ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



Картографирование полезащитных насаждений по данным спутниковых индексов леса

Шинкаренко С.С.
Барталев С.А.
Кашницкий А.В.

Москва 2026 г.

Основные функции ЗЛН

- Противодействие водной эрозии и дефляции
- Снижение испарения, улучшение микроклимата
- Повышение плодородия почв и урожайности с/х культур
- Депонирование углерода
- Рекреационная и эстетическая ценность
- Повышение биоразнообразия агроландшафтов
- Защита от снежных заносов





Проблемы мониторинга ЗЛН

- Расположены на землях с/х назначения, часто бесхозные
- Неудовлетворительное состояние насаждений (предельный возраст, вредители)
- Небольшая ширина насаждений (до 50-60 м), полезащитные лесные полосы до 15-20 м
- Инвентаризация проводилась только в отдельных регионах

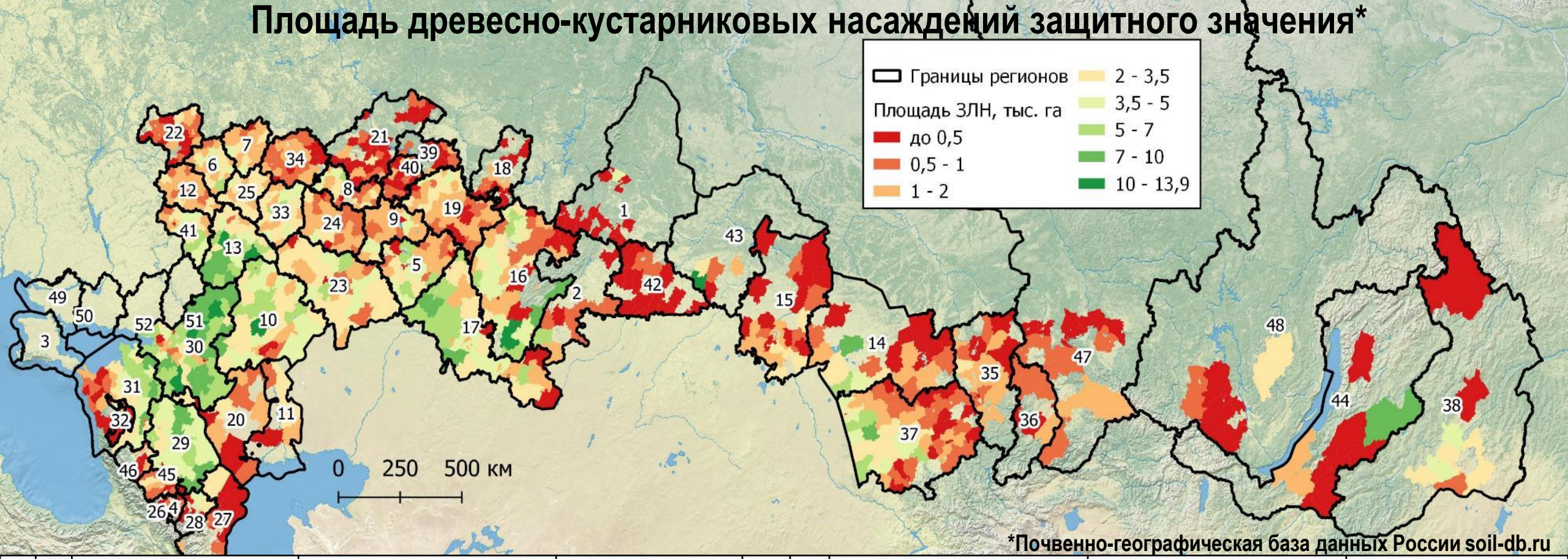
Методы мониторинга ЗЛН

- Экспертное дешифрирование данных сверхвысокого разрешения
- Наземные обследования, картирование с использованием GNSS

Высокая трудоемкость методов не позволяет определять площади ЗЛН на региональном уровне с приемлемыми затратами



