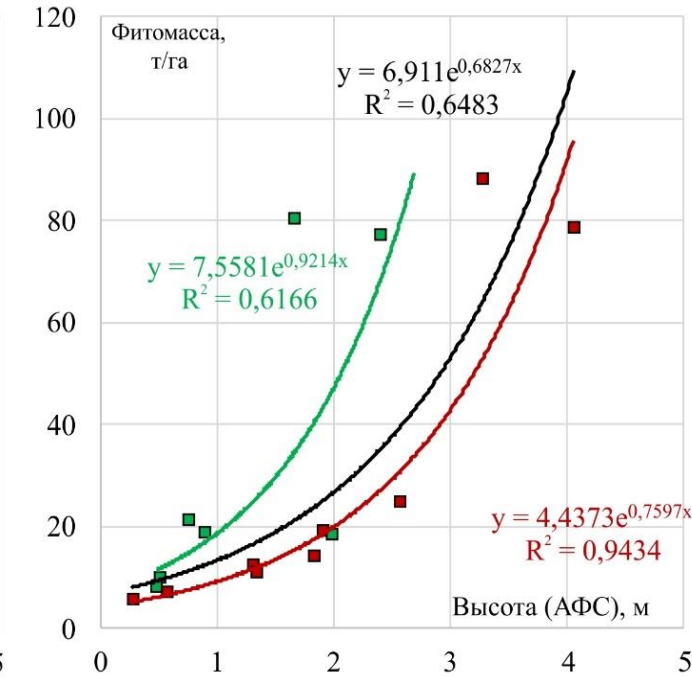
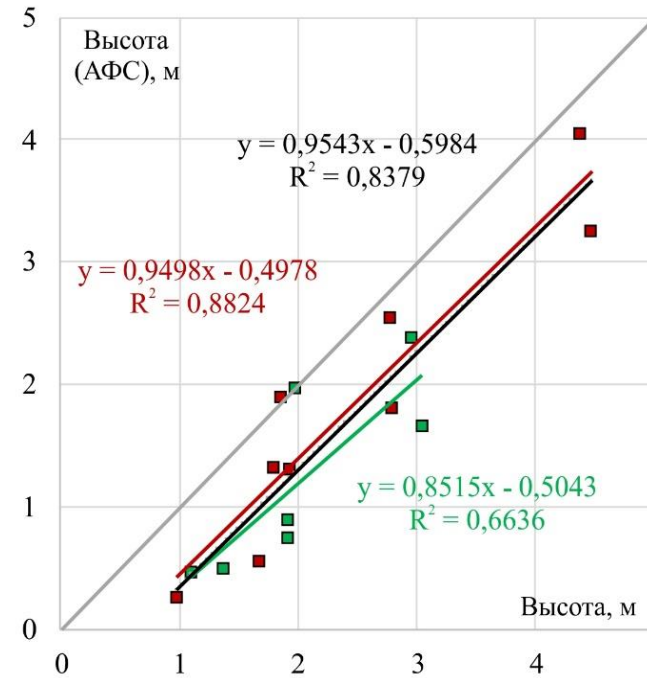