Площадь древесно-кустарниковых насаждений защитного значения*



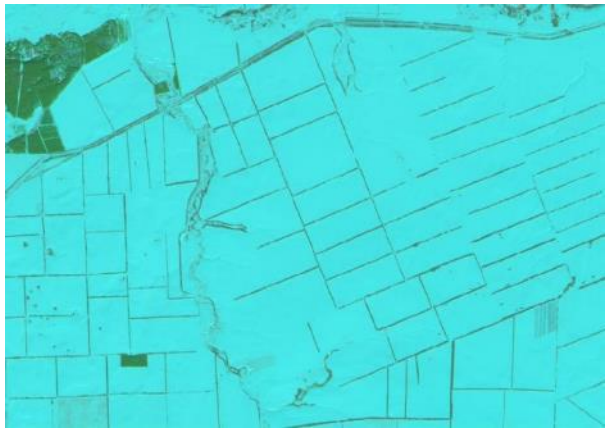
№	ID	Регион	Под ДКР, не входящей в лесной фонд, тыс. га	Из них защитного значения, тыс. га	№	ID	Регион	Под ДКР, не входящей в лесной фонд, тыс. га	Из них защитного значения, тыс. га
1	30	**Ростовская область**	281,6	**258,5**	**11**	5	**Самарская область**	111,9	**65,0**
2	13	**Воронежская область**	178,6	**166,1**	**12**	19	**Татарстан**	114,0	**62,6**
3	16	**Башкортостан**	227,5	**150,4**	**13**	33	**Тамбовская область**	78,1	**60,7**
4	17	**Оренбургская область**	210,5	**143,6**	**14**	6	**Орловская область**	74,2	**55,3**
5	31	**Краснодарский край**	158,4	**137,6**	**15**	25	**Липецкая область**	62,5	**46,3**
6	29	**Ставропольский край**	141,2	**133,3**	**16**	12	**Курская область**	68,0	**43,2**
7	10	**Волгоградская область**	130,7	**130,7**	**17**	8	**Мордовия**	64,7	**41,8**
8	37	**Алтайский край**	307,5	**107,4**	**18**	9	**Ульяновская область**	55,1	**40,3**
9	23	**Саратовская область**	121,3	**101,6**	**19**	7	**Тульская область**	43,6	**39,6**
10	41	**Белгородская область**	90,1	**67,1**	**20**	14	**Новосибирская область**	281,1	**38,5**

Использование разносезонных спутниковых изображений

- Пространственное разрешение Sentinel-2 до 10 м/пикс.
- Разделение посевных площадей, естественной травянистой растительности и ДКР
- Использование спутниковых изображений в зимний период при наличии снежного покрова

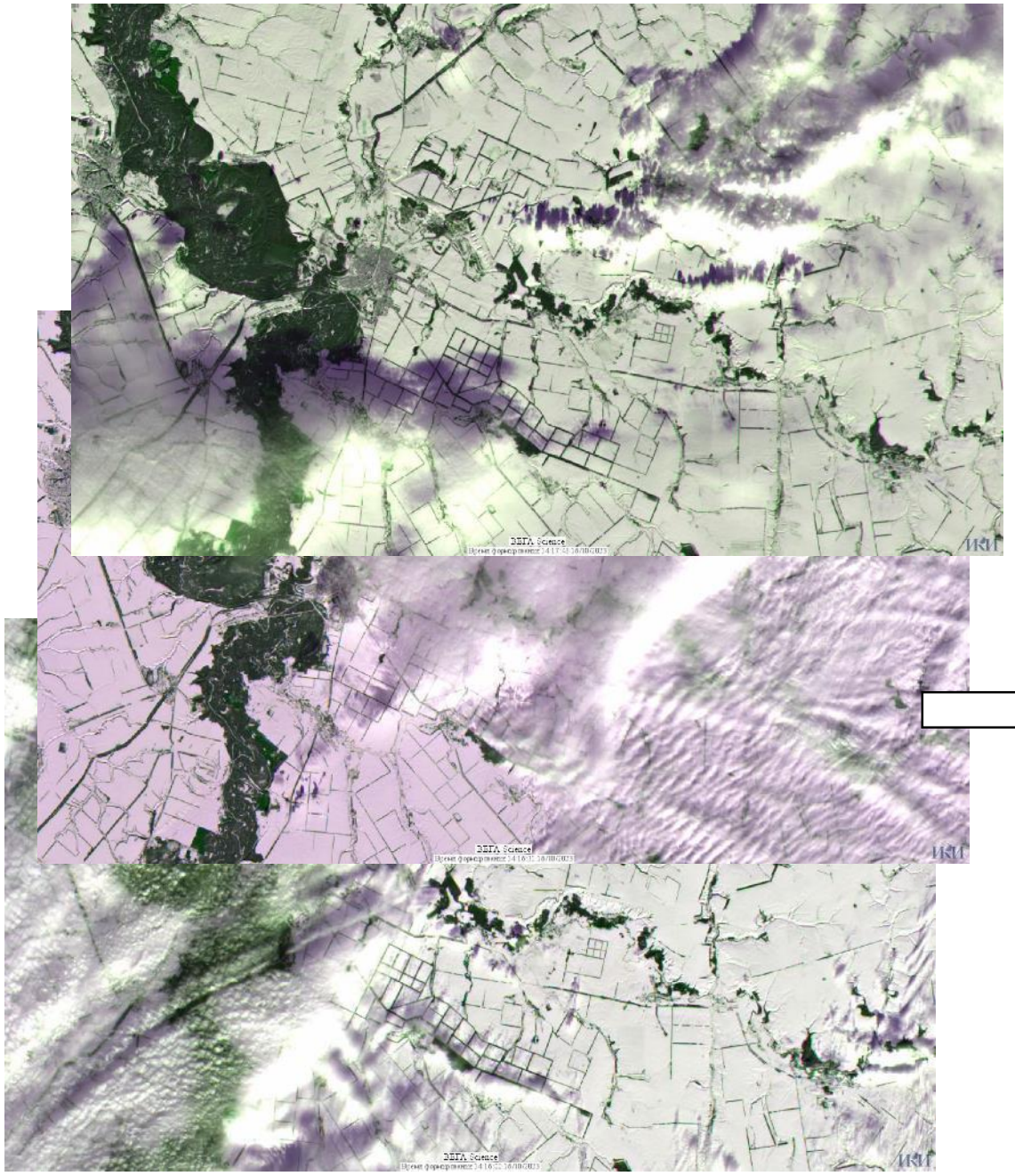
- Минимальные значения NDVI за летний период
- Изображения снежного покрова