д

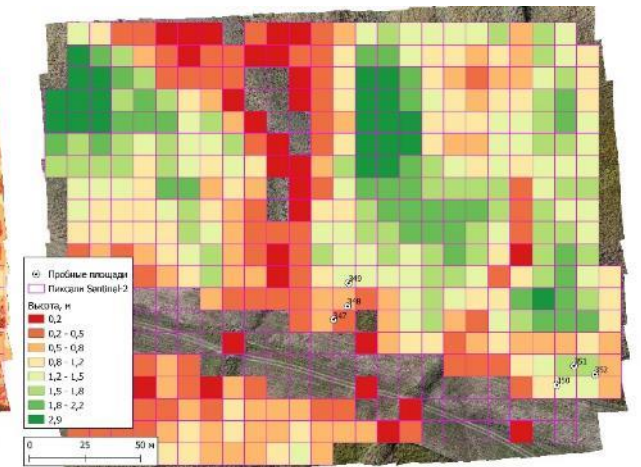
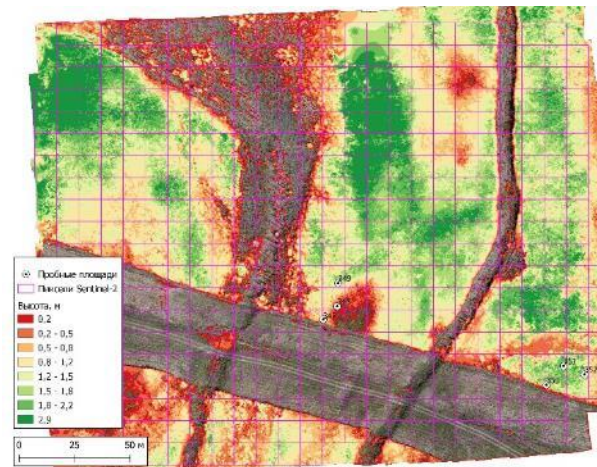


е

а – фрагмент ортофотоплана, б – 3D-модель, в – ЦММ, г – ЦМР, д – разность ЦММ и ЦМР, е – выделенный растительный покров

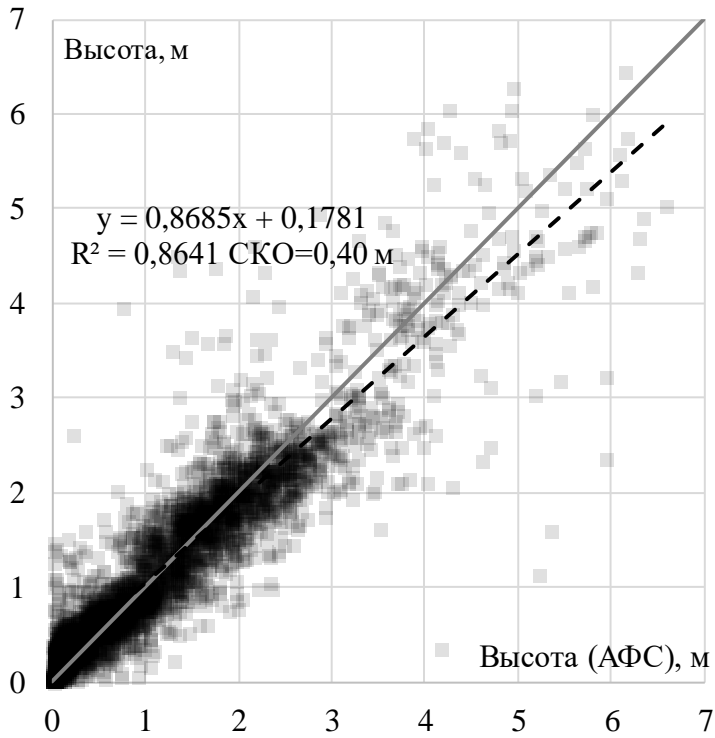


Обжоровский Трехизбинский Все измерения

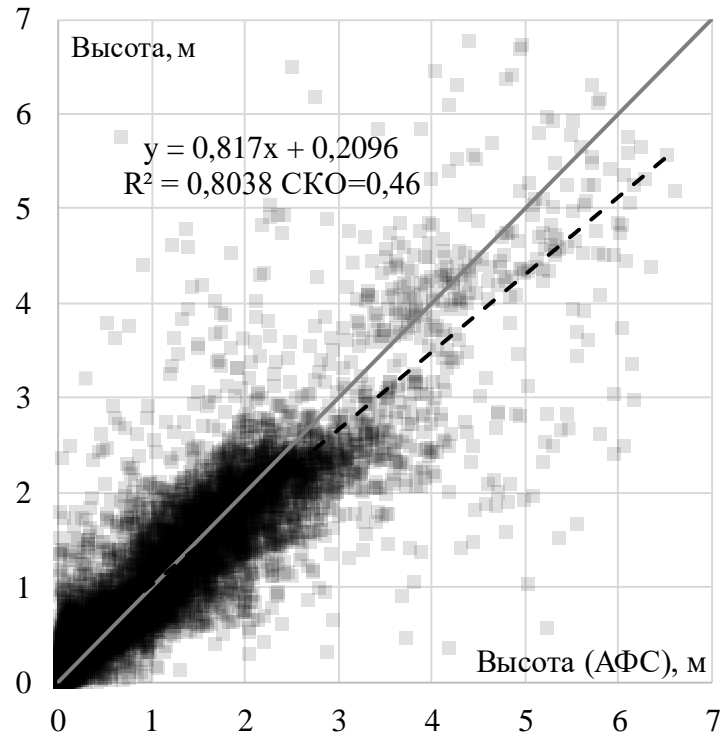


Определение средних высот растительности в пикселях Sentinel-2 по данным аэро съемки

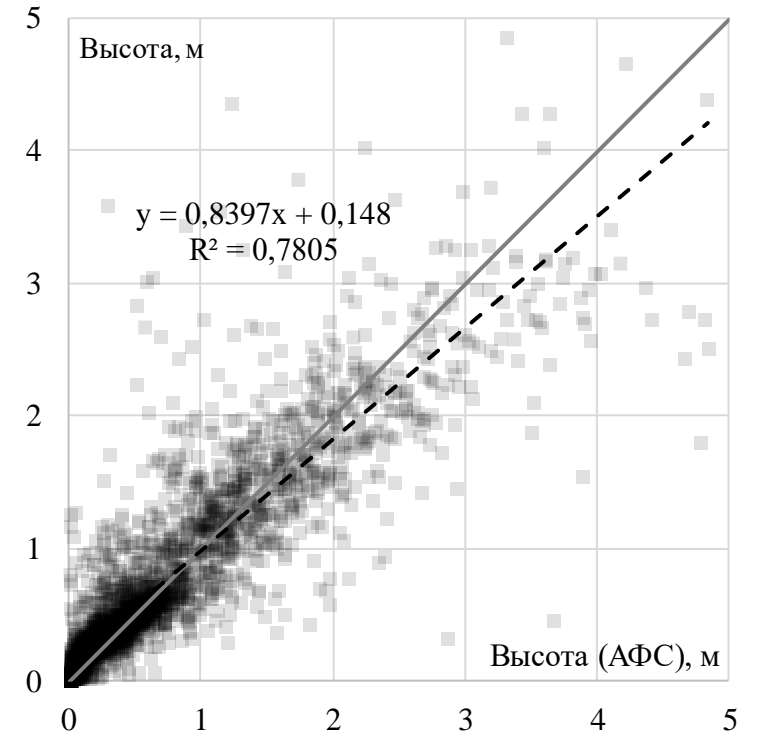
Перспективы картографирования фитомассы тростниковой растительности