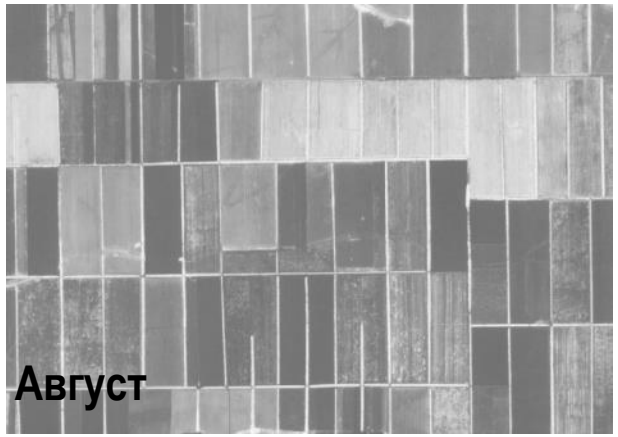
Ежемесячные и сезонные композитные изображения Sentinel-2

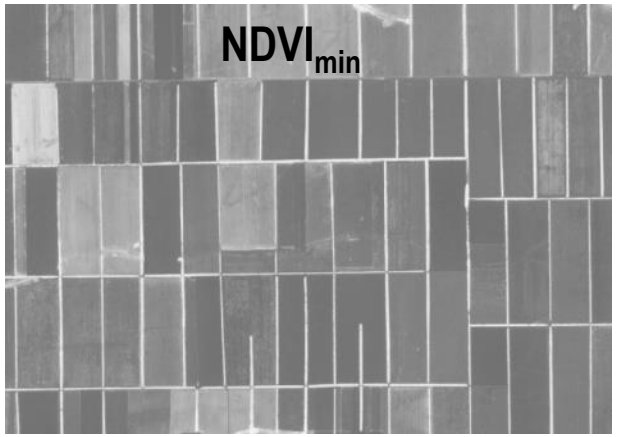


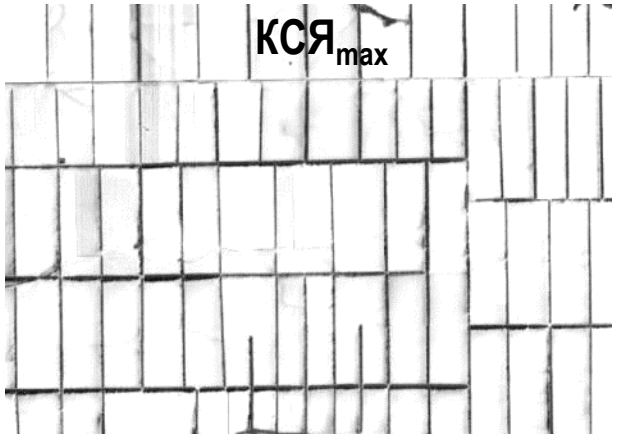
- Фильтрация облаков и теней от них
- Радиометрическая нормализация
- Ежемесячные данные за вегетационный сезон
- Ежегодные зимние изображения

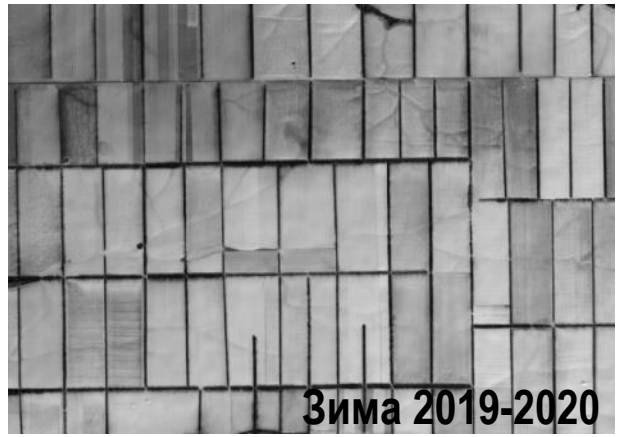


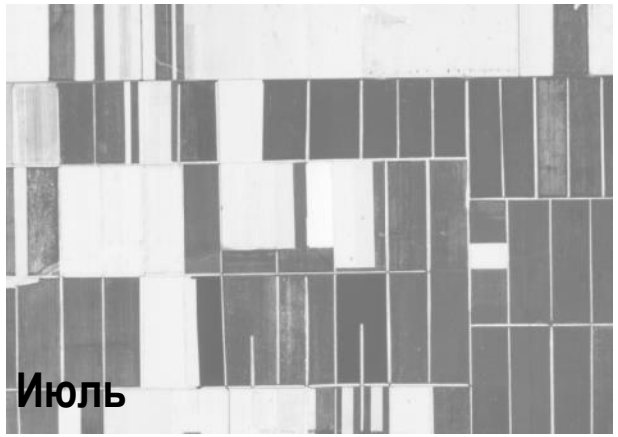
Расчет BSFI

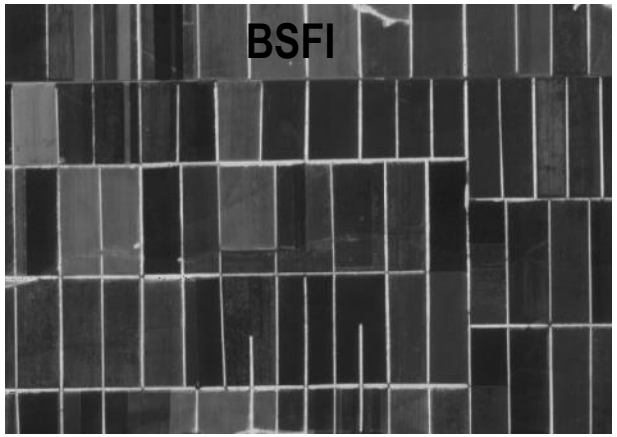

NDVI
Август

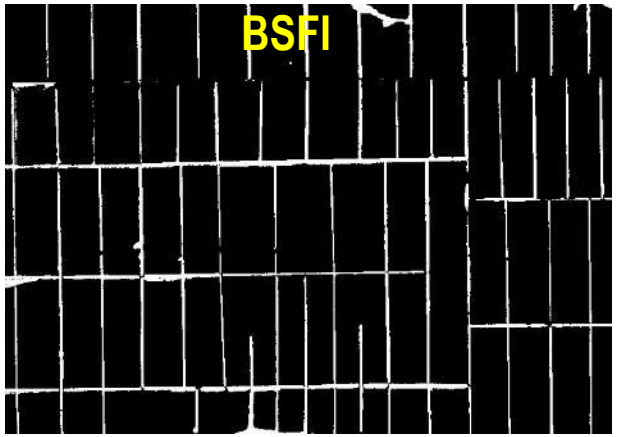

NDVImin

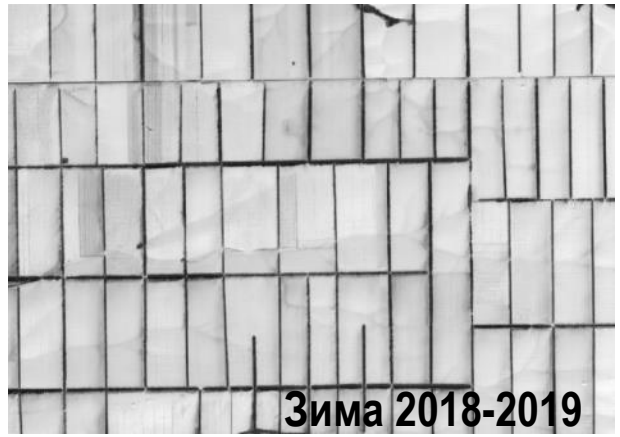

КСЯmax


КСЯRed
Зима 2019-2020


Июль

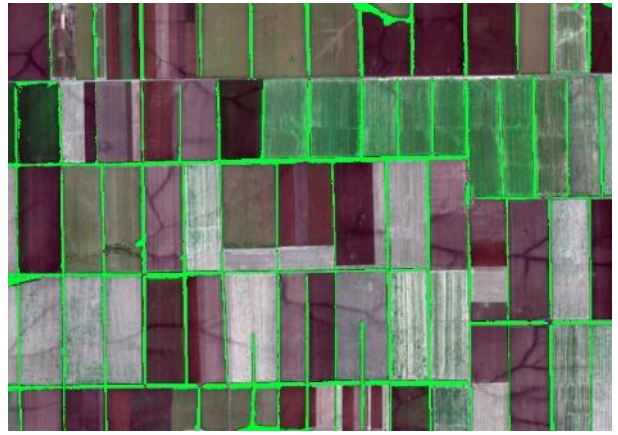

BSFI


BSFI


Зима 2018-2019


Июнь





Расчет индексов леса FI* и BSFI по данным Sentinel-2

$FI=((NIR-RED-L)/(NIR+RED))*((C_1-NIR)/(C_2+GREEN))$,