Трехизбинский участок



Все данные



Обжоровский участок

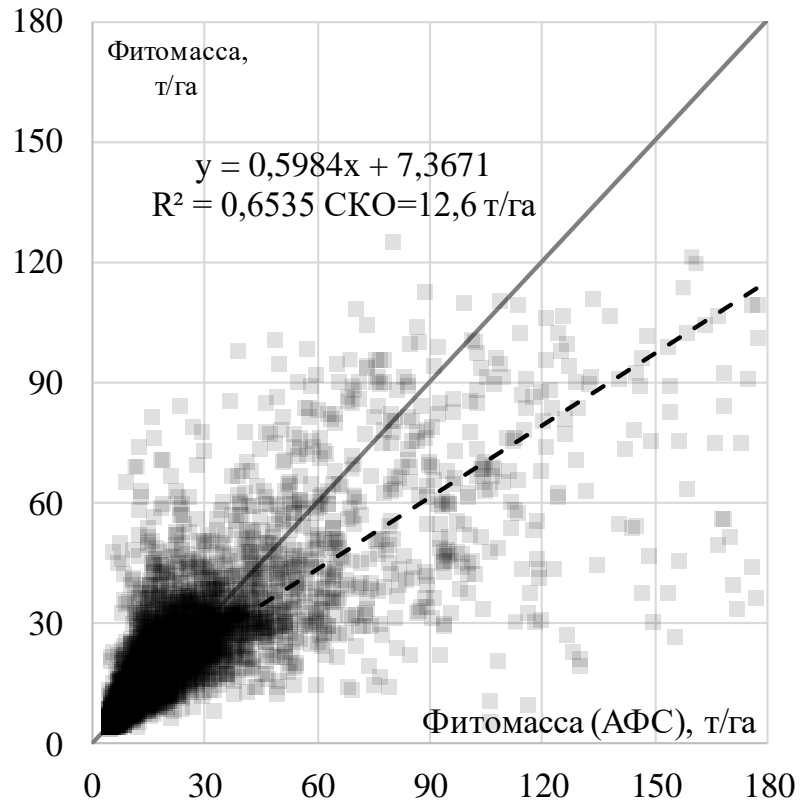
Наиболее значимые признаки

- RED - среднее значение
- GREEN - среднее значение
- SWIR2 - среднее значение

- SWIR2 - среднее значение
- GREEN - среднее значение
- RED - среднее значение

- SWIR2 9 декабря
- VV 11 апреля
- RED 27 июля

Перспективы картографирования фитомассы тростниковой растительности



Показатель	Коэффициент корреляции	
	Высота средняя	Фитомасса
VH	0,41	0,25
VV	0,19	0,1
B11	-0,57	-0,55
B12	-0,59	-0,54
B2	-0,26	-0,19
B3	-0,59	-0,48
B4	-0,23	-0,23
B8	-0,45	-0,27
MNDWI	-0,64	-0,5
NDVI	0,03	0,12
PVI	-0,34	-0,21
SAVI	-0,24	-0,11
RVI	-0,04	-0,05
EVI	-0,18	-0,04
NDWI	-0,28	-0,32
DRVI	-0,04	-0,05

Из-за возможного насыщения предпочтительно использовать данные в отдельных каналах, а не ВИ (Lucy, Gregory, 2020; Lu et al., 2022; Luo et al., 2017)

Источник	Территория	Источник данных	Метод	R ²	
				Высота	Фитомасса
Шинкаренко и др., 2024	Дельта Волги	БПЛА, Sentinel-2, Sentinel-1	RF	0,80	0,65
Luo et al., 2017	Китай	БПЛА: лидар + мультиспектр	RF	-	0,65
Zhao et al., 2022	Китай	Sentinel-2, Sentinel-1	Множественная регрессия	-	0,69
Li et al., 2019	Китай	Наземные измерения (гиперспектрометр)	ax+b	-	0,85
Lu et al., 2022	Китай	БПЛА, Sentinel-2	ax+b	0,75	0,58

ВЫВОДЫ

- Необходима разработка типологии луговых, степных и пустынных растительных сообществ, которая была бы достаточно генерализованной для картографирования на национальном уровне, но в то же время позволяла бы учитывать особенности растительности.
- Нужна инвентаризация степных и луговых экосистем России.
- Данные дистанционного зондирования могут успешно применяться для картографирования проективного покрытия и фитомассы травянистой растительности.
- Структурные характеристики растительности и свойства почвенного покрова в большей степени влияют на формирование спектрального отклика по сравнению с видовыми особенностями. Это влияние возрастает вместе с аридностью. Соответственно велика роль и растительной мортмассы, которая маскирует почвы и вегетирующие растения.
- Требуется изучение влияния физиологических особенностей растительности (пигментация, опушение, снижение интенсивности фотосинтеза в условиях дефицита влаги, летнего периода покоя) на спектральный отклик.
- Ограничивающим фактором для развития методов картографирования структурных характеристик растительности является разрозненность и неполнота наземных данных, отсутствие единой методической основы, которая учитывала бы последующее использование полевых данных в совокупности с материалами ДЗЗ.
- Требуется разработка соотношений между проективным покрытием, высотой, надземной и подземной фитомассой.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Шинкаренко Станислав
с.н.с. Отдела технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН
shinkarenko@d902.iki.rssi.ru

"Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 124060500032-7)