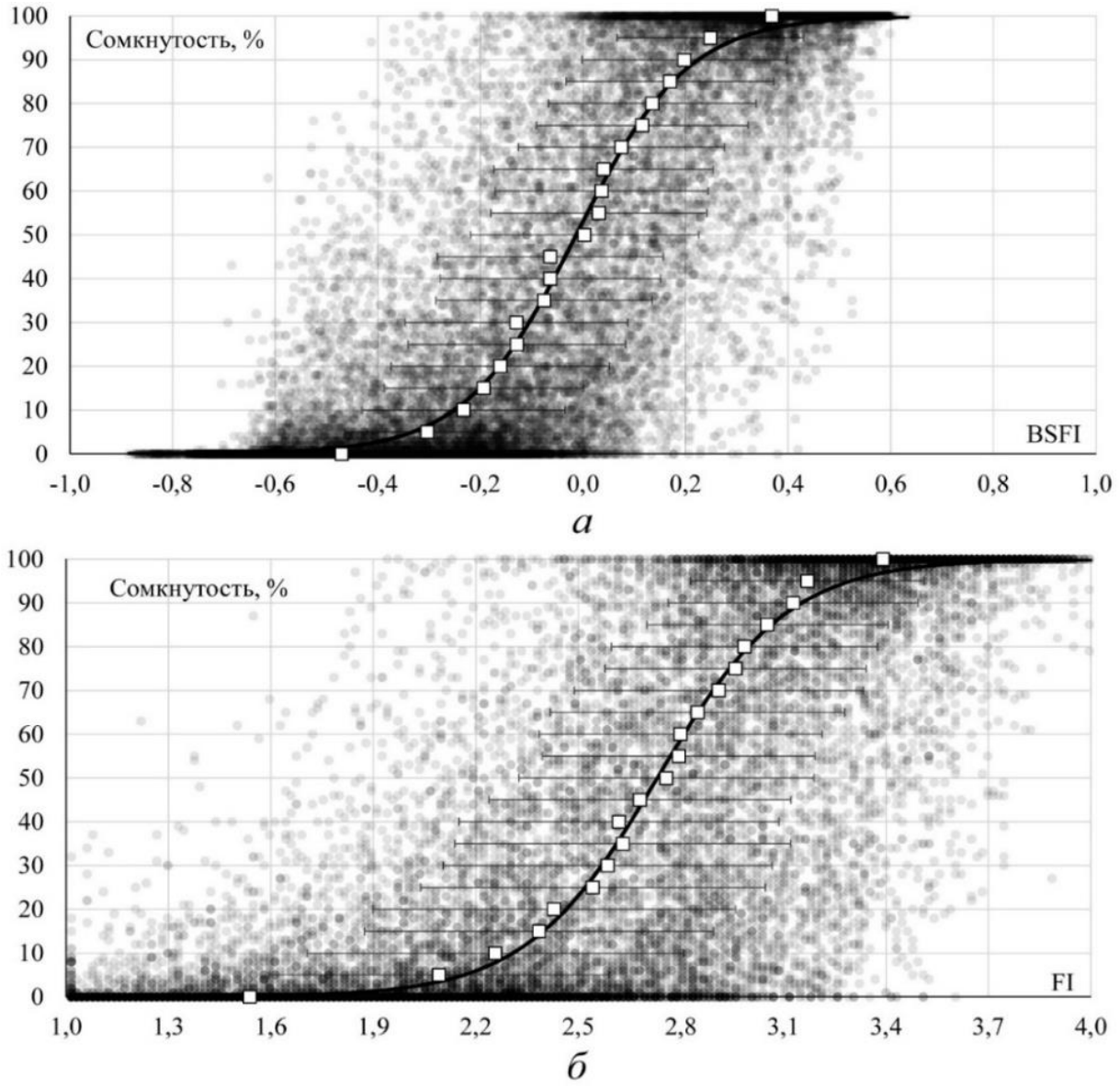
где FI – лесной индекс, NIR, RED, GREEN – КСЯ в БИК, красном и зеленом диапазонах спектра, L, C_1, C_2 – константы, L=0,01, C_1=1, C_2=0,1

$BSFI=(NDVI_{min}-RED_{max})/(NDVI_{min}+RED_{max})$, при $NDVI_{min}>0$,

где BSFI – бисезонный индекс леса, $NDVI_{min}$ – минимизированное за июнь-август значение NDVI, RED_{max} – максимальное значение КСЯ в красном диапазоне спектра в период наличия на земной поверхности снежного покрова

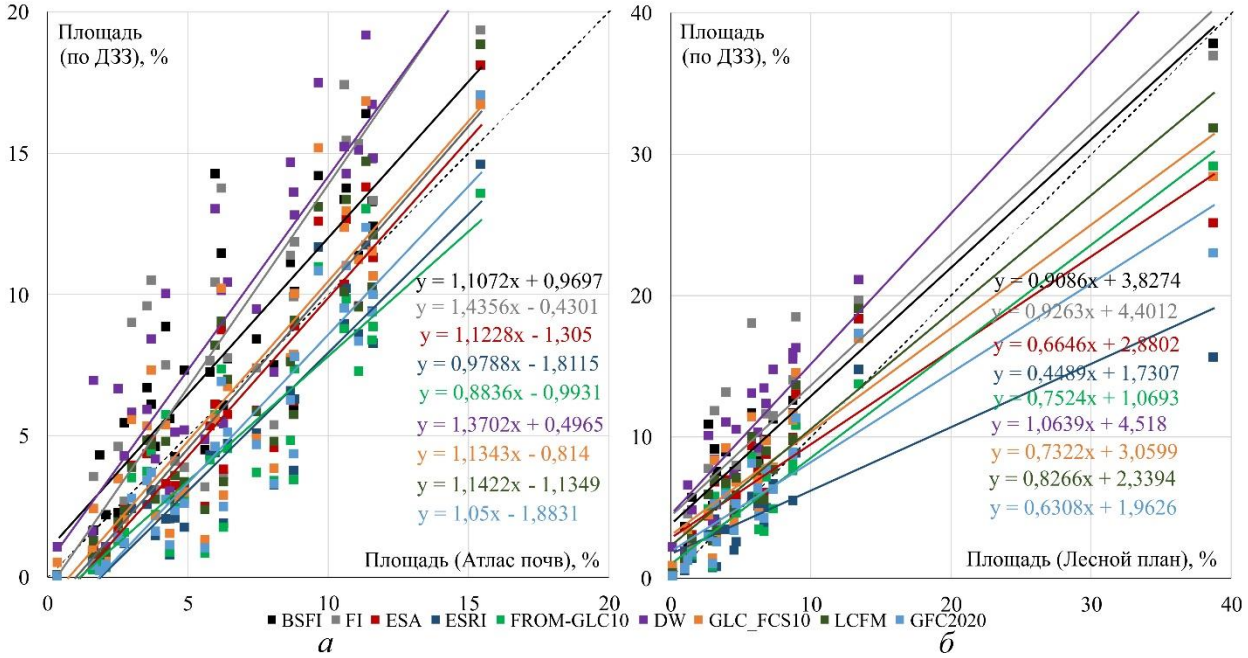
**Ye W., Chen X., Zhang G.* A spectral index for highlighting forest cover from remotely sensed imagery // Land Surface Remote Sensing II. Proc. of SPIE. 2014.V. 9260. Article 92601L-1 DOI: 10.1117/12.2068775

Калибровка индексов леса FI и BSFI по данным Sentinel-2



Сопоставление значений лесных индексов BSFI (а) и FI (б) в пикселях Sentinel-2 и сомкнутости по данным АФС (планками показано стандартное отклонение средних значений лесных индексов)

Оценка результатов картографирования леса по данным Sentinel-2

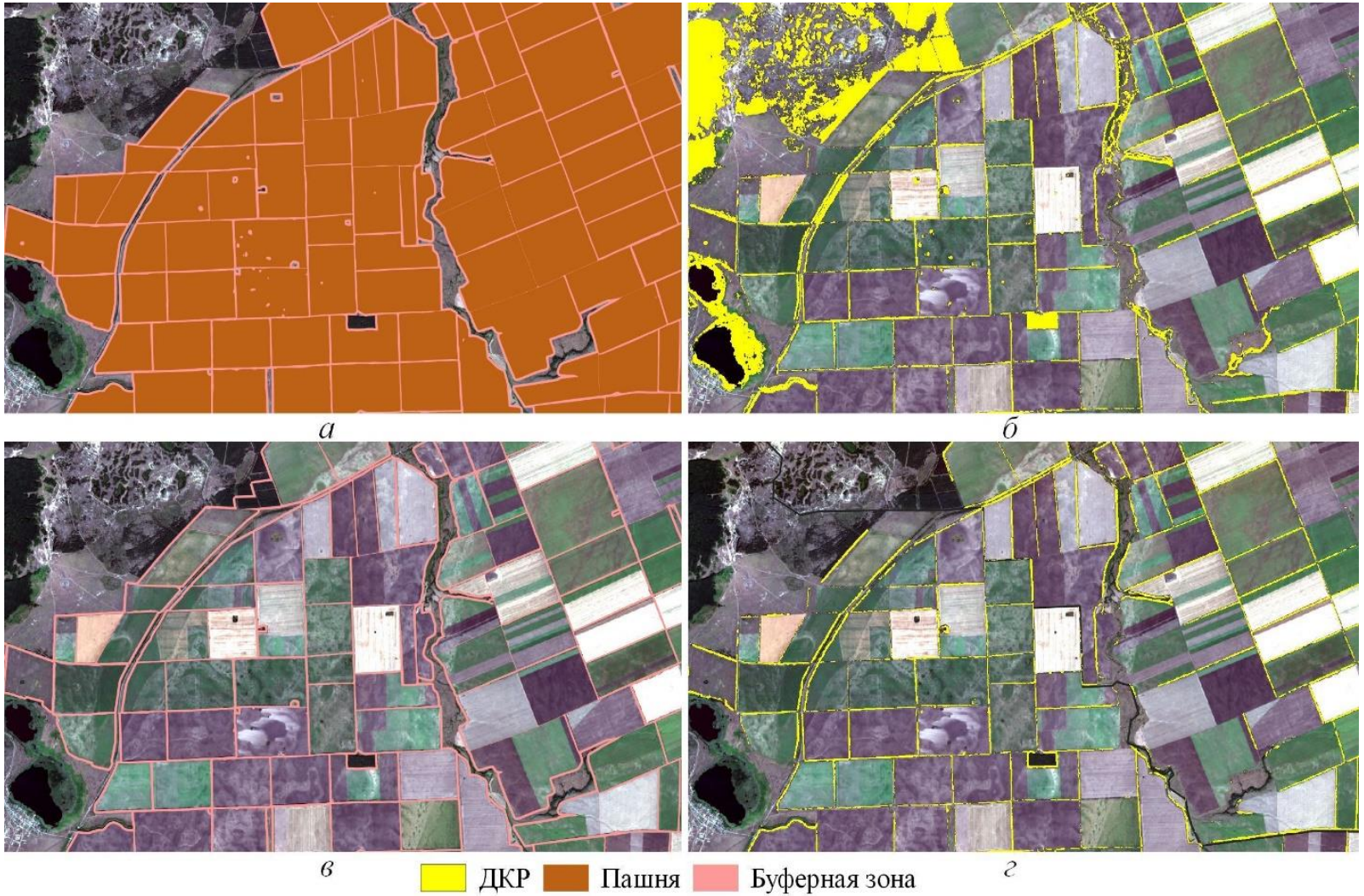


Сопоставление площади древесно-кустарниковой растительности по данным BSFI, FI, ESA, ESRI, FROM-GLC10, DW, GLC_FCS10, Copernicus LCFM, JRC_GFC2020 с Атласом почв на уровне муниципальных районов (а) и с Лесным планом на уровне лесничеств (б) Волгоградской области

Источник	Год	Атлас почв РФ		Лесной план		Лесистость общая, %	Лесистость пашни, %
		R	СКО, %	R	СКО, %		
BSFI	2022	0,88	2,8	0,96	3,9	7,2	2,2
FI	2022	0,83	4,5	0,89	5,3	7,6	2,4
ESA WorldCover	2021	0,94	1,7	0,91	3,5	5,3	1,3
ESRI LandCover	2022	0,92	2,5	0,83	5,2	4,3	0,7
FROM-GLC10	2017	0,87	2,6	0,96	2,6	4,1	0,9
Dynamic World	2022	0,91	3,9	0,97	5,4	8,3	1,5
GLS-FCS10	2023	0,87	2,4	0,91	3,5	5,7	1,5
Copernicus LCFM	2020	0,92	1,9	0,95	2,8	5,6	1,5
JRC_GFC2020	2020	0,93	2,2	0,90	3,7	4,3	0,8

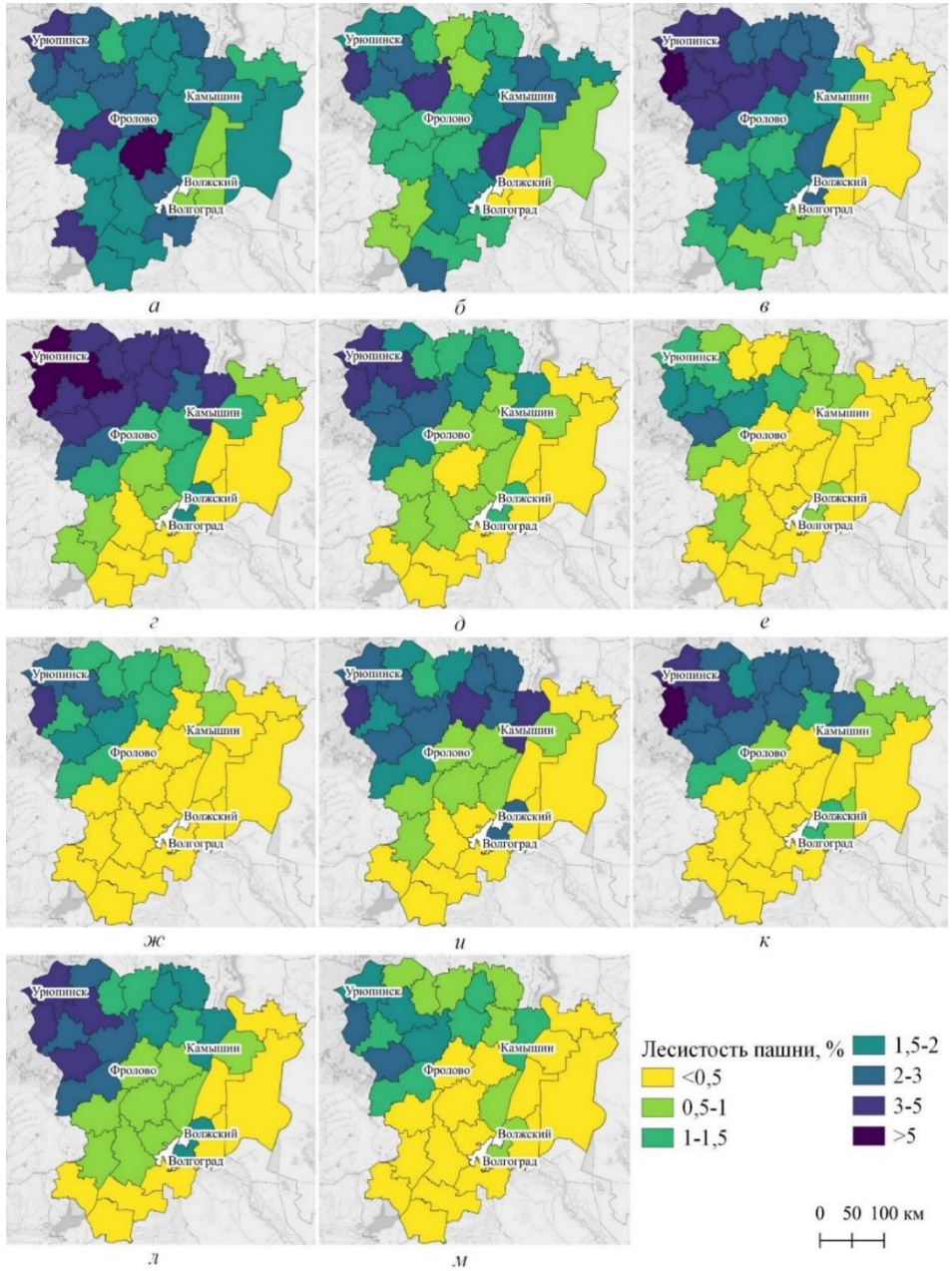
Метрики точности при оценке лесистости на основе данных ДЗЗ, Атласа почв РФ на уровне районов и Лесного плана на уровне лесничеств

Идентификация полезащитных лесных полос



Пример идентификации древесно-кустарниковой растительности в окрестностях сельскохозяйственных полей (а – границы полей и буферная зона 50 м, б – маска древесно-кустарниковой растительности на основе BSFI, в – 50-метровая буферная зона вокруг полей, г – ДКР в 50-метровой буферной зоне вокруг пашни)

Оценка защитной лесистости пашни



Лесистость пашни по данным:
Атласа почв РФ (а)
Министерства сельского хозяйства РФ (б)
BSFI (в)
FI (г)
ESA (д)
ESRI (е)
FROM-GLC10 (ж)
DW (и)
GLC_FCS10 (к)
Copernicus LCFM (л)
JRC_GFC2020 (м)

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало высокий потенциал применения спутниковых данных Sentinel-2 для задач региональной инвентаризации защитных лесных насаждений и полезащитных лесных полос.

Наиболее близкие к официальным статистическим данным оценки получены на основе бисезонного индекса леса BSFI и лесного индекса FI.

Для первичной оценки площади полезащитных лесных насаждений рекомендуется применение растровых масок или векторных границ сельскохозяйственных полей и данных информационных продуктов ESA WorldCover, Copernicus LCFM, в том числе результата их объединения.

Индексы леса BSFI и FI дают возможность получения более полной информации, но их применение сопряжено с потенциальными ложными определениями леса. Для решения этой проблемы возможен подход с формированием обучающей выборки на основе данных ESA и Copernicus LCFM с последующей классификацией спутниковых изображений по маске древесно-кустарниковой растительности, созданной на основе индексов BSFI или FI, для чего требуются дальнейшие исследования.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Васильченко А.А. Метод картографирования защитных лесных насаждений на основе разновременных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения и бисезонного индекса леса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 207-222 DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-207-222

Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Возможности оценки сомкнутости защитных лесных насаждений на основе бисезонного индекса леса и материалов съёмки БПЛА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 189-202 DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-189-202

Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Богодухов М.А., Жарко В.О. Оценка возможностей определения высоты и проективного покрытия защитных лесных насаждений по данным ICESat-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 174-183 DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-174-183

Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Кашницкий А.В. Применение спутниковых индексов леса и глобальных данных о типах земного покрова при картографировании полезащитных насаждений на региональном уровне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2026. Т. 23. № 4. С. 242-257 DOI: 10.21046/2070-7401-2026-23-4-242-257